

## Algumas Questões Cosmológicas

M. NOVELLO

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas — CNPq, Rio de Janeiro

Recebido em 8 de Novembro de 1979

### 1. COLAPSO GRAVITACIONAL E A QUESTÃO COSMOLÓGICA

Na década de 60 a teoria da relatividade geral conseguiu atrair um grande número de cientistas, graças principalmente à explicação de duas grandes questões, ambas associadas a campos gravitacionais fortes, contrariamente ao que se estudava até então, onde a tônica havia sido investigações das propriedades da gravitação em regiões de baixa intensidade.

Tais questões são:

- (i) Comportamento da matéria colapsada (Buracos Negros)
- (ii) Questões Cosmológicas

O estudo de corpos celestes (estrelas) colapsadas e a caça à sua observação resultaram ser uma tarefa fascinante.

Basicamente, o Buraco Negro (BN) consistiria no estágio final de colapso gravitacional sofrido por uma estrela cuja massa inicial de criação excede certo limite fundamental.

Um BN seria uma região onde o campo gravitacional seria tão intenso capaz de impedir, devido à sua atração, a emissão para o exterior de qualquer corpo material ou radiação. Até mesmo ftons não poderiam sair de seu interior e daí a origem do termo Buraco Negro. Sua interação com o resto do Universo seria puramente gravitacional. A impossibilidade de observar o interior do BN conduziu a um grande número de idéias extravagantes, baseadas na falsa imagem segundo a qual o desco-

nhecido contém a solução de nossos problemas. Não é nosso propósito apresentar aqui essas sugestões. Diremos somente que a análise do comportamento do campo gravitacional naquelas regiões colapsadas é uma tarefa teórica difícil e cujos resultados estão longe de poderem ter comprovação observacional imediata. Independentemente disso, um grande passo à frente foi dado recentemente por Hawking que conseguiu mostrar a possível existência teórica de processos quânticos capaz de permitir, através de um efeito tunel a emissão pelo Buraco Negro de radiação. Esta possibilidade de tunelamento altera bastante a visão clássica do Buraco Negro e conduz a uma nova linha de investigação teórica.

A questão cosmológica recebeu igualmente nas últimas décadas, um impulso notável graças a descobertas em Astronomia que vieram retirar a cosmologia de sua condição especulativa para colocá-la sobre uma base observacional.

As discussões que levaram Einstein e outros a sugerir modelos cosmológicos baseados em considerações apriorísticas subjetivas vem sendo eliminada progressivamente. Não direi que foi totalmente eliminada, porquanto a investigação de totalidades, como é o caso do estudo do nosso Universo, conterà sempre um resquício de arbitrariedade. É tarefa do cosmólogo procurar limitar cada vez mais o grau dessa arbitrariedade em nossa representação do Cosmos.

Sabemos hoje que uma boa imagem do Universo é obtida pelo modelo de Friedmann (criado há já sessenta anos!).

Nele, a matéria se encontra homogênea e isotropicamente distribuída no Universo. Tal modelo concorda com observações astronômicas, entre estas a mais espetacular é certamente a da radiação fotônica de  $2.7^{\circ}\text{K}$ . Entretanto ao mesmo tempo que o modelo de Friedmann é alçado à categoria de modelo semi-oficial do Cosmos, ele provoca uma série de questões de difícil solução. Entre estas, iremos em seguida enumerar algumas.

O modelo de Friedmann é dinâmico, isto é, suas propriedades básicas dependem do tempo cósmico. Um exame da Única função que caracteriza o modelo mostra que em um tempo finito em nosso passado, desenvol-

veu-se uma singularidade, isto é, a densidade de matéria diverge, bem como as propriedades métricas associadas, tais como a curvatura, atingiriam naquele ponto valor infinito. Daí a origem do termo Big-Bang para caracterizar este modelo, que possuiria assim um instante inicial de criação no qual toda a matéria estaria compactada.

A questão então se coloca: Como entender o comportamento do Universo no instante inicial?

Situações como esta, em que a teoria se defronta com a existência de uma região onde processos físicos são divergentes aparecem em várias ocasiões na física moderna. De um modo bem geral, o cientista enfrenta esta questão como sendo a evidência de que a teoria empregada começa a perder sua confiabilidade ali onde as grandezas físicas assumiriam valores extremamente elevados, além de qualquer limite. Isso é identificado como um sinal de que um novo modelo para descrição daquela região física deve ser procurado.

Dessa forma, a comunidade dos cosmólogos não acredita que o modelo de Friedmann possa representar o universo nas proximidades da singularidade. Há aqui dois caminhos a seguir:

- (i) Ou procuramos novas soluções das equações de Einstein, capaz de a um só tempo gerar um modelo de Universo coincidente com o modelo homogêneo e isotrópico de Friedmann, em um certo período de sua história, e se afaste deste modelo em período anterior, eliminando dessa forma a singularidade inicial.
- (ii) Ou alteramos as equações de Einstein para a evolução cósmica.

Segundo (i), aquelas soluções poderiam estar relacionadas ao comportamento incomum da matéria, consequência do estado extremamente denso que o pequeno raio do Universo naquela região lhe impõe.

Particular atenção merece o mecanismo pelo qual o campo gravitacional não-estacionário é capaz de criar matéria. Isso se deve, principalmente ao fato de que em um modelo de Universo evolucionário, a instabilidade do vácuo quântico se manifesta materializando partículas. A taxa de criação dessas partículas está diretamente ligada à intensidade

do campo gravitacional. Assim, quanto maior a curvatura do espaço, mais partículas são criadas. Matéria dessa forma criada, gera alterações na estrutura da métrica através de seu tensor de energia que alterará a taxa de criação de novas partículas materiais e assim sucessivamente, através de um processo que se pretende auto-regulador eliminando a singularidade inevitável ao modelo original de Friedmann.

Entramos aqui numa região em que a análise da Questão Cosmológica se aproxima perigosamente, da ideologia estruturalista.

Nesta visão, a dinâmica do Universo, a qual pensaríamos 'se consubstanciar em sua expansão bem como na evolução de seus processos físicos, é considerada aparente.

Ela seria rígida, estaticamente, por um mecanismo auto-regulador que permitiria o aparecimento de sistemas não incoerentes, através de uma programação ontológica cujas normas (estruturas) estariam refletidas em diversos níveis e que permitiriam, através dessas camadas de representações, a nossa compreensão deles.

Esta visão estática do cosmos, que pretende explicitar, para além da simples observação da expansão de nosso Universo e de suas consequências, uma ordem imobilizada subjacente, se apresenta implicitamente como um retorno a antigas idéias cósmicas postas de lado pela comunidade científica, após a descoberta da radiação fotônica de  $2.7^{\circ}\text{K}$  e sua identificação como remanescente de uma explosão inicial em um universo que envolve.

Deve-se a Gold, Hoyle, Bondi e outros, a idéia segundo a qual o Universo, embora em expansão, se encontra em um regime estacionário, de tal modo que qualquer observador possui dele a mesma imagem espacial e temporal. Isto significa, por exemplo, que embora o volume espacial de uma região compacta deste Universo varia com o tempo, suas propriedades básicas (como a densidade de matéria nele contida) não se alteram.

Isso, claro está, só seria possível se matéria estivesse sendo continuamente criada, a uma taxa fixa que dependeria da razão da expansão do Universo. Esta visão estática consubstanciava a imagem de um Universo homogêneo no espaço e no tempo.

Uma das atrações que alguns cosmólogos vêem neste modelo se prende ao fato de que nele não há lugar para um instante singular de criação, o que não é o caso nos modelos expansionistas tipo Friedmann onde um tal momento único de criação ocorre. No modelo estacionário a origem da matéria constitui mistério permanente que se repete seguida e continuamente.

Este modelo recebeu na década de 60 um rude golpe, com a descoberta da radiação  $2.7^{\circ}\text{K}$ , que a comunidade científica pensara ser mortal.

Sua substância filosófica reaparece, no entanto, sob nova forma, no esquema auto-regulador através do mecanismo de criação de partículas em um universo em expansão.

Durante quase todos os cinquenta anos de cosmologia relativista (e mesmo para além dela) os cientistas defrontaram-se com a questão da opção entre modelos estacionários e modelos expansionistas não estacionários.

Em verdade, essa situação é um reflexo, na Cosmologia, da luta travada entre os seguidores do imobilismo de Zenão e de seus adversários adeptos do movimento universal de Heráclito.

No momento atual a balança pende para o lado de Heráclito, embora isso possa representar apenas um estado momentâneo e não uma situação definitiva.

Vamos voltar nossa atenção agora para o caso (ii)

Modificações da interação gravitacional em dimensões cósmicas, têm sido propostas com frequência desde o aparecimento da teoria de Einstein da relatividade geral. Isso se deve a que a teoria permite alterações que não podem, no estágio atual, serem distinguidas experimentalmente.

Dois tipos de alterações ocorrem com maior frequência:

- (a) Modificações na Lagrangiana do campo livre, envolvendo funções não-lineares da curvatura do espaço-tempo.

(b) Modificações na descrição do processo de **acoplamento** do campo gravitacional com outros campos.

Modificações do tipo (a) constituíam-se as únicas investigadas até recentemente, quando propostas de acoplamento **não-mínimo** de campos escalares, vetoriais, etc. com a **gravitação** começaram a ser seriamente estudadas.

Tais alterações, do tipo (b), produziram de imediato um resultado notável: o aparecimento de soluções do tipo **Friedmann não-singulares**.

Isso pode vir a constituir uma nova direção na questão **cosmológica**, embora no momento atual seja somente um **modelo teórico** de investigação.

E, no entanto, digno de nota o fato de que **fotons não-lineares**, resultantes de acoplamento não mínimo do **eletromagnetismo** com a gravitação, possam gerar uma estrutura métrica não singular, fenômeno impossível de ocorrer no caso do **acoplamento mínimo**.

Devemos notar ademais que a impossibilidade de modelos não-singulares quando o acoplamento é mínimo se deve à existência de certos teoremas que relacionam o comportamento da métrica a propriedades físicas, isto é, ao comportamento do tensor de energia. Tais teoremas permitem mostrar que a singularidade é **inevitável** se a curvatura do espaço-tempo satisfaz certas desigualdades. O papel do acoplamento não-mínimo é impedir essas desigualdades de serem verificadas.

Uma outra dificuldade do modelo de Friedmann, reside na existência, nesta métrica de um horizonte. Isso significa que uma região compacta desse espaço não pode conter informação sobre qualquer outra região, mas somente pode estar causalmente conectada com uma limitada parte do Universo. Isso imediatamente sugere a questão: como entender o alto grau de isotropia observada, proveniente de regiões do Universo que não puderam, preliminarmente, trocar informações e assim calibrar, sua taxa de homogeneidade direcional ?

Essa questão será discutida mais adiante ao tratarmos da proposta do **Caos Cósmico**.

## 2. CAUSALIDADE

É sempre possível, pelo menos localmente, introduzir em uma variedade riemanniana (como o contínuo espaço-tempo) um sistema de coordenadas Gaussianas, no qual o elemento fundamental de linha se escreve sob a forma:

$$ds^2 = dt^2 - g_{ij}(x, t) dx^i dx^j$$

onde  $i, j$  variam no domínio 1,2,3.

A ausência de termos cruzados do tipo  $g_{0i}$  na métrica, permite realizar a separação da estrutura 4-dimensional espaço-tempo nas estruturas espaço (3 dim.) e tempo. Podemos assim definir de modo preciso, em uma dada vizinhança, a orientação local do tempo (ver fig.1).

Tão logo procuremos generalizar esse procedimento e introduzir globalmente no espaço-tempo um sistema de Gauss, somos levados à evidência de que nem toda variedade riemanniana admite aquela construção. A origem dessa dificuldade, nas métricas que consideramos aqui, reside na presença de rotação local do fluido associado à fonte geradora da curvatura do espaço-tempo.

Na ausência de rotação, o sistema gaussiano permite a construção de uma superfície de Cauchy na qual dados iniciais poderiam ser prescritos e a partir do qual processos físicos poderiam ser propagados: uma estrutura causal é dessa forma construída.

No outro caso, isto é, quando um sistema global de Gauss inexistente não podemos construir aquela superfície de dados iniciais: a propagação causal perde sua sustentação.

Chamaremos de Geometria do tipo Gödel<sup>11</sup> a toda métrica asso-



Fig. 1 - Curva tipo tempo e seu cone de luz local

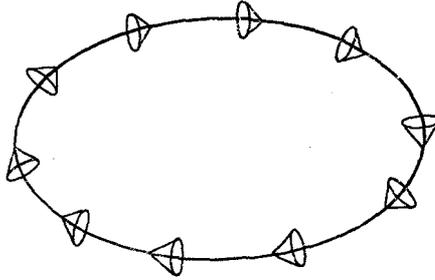


Fig.2 - Curva fechada A do tipo tempo. A gravitação é responsável pela inclinação do cone de luz que acompanha o movimento da curva.

ciada a uma variedade riemanniana que não admite superfície causal de Cauchy.

Nestas geometrias o campo gravitacional deforma os cones de luz de tal modo a manter em seu interior trajetórias fechadas, como na fig. 2.

Como interpretar a trajetória de um observador que percorre a curva A? Aparentemente, ele poderia influenciar seu passado (retornando sobre sua história anterior).

Um exemplo particular de uma tal geometria foi apresentada por K. Gödel em 1949 durante a realização de um Congresso na qual Einstein estava presente e cuja observação ao termino do seminário de Gödel teria sido, laconicamente: "I don't like it".

A maioria da comunidade científica seguiu Einstein neste sentimento.

Com efeito, a solução apresentada por Gödel às equações da Gravitação de Einstein, embora correta matematicamente, contém a propriedade não-causal (curvas tipo-tempo fechadas), dificilmente de ser conciliada com a experiência efetiva de cada um de nós.

Pareceria simples rejeitar a solução de Gödel, utilizando considerações de ordem física, porquanto ela descreve um Universo estático, e já naquela ocasião (1949) sabia-se estar o nosso Universo em expansão.

Assim, poderíamos ser levados então a considerar a geometria de Gödel como um exemplo de solução esdrúxula das equações de Einstein, sem ponto de contato com o mundo real, isto é, sem poder ser efetivamente realizada em nosso mundo.

Como se comportaria a comunidade científica, no entanto perante uma geometria tipo - Gödel não-estacionária?

A resposta a essa questão só tornou-se imprescindível quase 30 anos após a descoberta de Gödel, quando são então modelos expansionistas de Universos em rotação foram encontrados.

Mais uma vez, a reação da comunidade foi o de rejeição apriorística destas soluções. NATURA NON RETROGRADITUR, pensaram os cientistas.

Entretanto, a questão requer uma discussão mais profunda, porquanto as descobertas de soluções das equações da gravitação de Einstein possuindo rotação e expansão (isto é, não-estacionárias) conduzem à sugestão da possível existência de um período na história de nosso Universo, representado por aquela solução (com rotação) e cuja herança poderíamos encontrar, ainda hoje, no pequeno movimento rotacional das galáxias,

Uma partícula material (ou um observador) que percorre uma curva fechada tal como A, vive uma experiência que dificilmente admite uma descrição em termos de nossos parâmetros usuais. A ausência de relação causal ao longo de seu caminho, a impossibilidade de propagar, a partir desta região, informações arbitrárias, conduzem à evidência de que a ordem estrutural da representação das experiências ocorridas naquelas regiões (tais como a vizinhança de A) e conter características bastante singulares, distintas daquelas a que estamos acostumados a empregar.

Um observador que, nessas condições, pretende reunir em um quadro coerente suas idéias a respeito da evolução temporal, se encontra em sérias dificuldades.

Com o propósito de resolver parceladamente essas dificuldades, escolhe-se examinar com detalhes os casos especiais da Geometria do

tipo de Gödel conhecida, deixando a questão maior de análise das propriedades genéricas dessas geometrias para uma investigação futura.

Este exame crítico dessas soluções vem sendo ultimamente compreendido sem que, até o momento, tenha sido possível encontrar uma efetiva análise capaz de conciliar as propriedades do espaço-tempo naquelas regiões não-causais com o quadro usual de nossa descrição física;

Há uma propriedade particularmente interessante na métrica de Gödel, que aparece também em outras geometrias com rotação, que foi erroneamente interpretada por alguns autores e para a qual gostaríamos de chamar a atenção.

Parece ter sido Chandrasekhar quem, logo após o aparecimento do trabalho de Gödel sobre Universo em rotação, teve a curiosidade de integrar geodésicas nesta métrica. Ele descobriu então que, contrariamente ao que se pensava à época, geodésicas do tipo tempo não violam causalidade nesta geometria, isto é, um observador movimentando-se livremente neste Universo (isto é, somente sob o efeito de forças gravitacionais) não é capaz de retornar a seu passado. Entretanto, como Gödel já o dissera, existem curvas aceleradas do tipo tempo, nesta geometria, que são fechadas. Em verdade, para cada observador existe um raio crítico  $r_c$  que separa curvas concêntricas para o observador em duas regiões: curvas para as quais a distância radial  $r$  é maior que o raio crítico  $r_c$  violam causalidade; curvas para as quais o raio  $r$  é menor que o raio crítico não violam causalidade.

A razão disto reside no fato de que as curvas concêntricas ( $r = \text{constante}$ ) além do raio crítico são do tipo tempo (e como tal são caminhos possíveis de um observador) e as curvas concêntricas no interior do raio crítico são do tipo espaço e dessa forma não podem ser efetivamente percorridas por um observador real, não podendo assim realizar a experiência de violação causal.

Poder-se-ia argumentar que o modelo de Gödel é por demais simplista e que se ampliássemos o espectro das possíveis fontes de curvatura, tal fenômeno poderia ser alterado sensivelmente, e torná-lo até mesmo compreensível. Candidatos naturais para realizar esta alteração

seriam campos clássicos de longo alcance. Entre estes, principalmente, deveríamos considerar campos eletromagnéticos.

Recentemente nós no grupo de cosmologia do CBPF tivemos a curiosidade de investigar efeitos eletromagnéticos sobre métricas em rotação. O resultado dessa investigação nos mostrou que as dificuldades de compreensão das questões causais não somente permanecem mas se ampliam.

Com efeito, mostrou-se que na geometria perturbada por campo eletromagnético existem regiões concêntricas tais que a cada região causal sucede uma região não causal; a esta sucede uma nova região causal e assim sucessivamente (ver fig.3).

Isso significa que um observador que passa sua existência limitada ao interior de uma região, digamos causal, não possui conhecimento direto da violação causal em seu Universo, embora isto possa estar ocorrendo em região vizinha. Tal situação difere tão profundamente de nossa experiência cotidiana que levou alguns autores à eliminação do problema argumentando que aquela geometria, embora matematicamente compatível com as equações da gravitação de Einstein, não se realiza efetivamente em nosso mundo. Essa solução lembra aquela outra apresentada pela rainha de vermelho que teria dito a Alice: "esta questão me desagrada profundamente, vamos mudar de assunto."

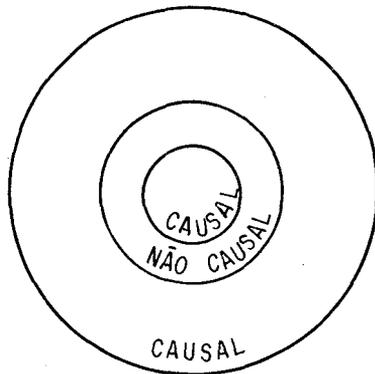


Fig.3 - Regiões de comportamento causal em modelo cósmico com rotação perturbada por campo eletromagnético. (Novello-Rebouças 1978).

### 3. DEPENDENCIA CÔSMICA DAS INTERAÇÕES FUNDAMENTAIS

De um modo geral, uma teoria científica contém além das relações formais internas entre seus elementos fundamentais, certos parâmetros arbitrários, extrínsecos à teoria, cujo espectro de valores numéricos possíveis estão, o mais das vezes, além da compreensão teórica. Embora diversas investidas possam ser, e efetivamente o são, realizadas com o objetivo de reduzir tais parâmetros a conceitos primários acessíveis a uma racionalização, alguns setores da ciência, e precisamente aqueles fundamentais, contém grandezas que não permitem efetivar aquela redução.

Por exemplo, no Eletromagnetismo, não existe até o momento atual, nenhum modelo satisfatório capaz de deduzir a partir de princípios primeiros, o valor da carga ou da massa de eletron. Na teoria da Gravitação podemos inferir relações entre forças de atração das massas, porém não sabemos como deduzir o valor da constante de Newton de certas quantidades primárias elementares, e obter assim seu valor a partir de operações teóricas.

Os esquemas estruturais utilizados na elaboração de modelos teóricos na Física parecem, no entanto, conduzir à construção de um quadro na Natureza, cujo conteúdo fundamental seria independente do valor numérico dos parâmetros arbitrários nele contido. As teorias de Maxwell do Eletromagnetismo e de Newton-Einstein da Gravitação possuem uma substância formal totalmente independente do valor numérico daqueles parâmetros.

Uma tal colocação da questão das leis físicas pareceria inútil, desprovida de significado e, desgraça maior, até mesmo idealista, se não se pudesse relacioná-la com as formas concretas de nosso Universo.

Para tornar tais questões significantes, deveríamos procurar relações que eventualmente vinculariam propriedades globais de nosso Universo com os valores reais das constantes fundamentais da física. Dito de outra forma: haveria alguma relação entre os parâmetros arbitrários contidos nas teorias físicas e, digamos, a estabilidade do Cosmos? Haveria alguma forma de dependência de tais números com o Universo?

Colocada dessa forma, a contingência dos parâmetros arbitrários contidos nas leis físicas adquire significância e um conteúdo não-trivial cuja problemática maior pode ser conduzida a construir-se numa verdadeira busca das relações de auto-consistência de nosso Universo.

Há aqui, evidentemente, matéria para especulação e um leve sentimento inibidor de que nos afastamos da ciência convencional para penetrar em um terreno que, por direito ou por tradição, pertenceria à filosofia.

Independentemente da situação logística do problema, teríamos nós condições na ciência de propor uma discussão, fundamentada em nossos conhecimentos reais, capaz de produzir algum esclarecimento ou até mesmo elaborar algum modelo desta questão ?

Antes de procurar responder a esta pergunta devemos talvez procurar estabelecer a validade de um tal empreendimento. Sabemos, por exemplo, que com respeito aos sistemas lógicos, Gödel conseguiu mostrar a impossibilidade da demonstração da coerência interna de um sistema formal. Seríamos nós assim encaminhados, por analogia, a reduzir nossa questão e procurar demonstrar a impossibilidade da demonstração da coerência das leis físicas em um universo não trivialmente vazio ? Uma resposta simplista poderia ser: A razão primária que nos permite responder negativamente a essa questão acima reside na distinção entre o caráter formal da lógica e o caráter empírico das estruturas físicas. Assim, enquanto o discurso lógico se movimenta no terreno das formas perfeitas, o discurso físico se sustenta, como característica primordial, em sua existência e não em seu papel estrutural.

A elaboração de um programa de estudo da auto-consistência das leis físicas de nosso universo poderia, assim, constituir um projeto de pesquisa capaz de auxiliar-nos na análise de nossas teorias científicas e, até mesmo, de orientar-nos na seleção de modelos empíricos.

Em 1937, Dirac propõe um modelo de dependência das leis físicas com o universo que constitui precisamente um exemplo do projeto citado acima.

O modelo, apresentado, no entanto, é de tal modo simplista

que, certamente só pode alcançar um status razoável junto à comunidade científica devido ao grande prestígio desfrutado pelo seu criador.

A idéia central se apoia em observações de caráter numérico realizadas previamente por Eddington. O argumento pode ser colocado da seguinte forma.

Toda medida física possui, além de um número que a caracteriza, a especificação da unidade à qual este número se refere e que dá à medida seu valor dimensional. Uma mesma grandeza física pode estar associada a diferentes números, dependendo do sistema de unidades utilizado. O estudo das diferentes unidades e suas relações e das expressões das grandezas físicas em termos de umas poucas quantidades fundamentais constitui-se na teoria da análise dimensional. A importância desse estudo em engenharia e nos trabalhos de ciência fundamental é grande. Há nessa teoria um aspecto trivial que consiste nas reduções das grandezas à sua fórmula dimensional e às relações que fixam a estrutura dimensional das equações da física; e um aspecto profundo, que pretende extrair da análise das relações dimensionais, a evolução dos parâmetros fundamentais da física. É desta segunda característica que Dirac vai buscar elementos para gerar sua hipótese dos grandes números.

Começemos por observar que a descoberta por Hubble do afastamento homogêneo das galáxias no universo permite obter uma medida temporal capaz de caracterizar de modo razoavelmente preciso a idade do universo.

Como é do conhecimento geral, Hubble mostrou a existência de uma lei segundo a qual as galáxias se afastariam de cada ponto do Universo com uma velocidade proporcional à distância que a galáxia se encontra desse ponto. Note que devido à homogeneidade do espaço, este ponto é arbitrário e assim as galáxias estariam na verdade se afastando de cada ponto do espaço. A relação entre a velocidade de fuga e a distância é caracterizada por uma constante, conhecida como constante de Hubble  $H$ .

O valor atual do inverso desta constante, que pode servir como medida da idade do universo, é dado aproximadamente por

$$H_0^{-1} = 5.7 \times 10^{17} \text{ seg.}$$

Poderíamos, evidentemente, escolher outra unidade de tempo para expressá-la. No mundo atômico, por exemplo, existe uma unidade de tempo característica dada por

$$\frac{e^2}{m_e c^2} \approx 10^{-23} \text{ seg.}$$

Ela representa o tempo necessário para um corpo, movendo-se à velocidade da luz, atravessar uma distância equivalente ao raio clássico do elétron. Chamaremos  $10^{-23}$  seg. de uma unidade atômica de tempo.

Dessa forma, dividindo o valor da idade do universo pela unidade atômica de tempo obtém-se um número adimensional dado por

$$\frac{m_e c^3}{e^2 H_0} \approx 10^{40} \quad (1)$$

A existência de um tal número tão formidavelmente grande reflete simplesmente a velhice de nosso universo.

Consideremos agora, outros números igualmente adimensionais que podemos construir com grandezas fundamentais associados aos parâmetros disponíveis nas teorias físicas. Por exemplo, consideremos a razão da força eletrostática entre um elétron e um próton com relação à força gravitacional entre essas partículas. Teremos, assim:

$$\frac{\text{força eletrostática}}{\text{força gravitacional}} = \frac{e}{G m_e m_p} \approx 10^{40} \quad (2)$$

A semelhança entre esse número e o obtido anteriormente e a dificuldade de conceber uma explicação independente para o aparecimento de números tão grandes poderia conduzir à especulação sobre a existência de uma origem comum entre eles.

Antes de desenvolver tal argumento que consiste precisamente na hipótese de Dirac dos grandes números, consideramos ainda um outro grande número que podemos obter através de uma estimativa simplificada do número de partículas existentes em nosso Universo.

Vamos definir o raio de universo como sendo aproximadamente delimitado pelo raio do horizonte observável.

Temos:

$$\text{Raio de horizonte} \equiv r_h \sim \frac{c}{H}$$

A massa total do Universo é dada por

$$M = \left( \frac{4}{3} \pi \frac{c^3}{H^3} \right) \left( \frac{3}{8\pi} \frac{H^2}{G} \right)$$

onde a densidade de matéria existente no Cosmos é aproximada pela densidade crítica

$$\rho_c = \frac{3}{8\pi} \frac{H^2}{G}$$

Substituindo valores numéricos temos

$$M \sim 10^{56} \text{ g}$$

E, finalmente, com  $m_p \sim 10^{24}$  g tem-se para o número de partículas no Universo  $N$  o valor

$$N \sim 10^{80}$$

Obtemos assim outro número adimensional extremamente grande.

Como interpretar tais número? A primeira sugestão considerada seriamente, foi dada por Dirac (1937). A idéia é extremamente simples e até mesmo poderíamos considerá-la ingênua.

Ela parte da observação de que tais números ganham significância e uma racionalidade se admitirmos estarem eles ligados intimamente à idade do Universo. Assim, todos os grandes números que podem ser obtidos dos parâmetros físicos seriam da ordem ou de  $t \sim 10^{40}$  ou de alguma potência (pequena) deste número.

Se aceitamos esta hipótese então estamos aceitando a dependência temporal de algumas constantes fundamentais da Física.

Com efeito, assumindo como Dirac o fez, que as constantes atômicas ( $e, h, m_e$ ) não dependem do tempo cósmico, isto é, da idade do universo, a relação (2) será satisfeita impondo-se para a constante de Newton a dependência.

$$G \sim t^{-1} \quad (4)$$

A constante de interação gravitacional, assim, decresce com o passar do tempo. Segundo essa hipótese, conseguimos uma racionalização sobre a razão pela qual a interação gravitacional é fraca: ela é fraca porque o universo é velho.

A relação (3), dentro deste contexto nos permite escrever

$$N \sim t^2 \quad (5)$$

A relação (5) acima constitui uma previsão. Ela impõe que o número de partículas no Universo não permanece constante, mas sim cresce com o passar do tempo.

Neste ponto uma nova teoria da gravitação se faz necessária para permitir tal mecanismo.

Infelizmente, contrariamente à teoria de Einstein da Gravitação, as possíveis alterações que permitiriam a criação de partículas segundo a fórmula prevista pela hipótese de Dirac, podem ser obtidas através de várias teorias distintas.

A dificuldade envolvida na hipótese (5) é, com efeito, bastante grande. Por exemplo, poderíamos perguntar sobre o tipo de partículas que seriam criadas. Seriam baryons ou leptons? Certamente haveria criação de fons. Onde tais partículas seriam criadas? Dirac sugeriu duas alternativas para essa questão. Segundo ele, poderia haver criação aditiva, envolvendo aparecimento homogêneo de partículas e neste caso, haveria mais matéria nova no espaço intergaláctico; recentemente Dirac sugeriu que poderia haver criação multiplicativa, na qual

matéria é criada na região vizinha à da matéria. Neste caso, ela apareceria preferencialmente no interior das galáxias.

Em verdade, o modo de criação multiplicativa veio em socorro da hipótese de Dirac que não resiste a críticas observacionais se o modo de criação de partículas fosse aditivo.

Alguns autores criticaram fortemente este modelo considerando difícil a sustentação da hipótese de criação ininterrupta de nova matéria.

De um modo geral eles consideram mais aceitável a teoria dita do big-bang, na qual a criação ocorre somente uma vez na história do universo.

A idéia sugerida por Dirac em seu artigo de 1937 nada mais é do que um exemplo de um movimento no pensamento científico que pretende colocar em discussão o caráter absoluto das leis físicas terrestres, sua validade cósmica.

A posição da comunidade científica, neste aspecto, é conservadora: ela propõe a aceitação da extrapolação ilimitada das leis físicas terrestres ao Cosmo, até aquele estágio em que tais leis provavelmente não descrevam mais a realidade observada.

Tal atitude não é singular, ela é na verdade uma constante da comunidade científica refletindo tão somente seu movimento ordenado de idéias, sua necessidade de progresso comunitário organizado.

Poderíamos enumerar alguns pontos favoráveis a esta atitude, bem como algumas situações desfavoráveis. Não é no entanto nossa intenção, aqui, levantar essa questão que está intimamente relacionada com a prática científica, isto é, a fazer ciência enquanto cientista, mas que possui também uma componente de caráter não-científico bastante forte que poderíamos mesmo considerar como fundamental, e que está vinculada ao movimento dialético do pensamento global da sociedade.

Chamamos de Movimento Evolucionista aquele conjunto de idéias que assim como a proposta de Dirac, admite a dependência local no espaço e no tempo das leis físicas.

Nesse movimento a lei física passa a fazer parte do drama espaço temporal e não possui, como na atual versão oficial da ciência, uma propriedade intrínseca que a situa para além do espaço e do tempo, como um dado do universo, cujo tempo de validade seria dado pelo tempo de vida do próprio universo.

Segundo os Evolucionistas, a lei física não seria absoluta, imposta uma vez para sempre por alguma sorte de milagre interno ou externo, mas sim dependente da configuração global dos cosmos, bem como de suas manifestações localizadas.

Um segundo exemplo de aplicação desse princípio, além da discutida acima vamos encontrar na sugestão feita por Novello e Rotteli (1972), na qual a interação fraca entre leptons é suposta depender do tempo cósmico.

Essa sugestão é, no entanto, distinta do modelo proposto por Dirac. Com efeito, a aplicação da hipótese dos grandes números às interações fracas conduziria à dependência temporal da constante de estrutura fina fraca.

Essa constante é definida por analogia com a interação eletromagnética e seu valor é dado por:

$$\left( \frac{b^2}{\hbar c} \right)^{-1} \sim 10^{13} \sim t^{1/2}$$

onde  $b$  é a constante de Fermi no modelo corrente-corrente para a interação fraca obtida, por exemplo, através da desintegração  $\beta$ .

A hipótese de Dirac, onde  $\hbar$  e  $c$  são constantes, aplicada à expressão acima, conduziria à relação

$$b \sim t^{-1/6}$$

A proposta de Novello-Rotteli (NR) se afasta deste esquema. Elas partem da consideração de que no laboratório terrestre as interações leptônicas (fracas) parecem violar maximalmente a paridade. Tal fenômeno pode ser descrito por um modelo de interação de contato direto tipo corrente-corrente, cuja Lagrangiana de interação é da forma

$$L_{\text{int}} = b j_{\alpha} j_{\beta} g^{\alpha\beta}$$

A corrente fraca consistiria de uma parte vetorial e uma parte pseudo-vetorial (axial), isto é,  $j^{\alpha} - \bar{\psi} \gamma^{\alpha} (1 + \gamma^5) \psi$ , onde  $\psi$  é o campo do lepton.

O modelo NR propõe uma dependência temporal para a parte axial da corrente.

Assim, neutrinos e anti-neutrinos produzidos ao longo da história do Cosmos seriam misturas dos estados esquerdo e direito de polarização, em oposição à teoria usual no qual somente um estado de polarização existe. A proporção dessa mistura de helicidade distinta depende do tempo cosmológico de sua criação (via processo fraco).

Dessa forma a violação da paridade seria um fenômeno dependente da época cosmológica. As consequências astrofísicas dessa dependência teriam alguma influência no fenômeno de emissão de neutrino por estrelas em evolução, mas seriam particularmente importantes no processo de nucleossíntese ocorrido nos primórdios do Universo.

Com efeito, uma das experiências cósmicas consiste na determinação da densidade de deutério (hidrogênio pesado) assim como de hélio no Universo.

O cálculo da taxa de deutério formado nos primeiros instantes de vida de nosso Universo no modelo Big-Bang depende fundamentalmente da teoria da interação fraca através da desintegração  $n + p \rightarrow d + e + \bar{\nu}$ . Alterações nesta teoria provocam modificações naquela taxa e consequentemente nos seus valores atuais. O exame dessas consequências vem sendo empreendido e cedo poderemos testar o modelo NR e suas consequências.

Além do modelo NR e da sugestão de Dirac, poderíamos considerar a idéia de uma unificação das forças fundamentais da natureza (a saber, fraca, forte, eletromagnética e gravitacional) dependente do tempo cósmico.

Com efeito, alguns autores começam a especular a possível grande unificação de todas as forças da natureza em uma única. A dis-

tinção entre elas estaria relacionada a processos físicos que teriam ocorrido no nosso Universo e cuja explicitação competiria a nós realizar.

Dessa grande unificação falaremos um pouco, mais adiante.

#### 4. ANTI-COPÉRNICO

Vimos acima como a hipótese dos grandes números pode conduzir a uma racionalização das relações empíricas descobertas por Eddington. Esta sugestão de Dirac está, entretanto, longe de poder ser considerada uma teoria científica e sua credibilidade é hoje muito pequena.

Independentemente de críticas à hipótese de Dirac, as relações numéricas apresentadas no capítulo anterior suscitam a questão que tem provocado muita discussão e que precisa, sem dúvida, ser compreendida.

Uma tentativa de solução distinta da hipótese dos grandes números foi sugerida no começo da década de 60 por Dicke e recentemente defendida por Carter (1973).

O argumento principal de Dicke pode ser entendido como uma crítica à subordinação absoluta ao princípio de Copérnico. Dicke argumentou que a negação da idéia que pretendia considerar a Terra como um lugar privilegiado no universo devido à presença nela do homem, conduziu à visão diametralmente oposta de total irrelevância do papel desempenhado pelo homem na história do universo.

O reflexo na cosmologia moderna desta subordinação levou, em seu caso extremo, ao chamado princípio cosmológico perfeito assim sintetizado por Bondi: "... geography does not matter and history does not matter...". Ele pretendia, com essa frase de belo efeito, reforçar a idéia segundo a qual não há distinção no espaço nem no tempo das propriedades cósmicas. Isto é, todo observador tem no universo a mesma percepção, quer ele ocupe posições distintas no espaço e/ou no tempo. O universo existiria assim somente em seu estado estacionário.

Esse exemplo extremado acima coloca em relevo a degradação sofrida pelo princípio de Copérnico que passaria a ser invocado como sustentáculo da idéia, com pretensões absolutistas, da relatividade das observações humanas. Embora em suas origens a crítica coperníca tenha possuído a força de uma revolução, alterando dramaticamente toda a visão do mundo à sua época, hoje ela se constituiria num modelo reacionário e inibidor. Dessa forma ela estaria seguindo as etapas normais de toda idéia, de todo projeto global a saber:

- (i) fase revolucionária (proveniente dos setores de vanguarda da época; criticada e perseguida pelo "establishment").
- (ii) fase empreendedora (a sociedade assimilando a idéia, utiliza-a para promover seus interesses de classe).
- (iii) fase reacionária (a idéia tendo-se ligado intimamente ao sistema dominante, tende a rejeitar idéias que se lhe opõem, tentando evitar desequilíbrios nas relações de dominação da classe no poder que a utiliza).

Daremos a seguir uma versão anti-copernicana das relações de Eddington.

Segundo Dicke a possibilidade da presença do homem que coloca a questão da origem das relações entre os números dimensionais da física, requer preliminarmente a existência de certas substâncias no universo como por exemplo, o carbono. O aparecimento deste elemento químico depende da existência de galáxias, de estrelas não muito jovens, capazes de prover condições à sintetização do carbono.

Assim a própria existência humana dependeria de condições de estabilidade (equilíbrio termodinâmico, gravitacional, etc.) das estrelas do universo.

O estudo dessas condições conduz à análise do tempo de vida de uma estrela, isto é, do período em que ela é capaz de produzir energia por reações nucleares. Um cálculo aproximado do tempo T de vida nuclear ativa da estrela dará o valor

$$T = \left( \frac{m_p}{m_e} \right)^{1/2} \left( \frac{e^2}{\hbar c} \right) \left( \frac{e^2}{G m_p m_e} \right) \left( \frac{e}{G m_e c^3} \right) \quad (1)$$

Daí podemos obter (desprezando termos da ordem  $10^3$  em função de termos da ordem  $10^{40}$ ).

$$\frac{m_p c^2}{\hbar} T \approx \frac{e^2}{G m_e^2} \approx \frac{\hbar c}{G m_p^2} \quad (2)$$

resultado este que é consistente com as relações de Dirac consideradas atrás.

Segue-se que o valor da idade do universo,  $H_0^{-1}$  coincide com o valor aproximado de T.

Dicke argumenta que este resultado não é arbitrário (sic) mas está condicionado à existência de físicos no universo. Dito de outra forma: se o valor de T fosse superior a  $H_0^{-1}$ , não teria transcorrido na história do universo tempo suficiente para formação de carbono e, conseqüentemente do homem e portanto, aquelas "coincidências" numéricas, a par de não serem satisfeitas, não poderiam gerar nenhuma sorte de especulação.

Nesta explicação a relação (2) só é verdadeira porque a temperatura máxima de vida estelar coincide com  $H_0^{-1}$ . Noutro período, digamos no futuro distante, os físicos então poderiam verificar que a relação numérica (1) de Eddington deixaria de ser válida, pois ela reflete uma coincidência local e não uma lei física. Esta consideração poderia ser alçada à categoria de uma previsão, embora sua verificação experimental deveria aguardar um longo período de tempo.

De um ponto de vista mais geral, posto de lado o valor crítico da discussão da generalização do princípio de Copérnico, a visão do mundo sugerida na idéia acima esboçada, pareceria conduzir ao abandono da busca de explicações ulteriores à questão cosmológica. O universo, assim, se justificaria pela sua existência refletida em nossa consciência. A física do século XX deu ao observador uma posição particularmente importante na hierarquia das estruturas formais das teorias ci-

entíficas, através da análise de sua influência nas medidas experimentais (teoria quântica) e da dependência de seu estado de movimento (teoria da relatividade). A idéia de Dicke-Carter pretende muito mais do que até aqui a física concedeu ao homem que observa. Parafraseando Descartes, Carter resume esta visão na expressão "Cogito ergo mundus talis est". O mundo é o que é porque nós somos o que somos.

Isso pareceria aceitável se não pudéssemos continuar a questionar e perguntar: mas o que somos? E o que aparenta ser o universo? Há, afinal, uma estrutura unificada permitindo uma solidariedade de suas partes? Podemos entender em função de conceitos primários, as razões da disparidade do valor das constantes de acoplamento do eletromagnetismo e da gravitação com a matéria? Dessa forma, pareceria que embora a tese anti-copernicana possa constituir um progresso, o modo como Dicke a desenvolve, deixa muito a desejar.

Se a hipótese de Dirac pode ser criticada por sua pretensão tão grande com um esforço teórico tão limitado, podemos dizer que a crítica de Dicke por sua vez, é por demais tímida e não consegue exaurir nem sequer uma pequena parte de sua base filosófica inicial (crítica anti-copernica).

Finalmente resta considerar a origem, no esquema anti-copernico, da relação entre as constantes de acoplamento eletromagnético e gravitacional. A sugestão de Dicke consiste em aceitar tal relação como consequência do princípio de Mach. Com efeito, na formulação de Sciama deste princípio, podemos escrever

$$\frac{GM}{c^3 T} = 1 \quad (3)$$

onde M é a massa total do universo. Assim, a constante de Newton G seria pequena porque a massa do universo é grande (sic).

Dicke argumenta, não sem bastante razão, que tal explicação pode não parecer satisfatória e assim permanecerá até podermos compreender o mecanismo de criação de massa no universo. Essa afirmação, em verdade, nada mais é do que o testemunho da incompreensão das origens da relação (3).

Este pequeno resumo que vimos de fazer sobre as sugestões de Dirac (variação das constantes das interações fundamentais com o tempo cósmico) e o princípio antrópico (assim chamado por Carter à atitude anti-copernicana de Dicke), parece nos conduzir à reflexão de que embora tenhamos caminhado um pouco mais além da numerologia de Eddington, estamos ainda longe de poder compreender aquelas coincidências. Podemos talvez sugerir que parece faltar a estes esquemas uma visão unificadora das interações fundamentais e seu papel cósmico (isto é, enquanto mecanismos geradores do cosmos).

Enquanto Dirac pretende ver naquela numerologia um reflexo da dependência direta das leis físicas locais com propriedades globais do Universo Dicke põe em relevo o caráter local daquelas relações.

Uma explicação, ainda por nascer, que viesse sintetizar a visão totalizante com a visão local consistiria sem dúvida um verdadeiro progresso, não somente em seu aspecto meramente técnico-científico mas e talvez principalmente, em seu caráter filosófico.

Isso nos coloca, novamente, no caminho de uma teoria unificada das interações fundamentais, capaz de criar uma racionalidade dos progressos elementares (localizados em pequena região do espaço-tempo) e globais.

## 5. UNIFICAÇÃO

Durante muito anos Einstein perseguiu, sem sucesso, uma segunda generalização de sua teoria da Relatividade tentando, desta vez, introduzir novas variáveis na estrutura do espaço tempo, capaz de representar o campo eletromagnético.

O sucesso conseguido por Einstein ao geometrizar a gravitação conduziu vários cientistas a sugerir e pesquisar caminhos que, pensava-se, conduziram à geometrização de toda física, alçando à condição de projeto científico um antigo sonho de Clifford.

Estas teorias deveriam ser-construídas de tal modo a que o

conhecimento das propriedades geométricas do espaço-tempo contivesse ipso facto o conhecimento de toda física.

Um exemplo simples e direto desse modo de pensar vamos encontrar em Rainich (mais tarde, em Wheeler e Misner), em sua tentativa de unificação dos campos eletromagnético e gravitacional. Segundo este autor o campo eletromagnético, ao curvar o espaço-tempo, através de sua energia, imprime-lhe uma tal forma estrutural incapaz de ser reproduzida por qualquer outra configuração material.

Assim, conhecidas as propriedades de curvatura de um dado espaço-tempo é possível, através somente de um exame das relações algébricas e/ou diferenciais de métrica, decidir sobre a origem eletromagnética (ou não) da fonte geradora da curvatura.

Generalizando esse argumento para outras configurações (tais como campo escalar, campo do neutrino, etc.) seríamos conduzidos à redução das propriedades físicas dos distintos campos existentes a simples relações métricas. Tal é o programa proposto.

No Congresso da GRG de 1977 (Canadá), entretanto, mostrou-se ser impossível sustentar uma Teoria Unificada sobre esta base. A razão da dificuldade vamos encontrá-la na indistinguibilidade de diferentes configurações materiais via equações de Einstein.

Dito de outra forma: mostrou-se que distintas combinações de campos materiais podem gerar igual estrutura para a geometria do espaço-tempo. Assim, esse modo de unificação perdeu seu apelo e seu interesse ficou bastante reduzido.

Durante os últimos trinta anos, várias propostas de unificação apareceram. Não é nosso objetivo historiar aqui essas tentativas, mas somente apresentar alguns exemplos significativos.

Uma proposta particularmente atraente foi sugerida no começo da década atual e se baseia na aceitação de uma hierarquia ontológica, gerada pela aplicação das equações de Einstein à Cosmologia. Há alguns anos Schrödinger demonstrou que um Universo não estacionário é capaz de criar partículas. O estado do vazio  $|0\rangle_t$  dependeria do tempo cósmico  $t$  e como consequência o número de partículas  $N$  também varia com  $t$ .

A criação dessas partículas a partir do vazio altera o campo gravitacional que por sua vez altera a taxa de criação de novas partículas e assim sucessivamente. Embora o sistema completo de descrição desse mecanismo não esteja totalmente conhecido, alguns cientistas começaram a considerar seriamente a proposta segundo a qual a matéria dependeria ontologicamente da estrutura (do vazio) do espaço-tempo.

A descrição fenomenológica da matéria criada pelo campo gravitacional faz apelo a modelos macroscópicos de fluidos viscosos do tipo de Stokes e alterações geradas pelo Princípio Geral de Viscosidade que relaciona as propriedades dinâmicas (tais como fluxo de calor, pressão anisotrópica) com as quantidades cinemáticas (dilatação, rotação, etc.) do fluido cósmico.

Segundo essa linha de investigação, no próprio processo de aparecimento do Universo, o campo gravitacional cria a matéria, que surge, dessa forma, somente em um estágio ulterior. A compreensão desse paradoxo, com espaço-tempo obtendo sua sustentação de si próprio, só é possível graças à teoria não-linear da gravitação que permite a existência de um *estágio do vazio* nos diferentes modelos cósmicos.

Esse estágio criaria então condições para a presença posterior da matéria.

Voltemos nossa atenção agora para uma outra linha de investigação capaz de gerar uma possível teoria unificada da matéria, que não faz apelo à introdução de uma hierarquia ontológica dependente da totalidade de nosso Universo.

A origem dessa nova orientação vamos encontrá-la no começo do século, na sugestão de unificação do eletromagnetismo e da gravitação por H. Weyl.

A proposta de Weyl sugere a modificação da conexão métrica utilizada por Einstein para descrever a gravitação, por uma conexão afim na qual o campo eletromagnético apareceria no tensor associado à conexão que a distingue dos símbolos de Christoffel.

Weyl conseguiu mostrar que a presença de um campo vetorial na conexão afim gera, de modo natural, uma simetria maior não contida no

espaço de Riemann (*strictu sensu*) cujas características podem ser colocadas em correspondência direta com a simetria de gauge do eletromagnetismo.

Esta invariância de gauge gera um grupo abeliano associado às transformações que atuam sobre o campo vetorial.

Quarenta anos após os trabalhos primeiros de Weyl a teoria foi generalizada para grupos não-abelianos, e para campos de gauge mais complexos, satisfazendo não mais teorias lineares (como o eletromagnetismo) mas sim equações envolvendo funções não-lineares dos campos associados aos geradores dos grupos.

Consequência direta desta generalização, herdou-se a ambição de não somente unificar os campos clássicos mas também os campos que aparecem nas interações (fraca e forte) de curto alcance.

Um progresso digno de ser mencionado foi conseguido no modelo de teoria de gauge responsável pela unificação do eletromagnetismo com a interação fraca.

Entretanto, torna-se difícil entender como uma tal teoria poderia conter a gravitação, que determina a estrutura do espaço-tempo, sem empreender uma profunda revisão dos próprios conceitos de espaço e de tempo.

Uma tal revisão começa a se fazer necessária, como consequência de críticas e idéias surgidas em diferentes áreas. Entre estas, poderíamos enumerar:

- (i) A análise do campo gravitacional nas regiões singulares
- (ii) A estrutura das partículas dita elementares e suas interações.
- (iii) A possibilidade de espaço-tempo ser tratado como uma entidade discreta e não contínua.

A evolução das modernas tentativas de unificação das interações provocou mudanças significativas nas atitudes dos físicos com relação ao problema cosmológico.

Consideremos por exemplo a questão da constante cosmológica  $\Lambda$  introduzida por Einstein como uma correção às suas equações primeiras da gravitação. Einstein foi levado à esta complementação de suas equações movido pela necessidade de construir um modelo de universo finito. Esta restrição adicional sobre o universo pareceu a ele indispensável porquanto ela permitia compatibilizar o modelo físico com idéias pré-científicas e religiosas sobre a estrutura do Cosmos. Posteriormente, com a descoberta da expansão do Universo e a demonstração do alto grau de instabilidade do modelo cósmico de Einstein, a constante  $\Lambda$  foi pouco a pouco sendo abandonada e passou a desempenhar papel cada vez menos importante junto à comunidade dos cosmólogos. Não deixa de ser interessante, no entanto, notar que após quase trinta anos de ostracismo, a constante  $\Lambda$  parece estar no limiar de constituir novamente elemento importante na investigação do Universo.

Isso está relacionado ao fato de que, através de métodos modernos utilizados na tentativa de unificação dos campos, a constante  $\Lambda$  reaparece já agora não mais associada às razões primárias de Einstein, mas sim por questões ligadas às origens do próprio conceito de massa.

Com efeito, nos últimos anos evidenciou-se que o processo de introduzir massa em uma teoria de campo renormalizável, fazendo uso do chamado mecanismo de Higgs é sensivelmente superior a métodos tradicionais tais como postular ab initio uma massa física para cada partícula. Tal mecanismo está relacionado à existência de quebra espontânea de simetria. Seja  $\phi$  um campo escalar, cuja dinâmica é descrita por uma função Lagrangiana  $L$ .

Vamos admitir que  $L$  possui uma simetria  $S$ . Isso significa que, se o campo  $\phi$  sofre uma transformação  $\phi \rightarrow \phi + \delta\phi$  a Lagrangiana permanece inalterada. Pode ocorrer o caso em que existam soluções  $\phi_0$  que satisfaçam a dinâmica gerada por  $L$ , mas que não possuem aquela simetria. Dizemos que a simetria  $S$  é quebrada pelo estado  $\phi_0$ .

Na linguagem da teoria quântica, isso implica que o valor esperado no vácuo do campo  $\phi$  não se anula:  $\langle 0 | \phi | 0 \rangle = \sigma \neq 0$  ( $\sigma$  é uma constante).

Construímos a partir de  $\phi$  um novo campo  $\Phi$  tal que  $\phi = \Phi + \sigma$ , onde o valor esperado no vácuo do campo  $\Phi$  é zero.

Consideremos agora um tal processo, em um espaço-tempo curvo, isto é quando o campo  $\phi$  interage com a gravitação. A Lagrangiana desse sistema se escreve

$$L = \sqrt{-g} \left[ \partial_\mu \phi \partial_\nu \phi g^{\mu\nu} + \mu^2 \phi^2 + \lambda \phi^4 + \frac{1}{K} R \right]$$

onde  $\lambda$  é uma constante associada à auto-interação de  $\phi$ .

O processo de quebra espontânea de simetria de  $\phi$  gera na Lagrangiana um termo dado por

$$L_{(1)} = \sqrt{-g} \mu^2 \sigma^2 = - \sqrt{-g} \frac{\mu^4}{\lambda}$$

(onde  $\mu^2 < 0$  permite a existência de  $\sigma \neq 0$ )

Este termo é assim, responsável pelo aparecimento de um fator cosmológico nas equações de Einstein de gravitação. Com efeito, temos

$$R^\mu{}_\nu - \frac{1}{2} R \delta^\mu{}_\nu + \Lambda \delta^\mu{}_\nu = - K T^\mu{}_\nu$$

onde  $\Lambda \sim \mu^4/\lambda$ .

Assim, embora as equações originais da gravitação, possam prescindir do termo  $\Lambda$ , processos físicos associados ao comportamento do campo em seu vácuo quântico, poderiam gerar o Fator cosmológico.

As longas discussões às quais os físicos se entregam durante certo tempo a propósito da existência da constante cosmológica, parecem hoje desprovidas de significado ao descobrirmos que o fator  $\Lambda$  pode estar intimamente associado a processos físicos não-gravitacionais que, possivelmente, não possuem direta dependência do universo como um todo.

Vamos agora examinar um outro aspecto que decorre igualmente da interação de campos (escalares, vetoriais, etc.) com a gravitação.

Consideremos dois campos escalares  $\phi$  e  $\chi$  onde  $\phi$  não tem mas-

sa e a massa de  $\chi$  vale  $m$ , acoplados não-minimalmente com a gravitação e descritos pela Lagrangiana:

$$L = \sqrt{-g} \left\{ \partial_\mu \phi \partial_\nu \phi g^{\mu\nu} - \frac{1}{6} R \phi^2 + \partial_\mu \chi \partial_\nu \chi g^{\mu\nu} - m^2 \chi^2 - \frac{1}{6} R \chi^2 + \frac{1}{K} R \right\}$$

A escolha do fator  $\frac{1}{6}$  no acoplamento de  $\phi$  e  $\chi$  com o escalar de curvatura  $R$  está relacionado à invariância conforme da teoria no limite  $m \rightarrow 0$ .

Um cálculo direto permite obter as equações de movimento de  $\phi$  e  $\chi$ :

$$\square \phi + \frac{K}{6} m^2 \chi^2 \phi = 0$$

$$\square \chi + m^2 \chi + \frac{Km^2}{6} \chi^3 = 0$$

À primeira vista, pareceria que alguma coisa está errada nessas equações, porquanto elas parecem violar o princípio de ação e reação. Com efeito, na equação do movimento de  $\phi$  vemos aparecer um termo que depende de  $\chi$  gerando dessa forma uma ação do campo  $\chi$  sobre o campo  $\phi$ . No entanto, na equação do campo  $\chi$  o campo  $\phi$  está ausente. Isso pareceria implicar numa situação em que  $\chi$  atua em  $\phi$  mas  $\phi$  não atua em  $\chi$ .

Embora o resultado do acoplamento não mínimo gere com efeito essa assimetria, a ação de  $\phi$  sobre  $\chi$  está implícita no termo de derivada do espaço curvo, isto é,  $\square$  que contém o efeito gravitacional dos campos  $\phi$  e  $\chi$ .

Entretanto, como localmente é possível reduzir o operador  $\square$  à sua expressão Minkowskiana, vemos que existe uma violação local do princípio de ação e reação, embora tal violação não possa ser estendida globalmente (pois os efeitos gravitacionais contidos em  $\square$  não podem ser desprezados globalmente).

Muito além desses simples exemplos, no entanto, a possibilidade de unificação das teorias fundamentais é, sob o ponto de vista cosmológico, uma esperança importante para possibilitar a construção de um quadro completo e coerente do universo.

A variação das constantes fundamentais (tais como a constante de Newton, ou a relação entre a parte axial e a parte vetorial na corrente fraca, por exemplo) sugerem a possibilidade de tratar as interações da física como uma só interação capaz de gerar através de processos ocorridos ao longo da história do Universo as distintas formas pelas quais aquela interação básica é experimentada por nós. Dentro desse esquema, a gravitação não poderia, isoladamente, construir um modelo cosmológico independente das demais interações, porquanto existiriam regiões em que os processos unificados se interligariam de tal modo a tornar indispensável a utilização do esquema unificado na elaboração da teoria.

Assim, a cosmologia é levada a romper o isolamento a que ficou entregue pelo resto da comunidade dos físicos, ao longo de quase toda sua história recente.

## 6. ALÉM DO HORIZONTE OBSERVÁVEL

Um dos dogmas sobre os quais repousam nossos conhecimentos em Física moderna consiste na aceitação do postulado da inexistência de propagação de informação (sob qualquer forma de processos energéticos) com velocidade superior à da luz.

Desse modo, em cada ponto do espaço-tempo define-se um cone de luz que separa o mundo, para um observador, em duas partes: uma observável (em princípio) e outra inobservável.

A aplicação dessa divisão do mundo para um observador com o fluido galáctico no modelo de Universo usual, isto é, de Friedmann, provoca o aparecimento de uma situação que, como veremos, pode se revelar extremamente crítica.

Seja  $\gamma$  a linha de Universo de um observador fundamental e seja  $\Sigma$  a representação, conformalmente deformada, do passado remoto  $t \rightarrow -\infty$  do cosmos de Friedmann. A figura 4 mostra a situação provocada pela existência de uma velocidade máxima de propagação neste Universo.

O observador  $\Gamma$  em  $P$  só é capaz de ser informado (e de ter

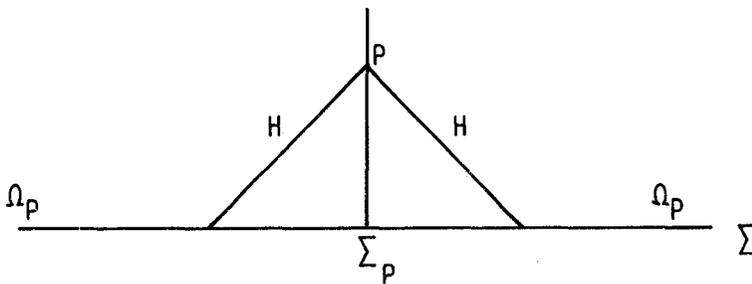


Fig.4 - Horizonte para o observador  $\gamma$  no ponto  $P$  de sua trajetória.

sido informado) sobre uma região finita  $C_p$  de  $C$ , limitada pela interação do cone de luz  $H$  com  $C$ . Chamamos  $C_p$  de região observável de  $\Sigma$  pelo observador em  $P$ . O que se estende para além de  $C_p$ , a região  $\Omega_p$ , é inobservável por  $\gamma$  em  $P$ .

Dessa forma, um observador que, como nós, se propõe a descrever o Universo possui uma limitação irremovível em seu poder de observação. Independentemente da perfeição de sua técnica ele poderá, a cada momento  $P$ , observar no máximo uma região limitada  $C_p$  do Universo.

Ultrapassar essa barreira, dentro do quadro de nossa ciência, só seria possível mediante uma hipótese de trabalho que permitisse extrapolar o comportamento do Cosmos para além do horizonte observável.

Uma tal extrapolação poderia ser de 2 formas:

- (i) limitada
- (ii) completa

Ela será limitada, se constituir somente um conjunto de condições de tal modo a não permitir fenômenos catastróficos nas vizinhanças do horizonte.

Essas condições garantiriam que para o observador  $P$  as regiões próximas de seu horizonte não estão no limiar de ocorrências singulares. Isto é, grandes instabilidades não estariam se acumulando no horizonte.

A extrapolação será dita completa se ela consistir não somente em restrições às condições vizinhas ao horizonte, mas sim em hipó-

teses sobre as regiões que se estendem ilimitadamente para além do horizonte.

A comunidade dos Cosmólogos parece atualmente aceitar a aplicação do principio de Copérnico para elaborar uma extrapolação completa dos Cosmos.

Tal idéia, apresentada já em seção anterior, consiste em aceitar que o homem não ocupa necessariamente posição atípica no Cosmos. Ao contrário, em qualquer região de nossa vizinhança ocorreriam fenômenos comuns a todo Universo, provocando dessa forma a partir de nosso conhecimento local, uma visão aproximada do que estaria ocorrendo naquelas regiões inobserváveis.

Por mais aceitável que um tal principio possa nos parecer, seu verdadeiro fundamento consiste em um ato de fé.

Não se trata daquela "fé animal" que nos assegura a estabilidade e a continuidade (mais ou menos harmônica) de nossas sensações; que nos permite comportar em nossa sociedade de forma integrada (o mais das vezes) e que nos livra do pesadelo de re-inventar o mundo a cada instante.

Trata-se, em verdade, da fé racional, obtida através da análise continuada de sequências de fenômenos semelhantes e da certeza de nossa apreensão da realidade pelo nosso domínio da natureza. Isto é, a partir da veracidade de nossa ciência, permitimo-nos utilizar o mecanismo de extrapolação como legitimo, na busca de novos conhecimentos que dizem respeito a eventos ainda não observados e no momento atual impossível de serem observados, independentemente do grau de perfeição de nossa técnica.

É talvez importante notar que não estou contrapondo esses dois conceitos de fé, nem lhes concedendo uma hierarquia. Estou somente chamando a atenção para a distinção que entre eles existem e que possui consequências tais como conceder-lhe distintos status em nossa comunidade.

Poderia parecer a alguém, que essa discussão acima não possui relevância na análise de nossas teorias e que em nossa prática de ci-

entista, não precisaríamos optar por nenhum modelo que ambicionasse uma extrapolação para além de nosso horizonte. Infelizmente, a situação não depende de nossa vontade, mas é uma consequência direta de aplicação de nossa ciência.

Consideremos como exemplo a questão da formação de galáxias.

Embora em larga escala (de ordem de  $10^8$  anos-luz) o Universo possa ser tratado como uma estrutura homogênea, a experiência de cada um de nós nos assegura a existência de inomogeneidades quase hierarquizadas (estrelas galáxias, aglomerado de galáxias). Distintos autores procuraram explicar a origem dessas inomogeneidades, a partir de mecanismos de perturbação acoplada do conteúdo material e da geometria do espaço-tempo.

A idéia central consiste em aceitar que comprimentos de ondas de pequenas perturbações possam evoluir diferentemente em um Universo em expansão, o que provocaria inibição de certas frequências e amplificação de outras, de tal modo a resultar nos espectros de inomogeneidades observados. Infelizmente, o tempo decorrido desde os primórdios do Cosmos, medido pelo inverso do valor da constante de Hubble, associado ao fato de que tais perturbações crescem muito lentamente em um Universo em expansão do tipo Friedmann, tornam difícil reproduzir as inomogeneidades observadas, se admitimos (numa generalização natural do princípio de Copérnico) igual probabilidades para distintos comprimentos de onda da perturbação inicial.

Por outro lado, se a compreensão do mecanismo de formação de galáxias depender da seleção do espectro inicial de perturbação, isso significaria que vivemos em um Universo de desagradável configuração.

Com efeito, isso nos conduziria à incômoda situação na qual Deus teria formado o Cosmos colocando um obstáculo intransponível para um observador que como nós procura compreender as propriedades do Universo, tais como a disposição assimétrica da concentração de matéria.

Assim, embora alguns pudessem questionar a hipótese Eins-

teniana de que "Deus não joga dados", para o Cosmólogo tornar-se imprescindível aceitar que "Deus não esconde as informações iniciais do Cosmos."

Isso significaria que uma das duas asserções é verdadeira:

- (i) ou a compreensão do Cosmos não depende explicitamente de suas condições iniciais;
- (ii) ou podemos ter acesso às informações sobre configurações iniciais do Cosmos.

Negar ambas expressões é abandonar a fé em nossa ciência, ou limitar seu poder (o que, afinal, é a mesma coisa).

Hipóteses sobre o comportamento das perturbações e sua estabilidade nas vizinhanças do horizonte bem como para além dele, constitui um exemplo de investigação de configurações não diretamente observáveis.

Estamos preparados, na ciência oficial, para rejeitar aqueles modelos extremamente dependentes de condições especiais (isto é, não usuais) sobre o horizonte. Esperamos que uma boa teoria possa abdicar de hipóteses esdrúxulas (para o bom-senso científico vigente), e dessa forma procuramos construir teorias cujo espectro de situações especiais seja bastante pequeno.

isso é realizado, o mais das vezes, quando procuramos elaborar modelos de comportamento para além do horizonte observável.

Uma visão diametralmente oposta, no entanto, pode, sob certas condições, ter uma boa aceitação pela comunidade científica, como veremos na seção seguinte, ao examinarmos a proposta que veio a ser conhecida como princípio do Caos Cósmico.

## 7. CAOS CÓSMICO

A ideologia não é somente o suporte principal da teoria científica: ela se constitui em verdadeira fonte geradora da própria argumentação científica.

Na base de um projeto específico em qualquer ciência encontram-se certos princípios básicos aceitos *a priori* e que não são submetidos a uma análise experimental acurada, e o mais das vezes, nem mesmo a uma crítica teórica eficiente.

Alçada ao nível axiomático, a teoria se desenvolve, e se obtém sucesso em seus empreendimentos, a crítica de seus fundamentos se torna cada vez menos necessária. Não é nosso objetivo aqui analisar as razões sociais e psicológicas geradoras desse mecanismo, mas tão somente chamar a atenção para a sua existência.

A Cosmologia moderna, claro está, não é livre desse processo. Um exemplo bastante evidente dessa situação, encontramos na proposta feita por Hoyle, sobre o comportamento do Cosmos nas regiões vizinhas à possível singularidade inicial, proposta esta que ficou conhecida como princípio do Caos Cósmico.

A origem desse princípio está vinculada à atitude de cosmólogos e astrofísicos em relação ao modelo de Friedmann. A grande maioria dessa comunidade considera o modelo de Friedmann como aquele que melhor parece representar o Universo em sua fase atual. Entretanto, nenhum cosmólogo acredita seriamente que este modelo possa ser extrapolado *ilimitadamente* ao passado remoto. Duas são as principais objeções levantadas:

- (i) A existência neste modelo de singularidade global, em um tempo finito em nosso passado.
- (ii) A existência de horizontes nesta métrica.

A primeira, tornaria impossível a compreensão do modelo além de um certo tempo; e a segunda é extremamente difícil de ser conciliada com o alto grau de isotropia observado no Universo.

Estas dificuldades com o modelo de Friedmann, acrescidas às considerações vistas na seção anterior quanto ao mecanismo de formação de galáxias, conduziram à investigação de condições iniciais arbitrárias para o nosso Universo, com propósito de tornar desnecessária qualquer caracterização específica inicial.

A idéia do Caos Cósmico pretende justamente postular a existência de um estágio anterior à fase atual de Friedmann na qual o Universo teria passado por uma fase altamente anisotrópica. Estas anisotropias, teriam sido dissipadas por processos viscosos, devido principalmente a neutrinos (sugestão de Misner) ou a processos quânticos associados à criação de matéria por campo gravitacional não estacionário (sugestão de Zeldovich).

Misner foi levado a considerar a hipótese segundo a qual o Universo atual é uma consequência inevitável da existência daqueles processos viscosos.

Qualquer configuração inicial passaria inevitavelmente por uma fase semelhante à que vivemos. Embora a sugestão original tenha se limitado à discussão da questão anisotrópica, a extensão do princípio do Caos Cósmico a uma forma mais ampla, é o passo seguinte. Assim, postulou-se que as condições Iniciais do Universo devem ser consideradas totalmente arbitrárias, não somente em suas propriedades anisotrópicas, mais sim em relação a todas as suas propriedades.

Isso levaria à imagem de uma série infinita de Universos possíveis, descritos pela combinação de todas as eventuais configurações globais.

Estes Universos teriam desembocado no nosso Cosmos, através de processos físicos bem definidos e cuja expressão é nossa tarefa descobrir.

Embora a proposta dos Caos Cósmico em sua forma generalizada possui um atrativo interessante, qual seja, o de eliminar ab initio a questão das condições iniciais especiais, ela provoca uma série de críticas, das quais a mais grave parece ser aquela referente ao abandono da descrição unívoca do nosso Universo.

Há no entanto uma saída interessante dessa dificuldade, sugerida por Lifshitz, Belinski e Khalatnikov. A questão é por demais técnica para ser integralmente exposta e conseqüentemente apreciada aqui, mas iremos apresentar as linhas gerais de sua argumentação em pequeno resumo.

O ponto de partida vamos encontrá-lo na existência de uma geometria, representando um cosmos em expansão, que possui três eixos de anisotropia. As propriedades métricas deste Universo não são as mesmas segundo diferentes direções espaciais. Tal geometria, apresentada por Kasner em 1921, é solução das equações de Einstein para o vazio, isto é, não existe energia não-gravitacional responsável pela curvatura do espaço-tempo. A gravitação se sustenta a si própria. Isso, claro está, só é possível graças ao caráter não-linear das equações da gravitação.

O argumento principal daqueles cientistas russos consiste em mostrar que é possível passar de uma geometria tipo Kasner, com eixos de anisotropia caracterizada por três direções principais  $\vec{x}_1, \vec{m}_1, \vec{n}_1$ , para outras três direções  $\vec{x}_2, \vec{m}_2, \vec{n}_2$ . Particularmente notável é o fato de que esta alteração possa ocorrer de modo estocástico.

Isto é, diferentes regiões do Universo podem ser varridas, pelos eixos de anisotropia, ao longo de sua história.

Assim, uma fase de Kasner (caracterizada por um trio de vetores  $\vec{R}, \vec{n}, \vec{m}$ ) sucede a outra fase de Kasner (com outras direções principais de anisotropia), e assim sucessivamente.

A alternância das eras de Kasner poderia constituir uma realização factível do programa do caos cósmico, se pudessemos elaborar um mecanismo pelo qual o Universo poderia passar de uma fase para outra.

O grande mérito de Lifshitz et al., consistiu em mostrar como tal alternância das eras de Kasner pode ser efetivada e consequentemente viabilizar o projeto do estágio caótico inicial.

Neste quadro, cada época definiria um tempo global próprio, uma duração individual, cuja conexão com a duração seguinte se faria dentro de uma re-parametrização sucessiva, que não consistiria em uma sequência continuada de uma fase para outra. Como se o tempo transcorrido em uma fase não se prolongasse na fase seguinte, mas sim retornasse após a sequência completa de uma fase, a uma etapa inicial. Isso é possível graças à parametrização do tempo, nas sucessivas eras.

## 8. TOTALIDADES, O INFINITO E O COSMOS

Na investigação das propriedades globais do Cosmos, encontramos-nos frequentemente em face à questão do infinito.

Em verdade, o infinito faz sua aparição com bastante frequência na física, caracterizando situações a serem ultrapassadas e possibilitando quase sempre um aprofundamento teórico do problema estudado.

Infelizmente, o horror que o conceito de infinito transmite aos cientistas em geral, e aos físicos em particular, tem se constituído em grande obstáculo à uma análise mais profunda do seu papel nos modelos teóricos utilizados na ciência. Raras são as teorias físicas que possibilitam coexistência pacífica com o infinito. Há quem veja nisto uma manifestação típica da natureza, através das propriedades observadas do real. Outros preferem atribuir tais dificuldades ao tipo de estruturas componentes do homem. Não me parece haver contradição entre essas duas posições.

De um modo ingênuo podemos dizer que o termo infinito pretende denotar aquilo que é extremamente grande (ou pequeno) de tal modo a se tornar inacessível. Essa propriedade de inacessibilidade é, com efeito, sua principal característica.

A formulação e precisão deste conceito vamos encontrá-la na matemática.

Consideremos, por exemplo, a coleção dos números naturais. O princípio Arquimediano de ordem estabelece que dado um número qualquer  $m$  pertencente ao conjunto  $N$  dos naturais, existe um outro número  $q$  pertencente a  $N$  e tal que  $q$  é maior do que  $m$ . Chega-se ao conceito de infinito por um processo limite: o infinito ( $\infty$ ) é tal que qualquer número  $n$  pertencente a  $N$  é menor que  $\infty$ . Assim, concluímos de um modo simplista, que o infinito não pertence propriamente ao conjunto  $N$ .

A aplicação desse conceito ao mundo real contém a propriedade de inacessibilidade pretendida.

A moderna teoria dos conjuntos, malgrado algumas dificuldades

dades de princípio, produziu uma caracterização e extensão de conceito de infinito mais precisa que aquela simples apresentada acima.

Começamos por introduzir a idéia de conjuntos equipotentes. Dizemos que dois conjuntos tem mesma equivalência (ou são equipotentes) se é possível estabelecer uma correspondência biunívoca entre os conjuntos, e nenhum elemento de qualquer dos dois conjuntos é deixado de fora dessa operação. Se os conjuntos são finitos, diremos que eles possuem o mesmo número (digamos  $n$ ) de elementos. Um conjunto infinito se define como sendo aquele capaz de ser colocado em correspondência biunívoca com parte de si próprio. É fácil imaginar tal operação, comparando, por exemplo, os números inteiros com o sub-conjunto dos números pares.

Assim, é possível estender a noção de infinito e considerarmos conjuntos infinitos distintos, de potências diferentes. É possível até mesmo comparar conjuntos infinitos e introduzir, utilizando o mecanismo de correspondência biunívoca entre seus elementos, a noção de infinitos maiores. Chamemos  $A_\alpha$  e  $B_\beta$  dois conjuntos infinitos. Dizemos que  $A_\alpha$  é menor que  $B_\beta$  se é possível estabelecer uma correspondência biunívoca entre  $A_\alpha$  e parte de  $B_\beta$ , mas não com todo  $B_\beta$ . Isto é, sobra elementos de  $B_\beta$  naquela correspondência.

A imaginação de G. Cantor, levou-o a criar uma aritmética para seqüências de números infinitos, que caracterizam as diferentes coleções infinitas não-equivalentes  $A_\alpha, B_\beta, C_\gamma, \dots$

Ele criou assim uma aritmética transfinita (com coleções infinitas), com operações de adição etc.. sobre os números transfinitos  $A_\alpha, B_\beta, C_\gamma, \dots$  satisfazendo certas propriedades especiais, típicas da nova característica desses elementos.

Consideremos, por exemplo, a seqüência de transfinitos  $A_\alpha < B_\beta < C_\gamma$ .

Podemos construir a operação de adição que permite pensar um estrutura de espaço linear sobre os transfinitos.

Uma situação particularmente interessante ocorre quando definimos a operação produto interno gerando uma estrutura algébrica, go-

zando, entre outras das propriedades :

$$A_{\alpha} \cdot A_{\alpha} = A_{\alpha}$$

$$A_{\alpha} \cdot B_{\beta} = B_{\beta}$$

$$B_{\beta} \cdot B_{\beta} = B_{\beta}$$

$$B_{\beta} \cdot C_{\gamma} = C_{\gamma}$$

Vemos que os elementos  $A_{\alpha}, B_{\beta}, C_{\gamma} \dots$  possuem uma estrutura formal análoga a uma sequência de operadores de projeção consecutivos, isto é, em sub-espaco ordenados. A especificidade do caráter transfinito desses elementos ocorre quando estendemos a operação produto um número infinito de vezes.

Teremos, por exemplo,

$$(A_{\alpha}) = B_{\beta}$$

$$(B_{\beta})^{A_{\alpha}} = B_{\beta}$$

$$(B_{\beta})^{B_{\beta}} = C_{\gamma}$$

Essa propriedade, que Cantor estabelecer para um par de transfinitos elementares, e que poderia constituir teorema a ser demonstrado, será admitida aqui como a definição de uma estrutura algébrica nova, que chamaremos de álgebra transfinita, gerada pela sucessão ordenada dos transfinitos  $A_{\alpha}, B_{\beta}, C_{\gamma}, \dots$ .

A estrutura algébrica, assim estabelecida, permite caracterizar distintos níveis de infinitos, numa sucessão de globalização abrangente, na qual cada nível estaria contido no nível posterior e conteria uma sequência de níveis anteriores.

Uma tal elaboração permite o acesso formal necessário a sugerir para o real, uma hierarquia de acontecimentos em ressonância com a imagem do mundo oferecido pelas investigações do micro-cosmo, que apresenta uma sequência aparentemente inesgotável de estruturas elementares constituintes da matéria, e do macrocosmo, a colocar em questão antigas e sólidas certezas, como a própria unicidade do Cosmos.

A seqüência dos transfinitos naquela álgebra estendida aquêm do elemento  $A_\alpha$  e além  $C_\gamma$ , apresenta dessa forma uma técnica de análise da questão do infinito, capaz de gerar uma nova atitude provocando uma modificação em nossa imagem do Cosmos.

O Universo, até aqui entendido como a totalidade globalizante perde esta sua condição peculiar e se constitui numa totalidade envolvente e envolvida.

Deixaremos para desenvolver esse modelo de alteração do Cosmos em outro lugar.

Iremos agora precisar o conceito de Totalidade, que utilizamos com frequência nesta monografia.

A idéia de Totalidade, particularmente relevante no pensamento moderno, admite três interpretações formais que consistem, em verdade, em três atitudes filosóficas distintas. Segundo a visão atomista, uma Totalidade nada mais é do que o conjunto de suas partes, a união aditiva das propriedades das unidades que a compõe. São as partes, os seus constituintes, que concedem ao todo sua realidade, lhes dão existência e significância. O fundamento das Totalidades são seus constituintes, seus átomos, seus quanta, suas mônadas. Na filosofia Totalitária, o conceito fundamental é o Todo, identificado como uma entidade anterior à própria existência de suas partes. Estas, só adquirem realidade sustentada e mantida continuamente através e pela Totalidade primordial. O fator essencial assim é o sistema, o campo, alçado à categoria de absoluto.

Finalmente a visão Totalizante pretende ser a síntese das posições anteriores. As Totalidades (o Universo, a Sociedade, ...) e suas partes (galáxias, átomos, homem, ...) refletem suas realidades e se sustentam mutuamente, através de mecanismos de interdependência.

Contrariamente à posição estática das visões anteriores, esta constitui um sistema mantido em permanente compromisso entre categorias globais e individuais. Desse compromisso nasce a historicidade do processo de totalização que, assim, é mutável e realizado integralmente na atividade humana.

Distintos cientistas aderem explícita ou implicitamente a uma dessas visões, na prática de seus estudos.

Dessa adesão surgem normas que norteiam suas pesquisas ou a interpretação delas (1). Assim, o estudo de totalidades como ocorre na ciência, deve ser acompanhado de uma análise crítica de seu substrato filosófico.

Tal análise, longe de ser uma atividade diletante e subalterna, deveria aparecer paralelamente à atividade de pesquisa científica. De outro modo estaríamos seguindo cegamente a imagem imposta, o mais das vezes incoscientemente, por algum senhor feudal das ciências, inibindo dessa forma o poder de nossa investigação.

## REFERENCIAS

1. P.A.M. Dirac, Proc. Roy. Soc. A 165, 199 (1938).
2. V.M. Canuto, Ap. J. 224, 302 (1978).
3. M. Novello, P. Rotelli, J. Phys. A. 2488 (1972).
4. M. Novello, M. Rebouças, Phys. Rev. D June (1979).
5. L. Goldman, *Origem da Diáletica (A comunidade humana e o Universo em Kant)* - (ed. Paz e Terra 1967).
6. P.H. Michel, *The Cosmology of Giordano Bruno* (ed. Hermann, 1973).
7. G. Cantor, *Contributions to the founding of the theory of transfinite numbers* (1915).

---

(1) É fácil perceber exemplos dessas atitudes junto a físicos de partículas, (visão atomista) e em alguns físicos relativistas (a visão totalitária na predominância da estrutura espaço-tempo). A visão Totalizante, possui adeptos tanto num domínio quanto noutro,