

COLABORADORES

CARLO BORCHI

Físico, diretor do Centro de Energia Nuclear da UFPe. Sacerdote católico, representou a Santa Sé na I Conferência Internacional de Energia Atômica, em Genebra.

GILBERTO OSÓRIO DE ANDRADE

Geógrafo, diretor do Instituto de Geociências da UFPe. Autor de numerosos estudos sobre temas de sua especialidade.

CLÁUDIO SOUTO

Sociólogo, pesquisador de Sociologia Jurídica da UFPe. Doutor em Ciências Jurídicas e Sociais, autor de livros sobre Direito e Sociologia.

PINTO FERREIRA

Sociólogo, escritor, catedrático de Sociologia e Direito Constitucional da Universidade Federal de Pernambuco.

AMAURY COUTINHO

Biólogo, catedrático de Clínica Médica da Universidade Federal de Pernambuco.

LUIZ DELGADO

Crítico de idéias, poeta, professor catedrático da Universidade Federal de Pernambuco, autor dos livros *Mundo guardado e Via Sacra* (poesia), *Motivos Universitários* e *Experiência brasileira e lição portuguesa*.

CÉSAR LEAL

Crítico de poesia, autor dos livros de poemas *Invenções da noite menor*, *Romance do Pantaju* e *Triunfo das águas*. Professor de Teoria da Literatura da UFPe. Secretário desta revista. Diretor do Suplemento Literário do "Diário de Pernambuco".

JOSÉ BRASILEIRO VILANOVA

Filólogo, vice-diretor do Instituto de Letras e catedrático de Língua Portuguesa da UFPe. autor de livros didáticos e de um estudo estilístico sobre *Menino de Engenho*, de José Lins do Rêgo.

LEÔNIDAS CÂMARA

Crítico literário, professor de *Estética* e de *Teoria da Literatura* da Universidade Católica de Pernambuco.

ORLANDO GOMES

Diretor da Faculdade de Direito da Universidade Federal da Bahia, catedrático de Direito Civil da mesma Universidade, autor do anteprojeto do novo Código Civil.

MARIA DO CARMO BARRETO CAMPELLO DE MELLO

Graduada em Letras, redatora da SUDENE, tem colaborado frequentemente nos suplementos literários do Recife e em revistas de cultura.

AS VEREDAS DA MODERNA COSMOLOGIA

CARLO BORCHI

I — *Um Problema Antigo*

Não sei quantos tipos de Titãs ou de Grandes Tartarugas, ou coisas dêste jeito, foram inventadas pela imaginação dos primitivos para responder à pergunta: Onde está o Universo? E a mesma pergunta, com desconfortável perseverança, é sempre a conclusão de cada tentativa para explicar a idéia einsteineana de Universo "ilimitado mas finito". O fato é que aquela pergunta não tem sentido nenhum, sendo ela o que Carnap diria um falso problema, para o qual não existe solução porque é o problema que não existe, dependendo da definição do que se entende por "Universo".

Podemos começar analisando uma definição do Universo que é muito antiga, mas em tempos recentes foi renovada pelo astrofísico inglês F. Hoyle. (V. por ex. F. Hoyle, *Frontiers in Astronomy*, Signet Science Lib., N. Y. 1955, p. 270). Segundo ela o "Universo é o conjunto de tudo o que existe". À primeira vista, essa parece ser uma definição simples e óbvia, mas analisando-a vê-se que ela é uma definição ilusória.

Com efeito, a expressão "tudo o que existe" deve ser substituída por "tudo o que é observável", a menos que se façam postulados metafísicos que introduziriam um sem fim daqueles problemas insolúveis que são os problemas gnoseológicos. (Sobre o conceito de "observável" veja por ex. do autor, nesta mesma revista "Estudos Universitários, vol. 6 n.º 1, p. 109-114). Então, se o Universo é o "conjunto de todas as coisas observáveis", é logo necessário evidenciar de maneira explícita que essas coisas observáveis não compreendem aquelas que

poderiam ser observáveis mas não o são, mesmo sem ser absurdas, quer dizer as coisas “possíveis”. Sòmente a experiência determina quais das coisas possíveis são observáveis e quais não. E o fato de ser possível e observável faz com que algo de possível seja *existente*. É claro que a experiência só constata a “existência” mas não a cria; pelo menos, eu não tenho experiência de saber criar a existência de coisa nenhuma (a não ser no plano mental e emocional).

Portanto o conjunto de tôdas as coisas de fato observáveis no que chamamos de Universo, não é “o Universo” mas sim “êste Universo”. Desta maneira a referida definição rezaria: “O Universo é o conjunto de tôdas as coisas de fato observáveis dêste Universo” e esta é uma tautologia, quer dizer uma definição ilusória, como já foi dito antes.

O Universo é sim uma totalidade, mas uma *totalidade condicionada* (para não usar a expressão talvez contraditória de “totalidade limitada”). Quer dizer que êle é um conjunto completo e fechado de tôdas as coisas observáveis que satisfazem a um certo número de condições ou regras discriminantes que permitem de dizer que aquelas coisas pertencem a *êste* Universo.

A necessidade dessas *regras discriminantes* aparece pelo fato de nós “conhecermos” muitas coisas que não são “observáveis”, embora não sejam absurdas. Por ex.: os Grupos Abstratos. Portanto se quisermos construir uma Cosmologia, quer dizer uma teoria coerente do “Universo”, será necessário começar com uma formulação não contraditória e não tautológica daquelas “regras discriminantes” que caracterizam “êste” Universo entre todos os Universos possíveis.

Uma vez determinadas essas regras, a Cosmologia deverá incluir uma “estrutura” do Universo tal que implique uma resposta ao problema “onde está o Universo?”, e possivelmente uma resposta que não seja uma mitologia, como: o Universo está nos ombros do Titã. O Titã pousa sôbre a Grande Tartaruga e se você quizer saber onde fica a Grande Tartaruga, então será jogado na fogueira, e pronto.

Outros problemas, especialmente os de caráter teleológico, não serão necessariamente objeto de Cosmologia, embora que interessem, dramaticamente, ao Homem.

II — *Matéria e Universo*

Definimos como *matéria* tudo e sòmente aquilo cujas ações são observáveis no tempo e no espaço e são subordinadas às leis da termodinâmica.

Sabe-se que a matéria assim definida descreve uma gigantesca série de observáveis, racionalizando as relações entre êles por meio de leis que são relações matemáticas entre um limitado número de *invariantes* (massa, energia, carga elétrica, quantidade de movimento e momento angular). Êste é um caso daquelas “regras discriminantes” nas quais falamos antes, pois nem todos os objetos de conhecimento entram neste esquema, por exemplo, os Grupos Abstratos já mencionados, ou os poemas de Omar Khayyam. Podemos acrescentar que as leis da matéria formam um *grupo*, porque um conjunto qualquer de objetos materiais (isto é, espaço-tempo-termodinâmicos) qualquer que seja a complexidade do conjunto em pauta, constitui sempre um objeto material (ou espaço-tempo-termodinâmico). E também êste caráter grupal das leis da matéria pertence àquelas regras discriminantes já ditas.

Tendo assim definido a matéria em termos observáveis, logo a experiência nos mostra que o Universo não compreende tôda a matéria possível e que a matéria não é suficiente para descrever tôdas as nossas experiências.

A primeira dessas observações é expressada dizendo que *êste é um dos Universos possíveis*, enquanto a segunda reza que *êste Universo não é homogeneamente material*, no sentido que será analisado no parágrafo IX.

III — *O Espaço dêste Universo*

O fato que *êste é um dos Universos possíveis*, pode-se constatar por muitas maneiras. Uma delas encontra-se analisando o “*espaço*” que é um dos elementos integrantes da definição de matéria em termos observáveis.

Tomemos como dado empírico a experiência semanticamente indicada como “distância entre dois observáveis”. Chamaremos “comprimento” a medida desta distância, feita so-

brepondo repetidas vezes uma outra distância tomada como *unidade*.

Quando os dois observáveis são muito pequenos em relação à distância entre eles, então podem ser interpretados como sendo dois “*pontos*”, sendo que um ponto é postulado como “infinitamente” pequeno. Ora a distância entre dois pontos pode ser medida sobre caminhos quaisquer, mais ou menos tortuosos. Portanto, existem infinitos valores para esta distância, mas pode-se postular que entre eles pelo menos *um* é o menor de todos.

Este é medido sobre uma linha que se chama *geodésica* (que não é necessariamente uma linha reta, nem necessariamente única).

Tomemos ainda como dado empírico a experiência expressada dizendo que a distância entre dois pontos pode ser observada ou como pertencente a uma *linha* (reta ou não) ou como jazindo sobre uma *superfície* (plana ou não) ou como contida num *volume*. A mesma experiência nos dá a evidência que para medir uma linha basta medir *um* comprimento; para medir uma superfície é sempre necessário medir *dois* comprimentos, (por ex.: a base e a altura de um retângulo) e para medir um volume é necessário medir *três* comprimentos.

Desde Cartésio, descobriu-se que todos êsses comprimentos (um, dois ou três) podem ser representados por meio de três *coordenadas*. Sobre uma superfície descreve-se um triângulo que tem dois lados entre si perpendiculares, e sejam *a* e *b* as medidas dos comprimentos dêsses lados. Chamaremos *c* a medida do terceiro lado. Se entre essas medidas existe a relação (P) (Teorema de Pitágoras)

$$(P) \quad cc = aa + bb$$

então,

- 1) os três lados são retos ou pertencem a linhas retas
- 2) a superfície sobre a qual o triângulo jaz é *plana*;
- 3) as retas perpendiculares obtidas prolongando os la-

dos *a*, *b*, são duas *coordenadas planas ortogonais cartesianas*: a posição de cada ponto e a distância entre cada par de pontos no plano pode ser representada por meio dessas coordenadas, com o Teorema de Pitágoras.

- 4) No ponto onde as coordenadas se encontram passa uma outra coordenada perpendicular às duas coordenadas já ditas. A experiência demonstra que *não se podem* ter mais mais de três coordenadas perpendiculares passando num ponto só, representando as noções empíricas de largura, altura e comprimento. O conjunto das três coordenadas (ortogonais) é chamado *espaço métrico euclidiano*.
- 5) A distância *s* entre um ponto no espaço métrico euclidiano de coordenadas *a*, *b*, *c* e o ponto onde se encontram as três coordenadas é dada pelo mesmo Teorema de Pitágoras

$$ss = aa + bb + cc$$

- 6) A linha reta é a geodésica sobre um plano euclidiano.

É importante observar no Teorema de Pitágoras a ausência dos termos “*retangulares*” como *ab*, *bc*, *ca*, pois somente os “*quadrados*” estão presentes, isto é *aa*, *bb*, *cc*.

Este espaço métrico euclidiano de três dimensões é o que representa o “*volume*” neste Universo. Não conhecemos *empiricamente* nenhum “*hipervolume*” com quatro ou mais dimensões.

Pois bem, pode-se demonstrar que este *espaço métrico euclidiano* é um dos *espaços métricos euclidianos possíveis*. Com efeito, a forma quadrática pitagórica já encontrada acima, isto é,

$$ss = aa + bb + cc$$

pode-se reduzir a uma forma linear

$$s = Aa + Bb + Cc,$$

a condição que os coeficientes A, B, C, tenham a propriedade de ter quadrado unitário e de ser autocomutantes, isto é, $AA = BB = CC = 1$, e também $AB + BA = 0$;

$$BC + CB = 0;$$

$$CA + AC = 0;$$

Portanto, A, B, C, não são números no sentido usual, mas sim operadores (números de Clifford ou tetraquaternions, veja P. Roman, *Advanced Quantum Theory*, Addison — Wesley, 1965, pp. 694 ss.), quais foram estudados por ex. por E. Eddington (numa obra muito discutível, *Relativity Theory of Protons and Electrons*, Cambridge, 1936) e por P. A. M. Dirac (*Principles of Quantum Mechanics*).

Uma forma (e a mais utilizada) dêesses números é aquela de *matrizes quadradas*, (de quadrado unitário e anticomutantes), como as usadas por Dirac. Mas se a ordem dessas matrizes (quer dizer o número de linhas e colunas) é expressado pelo número $2^p \times q$, sendo q um número ímpar, e p um número inteiro, então M. H. A. Newman (*Journal London Math. Soc.* vol. 7, 1932, pp. 92 e 272) demonstrou o teorema seguinte:

“existem $(2^p + 1)$ matrizes independentes, unitárias e anticomutantes da ordem $2^p \times q$, e entre elas $(p + 1)$ são reais, enquanto p são imaginárias”.

Real ou *Imaginário* significa que os elementos não nulos dessas matrizes são *todos* reais ou imaginários, respectivamente. Na prática êsses elementos são ou ± 1 , ou $\pm i$.

Então suponha-se $p = 0$;

$$q = 3.$$

Teríamos neste caso somente *uma* matriz, pois $2 \times 0 + 1 = 1$.

O Teorema de Pitágoras teria de conter só um termo, isto é, teríamos um espaço de uma só dimensão real. O que não é caso do nosso espaço métrico.

Pelo contrário, tenha-se,

$$p = 2:$$

$$q = 1.$$

As matrizes têm a ordem $2^2 \times 1 = 4$, como as de Dirac.

Neste caso temos,

$$2 \times 2 + 1 = 5 \text{ matrizes independentes, das quais,}$$

$$p + 1 = 2 + 1 = 3; \text{ são reais, mas}$$

$$p = 2 \text{ são imaginárias.}$$

Pois bem, as três matrizes reais correspondem às três coordenadas ou dimensões do nosso espaço métrico euclideo, à condição que as duas matrizes “imaginárias” correspondam a coordenadas *temporais* uma das quais é o Tempo da nossa experiência. (Veja do Autor: *Fenomenologia e definições da dimensão temporal*, Estudos Universitários, Recife, 1968, vol. 7, n.º 2-3), isso quer dizer que o Universo tem um esquema pentadimensional (veja T. Kaluza, *Sitzungsberichte der Preuss. Akad. Wissenschaft*, 966 (1921); H. T. Flint, *The Quantum Equation and the Theory of Fields*, Methuen Monographs, 1966).

Todavia, o fato que a quinta dimensão é constante, faz com que uma descrição do Universo em quatro dimensões é suficiente, como foi feito pela Teoria da Relatividade.

Se fôsse $p = 3$; $q = 1$, teríamos matrizes da ordem $2^3 \times 1 = 8$, cujo número seria $2 \times 3 + 1 = 7$, sendo delas $3 + 1 = 4$ reais (espaço métrico) mas 3 imaginárias (temporais). É claro que um Universo com 4 dimensões espaciais e três tempos é totalmente alheio à nossa experiência. O mesmo diga-se para outros valores de p e de q.

Com isso permanece demonstrado que o espaço métrico euclideo do nosso Universo é um dos espaços métricos euclideanos possíveis, e que portanto o nosso Universo é um dos Universos possíveis.

Esta conclusão concorda com os resultados dos parágrafos a vir.

IV — O Universo Geodésico

Há neste Universo uma força que é pequena em comparação com as forças elétricas e magnéticas, mas em compensação gera-se pelo simples fato de ter-se “matéria” sem as transformações ou operações necessárias para se obter as outras forças já ditas. Esta força é a gravitação, descoberta por

Isaac Newton, pela qual é "tamquam si" (como se) entre duas massas atuasse uma atração proporcional ao produto das massas, e inversamente ao quadrado da distância entre elas. A origem desta força foi e permanece um dos maiores mistérios da Natureza, junto à natureza da carga elétrica e às forças nucleares. Todavia foi possível ao gênio de A. Einstein, seguido por muitos físicos de grande valor, descrever por assim dizer o mecanismo por meio do qual a massa dos corpos gera gravitação.

Esta descrição é contida naquela que se costuma chamar Relatividade Geral. Para quem tem o preparo matemático necessário para este tipo de teorias, existem inteiras bibliotecas sobre a Relatividade Geral. Por exemplo: D. G. Bergmann *Introduction to the Theory of Relativity*, Prentice Hall, 1942; V. Fock, *Space Time and Gravitation* (engl. tr.) Pergamon 1959; R. H. Dicke, *Gravitation and Relativity*, W. A. Benjamin, 1964; *Gravitational theory and observation*, Physics Today, January 1967 pp. 55 e seg.).

A idéia básica e de grande beleza formal é que a gravitação é devida a uma deformação ou curvatura do espaço devida à presença de massas, e por consequência dela as geodésicas não coincidem mais com linhas retas, como se aí atuasse uma força, que é a gravitação.

A definição newtoneana de força é *massa x aceleração*, $F = ma$. Por outro lado a fórmula newtoneana da força de gravitação entre duas massas M, m à distância r é $F = KM m/r^2$, sendo K uma constante. Por comparação vê-se logo que a aceleração produzida pela gravitação sobre o corpo de massa m é $a = KM/r^2$, que não depende mais da massa m . Isso quer dizer que no espaço em torno do corpo da massa M (por ex.: a Terra) todos os corpos recebem a mesma aceleração, isto é, a gravitação é uma propriedade do espaço em torno do corpo M , como se a presença da massa M tivesse deformado este espaço. Imaginemos que o corpo m esteja viajando no espaço com velocidade constante, sem nenhuma outra massa em torno dele. Ele viajaria sobre uma geodésica que é uma linha reta. Mas se improvisamente, o corpo M aparecer perto do corpo m , este último continuaria viajando sobre uma geodésica que não é mais uma linha reta mas apresenta uma curvatura. Ora, na

física newtoneana uma curvatura implica numa aceleração (transversal), imposta ao corpo M , e uma aceleração define uma força. Assim a deformação do espaço aparece como um campo de força que é a gravitação. Estes conceitos podem ser expressados matematicamente, como diria o poeta César Leal,

com essas inusitadas equações
que o homem arma e Deus desarma
com sua eternidade clara e sem descanso.

(*Triunfo das águas*, 37-39).

O tratamento matemático realizado por A. Einstein utilizando o "Cálculo diferencial absoluto" de T. Levi-Civita, consiste em estudar a chamada *métrica* de um espaço onde é introduzida uma deformação capaz de representar o campo gravitacional.

Chamemos a, b, c, d, e as cinco dimensões do "nosso" espaço e tomemos pequenas *variações* delas, indicadas com $a', b', c', d' e'$. Então será $e' = 0$ porque não são conhecidas variações sobre a quinta dimensão. Por isso a distância s' entre dois pontos muito perto um do outro dá-se a forma chamada *métrica*; que é a seguinte:

$$(M) \quad s's' = Pa'a' + Qb'b' + Rc'c' + Sd'd' + La'b' + Mb'c' + Nc'a' + Ua'd' + Vb'd' + Wc'd'$$

Aí aparecem todos os 16 produtos possíveis entre os 4 fatores a', b', c', d' . Sendo que $a'd' = d'a'$, etc., esses 16 produtos ficam reduzidos a 10. Do mesmo modo, em lugar de 16 coeficientes teremos somente 10 coeficientes que são $P, Q, R, S; L, M, N; U, V, W$, os famosos coeficientes da métrica geralmente indicados com o símbolo g_{ik} elementos do tensor fundamental da métrica.

Veja-se cuidadosamente o significado da expressão matemática (M). Se fôssemos $P = Q = R = -S = 1$, e todos os outros coeficientes fôssem 0 (zero), esta expressão seria simplesmente um teorema de Pitágoras em 4 dimensões. Se esta condição não fôr satisfeita, significará que a distância entre

dois pontos é diferente da prevista pelo teorema de Pitágoras, e isso quer dizer que esta distância não está traçada sobre um plano, mas sobre uma superfície que de maneira um pouco vaga chamaremos de curva. Como um conjunto de planos forma um volume, assim um conjunto de superfícies curvas formará um espaço curvo, no qual a mínima distância entre dois pontos não é pitagórica.

A idéia de Einstein é que a presença das massas deforma o espaço no sentido que uma superfície que seria plana quando as massas fôsem ausentes torna-se curva quando a massa está presente. Um corpo móvel que atravessa, por inércia, um espaço curvo ao longo de uma geodésica, viaja sobre uma "linha reta" do ponto de vista do espaço curvo; mas para um observador fora daquele espaço curvo aquele corpo se move sobre uma curva, e portanto ele dirá que o ponto em movimento é sujeito a uma força, que será a força de gravitação. Com efeito, chama-se força tudo aquilo que modifica um movimento uniforme e linear de maneira que se torne ou não uniforme ou não linear, ou em geral que se torne curvo. O exemplo que usualmente se dá é o seguinte: Se existisse uma estrada plana e direta entre Recife e Rio de Janeiro, estrada que ficasse sempre ao nível do mar, essa estrada seria interpretada como uma linha reta por um ciclista que a percorresse. Pelo contrário um túnel entre Recife e Rio e que fôsse exatamente uma linha reta, seria interpretado como uma estrada que por metade desce e por metade sobe. Isso mostra que uma linha reta traçada num espaço curvado (pela presença da massa da Terra) pode ser interpretada como uma linha curva; e vice-versa, uma estrada curva (como um arco de circunferência sobre a superfície terrestre) traçada num espaço curvo pode ser interpretada como uma linha reta. (Eu sei, isso vai dar um pouco de confusão).

Foi possível a Einstein demonstrar que esta idéia resiste àquela crítica aguda e exigente que é análise matemática, pois ele utilizou os recursos mais elevados do cálculo tensorial para expressar em termos lógicos e respondentes à experiência a idéia que a gravidade é devida a uma deformação do espaço. Trata-se de encontrar 10 equações que determinem os coeficientes da métrica. Essas 10 equações, que são as famosas *equações gravitacionais* de Einstein, representam em termos tensoriais as

leis gerais do determinismo físico. Utilizando o princípio da mínima ação de Hamilton, encontra-se uma relação entre os coeficientes da métrica e o potencial por unidade da massa das forças que atuam em cada ponto. Com o mesmo princípio de Hamilton obtém-se outra equação que expressa o fato que a métrica deve ser geodésica. As outras equações expressam os princípios de conservação da massa, da energia e da quantidade de movimento. Uma última equação é dada pela equação de Poisson, do referido potencial, em termos tensoriais. O resultado é que em primeira aproximação a métrica tem a forma seguinte:

$$(E) \quad s's' = - (1 + g) (a'a' + b'b' + c'c') + (1-g) d'd'$$

onde d' é a coordenada temporal enquanto $g = 2u/c^2$, sendo u o referido potencial, e c a velocidade da luz. No caso gravitacional temos $u = KM/r$. Demonstra-se que esta fórmula descreve o movimento dos planetas por efeito de gravitação, não somente mais também explica algumas anomalias que não eram explicáveis com a lei de Newton, como a chamada precessão dos equinócios. Outros fenômenos foram previstos por essa lei, como a mudança da frequência da luz emitida num campo gravitacional e observada experimentalmente no espectro daquelas estrelas extremamente densas chamadas anãs brancas. Outro efeito foi a deflexão da luz das estrelas atravessando o campo gravitacional do Sol durante os eclipses totais do Sol. (Este último efeito foi visto pela primeira vez por A. Eddington, em Sobral aqui no Brasil, durante o eclipse total de 1919. V. *Vistas in Astronomy*, vol. 3, pp. 47-77, de H. von Klüber).

Então temos o resultado seguinte: se neste Universo não existissem massas, as geodésicas seriam linhas retas. (Mas isso não pode ser confirmado, porque se não existe massa não existe observador). Mas se começamos colocando uma massa numa certa zona, as geodésicas que passam por aquela zonas ficarão um pouco curvas. Imaginemos de distribuir outras massas ao longo dessa geodésica. Ela continuará a aumentar a sua curvatura até que tendo colocado bastantes massas numa distribuição oportuna, a geodésica tornar-se-á tão curva que voltará sobre si mesma formando uma curva fechada. Se

tôdas as geodésicas dêste Universo tornam-se curvas fechadas, é claro que êste Universo não terá limites nem para começar, nem para terminar, mas o volume ocupado pelas geodésicas será o volume *finito* ocupado pelas geodésicas fechadas sôbre si mesmas. Einstein expressou êste fato de maneira um pouco paradoxal dizendo que, se a natureza da gravitação é aquela aqui sumariamente descrita, então o Universo é *ilimitado*, porém *finito*. Desta maneira, por via de uma teoria puramente físico-matemática, chega-se a uma conclusão de evidente valor filosófico, e não sômente físico. Em lugar da expressão "Universo ilimitado e finito" preferimos usar a outra "Universo Geodésico", porque contém também a origem das dimensões finitas do Universo, isto é, a curvatura das geodésicas.

E também aqui chegamos a uma confirmação a mais do já expressado antes: êste é um dos Universos possíveis. A curvatura de um Universo geodésico não tem só um valor possível. É necessário um mínimo de massa total do Universo para que as geodésicas sejam fechadas. Mas essas podem ser muito ou pouco fechadas, quer dizer a massa global do Universo pode ter muitos valores além do mínimo indispensável. Êste Universo tem um desses valores que, por quanto nos concerne, aparece como sendo injustificável com motivos lógicos, sendo sômente um dado de fato experimental, quer dizer a *densidade média da matéria do Universo*.

Como dado de fato, a densidade média da matéria dêste Universo corresponde a alguns átomos de hidrogênio por metro cúbico, enquanto o raio do mesmo é da ordem de 10 bilhões de anos luz.

Todavia é necessário fazer aqui uma reserva: êste Universo cujo raio foi encontrado da maneira descrita tem de ser pensado em quatro ou cinco dimensões, não como uma esfera sômente de 3 dimensões. Quer dizer que cada elemento dêste Universo é simultaneamente localizado no espaço e no tempo e por isso nos hiper-espacos de 4 ou 5 dimensões. Um elemento determinado na sua posição no espaço e no tempo chama-se fisicamente *evento*. Todos os eventos dêste Universo estão colocados sôbre geodésicas no hiper-espaço. Êste Universo é portanto o conjunto de todos os eventos compatíveis com a estrutura geodésica dêle.

Desta maneira responde-se ao problema: onde está o Universo? E a resposta é que aquela pergunta não significa nada, porque os eventos fora das geodésicas dêste Universo são absurdos e portanto inexistentes. Assim, o problema é resolvido sem precisar da Grande Tartaruga, mas também sem dar satisfação à nossa imaginação.

Enfim, a curvatura do espaço de que se falou atua sômente sôbre as componentes métricas do espaço, não chegando a fechar a coordenada temporal num ciclo fechado. Por isso nunca se repete a história dos eventos dêste Universo, muito embora esteja escrito que não há nada de novo embaixo do Sol.

V — A Evolução da Matéria do Universo

A observação mostra que êste Universo é constituído por ilhas, ditas *Galáxias*, (espirais, barradas ou globulares) separadas por milhões de anos — luz de espaço.

A análise espectroscópica, por emissão e por absorção, e também os dados obtidos pela rádio-astronomia, completados com recentíssimas observações feitas através dos satélites artificiais, permitiram determinar a composição química da matéria contida nas Galáxias, da matéria condensada nas estrêlas, como daquela muito mais diluída nas nuvens opacas incluídas nas Galáxias, ou mesmo da matéria extremamente tênue contida na maior parte do volume do Universo, que é o espaço *inter-galático*. O resultado é que a maior parte desta matéria é constituída por hidrogênio (cêrca de 73%) o restante sendo de 25% hélio e os últimos 2% numa mistura de todos os elementos possíveis. (v. Schwarzschild, Structure etc., pp. 25 e 27).

Além disso, a descoberta da origem nuclear do calor das estrêlas, juntamente com uma parcela devida ao campo de gravitação, deu a possibilidade de determinar uma história da matéria incluída no Universo.

Em grandes linhas esta história é a seguinte: tudo acontece como se a dinâmica do Universo vai gastando progressivamente a reserva de combustível nuclear, por reação p-p, ou pelo ciclo de Bethe, ou outras reações).

Nesta utilização do hidrogênio formam-se sub-produtos,

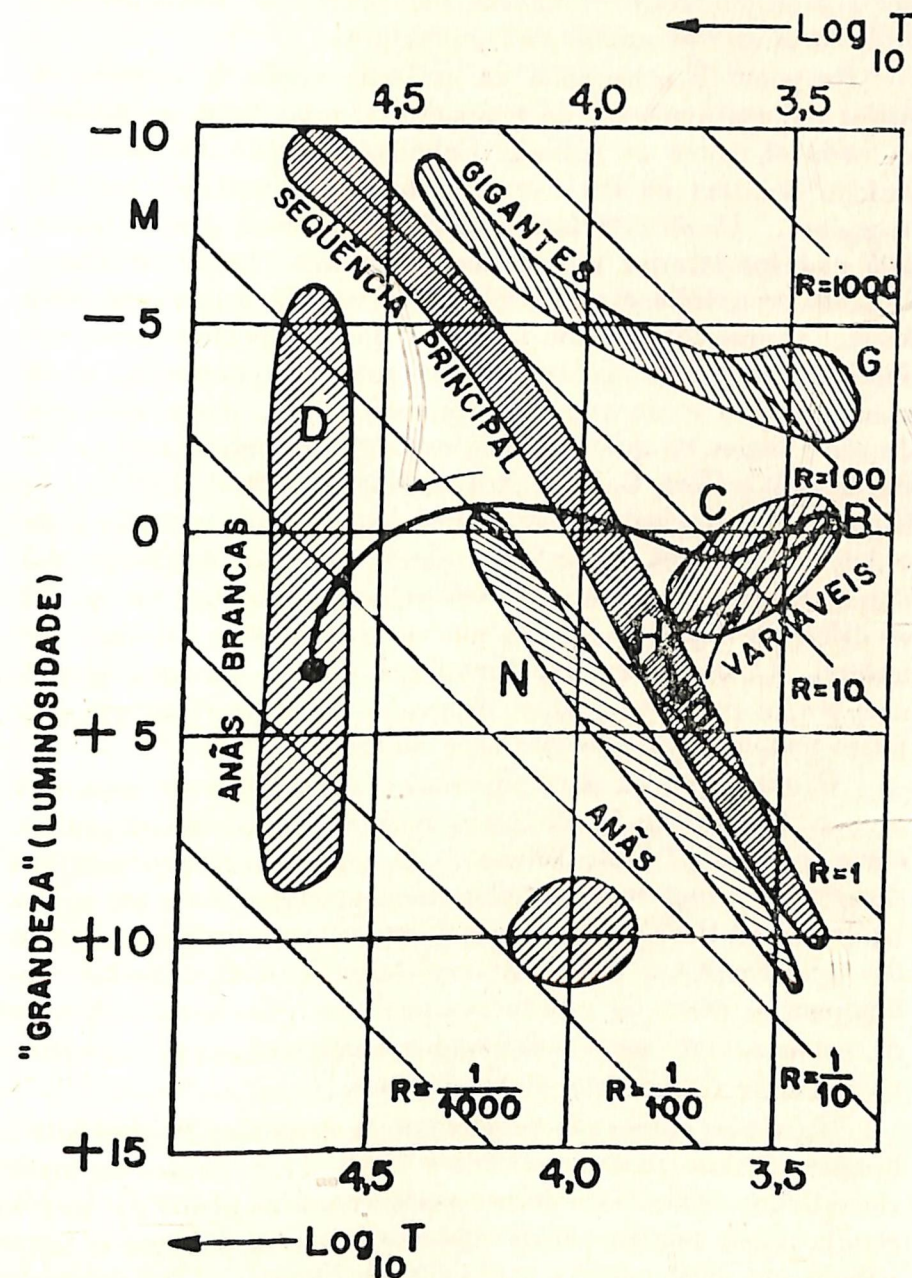
que são os outros elementos do sistema de Mendeleieff. No começo formam-se o hélio e os elementos leves, depois progressivamente todos os outros até os mais pesados. Por assim dizer todos esses elementos são as cinzas da grande fogueira nuclear que é o Universo. Desta maneira aparece bastante evidente como seja possível estabelecer as etapas sucessivas desta progressiva combustão de hidrogênio e formação de outros elementos, com tôdas as consequências implícitas nesse processo. Esta previsão é contida substancialmente num famoso diagrama, chamado de Hertzsprung e Russell (mais fácil dizer diagrama H. R. veja figura).

É possível medir com métodos óticos tanto a temperatura superficial de uma estrela quanto a sua luminosidade. Colocando num diagrama os correspondentes dados experimentais, foi encontrado que a maior parte dos pontos que representam as estrelas observadas caem dentro de uma estreita faixa chamada *sequência principal*, como aquela indicada na figura. As estrelas que sobram estão distribuídas nas zonas do H. R. indicadas na figura com as letras C, G, D, N. A explicação deste fato encontrou-se fazendo cálculos do ritmo com que uma estrela que nasce com uma *certa composição química* (por ex.: 75% de hidrogênio, 25% hélio) e com uma dada massa (por ex.: 1.8 vezes a massa solar) gasta o seu hidrogênio. Desta maneira é possível saber, para cada composição inicial, qual é a percentagem de hidrogênio que no decorrer do tempo subsiste disponível, sendo que este dado pode ser deduzido das observações. (Alguns casos de composição química de estrelas veja em M. Schwarzschild, *Structure and Evolution of Stars*, Princeton, 1958, p. 27).

Queremos dizer que se uma estrela nasce num ponto 0 da sequência principal, quando ela gasta o seu hidrogênio evolue caminhando ao longo de uma linha como aquela indicada na figura. (Veja por ex.: as estrelas do Cluster M3 distribuídas ao longo desta linha, M. Schwarzschild, op. cit. p. 6).

Esta linha, saindo da origem 0 permanece dentro da sequência principal até um certo ponto H, quando ela se desvia transferindo-se na zona indicada com C, até um ponto indicado por B.

Tudo isto significa que durante o período em que a es-



trêla permanece na sequência principal, entre O e H, ela aumenta de temperatura e também, mas menos de luminosidade. De H até B vai diminuindo de temperatura.

No ponto B o caminho da evolução muda de direção: a estrela volta a aumentar de temperatura, mais torna-se instável ou variável, como as famosas Ceféidas (estrelas variáveis de período regular) ou RR Lyrae, (estrelas variáveis de período irregular). Desde esta fase a estrela é instável, e se a massa dela não for inferior a 1.4 massas solares (limite de Chandrasekar) a estrela evolui explodindo, isto é, tornando-se uma Nova. Outras têm estágio ulterior, ainda imperfeitamente conhecido, no qual elas explodem como Super-novas, evento muito raro e de tamanho impressionante, sendo milhares de vezes maior do que a mesma explosão de uma Nova. (v. C. Payne Gaposchkin, *Galactic Novae*, North Holland, 1957). As Gigantes contidas na zona G (como Antares cujo tamanho é da ordem de grandeza do sistema solar) são casos especiais, que porém também evoluem. (V. em Schwarzschild op. cit. p. 82 os diferentes tipos de reações nucleares durante a evolução estelar). O que sobra das Novas são estrelas bastante pequenas, porém densas e quentes chamadas Anãs Brancas, que resfriam lentamente e cujo destino é ignorado.

O que sobra de uma Supernova, além talvez de uma anã branca, é uma nuvem de gases quentes em rápida expansão, como a célebre "Crab Nébulosa". O espectroscópio revela nas supernovas a presença dos elementos mais pesados, até o Califórnio (n.º 98), enquanto nas Novas encontram-se os elementos até o Ferro (n.º 26). As explosões finais das estrelas contaminam os gases do espaço cósmico com grandes quantidades de metais e outros elementos pesados, e isso terá um valor enorme na evolução do Cosmos, como diremos.

Talvez os corpos tão problemáticos chamados Pulsars sejam também pertencentes aos estádios finais da evolução da matéria estelar, sendo esses corpos pertencentes ao grupo das rádio-estrelas, mas emitem sinais aparentemente modulados e intervalados de uma maneira extremamente regular. Por enquanto eles são somente um dos tantos mistérios deste Universo, juntamente com as rádio-estrelas.

As estrelas são agrupadas nas Galáxias, incluindo o halo

do que poderíamos chamar "enxames esféricos" de estrelas ("Globular Clusters"), e eventualmente nas nebulosas satélites (como as Nuvens de Magalhães para a nossa Galáxia). Todavia muitas Galáxias contêm uma grande quantidade de matéria em forma de nuvens, que geralmente são obscuras, mas tornam-se luminosas às vezes por efeito das estrelas incluídas nelas ou por efeito de choque entre nuvens contíguas.

Como evolui esta matéria chamada *intra-galáctica*? Ela é constituída em maior parte por hidrogênio (como é revelado pela rádio-astronomia) mas também contém grandes quantidades de poeira cósmica e de gases de outros elementos, ou mesmo de compostos moleculares como pequenos cristais de gelo e meteoritos metálicos e não metálicos. Toda esta matéria, que no conjunto constitui uma fração importante da massa total de uma Galáxia, é sobretudo localizada perto do centro dela (e por isso nós não podemos ver a gloriosa luminosidade do enorme conjunto de estrelas do centro da nossa Galáxia) e também ao longo dos braços espirais, quando existem. Todavia o volume por ela ocupado é tão grande que a densidade desta matéria no espaço é realmente muito pequena, somente alguns milhões de vezes a densidade do espaço inter-galáctico, quer dizer um milhão de átomos para cada 10 centímetros cúbicos.

A origem desta matéria é complexa. Parte é o que sobrou da matéria original, e parte é devida às matérias espalhadas no espaço pelas sucessivas explosões de Novas e Supernovas. Quanto mais tempo passa, tanto mais esta matéria intragaláctica contém os produtos daquelas explosões, isto é hidrogênio sempre menos puro.

Ora foi uma hipótese razoável, e depois das observações de Bok tornou-se evidência experimental, o fato que a matéria intragaláctica continua condensando-se em estrelas. Inicialmente formam-se enormes esferas escuras desta matéria ("glóbulos de Bok", V. *Stellar Populations*, North Holland 1958, art. de L. Spitzer, p. 453). Por efeito da gravitação estes glóbulos se contraem, e a gravitação oferece uma fonte de energia com que estes gases que se contraem tornam-se progressivamente mais quentes, até que na região central a pressão e a temperatura dão as condições necessárias e suficientes para começar as reações nucleares. Neste momento o glóbulo começa a

sua evolução como estrela (“super-gigante vermelha”), com toda probabilidade num ponto qualquer na parte baixa da sequência principal do diagrama H. R. com uma composição inicial dependente da história daquela parte da Galáxia onde o glóbulo se formou.

Desta maneira a evolução da matéria intragaláctica resume-se na história de sucessivas gerações de estrelas, ou como se costuma dizer de sucessivas populações estelares, sobre as quais voltaremos a falar, pelas implicações cosmogônicas que elas acarretam.

Não se conhece atualmente qual seja o destino da matéria intergaláctica quer dizer no espaço entre as Galáxias. Ela tem uma densidade tenuíssima cerca de um átomo para 100 centímetros cúbicos. Mas o volume por ela ocupado é de tão deslustrante grandeza que a massa total intergaláctica é uma fração importante (mais ou menos uns 50%) da massa total do Universo. No estado atual da Astrofísica não sabemos se esta matéria entrará no ciclo das estrelas. Mas, com uma inevitável citação,

“There are more things in heaven and on earth,
than are dreamt of by our philosophy”.

Aqui pareceria terminado o elenco da matéria contida no Universo e o que conhecemos sobre o destino dela. Mas não é assim. Há outra matéria que ocupa o Universo inteiro, aparentemente com densidade uniforme, muito embora a maior parte dela não possa ser percebida diretamente nem pelos nossos sentidos nem pelos nossos instrumentos. Esta matéria, por assim dizer, oculta, compreende duas partes: a *energia radiante*, em toda a extensão dos espectros possíveis, e o *espaço físico*.

Uma das grandes conquistas da ciência, devida ao gênio de Einstein, é a equivalência entre massa e energia, no sentido que uma massa representa em forma coagulada uma energia E expressada pela célebre fórmula de Einstein $E = m c^2$. Ora, o Universo é cheio de toda espécie de radiação, eletromagnética e corpuscular. A primeira abrange todas as ondas possíveis desde as rádio-frequências até raios gama de formidáveis energias. A segunda abrange eletrons, prótons, e núcleos de prà-

ticamente todos os elementos, inclusive os que constituem a chamada radiação cósmica primária. A energia radiante dá preciosas informações sobre a dinâmica e o porvir da evolução do Universo. Todavia contém um elemento muito enigmático, chamado *neutrino* (V. Art. Cit., Evolução do conceito de causalidade, p. 17; ou C. Borghi, Introdução à Física Atômica e Nuclear, 1964, I, pp. 277-282).

O neutrino representa uma quantidade não desprezível de massa — energia que “desaparece”. Qual seja o significado disso na evolução do Universo é ainda desconhecido.

Enfim, o espaço físico, é ele mesmo matéria. Esse é um conceito que poderá parecer esquisito ou paradoxal, muito embora todos compreendamos que o que existe entre nós e a Nebulosa de Andrômeda não é uma abstração mental, mas uma parcela do Universo, é matéria. Esta matéria é objeto não somente de especulações teóricas mas também de experiências. A chamada “criação de pares” é equivalente ao efeito fotoelétrico, em que o espaço físico se comporta como um corpo que absorve as radiações emitindo eletrons, com um bem definido limiar de energia. E há outros fenômenos, como a polarização, que mostram como o espaço físico é “uma coisa”. Pode ser que a teoria do “oceano de elétrons” de Dirac seja um pouco obsoleta, mas quem olhar as outras maneiras com que estes problemas são expressados, verá que embaixo delas sempre é possível pensar em termos comparáveis com o “oceano de eletrons”. Nada sabemos da evolução desta matéria, que tem propriedades extremamente curiosas, sobretudo porque tendo densidade zero deve ser a soma de massas de sinais opostos, em estados de energia negativa, e por isso não podem se aniquilar, pois teriam de fazê-lo emitindo quanta negativos de energia, que não podem existir.

VI — O Universo em Expansão

O sistema das equações gravitacionais, com o qual se determinam os coeficientes da métrica, tem dois tipos possíveis de soluções: soluções estacionárias no tempo e soluções variáveis com o tempo. De maneira um pouco aproximativa, as soluções estacionárias representam um Universo cujo raio de curvatura

é constante, enquanto as soluções não estacionárias representam um Universo cujo raio de curvatura varia ao longo do tempo. As primeiras foram estudadas por Einstein, e as outras por De Sitter e Lemaître (Veja C. Moeller, *Relativity*, Oxford, 1957, p. 356-370). É oportuno frisar que todos êstes tipos de Universo são *possíveis*, quer dizer, não há nada de contraditório num Universo estável, onde o raio de curvatura é constante, ou num Universo que se expande (isto é, cujo raio de curvatura aumenta com o tempo) ou se contrai (isto é cujo raio de curvatura diminui com o tempo). Mais uma vez, a escolha entre êstes Universos possíveis é deixada à experiência, que *constata* a existência de um deles e a não existência dos outros, embora nem êstes outros sejam absurdos.

A previsão teórica para um Universo não estável, pelo menos em primeira aproximação, é que um observador num ponto qualquer dêste Universo deve observar os objetivos que ocupam o Universo afastando-se do observador (ou aproximando-se dêle) com uma velocidade que aumenta em proporção direta com a distância dos objetos. Naturalmente esta observação tem sentido em escala cósmica, isto é, considerando parcelas de espaço tão grandes que as Galáxias possam ser consideradas pontos. Há um certo número de maneiras para medir a distância destes objetos, pelo menos num número de casos suficiente para comprovar a referida lei da chamada "velocidade de fuga" das Galáxias. Por ex.: existem as estrêlas variáveis chamadas Cefeidas. Sabe-se que há uma relação direta entre a luminosidade delas e o período das variações típicas dessas estrêlas. Portanto, medindo êste período e a luminosidade efetiva das Cefeidas, quando é possível distinguí-las nas Galáxias, tem-se uma maneira bastante exata de saber-se a distância das Galáxias.

A previsão teórica foi brilhantemente confirmada pelos astrônomos Hubble e Humason (*Astrophysical Journal*, 74, 1931, p. 43) que também determinaram a constante de proporcionalidade entre distância e velocidade de fuga. Esta velocidade de fuga mede-se por meio de medidas espectroscópicas utilizando-se o efeito Doppler, pelo qual a frequência de uma fonte de luz que se afasta varia proporcionalmente à velocidade de afastamento, e por consequência as Galáxias longínquas têm um espectro que, comparado com uma fonte terrestre, desliza na di-

reção do vermelho ("red shift"). É isso o que se observa: as raias espectroscópicas, por ex.: as do hidrogênio, das Galáxias somente deslizam para o vermelho, como se as Galáxias tivessem uma *velocidade de fuga* que aumenta de 60 Km/sec. por cada milhão de anos-luz de distância (V. Hoyle, *Frontiers*, p. 275-276).

Desta maneira encontrou fundamento experimental o conceito que êste Universo tem um raio de curvatura que varia no tempo, quer dizer: êste é um Universo que se expande, como se estivesse explodindo. (V. de Lemaître, em *Stellar Populations*, 1958, p. 476).

Permanecendo a evidência experimental do "deslissamento para o vermelho" do espectro das Galáxias, foram tentadas outras explicações, na esperança de encontrar uma justificação que não seja uma real expansão do Universo. Por ex.: foi sugerido como hipótese o envelhecimento da luz ou a absorção da luz por efeito Compton ao longo dos imensos caminhos inter-galáticos. Todavia a análise quantitativa dessas hipóteses não é sustentada por dados experimentais, ou mesmo é em contradição com eles. Portanto no estado atual da Astrofísica a explicação do "red shift" como expansão do Universo permanece a mais válida.

VII — As Populações Estelares

Observando e medindo a luminosidade e a temperatura das estrêlas assim como o tipo de espectro delas, é possível à moderna Astrofísica saber qual é o caminho que cada estrêla percorreu ao longo do diagrama H. R., e portanto é possível conhecer a *idade das estrêlas*. Foi feito um trabalho imenso, e o astrofísico W. Baade encontrou um curioso resultado, muito importante do ponto de vista de uma Cosmogonia. Êste resultado refere-se ao "sistema local" mas não há razão que proíba de extendê-lo ao Universo.

As idades das estrêlas aparecem como sendo distribuídas em dois grandes grupos, que foram chamados população I e população II (Veja os dados experimentais na ata do Congresso de Castelgandolfo, *Stellar Populations*, North Holland, 1958,

especialmente os artigos de Baade, D. Lindblad, A. Sandage, A. Blaauw, M. Schwarzschild).

As estrelas da população II aparecem como tendo começado com hidrogênio misturado a 10% do Hélio, e são as mais antigas, sendo a idade delas em torno de 9 bilhões de anos.

As estrelas da população I têm a aparência de ter começado com hidrogênio menos puro do que as da geração II, e mostram maior abundância de metais. Essas estrelas são, em média, bem mais jovens do que as da população II, sendo a idade delas em torno de 4,5 bilhões de anos.

Significa que mais ou menos acerca dessas duas idades o processo de condensação da matéria galáctica em estrelas encontrou condições favoráveis, muito embora a formação das estrelas seja um fato que acontece continuamente nas Galáxias.

Segundo quanto já foi dito antes, depois que uma estrela começa a ter reações nucleares, ela se comporta como uma fornalha atômica, produzindo continuamente outros elementos. Quando chegar ao fim da sua vida, ela explodirá espalhando elementos pesados no espaço, pelo processo das Novas e Supernovas. Isso explica o fato que as estrelas de gerações sucessivas aparecem com crescente abundância de metais.

Este fato acarreta algumas consequências importantes. A primeira é que não existe na estrutura das Galáxias e no Universo um mecanismo que elimine os elementos pesados, como uma espécie de catabolismo cósmico que manteria a pureza do hidrogênio. A segunda é que nas sucessivas gerações das estrelas as reações nucleares encontram quantidades crescentes de “venenos atômicos” que tendem a diminuir e até impedir a produção de calor pela fusão de elementos leves. Se este processo de envenenamento continuar, isso traria como consequência que haverá uma geração de estrelas que não poderão mais produzir calor nuclear, e portanto serão estrelas nascidas-mortas.

Como curiosidade, o nosso velho Sol é uma estrela de tipo G, bastante velhote entre as estrelas jovens da população I.

VIII — *Big-Bang vs. Criação Contínua*

São evidentes as implicações cosmogônicas dos dados ex-

perimentais resumidos sumariamente nos parágrafos anteriores.

Com efeito, todos esses dados parecem empurrar para aceitarmos a imagem de um Universo cuja *duração* é limitada entre um início e um fim.

A sugestão do “*início*” é fundamentada nos fatos seguintes já mencionados antes e que aqui somente numeramos.

(I) O começo da evolução da matéria galáctica, feito de hidrogênio, em estrelas.

(II) A progressiva produção de elementos pesados.

(III) O progressivo espalhamento desses elementos pesados por meio das Novas e Supernovas.

(IV) As sucessivas populações estelares.

(V) A expansão do Universo que obviamente “teve início” num Universo muito menor do que o atual.

Por outro lado, a sugestão de um “fim” nasce sobretudo pelo fato do progressivo “envenenamento nuclear” da matéria galáctica e da não existência de um mecanismo capaz de eliminar os metais que se contrapõem à fusão nuclear na dinâmica das estrelas, por causa das reações nucleares endotérmicas que lhes são próprias. Parece evidente que temos de esperar uma fase de envelhecimento do Universo, onde as estrelas nascem mortas, pois não evoluem do estágio de glóbulos para o estágio de fornalhas nucleares.

As explicações desses fatos abrangem três tipos de hipóteses:

(A) *A hipótese do big-bang* (V. p. ex. P. J. Peebles, D. J. Wilkinson. Primeval Fireball, Scientific American, June 1965, p. 28 ss).

Segundo esta hipótese, há cerca de 10 bilhões de anos atrás “*existiu um Universo inicial*, de volume muito reduzido (por ex.: comparável ao do Sistema Solar) contendo toda a matéria (massa + energia + espaço físico) que ainda agora é contida no Universo, portanto uma espécie de “Ovo” extremamente denso. Este Universo inicial *explodiu*, e desta grande explosão (“big-bang”) nasceu a energia cinética e radiante contida no Universo, e também teve origem a divisão da matéria em ilhas ou nuvens, das quais nasceram as Galáxias, e pois nas Galáxias nasceram as estrelas, as nebulosas obscuras, os planetas, eu e você.

Segundo Hannes Helvén, a grande explosão pode ter a origem seguinte: O "Ovo" continha, misturada com "matéria", uma certa quantidade de "anti-matéria" (veja do A. Fenomenologia e definições da dimensão temporal, Estudos Universitários, vol. 7, n.º 2-3, p. 30, 1967).

Matéria e anti-matéria se "aniquilaram", com um processo bem conhecido e que ainda agora se observa entre elétrons e pósitrons. Desta "aniquilação" nasceu uma quantidade, gigantesca mas finita, de energia radiante, pertencente a todo o espectro das ondas eletro-magnéticas. Esta é a "chama" da grande explosão, que aqueceu a matéria que sobrou, até a temperatura de milhões de graus. Então, o Universo começou a se expandir, segundo as leis da Termodinâmica. Esta expansão ainda continua, freitada somente pela deceleração devida à gravitação, que tenderia a impedir aquela expansão. O "deslisamento para o vermelho" (red shift) das raias espectrais das Galáxias é a evidência desta velocidade de fuga das Galáxias, consequência da explosão que aconteceu há mais ou menos 10 bilhões de anos atrás.

B) *Hipótese dos Universos Cíclicos:*

Admitindo que os dados experimentais evidenciam que este Universo teve um big-bang com que iniciou a atual expansão observada por Hubble, e lembrando que teoricamente é possível um Universo que se encolhe, e não somente um que se expande, pode-se fazer com Allan Sandage a hipótese que a atual expansão do Universo é freitada pela gravitação, até parar. Depois disso a mesma gravitação daria início ao processo inverso, de contração, até o Universo entrar num colapso final ("implosão"), voltando a ser um "pequeno" Universo pronto para uma nova explosão. Esta hipótese é realmente traiçoeira, porque contém subrepticamente uma outra hipótese insustentável. Com efeito, o processo de expansão (adiabática) do Universo, segundo as leis da Termodinâmica, acarreta consigo aquilo que se chama "degradação da energia" e o mesmo Universo. Em termos aproximativos, poder-se-ia dizer que, segundo a hipótese cíclica, durante a fase da contração, a energia radiante,

que fora emitida no big-bang e nos outros processos físicos, tem de ser recuperada por meio de fenômenos fotonucleares que destroem os elementos pesados para formar de novo o hidrogênio primordial. Ora, isso é impossível, porque os fenômenos fotonucleares só acontecem se os quanta de luz têm pelo menos um determinado valor da energia (geralmente um valor bastante alto). Ora, nos processos adiabáticos o valor médio da energia dos quanta de luz tende a diminuir, e portanto na fase da contração o Universo não consegue utilizar outra vez a radiação produzida para formar elementos pesados, para a tarefa de "recuperar" todos os núcleos desses elementos pesados. Quer dizer que a cada ciclo explosão-expansão-contração sobra uma quantidade de "venenos nucleares", e por isso depois de um certo número de ciclos o Universo teria de ser nuclearmente inativo. Assim, ou postulamos algum milagroso método para eliminar os "venenos nucleares", ou também o Universo cíclico apresenta um começo e um fim.

C) *Hipótese da Criação Contínua*

O "battage" propagandístico que cercou esta hipótese, sobretudo por parte dos autores dela, F. Hoyle e W. Fowler, criou uma certa popularidade a esta tentativa, não obstante o alto "preço científico" que ela exige. Esta hipótese, (V. F. Hoyle, op. cit.; H. Bandi, Cosmology, Cambridge, Monographs in Physics, 1952; V. também G. J. Whitrow, The Structure and Evolution of the Universe, Hutchinson, 1959) agora cientificamente morta mas que sobrevive em meios não científicos como um fenômeno da "viscosidade" típico para todos os fanatismos, consiste essencialmente em duas afirmações muito pesadas, quer dizer:

(1.º) A lei de conservação das massas (veja do A., "Evolução do conceito de causalidade", Estudos Universitários, Vol. 6, 1966 p. 5 ss) não é rigorosamente válida, pois admite-se que em cada ano alguns átomos de hidrogênio "se criam do nada" em cada ano-luz-cúbico do Universo. Desta maneira, o Universo deve se expandir para dar lugar ao hidrogênio recém nascido.

(2.º) Pela expansão referida, a velocidade de fuga das

Galáxias chega a *superar a velocidade da luz*: as Galáxias que superam este limite “saem” deste Universo, indo embora para não se sabe onde. Assim existe um mecanismo para eliminar os produtos da combustão do hidrogênio.

Nesta hipótese não há mais lugar para o big-bang do Universo, pois tratar-se-ia de um Universo sem início nem fim, aliás este “resultado”, é a razão por que a hipótese foi inventada.

A decisão entre essas hipóteses pode-se encontrar na maneira mais direta, isto é na experiência, pois por paradoxal que pareça, ainda estamos ouvindo a explosão inicial (V. Art. cit. Peebles e Wilkinson). Com efeito, se o big-bang realmente aconteceu, e se o Universo é adiabático (quer dizer não tem perdas de energia que iria fugindo para “fora”) então a explosão mesma, no início, deve ter sido acompanhada por um “relâmpago” gigantesco, uma enorme produção de energia, e essa energia não deve ter diminuído ao decorrer do tempo, depois do instante inicial. A extrema incandescência dos primeiros instantes deve ter diminuído enquanto o Universo se expandia em consequência do big-bang, isto é a temperatura do Universo começou com muitos milhões de graus mas gradativamente teve de diminuir acompanhando a expansão. Portanto o Universo tornou-se sempre menos “quente” ao passar dos milênios. Qual seria a temperatura do Universo *agora*, depois de mais ou menos 10 bilhões de anos? O cálculo pode ser feito, e foi executado por Dicke. O resultado é que a “temperatura do Universo” agora teria de ser de somente 3 graus centígrados acima do zero absoluto, quer dizer 270 graus centígrados abaixo do zero. Mas, como medir a temperatura do Universo? Pois bem, foi encontrado um “termômetro” capaz de medir a temperatura de tão gigantesco paciente, sob a forma de um detetor de micro-ondas milimétricas, captadas por meio de um grande espelho parabólico. Na execução de um contrato com a Agência Americana para vôos espaciais, um grupo da Companhia Bell construiu um rastreador de satélites funcionando com ondas milimétricas. Mas o detetor de micro-ondas ligado com a antena parabólica registrou um *ruído* que se demonstrou ser devido a um fluxo constante de ondas milimétricas que chegam a nós isotropicamente, quer dizer com igual intensidade para todas as direções. Esta radiação que enche uni-

formemente todo o espaço agora, e não apresenta a aparência de provir de fontes localizadas, coincide com aquela que, segundo a lei de Planck, foi calculada por Dicke para um Universo adiabático de 3 graus Kelvin de temperatura, sendo ela o que sobra da grande explosão, ou big-bang, com que este Universo começou. Por isso podemos afirmar que *ainda* percebemos o estrondo do *big-bang*.

Por um certo tempo achou-se que também os enigmáticos objetos chamados “quasars”, descobertos por Maarten Schmidt, fossem o que ainda se pode ver do big-bang. Mas sucessivas dúvidas sobre a distância dos quasars indicaram que o enorme “red-shift” deles pode não ser devido a efeito Doppler pela velocidade de fuga deles, mas sim ao efeito relativístico de red-shift causado por um campo gravitacional excepcionalmente intenso.

Além da evidência da “radiação dos 3.0°K ”, pela qual somos testemunhas “oculares” do big-bang, é oportuno acrescentar o caráter excepcionalmente “ousado” das hipóteses necessárias para sustentar a teoria dos Universos cíclicos ou pior ainda aquela da criação contínua. Não repetiremos o que já foi dito sobre a “degradação da energia radiante”, que impede de aceitar os Universos cíclicos. Mas considerem as condições exigidas pela “teoria da criação contínua” (ou do Universo estacionário, como foi também chamada). Pode ser verdade que não se pode demonstrar que não se cria do nada um átomo de hidrogênio por ano por ano-luz-cúbico, muito embora todas as observações conhecidas confirmam o princípio de conservação da massa (mesmo na escala microscópica onde se observa o efeito Compton). Todavia o que aquela “hipótese” diria é que a probabilidade de criação diminui onde já há outra matéria: quanto “mais nada” há, mais provável seria a criação, como se o “nada” fosse alguma coisa, para ser causa de outra coisa. Como se vê é uma hipótese muito parecida com um desespero. Ainda mais, a afirmação que a velocidade de fuga cresce “linearmente” é errada, pois isso vale só quando esta velocidade é bastante menor do que a velocidade da luz. Quando for perto à luz, a velocidade de fuga não aumenta mais linearmente, sendo compensada por um aumento da massa relativística. O “paradoxo de Olbers” (v. Hoyle, *Frontiers*, passim) é eliminado pela massa

finita contida no Universo, não pelo superamento do “muro” da velocidade da luz por parte da matéria que chegou aos “confins” como queria Hoyle. Se a velocidade da luz fôsse alcançada por uma Galáxia, esta teria *massa infinita*, e se a velocidade da luz fôsse superada, aquela massa tornar-se-ia *imaginária*. Poderíamos dizer que só pode valer a teoria da criação contínua, se jogássemos às ortigas todo o restante da física.

Em conclusão, tem-se uma forte evidência experimental para dar vulto a uma *Cosmogonia*, com um cronograma que compreende o fato que “alguma coisa aconteceu há cêrca de 10 bilhões atrás” quando um Proto-Universo explodiu, e depois disso o Universo continuou expandindo-se e evoluindo até o estado presente. Na nossa Galáxia, e possivelmente também nas outras, esta evolução deu lugar a duas gerações de estrêlas (há 9 e 4,5 bilhões de anos atrás), uma terceira já tendo tido início. É previsível que haverá uma última geração de estrêlas nuclearmente inativas.

Nem podemos nos enganar escondendo as duas perturbadoras perguntas que esta Cosmogonia deixa atrás de si: o que houve *antes* do Proto-Universo? O que haverá *depois* da última geração de estrêlas nuclearmente inativas?

IX — O Universo e a Vida

Êste é um dos Universos possíveis, pois como temos já dito (parágrafo 2), êle não contém tôda a matéria possível.

Por outro lado, a definição da matéria, introduzida no parágrafo 2, não é suficiente para descrever tôdas as experiências, isto é todos os observáveis de que dispomos neste Universo em que vivemos.

Justamente, um dos problemas é que “vivemos”. Se existe uma definição “fiscalista” da vida, então não há problema nenhum: a “vida” seria matéria. Mas se aquela definição não existir, então significa simplesmente que êste Universo não é homogêneo.

Se para a *matéria* tomamos a definição espaço-tempo-termodinâmica, e se o segundo princípio da Termodinâmica é

diferente para a *matéria vivente*, do que êle é para a matéria não vivente, então a referida não homogeneidade dêste Universo é expressada em têrmos observáveis.

A presença da vida em outros lugares que não sejam a Terra, é outro problema. É claro que a solução dêle só pode ser encontrada pela observação. É possível que tenha valor a velha hipótese de Berzelius, pela qual a vida é espalhada no Universo inteiro. É possível e acreditável: mas até agora não temos provas certas, experimentais, nem a favor nem contra.

Na hipótese da heterogeneidade dêste Universo, outro problema é o do *começo* da vida, que evidentemente deve ser posterior ao começo do Universo, porque a vida não parece compatível com as tremendas temperaturas do big-bang.

Enfim, a não homogeneidade tem outro aspecto muito mais enigmático. A experiência da *mente* do homem. Não queremos aquí discutir êste problema.

Esta não homogeneidade do Universo tem um aspecto ainda mais profundo, pois é válido para *todos* os Universos físicos possíveis, se o Princípio de Incerteza, de W. Heisenberg, é uma lei válida para todos êles. Êste aspecto deriva do chamado *Teorema da Constante Indeterminada*, consequência do Princípio de Heisenberg. Não daremos obviamente os pormenores matemáticos dêste Teorema (veja C. Borghi, Introd. à Física Atômica e Nuclear, Recife 1967, vol. II, p. 538-542). O significado dêle é que não sòmente a “existência” das coisas é “arbitrária”, isto é não tem explicação lógica, mas mesmo a estrutura matemática das leis físicas não forma um conjunto lógico fechado, porque pelo menos uma das “constantes universais” *deve ser arbitrária* no citado sentido, quer dizer que não pode ser produzida por nenhuma “causa” contida no Universo.

X — O Universo e a Terra

Para o homem comum, o Universo é um pedacinho da Terra, geralmente um pedacinho querido. Por muitos séculos a Terra foi o centro do Universo, mesmo para os “cientistas” de então. Pois descobriram que não sòmente a Terra

é pequena, mas nem sequer é o centro do sistema solar, que por sua vez é uma parte insignificante da Via Láctea. Todavia é preciso não exagerar neste complexo de inferioridade para com a Terra. O fato dela ser na periferia da Via Láctea, por exemplo, não é uma minoração, pois se a Terra fôsse no "coração" da Galáxia, superlotada de estrêlas inclusive Novas e Supernovas, a vida sobre a Terra seria provavelmente impossível. Mas, por pequeninha que ela seja, não desprezem a Terra, pois, sobre ela, eu e você podemos saber que o raio do Universo tem o gigantesco comprimento de mais ou menos 10 bilhões de anos-luz, e logo que soubermos isso, eu e você poderemos pensar no Universo como se não fôsse maior do que uma bola de tênis e bilhões de anos podem ser reunidos num instante. Há sobre a Terra algo que parece transcender qualquer tamanho, quer dizer a *mente*.

Sôbretudo não desprezem a Terra, "aiuola che ci fa tanto feroci", embora ela não seja mais "centro" do Universo (o que não significa nada); pois, qualquer que seja aquilo que existe sobre outros possíveis planetas ou em outros lugares dêste Universo geodésico, sobre a Terra tão pequeninha existem coisas espantosamente "diferentes", que têm aquela experiência incomparável que é chamada *liberdade*. Liberdade.

GÊNESE DO RELÊVO NORDESTINO: ESTADO ATUAL DOS CONHECIMENTOS

GILBERTO OSÓRIO DE ANDRADE

O Nordeste do Brasil aqui considerado é aquela, dentre as cinco grandes regiões naturais do país, que abrange os Estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e a porção do Estado da Bahia ao norte do paralelo de Salvador, totalizando cerca de 12% do território brasileiro.

O Maranhão e o Piauí — conjunto também chamado "Meio Norte" porisso que ecológicamente é uma área de transição entre o Nordeste e a "região Norte", ou "Amazônica" — correspondem praticamente ambos à *bacia do Parnaíba*, bacia sedimentar neopaleozóico-mesozóica (Devoniano-Cretáceo), ao passo que todos os demais Estados ocupam o *núcleo nordestino* (AB'SÂBER, 1955:120) do escudo brasileiro, um dos núcleos melhor individualizados do embasamento precambriano sulamericano. Nesse núcleo gnásissico-granítico, bacias intracratônicas muitas vezes associadas a fossas foram preenchidas por uma sedimentação particularmente abundante e extensiva durante o Cretáceo. No que interessa à morfologia atual, suas melhores representações modelam-se nas sequências Apodi, Araripe e também na conhecida como "série Jatobá-formação Cícero Dantas". Os sedimentos do grupo Apodi são em parte continentais, mas principalmente de fácies marinho transgressivo. Quanto à sequência Jatobá-Cícero Dantas acha-se abrigada na bacia de Cipó, também conhecida como bacia de Tucano: "Bacia do Recôncavo" foi a denominação dada por MABESOONE (1966/421) ao conjunto da bacia de Tucano e da fossa do Re-