

COLABORADORES

CARLO BORGHI

Doutor em Filosofia, físico nuclear, diretor do Instituto de Física da Universidade Federal de Pernambuco, sacerdote católico, representou o Vaticano na I Conferência Internacional de Energia Atômica, em Genebra.

CÉSAR LEAL

Poeta e crítico de poesia, professor de Teoria da Literatura da Universidade Federal de Pernambuco, autor dos livros *Invenções da noite menor*, *Romance do Pantaju*, *O triunfo das águas*, coordenador da Comissão de Letras e Artes da Pró-Reitoria da Pesquisa da UFPe.

JOEL PONTES

Crítico literário e poeta, professor de literatura portuguesa da Universidade Federal de Pernambuco, Professor-Associado das Universidades de Austin, Nova Iorque e Tulane, onde permaneceu cerca de cinco anos.

EDSON NERY DA FONSECA

Professor da Universidade de Brasília, coordenador do Projeto de implantação da Biblioteca Central da Universidade Federal de Pernambuco.

LUÍS SOLER

Professor de violino da Escola de Artes da Universidade Federal de Pernambuco. Autor de numerosos estudos sobre as relações entre música e poesia.

PAULO CHAVES

Poeta da nova geração, graduado em Letras na Inglaterra, tendo estudado também na Sorbonne. É advogado e atualmente reside no Rio de Janeiro.

As Simetrias

CARLO BORGHI

“Cantiga das problemáticas,
divisões subordinadas
a fanáticas geometrias.
Cantiga do justo espaço,
das complexas aparências,
repetidas gradações
de exaustivas experiências.
Cantiga das justapostas
projeções ortogonais”.

(Ladjane, Cantigas, 93,96)

I — O PARADOXO DE SCHIAPARELLI — LOWELL

Um dos primeiros astronautas que se aproximaram da Lua disse a propósito da Terra, vista de tão longe, que ninguém diria que aquele lugar é habitado, evidentemente porque não conseguia ver as obras do homem. Isso lembra o caso contrário de Percival Lowell, quando viu ou acreditou ver sobre Marte aqueles traços que o descobridor deles, Luigi Schiaparelli, chamou “canali”, isto é, canais. Lowell tomou o nome ao pé da letra e acrescentou outros pormenores (o desdobramento dos canais, as mudanças de cor, etc.). O fato é que, por causa daqueles “canali” (que são apenas uma ilusão de ótica) e da regularidade da rede que eles pareciam apresentar, Lowell deduziu que eram obras de seres inteligentes, os “marcianos”, que desde então entraram na parte folclórica ou de ficção da Astronomia. Existem muitos que “acreditam” nêles com uma espécie de furor místico.

Outro caso análogo foi aquêles dos “pulsars”, radioestrelas que emitem sinais muito *regulares* e modulados e por isso se tomou em conta, inicialmente, a hipótese de emissores artificiais e de seres inteligentes, até que a enormidade da potência e o espectro das frequências mostraram tratar-se de “emissores naturais” (Veja por exemplo C. N. Taubman, *Hewlett-Packard Journ.*, June 1969 pág. 17).

O que interessa, no caso de Lowell, é o tipo de indução que êle usou: “a evidência de uma regularidade de tamanho planetário é a evidência de uma obra inteligente”. No caso em pauta, a “regularidade” é constituída pelo fato de serem os “canali” linhas retas inclinadas de 45°, em geral, com relação aos meridianos, formando um reticulado com algumas simetrias. Em baixo de tudo isso há o postulado seguinte: um tal reticulado não pode se ter formado *pelo acaso*, por causa da complexidade do reticulado mesmo. Por acaso, como se vê na famosa *trinchea* cavada na Lua, provavelmente por um meteorito, uma linha reta sobre um planeta pode ter várias causas (meteoritos, contração da camada superficial) mas não um sistema inteiro que apresenta certas simetrias.

Se os “canali” realmente existissem, talvez a indução de Lowell mereceria ser reconsiderada. Todavia há nessa indução o paradoxo seguinte: excluindo os sólidos amorfos, como os vidros (que são na verdade líquidos de enorme viscosidade), quase toda a matéria *sólida* que conhecemos é constituída de *cristais*, isto é, de estruturas exatas, lineares, e com muitas e constantes simetrias. E isso não parece motivo suficiente para dizer que os cristais são obras de seres inteligentes, pois êles se formam “espontaneamente” em todos os processos de cristalização tão rotineiros na química. Então, como é que a indução de Lowell seria válida para os “canali” de Schiaparelli, mas não o seria para os cristais?

II — AS SIMETRIAS DO ESPAÇO MÉTRICO E OS CRISTAIS

Aquilo que chamamos de matéria é constituído de *átomos*, além da energia radiante e do espaço físico. (Veja do Autor,

As Veredas da Moderna Cosmologia, “Estudos Universitários”, Recife, 1968 Vol. 8, nº 2-4 pág. 23). Entre os átomos atuam diferentes tipos de forças: gravitacionais, eletrostáticas, de valência, magnéticas, vários acoplamentos de dipolos e multipolos, de spin, etc. Se a matéria é suficientemente quente, essas forças não conseguem fixar os átomos em estruturas estáveis. Mas quando a matéria torna-se progressivamente fria, então a energia do calor não é mais suficiente para impedir a todas aquelas forças de reunir os átomos em moléculas, ou em sistemas mais complicados, como os líquidos e os cristais. Líquidos e cristais são constituídos por sistemas de átomos ou de moléculas ou dos dois tipos.

Deixando de lado os líquidos, onde os átomos ou as moléculas são ainda, embora que não totalmente, numa distribuição caótica, tomemos em consideração os cristais.

Como todo mundo sabe, os cristais têm formas geométricas feitas de faces planas, de vértices, de arestas retilíneas. Não existem cristais naturalmente “redondos”, muito embora conjuntos de cristais (como as pedras nos rios ou das praias) apresentam uma forma arredondada pela vagarosa ação mecânica das águas e de materiais abrasivos. (Não pensem nas pérolas, constituídas por finas camadas concêntricas microcristalinas). Isso pode ser expressado dizendo que quando os átomos (ou as moléculas) conseguem em formar corpos sólidos (no sentido rigoroso) êles só podem se encontrar em conjuntos mais ou menor ordenados, isto é, que apresentam um certo número de *simetrias* que são as *simetrias cristalográficas*. Quer dizer que os átomos (ou moléculas) se dispõem em grupos ordenados elementares que se repetem um grande número de vezes e de maneira também ordenada. Os grupos elementares são chamados *células ou reticulados elementares*, enquanto o conjunto ordenado de células constitui o *reticulado* dos cristais.

Ora, por sua vez, os reticulados elementares não podem ser arranjos quaisquer, pois existe um número limitado desses arranjos, que obedecem às condições que podem ser deduzidas por meio daquela parte da Matemática que é conhecida como Teoria dos Grupos. (Veja p. ex. H. Nilton, *Mathematical Crystallography and the Theory of Groups as Movements*, Oxford,

1903, V. Heine, *Group Theory in Quantum Mechanics*, Pergamon 1960, pp. 1-39; H. Jagodminski, em *Handbuch der Physik*, (Flügge), vol. VII. pp. 1-103). É claro que não podemos aqui tratar do assunto com os símbolos um pouco esotéricos da teoria dos grupos. Todavia pode-se dar uma teoria muito simples sobre este assunto para mostrar porque só existem *sete sistemas* de reticulados elementares abrangendo um total de 32 tipos (*Teorema de Hessel*, em J. F. C. Hessel, *Kristallometrie usw.*, Leipzig, 1831).

A) Uma primeira maneira para ver as simetrias de um cristal consiste no fato que, em geral, encontra-se pelo menos um *eixo de rotação* tal que fazendo girar o cristal em torno dele, o cristal volta a ter a mesma forma (ou disposição de faces, arestas e vértices) que tinha antes da rotação, ou como se costuma dizer, a forma do cristal é *invariante* para aquela rotação. Operando uma rotação de um ângulo inteiro (360°), o cristal tem duas, três, quatro, etc. vezes a mesma forma. Então se diz que ele tem uma *simetria de rotação* binária, ternária, quaternária, etc. ou em geral de *ordem* n , sendo n um número inteiro que divide o ângulo giro, 360° em um número inteiro de partes iguais. Por exemplo, as rotações de ordem 2, 3, 4, 5, 6, dividem o ângulo giro 360° respectivamente em 2 ângulos de 180° , 3 de 120° ou 4 de 90° , ou 5 de 72° ou 6 de 60° .

Pode parecer que à *ordem* n das simetrias rotacionais possam pertencer todos os divisores de 360° (módulo zero), mas isso seria uma ilusão porque a medida do ângulo giro em 360° é arbitrária. Se tivéssemos escolhido, por exemplo, a medida 400° em lugar de 360° os divisores de 400° não seriam iguais aos divisores de 360° . Então quais são as ordens n das simetrias rotacionais dos cristais, independentes de número arbitrário que mede o ângulo giro?

A resposta é que, se tomarmos os cristais de um determinado tipo, deve ser possível *preencher o espaço com eles sem deixar lacunas*. Isso é equivalente a dizer que um reticulado de um determinado tipo pode ser desenhado no espaço sem ter a necessidade de deixar lacunas vazias.

Então, quando os cristais tenham uma face perpendicular a um eixo de rotação, esta face deve ter a forma de um polígono

no regular capaz de cobrir toda uma superfície plana sem nela deixar lacuna alguma. Onde um eixo de rotação atravessa esta superfície temos um ponto. Sobre este ponto dispomos os vértices de m polígonos regulares, justinho um depois de outro, sem os sobrepor, e pretendemos que os m polígonos assim dispostos cubram toda a área em torno daquele ponto, sem deixar a mínima lacuna entre os polígonos. Naturalmente a mesma coisa se deve repetir para todos os vértices destes polígonos. Bastará pensar um pouco para ver que isso quer dizer que os polígonos em questão devem ter entre dois lados adjacentes um ângulo interno que seja $360^\circ/m$ sendo m um número inteiro não é necessariamente o número n dos lados de um dos polígonos.

Por exemplo temos:

$$\text{triângulo equilátero: } \text{âng. interno} = 60^\circ = \frac{360^\circ}{6} \quad ; m = 6$$

triângulos equiláteros

$$\text{quadrado e retângulo: } \text{âng. int.} = \frac{360^\circ}{4} \quad ; m = 4 \text{ retângulos}$$

$$\text{rombo, } 2 \text{ ângulos } a + 2 \text{ ângulos } b \text{ sendo } a + b = 180^\circ = \frac{360^\circ}{2} \quad ; m = 2 \times 2 = 4$$

rombos

$$\text{pentágono regular, } \text{âng. int. } 108^\circ \quad \text{impossível}$$

$$\text{hexágono regular } \text{âng. int. } 120^\circ = \frac{360^\circ}{3} \quad ; m = 3 \text{ hexágonos regulares}$$

Assim vemos que o ângulo inteiro pode ser preenchido com 6 triângulos equiláteros, ou 4 quadrados, ou 4 quadriláteros, ou 3 hexágonos regulares e que não há outros possíveis polígonos regulares para isso.

Portanto a ordem da simetria da rotação dos cristais só pode ser 2 ou 3 ou 4 ou 6 e nenhuma mais. Observe-se a ausência da ordem 5, pois não se pode cobrir uma área plana somente com pentágonos regulares. (Para este teorema fundamental veja por ex. R. Sabini, Cristallografia etc. em Encicl. delle Matematiche Elementari, Milano, Hoepli, 1947, art. XLIX, vol. 3º/1º, pág. 628).

B) Os cristais, que têm simetrias de rotação das ordens 2, 3, 4, 6, em torno de um eixo de rotação, caso tenham duas faces paralelas (bases) atravessadas por este eixo, têm as formas conhecidas como prismas rômnicos ou triangulares ou quadrangulares ou hexagonais, respectivamente. As faces laterais dos prismas são sempre quadrangulares, caso as arestas laterais sejam perpendiculares às bases. Então os prismas são retos, indicados com a letra R.

Mas se deslizarmos, por ex., a base superior de um prisma paralelamente a um dos lados das bases, obtêm-se outros prismas chamados de monoclinos, indicados com a letra M.

Se, ainda mais, deslizarmos aquela base de um prisma M perpendicularmente à primeira direção de deslizamento, obtêm-se outros prismas chamados de triclinos, indicados com a letra T

C) As rotações de ordem 2, 3, 4, 6 com a identidade, formam um subgrupo (cíclico) dos movimentos que determinam as simetrias, o subgrupo dos movimentos próprios ou de 1ª espécie. Mas há outros dois "movimentos" chamados impróprios ou de 2ª espécie, que determinam outras simetrias, além daquelas determinadas pelas rotações. Estes são as reflexões e as simetrias centrais (Veja S. Sabini, op. cit. pág. 636).

As simetrias centrais são aquelas que representam pontos diametralmente opostos relativamente a um "centro", seja este centro ocupado ou não por um átomo (ou molécula).

As simetrias centrais aparecem quando há faces ou seções quadrilaterais (quadrados, retângulos ou rombos) que podem ser simples (indicados por S) se são simplesmente quadriláteros, ou centrados (indicados com F, que significa faces com um átomo no centro delas). Caso o cristal tenha um centro num quadrilátero, ele pode ter o centro ocupado por um átomo (e é indicado com C).

D) Quanto às simetrias devidas aos movimentos de 2ª espécie, podem ser determinadas por meio do Teorema fundamental da topologia (veja por ex. H. Weyl, Symmetry, Princeton 1952, pág. 89). Seja dada uma área fechada, (como a de um objeto isolado, uma pedra, uma esfera, um cristal, etc.) dividida em um número Z de zonas, (como os estados sobre um globo geográfico).

Digamos V o número de vértices no reticulado das Z zonas, e L o número de lados ou arestas ou confins. Então deve existir a relação seguinte: $Z + V - L = 2$ (X)

Em particular, as zonas Z sejam tôdas polígonos regulares (de lados iguais e de ângulos internos iguais), sendo n o número dos lados de um desses polígonos. Então o número de arestas L é sempre $L = nZ$. Mas em um vértice, podem confluír

$$\begin{array}{c} \text{2} \\ \text{3 ou 4 ou mais arestas, de maneira que } V = \frac{nZ}{3} \text{ ou } \frac{nZ}{4}, \text{ etc.} \end{array}$$

Então, caso seja $V = nZ/3$ a relação (X) torna-se $Z = 12/(6 - n)$

Para $n = 3$ (= triângulos equiláteros) temos $Z = 12/3 = 4$, que é o tetraedro (de 4 triângulos em forma de pirâmide).

Para $n = 4$ (quadrados) temos $Z = 12/2 = 6$, que é o hexaedro ou cubo.

Mas para $n = 6$ (hexágonos regulares) teríamos $Z = 12/0$, que é impossível, isto é não podem existir cristais cujas faces são todos hexágonos regulares, embora existam prismas hexagonais (como os cristais de neve) com 2 hexágonos e 6 quadriláteros).

Mas caso seja $V = nZ$ então a relação (X) torna-se $Z = 8$

$$\begin{array}{c} \text{4} \qquad \qquad \qquad \text{4 - n} \\ \text{Para } n = 3, \text{ temos } Z = 8, \text{ que é o octágono (bipirâmide de 8 triângulos equiláteros apoiados sobre um quadrilátero).} \end{array}$$

É claro que não temos nenhum cristal com $n = 4$ neste caso, porque teria $Z = 8/0$, que é impossível.

E) Em resumo temos que os *cristais possíveis* pertencem aos 32 tipos seguintes:

ORDEM DE SIMETRIA DA 1a. ESPÉCIE	NOME	SIMETRIA DA 2a. ESPÉCIE		Nº DE TIPOS
2	prisma rômico	R M T	S F C	9
2	prisma triangular	M T	—	2
2	octoedro rômico	R	S C	2
3	prisma triangular	R	—	1
4	prisma retangular	R M T	S F C	9
4	octoedro retangular	R	S C	2
6	prisma hexagonal	R	S F C	3
3	tetraedro	R	—	1
4	cubo	R	S F C	3
		TOTAL		32

Seguindo uma classificação, bem antiga mas ainda válida, de Bravais e Schonfliess (cf. E. Fermi, *Molecole e Cristalli*, Bologna 1934, pp. 143 e seguintes) êsses 32 tipos estão distribuídos entre os *sete sistemas seguintes*:

- 1) Monométrico (cubo)
- 2) Retangular
- 3) Hexagonal
- 4) Trigonal (tetraedro e octoedro)
- 5) Romboédrico
- 6) Monoclino
- 7) Triclino

F) Da natureza dêsses reticulados elementares descem as bem conhecidas leis da cristalografia, estabelecidas por Haüy, Bravais, Wiener, Klein, etc. (Veja um resumo histórico em R. Rocco, *Encicl. Mat. Elem.* já citada pp. 593-596 e 602-607).

Mas o que aqui é importante notar é que as simetrias impõem à Natureza que fabrica cristais uma espécie de *código*, ou como se costuma dizer *uma Lógica*, que permite um número finito de tipos e *proibe* todos os outros, porque implicam contradições. Êsse fato é a razão pela qual valeu a pena dar uma teoria dos cristais. Os outros pormenores que se relacionam com os cristais, inclusive a utilização dos raios X ou gama para ver os reticulados cristalinos (pelos métodos de Laue, de Bragg, de Debye, etc. veja Fermi, op. cit. pp. 145-151) são somente pormenores *técnicos*. Mas o fato que a cristalografia seja uma lógica à qual a Natureza física obedece fielmente, é algo a mais do que um pormenor técnico, pois a afirmação que “a Natureza física é lógica” tem uma ressonância filosófica profunda, que mais ou menos consiste na *tentação* de afirmar que “a natureza da Natureza física é a Lógica” com L maiúsculo. (Mas é só uma tentação).

III — AS SIMETRIAS DA MORFOLOGIA BIOLÓGICA

O conjunto de objetos que chamamos “vivos” (sem entrar na questão sobre o que é “vida”) não somente obedece a uma Termodinâmica parcialmente *diferente* daquela do mundo físico, mas também não aceita as limitações ou proibições que a Lógica da teoria dos Grupos impõe às simetrias dos cristais.

Muito freqüente na morfologia dos corpos vivos é a *simetria dual ou bilateral*, por reflexão sobre um plano que (mais ou menos exatamente) separa em duas partes “especulares” o corpo mesmo.

Assim, temos nos animais os lados *direito* e o *esquerdo* como os dois hemisférios do cérebro, os dois pulmões, a disposição “dual” ou especular dos braços, das pernas, dos dedos, etc. Nos vegetais, temos freqüentemente as folhas dispostas em simetria dual ou bilateral (Veja H. Weyl, op. cit. pp. 3-38).

Muito mais rara, agora, é nos animais a *simetria ternária*,

que todavia caracterizou os animais mais antigos, os Trilobitas. Mas na disposição das folhas dos vegetais a simetria ternária é freqüente assim como a quaternária, a quinária e outros. Observe-se que a morfologia biológica aceita as simetrias “proibidas” como a de ordem 5. Dir-se-ia que a morfologia biológica tenta realizar o que é proibido para os cristais. Por ex. tenta cobrir por hexágonos uma esfera, como na Aulonia hexágona (Haeckel) (H. Weyl pág. 89). Naturalmente não consegue, e preenche algumas áreas com pentágonos. Os mesmos hexágonos entram na mui celebrada simetria dos favos das abelhas (“italianas”) (Weyl, pág. 84).

A *simetria das espirais* não aparece diretamente nos cristais, muito embora uma espiral (cilíndrica) possa ser desenhada sobre certos cristais hexagonais, como no caso famoso do quartzo.

Pelo contrário, as espirais são muito comuns na morfologia biológica, quer as espirais cilíndricas como na filotaxia, (disposição das folhas sobre os ramos), quer as espirais planas, como na disposição das sementes do girassol (neste caso a espiral é relacionada com a série numérica de Fibonacci, veja Weyl op. cit. pp. 71-72). As espirais dos moluscos são bem conhecidas, como as do Nautilus, de muitos caracóis, as de muitos numolitas fósseis, etc. (Weyl, op. cit. pág. 70; Turritella duplicata, à pág. 68). As mais famosas das espirais são as duas espirais contrárias, que formam o DNA, suporte químico do código da vida. No plano molecular existem as simetrias levogiras e dextrogiras, sobre os quais veja o parágrafo VII.

Todos êsses exemplos, e muitos outros que poderiam ser lembrados, parecem autorizar a afirmação pela qual as simetrias que vigoram para os seres vivos são muito mais numerosas das do que as dos cristais, e também que essas simetrias são realizadas de maneira aproximada e não rigorosa nos seres vivos, sem o rigor e a exatidão própria ao mundo físico dos cristais.

Estas conclusões seriam a condenação definitiva do paradoxo de Schiaparelli e Lowell, se não considerássemos as *simetrias funcionais ou intencionais*.

Existem na natureza cristais compostos que já têm a forma de uma ponta de flecha, mas se encontrarmos uma pedra

qualquer que tenha a forma de ponta de flecha sem que isso derive da estrutura cristalina daquela pedra, então diremos que alguém deu esta forma àquela pedra, para transformá-la numa ponta de flecha. Então a particular simetria daquela pedra será um indício para pensar num ser “inteligente”, quer dizer que conhece as relações causais.

A mesma coisa poder-se-á repetir ao encontrarmos um osso que foi “trabalhado” para ser uma agulha, ou qualquer outra coisa cuja forma seja adaptada a uma finalidade, isto é, que tem alguma espécie de simetria funcional ou intencional *que não possa ser devida ao acaso*.

IV — AS SIMETRIAS NO ESPAÇO DE MINKOWSKY

Voltemos ao mundo físico (quer dizer ao conjunto dos observáveis espaço-tempo-termodinâmicos).

A “Lógica” que temos descoberto na Natureza física, em relação com os cristais, parece ser limitada ao estado sólido, isto é, a um estado bastante excepcional para a matéria no seu conjunto, que na grande maioria dos casos do Universo é num estado gasoso mais ou menos denso. Todavia seria muito errado pensar que tal “Lógica” da natureza seja um fenômeno limitado ou, por assim dizer, excepcional. Pelo contrário, o modelo de “código” dos movimentos da 1ª e 2ª espécies encontrado para os sólidos é só um caso de uma “lógica” que se repete tanto no nível do átomo quanto naquele do Universo inteiro. Toda a Natureza física é “Lógica”, isto é, obedece a um código, e as regras gerais dêsse código são unívocas, uniformes e constantes para o Universo todo e para cada parte dêle. Êste fato, denominado *continuidade da racionalidade do real (físico)*, é objeto dêste parágrafo e dos seguintes, muito embora não seja possível dar todos os detalhes dêle em uma demonstração tão elementar como no caso dos cristais, pois isso precisaria de uma aparelhagem matemática esotérica para os não especializados.

Começamos com as simetrias que existem para os movimentos de 1ª e 2ª espécies naquele espaço de quatro dimensões em que a Teoria da Relatividade de A. Einstein descreve

as leis do mundo físico. Este espaço, chamado de Minkowsky, compreende quatro dimensões entre si perpendiculares (veja do A. o artigo "As Veredas da Moderna Cosmologia"). Consideremos nêles o caso mais simples, aquêle de dois observadores O e O', que têm entre si uma velocidade v relativa paralelamente a uma das coordenadas dos respectivos sistemas de eixos ortogonais (x, y, z, ict) , (x', y', z', ict') , onde x, y, z são as coordenadas espaciais, t é o tempo, sendo c a velocidade da luz. Se postularmos que os dois observadores devem ver a mesma velocidade da luz, como exige o célebre experimento da Michelson (veja C. Moller, Theory of Relativity, Oxford 1957, pp. 26-28) então demonstra-se que entre os dois sistemas das coordenadas (x, y, z, ict) e (x', y', z', ict') existem as relações seguintes:

$$(L) \quad \begin{aligned} x' &= Cx + Sct \\ y' &= y; z' = z \\ ct' &= Sx + Cct \end{aligned} \quad \begin{aligned} S/C &= \text{tangente hiperbólica do ângulo } v/c; \\ C^2 - S^2 &= 1 \end{aligned}$$

Veja-se o significado do sistema de equações (L), comparando-o com um caso muito elementar da geometria analítica. Todos os pontos de um plano podem ser individualizados por meio de duas coordenadas cartesianas medidas sôbre dois eixos entre si perpendiculares que chamaremos (x, ict) e que se cruzam num ponto (o, o) que é a origem daqueles eixos. Agora, ficando o ponto (o, o) como centro, operemos uma rotação, seja de um certo ângulo a . Então em lugar dos primeiros eixos (x, ict) teremos outros (x', ict') , tendo c como uma constante. O problema então é o seguinte: as coordenadas do ponto que nos eixos iniciais eram (x, ict) , como tornar-se-ão no nôvo sistema (x', ict') ? A geometria elementar diz que entre (x, ict) e (x', ict') existem as relações seguintes:

$$(R) \quad \begin{aligned} x' &= C'x + S' ct \\ ct' &= -S' x + C' ct \end{aligned} \quad y' = y; z' = z$$

com a condição:

$$\begin{aligned} C'^2 + S'^2 &= 1 \\ S'/C' &= \text{tangente (circular) do ângulo } a \end{aligned}$$

É evidente a analogia entre o sistema (R) e o sistema (L) quando neste último deixarmos de lado a 2ª e 3ª equações. Pode-se expressar esta analogia dizendo que a transformação de coordenadas (L) é equivalente a uma *rotação hiperbólica* dos eixos, isto é rotação de um ângulo que em lugar de ser medido em unidades reais 1, é medido em *unidades imaginárias* i que é a raiz quadrada de -1 . A transformação (L) chama-se de *Lorentz*. A forma que aqui temos dado é a mais simples das transformações de Lorentz: existe uma forma completa e mais complicada incluindo translações e rotações. Operando duas transformações de Lorentz obtém-se sempre uma transformação de Lorentz, isto é elas constituem um *grupo*: (Veja R. P. Feynman, Theory of Fundamental Processes, W. A. Benjamin, 1962, pág. 23). Ora, como foi visto no parágrafo 2, as rotações no espaço métrico ordinário criam um número limitado de tipos de cristais por meio de *uma* condição, que os reticulados obtíveis com os diferentes movimentos da 1ª e 2ª espécies *têm de encher o espaço* sem deixar lacunas. Na mesma maneira, às rotações hiperbólicas no espaço de Minkowski, que representam todos os acontecimentos cinemáticos e dinâmicos da matéria, impomos *uma* condição, que é o postulado básico da Relatividade (chamada de Restrita) isto é que sômente poderão ser chamadas *leis físicas* aquelas cuja representação matemática não muda quando as coordenadas ou as componentes das quantidades envolvidas naquelas leis padeçam uma transformação de Lorentz, ou em outras palavras, a tôdas as leis físicas precisa impôr que a forma analítica delas não muda depois de uma transformação de Lorentz, ou como se costuma dizer, que elas sejam *invariantes* para as transformações de Lorentz. Pode-se demonstrar que o sentido dêste postulado fundamental é que um movimento relativo entre os dois observadores O e O' acima citados é observado por O e O' de maneira igual, sendo impossível determinar um movimento que não seja puramente *relativo*. Ora, a determinação destas leis cuja forma é invariante para as transformações de Lorentz se faz de maneira seguinte:

A) Antes de tudo se determinam operadores e quantidades chamadas *covariantes*, de 4 componentes, que se transformam como as 4 coordenadas do espaço de Minkowsky, $x, y, z,$

ict dadas em (L). Essas *quantidades* ou *operadores* covariantes são os seguintes:

1º) O tetravetor “acontecimento” $S(x, y, z, ict)$.

2º) O *tetragradiente* $G(-Dx, -Dy, -Dz, +icDt)$, onde Dx significa “derivada parcial em relação à coordenada x ”, e assim por diante.

3º) A *tetracorrente* $J(Jx, Jy, Jz, icR)$, onde Jx é a componente x da densidade da corrente, enquanto R é a densidade por unidade de volume, ou da massa ou de carga elétrica.

4º) O *tetrapotencial*, $P(Ax, Ay, Az, icV)$ onde Ax é a componente x do potencial vetor, enquanto V é o potencial escalar. Isso vale para todas as forças que admitem a existência de um potencial.

5º) O *tetravetor momento-energia* $p(cp_x, cpy, cpz, iE)$ onde p_x é a componente x do momento p , enquanto E é a energia total, que inclui a energia da massa em repouso, $m_0 c^2$. (Veja R. P. Feynman, Quantum Electrodynamics, W. A. Benjamin 1962, pág. 24).

B) Com os tetravetores covariantes $S(x, y, z, ict)$,

$G(-Dx, -Dy, -Dz, icDt)$, $J(Jx, Jy, Jz, icR)$

$P(Ax, Ay, Az, icV)$, $p(cp_x, cpy, cpz, iE)$ podem-se operar *produtos* de dois tipos diferentes, chamados *escalares* e *vetoriais*, isto é ou *simétricos* ou *anti-simétricos* em relação às coordenadas espaciais (x, y, z) . Todos esses produtos têm resultados que não mudam quando se opera uma transformação de Lorentz, e portanto são chamados *invariantes*.

No espaço de Minkowski, os cinco tetravetores acima enumerados são o análogo das simetrias 1, 2, 3, 4, 6, determinadas no espaço métrico pelos movimentos de 1ª espécie, enquanto as propriedades de simetria dos produtos (escalares e vetoriais) dos mesmos tetravetores, são análogos às simetrias produzidas pelos movimentos de 2ª espécie no espaço métrico ordinário. Com efeito, tome-se uma das componentes de um dos produtos de tetravetores que analisaremos em breve, e seja uma função de coordenada x , por exemplo $f(x)$. Então vamos ver o que esta função vai se tornando quando em lugar de $+x$ ponha-se $-x$, isto é, o que vem a ser $f(-x)$. Pode ser que $f(-x)$ seja

totalmente diferente de $f(+x)$, aliás isto é o caso geral e mais provável. Mas se acontecer que se encontra a relação, (Sim) $f(+x) = f(-x)$ então a função $f(x)$ chama-se *simétrica* em relação a x . Caso encontre-se a outra relação.

(Ant.) $f(+x) = -f(-x)$

então $f(x)$ é *anti-simétrica* em relação a x . (Às vezes, em lugar de “simétrico” e “anti-simétrico” usa-se dizer “função par” e “função impar”). Esses dois tipos de simetria (Sim) e (Ant.) representam o comportamento dos produtos entre tetravetores, que agora veremos, em relação ao movimento da segunda espécie que já conhecemos como *reflexão*, sobre um plano justamente de reflexão. O que há a mais, é que esta reflexão existe *também para o tempo*, e assim se introduz o conceito bastante esquisito de *inversão do tempo*, como se houvesse em tempo que vai do futuro para o passado, e não só vice-versa.

C) A importância dos invariantes acima definidos, e que são o equivalente dos cristais no espaço de Minkowsky, aparece ao analisarmos os mais notáveis entre eles, na maneira seguinte. (Sobre as leis físicas que descem das simetrias no espaço de Minkowsky, veja P. Roman, Theory of Elementary Particles, North Holland 1960, ch. IV, e o resumo da pág. 412, v. também Roman, Advanced Quantum Theory, Addison Wesley 1965, ch. V).

1º — O produto escalar $S.S = S^2$ é invariante. Quando $S^2 = 0$ então este invariante representa a *propagação da luz*, que é igual para todos os observadores, e portanto o caso $S^2 = 0$ representa o postulado fundamental da Relatividade. Caso S^2 seja diferente do que o zero, então o invariante S^2 é aquele que se chamará *métrica* do espaço de Minkowsky, igual para todos os observadores. (Sobre métrica e gravitação veja “Veredas da Moderna Cosmologia”, pág. 13). A métrica é *simétrica* para com a reflexão do espaço e do tempo. Quanto ao produto vetorial $S \times S = 0$ não tem nenhum sentido especial.

2º — O produto escalar $G.J = f$ é invariante. O valor $f = 0$ é compatível com a chamada “invariância de calibre” (“gauge invariance”) e a “condição de Lorentz” (veja P. Roman, Elem. Part. pág. 912). Com $f = 0$ isto é, um dos mais importantes invariantes pois representa as *leis de conservação da mas-*

sa e da carga elétrica, isto é, o 1º Princípio da Termodinâmica, “nada se cria, nada se destrói, tudo se transforma”. Isso porque a equação $G.J = 0$ torna-se equivalente àquela que na Mecânica Clássica chama-se *equação de continuidade* que justamente expressa aquêlê 1º princípio.

3º — O invariante escalar $p.p = -c^2 p^2 + E^2 = m^2 c^4$ representa a *energia total relativística*, incluindo a energia “a repouso” $m_0 c^2$ onde m_0 é a massa medida por um observador que está parado em relação a esta massa. Daí a célebre *relação de Einstein entre massa e energia*.

$$(E^2) \quad E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$$

$$\text{da qual obtêm-se } (E) \quad E = \pm \left(m_0^2 c^4 + p^2 c^2 \right)^{1/2}$$

A existência dos dois sinais $\pm$ na equação (E) representa uma importante *simetria* binária no espaço de Minkowsky, importando a existência de *estados* cujas energias totais podem ser ou positivas ou negativas (e também as massas podem ser independentemente positivas e negativas, porque os quadrados $(+m)^2$ e $(-m)^2$ são iguais). Esta simetria binária representa com o sinal $+$, os corpúsculos da *matéria*, e com o sinal $-$, os corpúsculos da *antimatéria*. Por outro lado pode-se demonstrar que também a simetria binária matéria-antimatéria representa uma *simetria de reflexão em relação do tempo*, no sentido que para a antimatéria é como se o tempo corresse do futuro para o passado. É conhecido por todo o mundo que é justamente pela (E) que P. A. M. Dirac previu teoricamente o primeiro exemplo de antimatéria, o positron, que é um electron com carga positiva.

4) O invariante escalar.

$$(B) \quad p.S = cp_x x + cp_y y + cp_z z - cEt$$

contém a fase das ondas de De Broglie. Esta fase invariante define o comprimento de onda de De Broglie do qual desce a transformação de observáveis em operadores assim como a equação de Schrodinger (que identifica ondas e corpúsculos) e daí toda

a *Mecânica Quântica*, a das matrizes de Heisenberg, os operadores de criação e aniquilação, e toda a fronteira em progresso da Física Moderna.

5) O operador invariante simétrico $G.G$ é aquêlê já conhecido como *Dalemberteano*. Toda a *Mecânica das ondas* de qualquer natureza é assim invariante, isto é, representa realmente uma lei física.

6) Construamos o *tensor anti-simétrico*:

$$(F) \quad F_{ab} = G_a P_b - G_b P_a$$

onde P é o tetrapotencial, enquanto a, b são duas diferentes coordenadas entre as quatro (x, y, z, ict). O tensor (F) é chamado *eletromagnético* e consiste em 6 elementos não nulos que são os componentes dos *campos elétrico e magnético*. Com a condição de Lorentz $G.A = 0$, todo o *eletromagnetismo* pode ser condensado nas duas equações:

$$\begin{aligned} G.J &= 0 \\ G_a F_{ab} &= J_b \quad (\text{saturando o índice } a) \end{aligned}$$

ou também

$$\begin{aligned} G.GA &= -J' \\ G.GV &= -R \end{aligned}$$

sendo os tetravetores J e P escritos $P(A, icV), J(J', icR)$.

7) Sobre o invariante Sxp veja-se o § VI.

(D) *Em conclusão*, da simples regra dita acima sobre a escolha das leis físicas, vê-se que se encontram todas as grandes leis, com as devidas correções relativísticas. Isto é, *as leis da física são equivalentes aos cristais do espaço de Minkowsky*, sendo devidas às simetrias para os movimentos de 1ª e 2ª espécies no sentido da transformação completa de Lorentz.

Desta maneira encontramos outra vez a constatação pela qual *a Natureza é lógica* ou que as leis dela não são devidas ao acaso. E em lugar do pessimismo de Shakespeare que la-

menta "the multiplying villainies of Nature" (Macbeth, I, 2) preferimos por isto a constatação de Dante":

"il ciel, cui tanti lumi fanno bello,
della Mente profonda che lui volge

prende l'immagine e fassene suggello" (Par. II, 130-132). Isto é "o céu, embelezado por tantas luzes, toma a imagem da Mente profunda que o faz existir, e dela trás a sua lei estável".

V — SIMETRIA E ANALOGIA

A síntese de toda a física vista no parágrafo anterior, depende de *uma só condição*, o grupo de Lorentz, assim como a cristalografia vista no § 2 depende de uma só condição, o preenchimento do espaço. Por isto podemos dizer que as conclusões desses dois parágrafos aparentemente tão diferentes, são entre si *análogas*, o que equivale a repetir aquilo que já temos chamados de "lógica da Natureza". A extensão dessa lógica até às leis mais gerais é o que já chamamos "continuidade da racionalidade do real", entendendo por real o que não somente não é absurdo mais pode-se também observar. Neste sentido a analogia é tomada no seu significado mais restrito. Todavia, às vezes a analogia é tomada com significados muito menos aceitáveis, como podemos ver em dois casos famosos. O grande astrônomo que foi Kepler, teve a "intuição" que o Universo, como ele podia conhecê-lo, tinha uma estrutura ligada com algumas simetrias, tendo nisso recebido talvez a influência da mitológica "harmonia das esferas" na qual parece que falasse Pitágoras. Assim, no *Mysterium Cosmographicum* (1595) (veja Weyl, op. cit. pág. 79) achou ter descoberto que o Universo é como uma daquelas caixas chinesas uma dentro da outra, cada qual sendo um sólido regular, e descreve o Mundo como sendo um cubo (Saturno), contendo um tetraedro (Júpiter), pois um dodecaedro (Marte), pois um octoedro (Terra), etc. A analogia com as simetrias da ciência moderna é muito longínqua, mais surpreende a intuição de atribuir às simetrias a racionalidade do mundo físico. Outro exemplo famoso de analogia é aquele que permanece vivo na cultura comum, com a frase: a estru-

ra de um átomo é como aquela de um sistema solar. Já os antigos, com Hermes Trismegistos, o mítico sábio egípcio, diziam que "O que está no alto é como o que está em baixo", que é uma analogia bastante vaga para que se possa adaptá-la a muitos casos. Mas tome-se por exemplo o sistema solar em que vivemos e lembre-se a regra empírica chamada de lei ou regra de Titius ou de Bode (1772) para os raios das órbitas dos planetas. (Veja por exemplo, Cecilia Payne-Gaposhkin, *Introduction to Astronomy*, Prentice Hall 1961, pp. 175-176).

Tomando como unidade a órbita da Terra, e formando a série de números:

$0; 2^0 \times 3 = 3; 2^1 \times 3 = 6; 2^2 \times 3 = 12; 2^3 \times 3 = 24; \text{etc.}$, acrescente-se a cada número da série o número fixo 4, e divida-se o total por 10. Obtêm-se a série 0,4; 0,7; 1,0; 1,6; 2,8; 5,2; 10,0; 19,6; 38,8; 77,2, que representa bastante bem os raios de Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Asteróides, Júpiter, Saturno, Urano. Plutão dá errado (77,2 em vez de 39,5). Ora, as "órbitas" num átomo de Bohr são dadas por:

$$r = a \cdot n^2 \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (a = 1^{\text{a}} \text{ órbita de Bohr})$$

isto é dependem do quadrado de n , enquanto a "lei" de Bode depende da função 2^n . Portanto a analogia pode ser mesmo casual entre o átomo de Bohr e o sistema solar.

Todavia, isso não significa que as analogias sejam sempre duvidosas como nos dois casos referidos, especialmente quando estão baseadas em evidentes simetrias, mesmo que sejam só formais, e não somente em combinações que podem ser casuais. Tome-se como exemplo a analogia formal entre a equação das ondas ("dalembertiana") e a equação da energia total de uma partícula ("hamiltoneana"), que deu lugar àquela revolução na compreensão da Natureza que foi a equação de Schrodinger e à física ondulatória e quântica que dela saíram. Afinal, aquela analogia consiste em constatar que tanto o dalembertiano como o hamiltoneano podem-se representar como sendo a soma de três quadrados e de uma função arbitrária.

Da mesma maneira o fato que as equações de Maxwell, que conglobam tudo o eletromagnetismo, podem ser representa-

das ou por meio de *quatro* equações diferenciais vetoriais lineares sobre os campos elétrico e magnético, ou por meio de *duas* equações diferenciais (uma vetorial e a outra escalar) da segunda ordem, sobre o potencial vetor e o potencial escalar, encontrou uma situação análoga nas equações de onda lineares de tipo Dirac para partículas de spin $1/2$, e as da segunda ordem do tipo Klein-Gordon para aquelas de spin zero (veja § VI).

Tudo isso parece sugerir uma espécie de uniformidade no código com que a Natureza é construída, isto é aquela "continuidade da racionalidade" pela qual sabemos que estamos existindo num mundo lógico e não num mundo mágico.

VI — AS SIMETRIAS NO ESPAÇO DO SPIN ISOBÁRICO E AS PARTÍCULAS ELEMENTARES

Entre os invariantes, produtos de covariantes, vistos no parágrafo V, temos deixado de lado um que é de tanta importância que merece um parágrafo à parte, quero dizer o invariante anti-simétrico $S_x p$.

Com o método dos operadores, que aqui não podemos obviamente repetir (veja p. ex. P. Roman, *Theory of Elementary Particles*, Amsterdam 1960, pp. 94-99) demonstra-se que este invariante é a soma de duas partes. A primeira depende só das coordenadas espaciais e formalmente corresponde ao vetor anti-simétrico que na mecânica clássica chama-se *momento angular*, $r \times p$, mas na mecânica quântica tem a característica de que os valores deles são proporcionais a um múltiplo da constante de Planck h' , sendo a constante de proporcionalidade a raiz quadrada de $L(L+1)$, onde L é um número inteiro qualquer, incluindo o zero.

Mas enquanto na mecânica clássica é o mesmo momento angular $r \times p$ que se "conserva", na mecânica quântica esse momento angular sozinho não é invariante. Para que isso se verifique, é preciso acrescentar um segundo termo, sui generis, nem escalar, nem vetorial, mas *espinorial*, representado por $\frac{1}{2} h' I$, onde h' é a constante de Planck dividida por 6,28, enquanto I

produz *fatôres inteiros* (0, 1, 2, 3...) (autovalores) e representa o que se chama *spin*. Portanto o invariante $S \times p$ é dado pela soma do momento angular e do spin. (Este resultado, no caso do electron fôra já encontrado por P. A. M. Dirac).

No caso do electron, o spin foi introduzido, independentemente da Relatividade, por motivos experimentais (experimento de Einstein e Haas) e como hipótese para explicar a multiplicidade das raias do espectro da luz emitida pelos átomos excitados. (Veja C. Borghi, *Introdução à Física Atômica e Nuclear*, vol. II, Recife, 1967, pág. 450). Por Uhlenbeck e Goudsmit o spin fôra interpretado no começo como sendo devido a uma rotação dos corpúsculos em torno do seu próprio eixo (donde o nome inglês de "spin") análogamente ao que acontece com os planetas do sistema solar, que giram sobre si mesmos além de girar em torno do Sol.

Mas deixando de lado as analogias ou modelos, o spin aparece como uma propriedade intrínseca daqueles constituintes do mundo físico que são as *partículas elementares*, propriedade representada por uma *coordenada intrínseca do spin*.

Os valores desta coordenada são determinados por uma generalização daquele fenômeno tipicamente quântico que é a *quantização espacial* (veja C. Borghi, *Introdução à Física Atômica e Nuclear*, Recife, 1967, II, pág. 364; E. Persico, *Fundam. of Quantum Mech.*, N. Y., 1950, pág. 243).

O spin é uma espécie de um momento angular, ligado a um momento magnético, e pode-se demonstrar que este momento magnético, quando a partícula é mergulhada num campo magnético externo, só pode tomar um número finito de direções, relativamente a este campo externo. Assim se vê que se o momento angular total (orbital + spin) é medido por um número j da unidade h' já definida antes, o número das possíveis direções é $(2j+1)$. Sendo que j pode ter os valores 0, $1/2$, 1, $3/2$, etc., temos que $(2j+1)$ pode ter os valores correspondentes 1, 2, 3, 4, etc. Então se diz que temos um *singuleto*, um *duplete*, um *triplete*, um *quarteto*, etc. de valores possíveis. (O número $(2j+1)$ pode-se demonstrar teoricamente pelo método dos operadores de rotação, veja Feynman, *Fundamental Processes*, pp. 11-18; L. I. Schiff, *Quantum Mechanics*, McGraw-

Hill, 1949, pp. 140-147; M. E. Rose, *Angular Momentum*, John Wiley 1957, pp. 22-55).

O spin representa uma característica importante das partículas não somente de um ponto de vista microscópico, isto é da estrutura do corpúsculo, mas também de um ponto de vista macroscópico, quer dizer estatístico, no comportamento de um grande número dos corpúsculos. Com efeito, pelo fato que os corpúsculos do spin semi-inteiro (como $1/2$, $3/2$, etc) são sujeitos ao Princípio de Exclusão (de Pauli) (V. E. Persico, *Fundamental of Quantum Mechanics*, Prentice-Hall, 1950, pág. 654) enquanto os corpúsculos com spin inteiro, (isto é, 0, 1, 2, etc.) não estão sujeitos àquele princípio, vem a consequência que os primeiros se comportam segundo a estatística de Fermi, enquanto os outros se comportam segundo a estatística da Bose-Einstein (veja E. Fermi, *Molecole e Cristalli*, já citado, pp. 259-292).

Quanto, pois, à estrutura própria dos corpúsculos, o spin semi-inteiro ou inteiro determina dois tipos profundamente diferentes das partículas, chamadas respectivamente *fermions* e *bosons*, representadas por equações bem diferentes, que dão a imagem dos campos diferentes que aquelas partículas definem. Com efeito:

- (1) os bosons com spin $s = 0$, mas com massa a repouso e carga, são representados pela equação de Klein-Gordon (veja P. Roman, *Elementary Particles*, já citado, pág. 103) e são os *pions* e os *kaons*.
- (2) os bosons com spin $= 1$, sem massa a repouso e sem carga, são representados pelas equações de Maxwell e de Proca (veja P. Roman, op. cit. pág. 105) e são os *photons* ou *gamma*.
- (3) os fermions com spin $1/2$, sem massa a repouso e sem carga, são representados pela equação do Weyl (veja P. Roman, op. cit. pp. 107-110) e são os *neutrinos*.
- (4) os fermions com spin $1/2$, mas com massa a repouso, são representados pela equação do Dirac (veja P. Roman, op. cit. pp. 110-146), e são os *electrons*, e os *positrons*, e, com certas restrições, também os *núcleons* (protons e neutrons) e os *híperons* (lambda, sigma, Xi).

- (5) Partículas com spin qualquer podem ser representadas pela equação de Dirac-Fierz-Pauli (veja Roman, op. cit. pág. 141) ou pela equação de Kemmer com matrizes da 5ª ordem (Roman, op. cit. pág. 146).

Desta maneira, quase sem querer, o spin nos introduziu no assunto ainda um pouco confuso daquelas *partículas* chamadas de *elementares*, que na moderna concepção da Natureza tomaram o lugar que antigamente era atribuído aos átomos, como elementos finais de que a matéria é constituída. Como observa irônicamente Feynman, os teóricos das partículas elementares acham que o Universo todo é totalmente descrito pelas partículas elementares e pelas interações delas. Sem falar em Gell-Man, que acha que tudo se resolve em somente três enigmáticas partículas de carga $1/3$ ou $2/3$, os “quarks” tão duvidosos.

Então nasce o problema: quantas e quais são, as partículas elementares? Será que elas formam um conjunto casual, por assim dizer, como os casuais passageiros de um ônibus suburbano, ou pelo contrário as partículas elementares existentes são justamente aquelas que têm de existir, por causa de uma *lógica* análoga àquela que determina os tipos possíveis de cristais no espaço métrico? A resposta a este problema é uma das mais elegantes aplicações da Teoria dos Grupos até agora encontrada na tentativa de compreender a Natureza, muito embora não tenha ainda chegado àquele acabamento que se encontra na teoria dos cristais, pois ainda muitas coisas restam a ser esclarecidas neste difícil problema.

— Antes de mais nada a simetria binária matéria — anti-matéria (ou a correspondente “inversão” do tempo) contida no invariante p.p (veja § 4), faz com que junto a uma partícula elementar existe também a correspondente *antipartícula*. Partícula e antipartícula têm cargas elétricas do sinal contrário, se são carregadas, e entre si se “aniquilam”, com um resultado que conserva a energia e o spin. Mas existem também partículas e antipartículas neutras.

Ainda mais, observa-se que todas as partículas elementares são instáveis, a não ser quatro delas que formam o fim de todos os “decaimentos” das outras, isto é, o *proton*, *eletron*, o *neutrino*, os *quantos gamma*, que são estáveis. As instáveis têm

um prazo limitado de existência. Sòmente o *neutron* tem uma existência relativamente comprida (mais ou menos 15 minutos). As outras têm uma vida média muito breve, entre alguns micro-segundos (um milhão de micro-segundos é um segundo) para os *pions*, e alguns decimésimos de micro-segundos para as outras partículas, *Kaons*, *lambda*, *sigmas* e *Xi*. Tôdas essas partículas de curta vida foram encontradas estudando os *raios cósmicos*, com muitas técnicas, e são chamadas *partículas estranhas* ("strange particles"), pelo motivo que elas *são* estranhas. Além daquelas mencionadas acima, nos fenômenos devidos aos raios cósmicos encontram-se outras "partículas" de vida ainda imensamente menor daquelas já ditas, como as *eta*, *rho* e as *ressonâncias*, ainda pouco conhecidas. E há o problema dos "Quarks", sôbre os quais veja por ex. S. Coleman, Fun with SU(3), em High Enenrgy Physics and Elementary Particles, Vienna IAEA 1965, pág. 331; H. Harari, pág. 353; B. W. Lee, pág. 371; H. J. Lipkin, pág. 395.

Pois bem, observa-se que essas "partículas" podem ser catalogadas tomando em conta a *massa a repouso* que elas têm, e então ou são isoladas ou formam grupos de *dois* ou *três* como se vê no quadro aqui junto.

Assim vemos que existem partículas elementares *isoladas*, como um quanto gama, o neutrino e o lambda. Outras formam grupos de duas tendo mais ou menos a mesma massa, como os eletrons, os nuons os núcleons e os kaons e antikaons, as partículas Xi das "cascadas" dos raios cósmicos. Enfim os pions e os sigmas formam grupos de *três*, mais ou menos com a mesma massa. Então a gente se lembra dos singulatos, dupletos e tripletos da quantização espacial, e diz: é como se existisse uma forma especial de spin que não é aquela ligada ao momento angular, mas um spin "abstrato", chamado *isospin* (ou spin isobárico, ou menos pròpriamente spin isotópico). Como as projeções do spin verdadeiro só podem ser 0, $\pm 1/2$; + 1, 0, - 1, assim se fixa um eixo (chamado *xi*) sôbre os quais a *projeção* I_3 do isospin só tem os valôres 0, $\pm 1/2$; + 1, 0, - 1. Isso torna-se como representação de partículas em *singuletos* (isospin 0) ou em dupletos (isospin 1/2) ou em *tripletos* (isospin 1). Não se tem evidência experimental da existência de partículas com isospin maior do que 1.

PARTÍCULAS ELEMENTARES

NOME	Massa	Carga	Spin	Isospin	I_3	N	Estranheza	Grupos
gama	0	0	1	0	0	0	0	Leptons
neutrino	0	0	1/2	0	0	0	0	
eletron, positron	1	-1, +1	1/2	1/2	1/2, -1/2	0	0	
muon -, muon +	180	-1, +1	1/2	1/2	1/2, -1/2	0	0	
pion -, pion 0, pion +	276	-1, 0, +1	0	1	-1, 0, +1	0	0	Partículas "estranhas" mesons
kaon -, antikaon	965	-1, 0	1/2	1/2	1/2, -1/2	0	-1	
kaon, kaon +		0, +1	1/2	1/2	1/2, -1/2	0	+1	
Proton, neutron	1836	+1, 0	1/2	1/2	1/2, -1/2	1	0	uúcleons
Lambda	2182	0	0	0	0	1	-1	Barions hiperons
sigma -, sigma, sigma +	2330	-1, 0, +1	1/2	1	-1, 0, +1	1	-1	
Xi -, Xi zero	2584	-1, 0	1/2	1/2	1/2, -1/2	1	-2	
Eta								
Rho								
ressonâncias etc.								

NOTA: As massas e as cargas são em unidades eletrônicas; o spin (verdadeiro) em unidade $\hbar$

Desta maneira somos conduzidos a construir um espaço fictício (ou “abstrato”) chamado de *isoespaço*, de três coordenadas ortogonais *Xi*, *Eta*, *Zeta*, cujo significado é o seguinte: Sobre a coordenada *Xi* indicamos os valores dos multipletos ($0, \pm 1/2, \pm 1$). Cada valor desses é projeção de um isospin que jaz sobre um cone cujo eixo é *Xi*. Os diferentes ângulos sobre uma seção deste cone se projetam no plano das coordenadas *Eta* e *Zeta* perpendicular a *Xi*. Sendo que o isospin é uma rotação (fictícia), pode ser polarizado com rotação destrógira ou levógira, e isso é representado pela coordenada *Eta*, e pode ser polarizado num plano com diferentes inclinações, representadas sobre uma terceira coordenada do isoespaço, chamada *Zeta*, perpendicular a *Xi* e a *Eta*.

Fixado este espaço, que Feynman (Fundamental Processes, pág. 19) chama “espaço louco” (“crazy space”) a idéia é que as *partículas elementares correspondem a todas as rotações próprias e impróprias neste isoespaço*, compatíveis com algumas condições fixadas por motivos experimentais. Esta idéia é totalmente análoga à maneira com que se determinam os possíveis cristais no espaço métrico, e as possíveis leis físicas no espaço de Minkowski. As possíveis rotações no isoespaço são encontradas como representando *isoescares* (singuletos), *isospinores* (dupletos) e *isovetores* (tripletos). Não se conhecem casos de *isotensores anti-simétricos* (sextetos). Um possível quarteto é o dos kaons. Assim encontram-se as simetrias de ordem, 1, 2, 3, 4, e (talvez 6) já encontrados para os cristais. A determinação dos escalares, spinores e vetores do isoespaço, e as possíveis *fórmulas das massas* das partículas elementares identificadas com os escalares, e os “componentes” dos spinores e vetores, foi o trabalho genial do físico italiano E. Pais, do americano M. Gell-Mann, do japonês K. Nishijima, dos franceses B. D’Espachat e Prenti, do japonês Okubo e de muitos outros. Essas teorias ou têm o caráter de uma taxonomia empírica, ordenando em multipletos as partículas tentando de prever aquelas que ainda não foram observadas, ou usam a matemática muito sofisticada da Teoria dos Grupos, que aqui não podemos relacionar. Mas uma representação elementar desses métodos, (que substancialmente não é diferente das outras manei-

ras mais sofisticadas) pode ser expressada na maneira seguinte:

- a) O eixo *Xi* do isoespaço representa o fenômeno dos multipletos (de ordem 1, 2, 3) de partículas elementares, incluindo as antipartículas. O eixo *Eta* representa o fenômeno da *independência das cargas* das forças nucleares próton-próton(pp), próton-neutron(pn) e neutron-neutron(nn), que acarreta um isospinor, o dos núcleon (próton e neutron). Enfim o eixo *Zeta* representa o fato que partículas e antipartículas com carga elétrica têm carga de sinal contrário, mas de tamanho igual (ninguém sabe por que) o que é chamado de correlação das cargas, (ou inversão do tempo).
- b) Existem três tipos (pelo menos) de interações entre partículas: interação eletromagnética, interação fraca, e interação forte. Segundo o esquema usual da Mecânica Quântica, cada interação é produzida pela troca de um tipo de “quantum”. A interação eletromagnética consta da troca, criação e absorção, de *quanta de luz ou gama ou ftons*. A interação fraca ou de Fermi consta da troca, criação e absorção de *neutrinos*. A interação forte, ou de Yukawa, consta da troca, criação e absorção, de *pions*. Esta última é a causa das enormes forças que têm unidos prótons e neutrons nos núcleos da matéria, enquanto a interação eletromagnética é a que determina a emissão e absorção dos ftons e é também a causa dos fenômenos ligados aos raios gama. A interação fraca é, enfim, a causa do *decaimento* das partículas elementares, que se desintegram com relativa *lenteza*, isto é têm vida média mais longa do previsto, justamente porque a causa da desintegração é fraca. Para cada troca de “quantum” tem-se uma energia de interação proporcional ao número de trocas por unidade de tempo. As constantes de proporcionalidade são: $g^2/h^2 c$, igual aproximadamente a 15 para a interação forte, mas é somente $e^2/h^2 c = 1/137$, igual aproximadamente 0,007, para a interação eletromagnética (e essa é a famosa *constante da estrutura final*), e enfim é só 0,000000000002 aproximadamente (constante do Fermi) para a interação fraca. Essas três constantes são *escalares*, e assim sabemos

que na simetria do isoespaço devem existir três escalares, isto é *três singuletos*, que no esquema do Gell-Mann e Nishijima são introduzidos como correspondente aos *gama*, ao *neutrino* e ao *lambda*, (eletromagnética, interação fraca e forte).

- c) Procuremos agora os *isospinores* possíveis no isoespaço. Os spinors são caracterizados por terem sempre e somente dois valores (como $+1/2 - 1/2$). Ora, no isoespaço isso é possível com 3 *rotações próprias*, de 180° em torno de cada eixo, (Xi, Eta e Zeta), e também com 3 *reflexões* (movimentos de segunda espécie ou impróprios) sobre 3 planos perpendiculares a um dos 3 eixos citados. Quer dizer que, complexivamente devem existir 6 isospinores, isto é, 6 dupletos de partículas elementares, que no esquema do Gell-Mann e Nishijima são individuados nas partículas seguintes:

- (1) eletron, positron
- (2) muon — muon +
- (3) kaon —, kaon zero
- (4) antikaon zero, kaon +
- (5) proton, neutron
- (6) Xi —, Xi zero

- d) Os *isovetores* apresentam três valores, isto é são *tripletos*. Portanto só podem ser as rotações próprias cujo plano compreende, o eixo Xi, e portanto só podem existir *dois isovetores* ou *dois tripletos* de partículas elementares relacionados com o isoespaço. Esses no esquema de Gell-Mann e Nishijima são identificados nos tripletos seguintes:

- (1) pion —, pion zero, pion +
- (2) sigma —, sigma zero, sigma +

Todavia essa não é a única classificação possível (Roman, Elem. Part., pág. 517).

- e) Eventuais outras partículas, (como a *eta* o *rho*, os quarks e as ressonâncias), todas com vida média tão curta que só podem ser produzidas por interações ultrafortes, só podem ser atribuídas a “simetrias superiores”. É também possível que existam outros estados instáveis de curta vida nos

fenômenos em que entram partículas de energia extremamente alta, como a “bola de fogo” pesquisada por César Lattes, na origem dos enxames ou “jatos” de pions que desde muito tempo são um quebra-cabeça para físicos teóricos e experimentais. (Veja p. ex. D. H. Perkins, em Progress in Elem. Part. and Cosmic Rays, North Holland, vol. V, 1960, pp. 259-360).

- f) As partículas elementares são classificadas em três grupos, os *leptons*, os *mesons* (pions e kaons) e os *barions*. Esses últimos compreendem os *núcleons* (proton e neutron) e os *hiperons* (lambda, sigma, Xi). Todas elas pertencentes aos três isoescares, aos isospinores, aos 3 isovetores já encontrados. Mas como sempre na Mecânica Quântica, uma multiplicidade de *estados* só pode sair de uma multiplicidade de números quânticos. Os isoescares, isospinores e isovetores correspondem aos três valores 0, $1/2$, 1 do isospin. É claro que devem existir outros números quânticos, além do isospin, que explica a existência dos 3 isoescares, dos 6 isospinores e dos 2 isovetores, para distinguir entre si os termos de cada grupo. Esta última necessidade, para as partículas com carga elétrica, é satisfeita pelos valores (+ e, — e) ou (+ e, 0) ou (— e, 0) da carga elétrica nos dupletos, ou pelos valores (+ e, 0, — e) nos tripletos. Quanto à separação entre grupo e grupo, se deve introduzir um número quântico diferente do isospin e da carga elétrica, chamado *Carga nucleônica N* ou uma equivalente *hipercarga* para distinguir os bárions das outras partículas. Toma-se $N = 1$ para os bárions, mas $N = 0$ para mesons e leptons. Mas, o número N ainda não basta, e foi necessário introduzir um outro número quântico, chamado *estranheza* (“strangeness”) porque encontra-se nas partículas que foram chamadas “estranhas”. Com efeito, para distinguir entre si os mesons dá-se a estranheza $S = 0$ aos pions, $S = 1$ aos kaon zero e kaon +; $S = -1$ para kaon — e antikaon zero. Enfim para distinguir os bárions toma-se $S = 0$ para o dupletto dos núcleons, $S = -1$ para o singuleto lambda, $S = -1$ para o tripleto sigma, $S = -2$ para o dupletto Xi. A razão desses valores é empírica,

para justificar as interações que se observam e a razão porque outras não são observadas. Uma certa explicação encontra-se no modelo de *Fermi e Yang* (veja Feynman, Fundam. Processes pág. 51) onde as partículas estranhas aparecem como devidas a “estados ligados” de outras, isto é: $\text{neutron, antiproton} = \text{pion menos}$; $\text{proton, antineutron} = \text{pion mais}$; $(0,72)$ ($\text{proton antiproton} - \text{neutron antineutron}$) = pion zero; $\text{antiproton, lambda} = \text{kaon menos}$; $\text{proton, antilambda} = \text{kaon mais}$; $\text{lambda, pion} = \text{sigma}$; $\text{lambda antipion} = \text{Xi menos}$; $\text{lambda lambda antineutron} = \text{Xi zero}$.

Desta maneira, a estranheza seria simplesmente o número de lambda escondido dentro das partículas estranhas.

Ainda há muitas coisas a serem explicadas, neste campo das partículas elementares, mas o que já está adquirido é que elas, de certo modo, são os cristais do “espaço louco”, isto é do isoespaço, derivando das simetrias dêle. E, pensando um pouco, ver-se-á que essa é outra maneira para constatar que a *Natureza é lógica*.

VII — O ENIGMA DA PARIDADE

A possibilidade da interpretação física do Universo é fundamentada na continuidade das leis que representam os invariantes, isto é, daquelas que se costuma chamar *leis de conservação*. Desta maneira, como já temos visto, existem as leis que “conservam” a energia total e a massa, a carga elétrica, o momento angular e o spin, e a fase das ondas de Broglie.

Expressando estas leis conservativas por símbolos matemáticos que representam aquela constância das invariantes ao longo dos fenômenos físicos, obtêm-se as equações que não somente racionalizam os fenômenos já observados mas também prevêm os que ainda não foram observados.

O sucesso dêste método foi tão clamoroso, que tornou-se quase um vício. Foi êste o motivo pelo qual, junto às leis conservativas acima citadas, se pensou na existência de outras leis conservativas, quando foi necessário intercalar novos parâmetros (e portanto novos números quânticos) para justificar a existência das partículas elementares.

Nas *interações fortes* foi encontrado que o isospin se conserva no sentido que a soma das componentes I_3 (definidas no parágrafo anterior) é invariante antes e depois da interação. O mesmo resultado foi encontrado para a *estranheza*, conservada nas interações fortes (ou mesônicas) como: $\text{proton com pion menos} = \text{sigma zero mais kaon zero}$.

Nas mesmas interações fortes a conservação do isospin tem também outro aspecto importante: *o número de bárions é sempre conservado* nonostante tôdas as transformações e os decaimentos.

Nas *interações eletromagnéticas* o isospin não é sempre conservado como no caso da “radiação de freiamento” (Bremsstrahlung) por interação entre uma partícula e a antipartícula dela. Nas mesmas interações, todavia, encontra-se que a *estranheza é conservada*.

Pelo contrário, *nas interações fracas nem a estranheza nem o isospin são sempre conservados*. Isso pode-se observar nos decaimentos das partículas estranhas, devidos às interações fracas porque são muito mais lentas do que teriam de ser. Por ex., um sigma decai num neutron e num pion, e é evidente que I_3 (isto é o isospin) não é conservado porque para o sigma é por ex., -1 , mas a soma depois do decaimento é $-3/2$. Também a estranheza no mesmo decaimento não é conservada (sendo -1 contra zero).

A inexistência de leis conservativas do isospin e da estranheza, que sejam sempre válidas para tôdas as interações, não deu lugar a nenhuma surpresa, dado o caráter muito “formal” dêsses dois números quânticos, que parecem como sendo artifícios classificatórios mais do que indicações de algo pertencente à estrutura das partículas elementares.

Pelo contrário, a surpresa foi muito grande quando se descobriu que também para a *paridade* não existe uma lei conservativa válida para tôdas as interações.

Já no parágrafo IV foi definida a paridade de uma função como a propriedade pela qual, mudando o sinal da variável, a função conserva o seu valor absoluto mas o sinal dela pode mudar ou ficar o que era. Caso o sinal da função mude, se diz que ela tem *paridade* -1 . Se pelo contrário o sinal não

mudar, ela se diz de *paridade* $+1$. A mesma coisa se diz para as funções das coordenadas do espaço métrico, e então fala-se em *paridade intrínseca*, que pode ser $+1$ ou -1 .

Um *escalar* que não muda sinal mudando o sinal das coordenadas do espaço, ou como se usa dizer, “invertendo o espaço”, tem *paridade intrínseca* $+1$.

Mas se mudar de sinal, êle se chama *pseudo-escalar* de *paridade* -1 . Por exemplo, a energia total de um corpúsculo é escalar, mas a energia potencial de um ímã num campo magnético é pseudo-escalar.

Um *vetor*, que muda sinal invertendo o espaço, tem *paridade intrínseca* -1 . Por ex. uma velocidade de translação é um vetor dêsses, chamados *vetores polares*.

Mas um vetor que *não* muda sinal invertendo o espaço tem *paridade intrínseca* $+1$, e é chamado *pseudovetor*, ou também *vetor axial*. Por ex. uma rotação em torno de um eixo se representa com um pseudovetor paralelo a êste eixo e a *paridade intrínseca* $+1$ representa o fato que, por exemplo, um parafuso “direito” é sempre “direito”, qualquer que seja a extremidade dêle que se quer emparafusar.

Da mesma maneira existem *spinors* de *paridade intrínseca* $+1$, e *pseudo spinors* de *paridade intrínseca* -1 , assim *tensores* e *pseudo tensores*.

Em particular, consideremos os casos em que são implicadas as rotações. O momento magnético de um ímã é produzido pelas correntes elétricas que circulam em órbitas atômicas. O momento angular é devido à rotação de uma massa em torno de um ponto, e o spin tem como “modelo” a rotação de um corpúsculo sobre si mesmo. Todos êsses pseudo vetores podem ser direitos ou esquerdos, obviamente, sem que por isso mude a *paridade intrínseca* dêles, que é $+1$.

A *paridade intrínseca* de um sistema é o produto das *paridades* das componentes. Portanto o produto de dois escalares ou de dois pseudo-escalares é sempre um escalar (*paridade* $+1$), mas o produto de um escalar por um pseudo-escalar é um pseudo-escalar (*paridade* -1). Do mesmo jeito, o produto escalar de dois vetores ou de dois pseudo-vetores é sempre um escalar

(*paridade* $+1$), enquanto o produto escalar de um vetor por um pseudo vetor é um pseudo-escalar.

Ora uma quantidade verdadeiramente escalar (como a massa) não tem de mudar sinal invertendo o espaço (*paridade* $+1$). Portanto se diz que as *quantidades pseudo-escalares não conservam a paridade*.

Por outro lado, a conservação da *paridade* para os vetores e os pseudo vetores consiste em admitir que para cada translação (vetor) pode existir a translação contrária, e para cada rotação (pseudo vetor) pode existir a rotação contrária, *sem direções privilegiadas* nem de translação nem de rotação.

Agora, seja dado um determinado fenômeno em que se observa a interação entre partículas, representada por uma energia de interação, e suponha-se que esta energia seja dada pela soma de dois termos, um escalar e um pseudo-escalar. O termo escalar (*paridade* $+1$) implica que esta energia é independente da direção dos movimentos e das rotações das partículas que interagem, isto é um efeito *isotrópico* ou completamente *simétrico*.

Pelo contrário, o termo pseudo-escalar depende das diferentes direções dos movimentos e das rotações, e portanto representa um efeito *assimétrico* ou *anisotrópico*. Se costuma dizer que uma *energia pseudo-escalar não conservaria a paridade*, haveria uma direção privilegiada de translação ou de rotação.

Um efeito de “não conservações da *paridade*” observa-se naquele que se chama enantiomorfismo de algumas moléculas que são produzidas em processos orgânicos, mas podem também ser produzidas sinteticamente, e que apresentam uma *atividade ótica destrogiro ou levogiro*, isto é fazem girar o plano de polarização de uma luz polarizada retilineamente, que as atravessa. Por exemplo, o ácido tartárico, o glicose, o frutose, etc. (Essa atividade ótica foi descoberta por L. Pasteur). Ora acontece que essas substâncias, quando produzidas sinteticamente, apresentam uma mistura homogênea dos dois tipos enantiomorfos, de maneira que a atividade ótica dessa mistura (chamada *racêmica*) é nula. Mas quando são produzidas por intervenção de enzimas ou fermentos ou outros agentes orgânicos, frequentemente observa-se somente uma das formas enantiomorfas. As-

sim no mosto fermentado o ácido tartárico é destrogiro, nunca encontrando-se a forma levogira; no nosso organismo forma-se glicose destrogiro, mas fructose levogiro. O caso mais dramático é aquele da fenilalanina, cuja forma levogira causa a fenilquetonúria e uma forma de demência, enquanto a forma destrogiro não apresenta esta funesta atividade.

As misturas racêmicas, dir-se-ia, conservam a paridade dos pseudo vetores que podem representar a atividade ótica, sendo essa o equivalente da energia pseudo-escalar de interação que causa a não conservação da paridade.

Da mesma maneira, o electron pode ter o spin em duas direções opostas, quando uma direção seja fixada, por ex. por um campo magnético externo. Isso quer dizer que o electron pode se associar a uma rotação destrogiro ou a uma levogira, mas as duas rotações teriam de ser sempre igualmente prováveis, se a paridade fôsse conservada. Para verificar êsse hipotético “princípio de conservação da paridade”, Lee e Yang (1957) sugeriram um experimento, que pois foi executado por Chu, e que consiste no seguinte. (Veja P. Roman, Elem. Particles, já citado, pp. 346-377; Feynman, Fundam. Processes, pp. 33-34). Nas interações *fortes*, e naquelas *eletromagnéticas* não há exemplos evidentes de interações “proibidas” porque violariam a paridade. Por exemplo o Lítio 7 bombardeado por neutrons pode dar dois resultados diferentes, ou Berílio 7 e um proton e um foton, ou dois núcleos de Hélio 4 e um foton. Ora, o Lítio 7 e o Berílio 7 têm paridade intrínseca -1 , enquanto o Hélio 4 a tem $+1$; por sua vez proton e neutron têm a mesma paridade. O resultado com Hélio 4, nessa interação forte, violaria a paridade, e por isso é 50.000 vezes menos freqüente do resultado com o Berílio 7.

Se houver violação da paridade só pode ser com interações fracas, que são praticamente inobserváveis junto às interações fortes. Portanto é preciso encontrar umas interações fracas *puras*, sem sobreposição das outras muito mais fortes.

Uma interação fraca que viola a paridade só pode acontecer, como já foi dito, quando a energia de interação contém um termo que é um pseudo-escalar. Uma energia pseudo-escalar é o produto escalar de um vetor por um pseudo vetor, como

a energia de interação entre um imã e um campo magnético, ou também entre um vetor quantidade de movimento e um pseudo-vetor de spin. Um caso dêste tipo é oferecido pela interação fraca que determina o decaimento (beta) do Cobalto 60 (o mesmo usado na bomba de Cobalto para a cura do câncer). No decaimento do Cobalto 60 forma-se Níquel 60, mas o momento angular diminui de uma unidade durante a transição na qual é emitido um electron e um antineutrino. Por meio de um campo magnético externo, e colocando o Cobalto 60 num recipiente com temperatura muito baixa para evitar o “barulho” da agitação térmica, a direção do momento angular do Cobalto é fixada juntamente com a direção do seu momento magnético.

Portanto a direção do electron e do antineutrino, que devem “compensar” a unidade de momento angular perdida na transição, é também fixada.

Electron e antineutrino têm spin de rotação oposta, daí se os dois spin saem em direções diametralmente opostas, a soma dos spins deles é ± 1 . Portanto se o momento angular do Cobalto é levogiro (paridade -1), um electron destrogiro é emitido na direção daquele momento angular, enquanto um electron levogiro é emitido na direção oposta.

A hipotética conservação da paridade exigiria que nêsse Universo existissem tantos electrons destrogiros quantos são os levogiros. Mas êste não é o resultado da experiência de Chu, pela qual observa-se uma *marcante assimétrica preponderância dos electrons levogiros*, emitidos na direção oposta àquela do campo magnético externo.

Há outros casos em que a interação fraca mostra de não conservar a paridade, como o famoso (e confuso) “adivinha” apresentado pelos mesons kaons. Os kaons decaem em pions bastante “lentamente” para que se possa afirmar que trata-se de uma interação fraca. Mas êste decaimento pode acontecer em duas maneiras diferentes: ou decaem em três pions, ou em dois pions. Os primeiros são chamados Ka-pi-três, e os outros Ka-pi-dois.

No comêço se pensou que se tratasse de duas partículas diferentes, mas as massas iguais e as vidas médias também iguais demonstraram que se trata de dois “canais” de decai-

mento para a mesma partícula kaon. A dificuldade é que o kaon tem spin $1/2$, enquanto os pions têm spin zero e portanto devem ter um momento angular em torno de um ponto de origem, para que o momento angular seja conservado. Ora o spin $1/2$ tem uma paridade $+1$ (pseudo vetor), enquanto o momento angular dos pions é produzido pelos vetores de deslocamento (quantidade de movimento) dos pions, e tem paridade -1 . No caso dos Ka-pi-dois temos dois pions e uma paridade $(-1)(-1) = +1$ ou, se usa escrever, um estado 0^+ . No caso dos Ka-pi-três, o resultado é spin zero e paridade -1 , isso é um estado 0^- . Isso é um enigma se não admitirmos que a paridade pode ser violada na interação fraca.

Qual é o sentido de tudo isso? É possível que este Universo não seja totalmente simétrico, e que os electrons dêe sejam prevalentemente *levogiros*, com que se diria que o Universo distingue a direita da esquerda. Ou pode-se emitir a hipótese (não muito diferente da primeira) que o espaço mesmo esconde em si o que se usa chamar "helicidade", isto é, uma estrutura enroscada ou de parafuso levogiro, do tamanho, ponha-se, de 10^{-14} cm., que as partículas elementares podem "ver", e daí podem mudar a paridade. (Naturalmente não se pode emitir a hipótese que haja superenzimas que operem no espaço como os enzimas, nos produtos orgânicos. Isso seria um superparadoxo tipo Lowell).

Todos esses problemas, que parecem nas nuvens, nos oferecem uma conclusão importante. Não somente este Universo é lógico, mas, também este é *um* dos Universos possíveis (como já foi dito no artigo "As Veredas da Moderna Cosmologia" já citado).

Estou certo que você está certo de que, como eu, nem você foi quem escolheu este Universo. Esta conclusão paga o preço de todas essas páginas.

VIII — AS SIMETRIAS NA SEMÂNTICA E NAS ARTES

Por instinto, nós relacionamos as simetrias com a beleza e a ordem, e às vezes com o poder.

As falanges, as legiões, l'Armée, são simétricas.

Quando o homem tenta de racionalizar a confusa percepção da *beleza*, como fizeram Leonardo e Dürer, nada mais arruma a não ser simetrias e proporções. Reduzindo isso em termos quase exclusivamente zoológicos e zoométricos, obtêm-se os "critérios" dos chamados concursos de beleza.

Nas artes representativas as simetrias têm uma função fundamental.

As simetrias binárias e aquelas geométricas de ordem qualquer, a simetria da repetição pura e simples (paridade $+1$) ou em pares especulares (paridade -1), as simetrias cíclicas, aquelas que podem ser decompostas ou que não podem, são elementos logo reconhecíveis nas obras de arte. A distinção entre artes decorativas e artes não decorativas (que, mais do que arte, são documentos expressados numa semântica arbitrária) talvez esteja na elaboração ou não dos elementos de simetria que podem ser extraídos do objeto ou da emoção que se quer representar. (Mas isso é problema em que eu nada tenho a ver ou a decidir). No uso da palavra, a simetria é um dos instrumentos da *poesia*, embora não determinante, pois poder-se-ia escrever o elenco telefônico em versos alexandrinos sem fazer poesia nenhuma. Todavia as simetrias das estrofes, das rimas, do paralelismo e do antiparalelismo dão alguma coisa a mais a um poema que já seja poesia, como no "elogio da mulher", contido na Bíblia (Provérbios, 31, 10-31), ou neste poema do qual lamento de ter esquecido o autor:

"The night has a thousand eyes
And the day but one,
Yet the light of a bright world dies
With the dying sun.

The mind has a thousand eyes
And the hearth but one,
Yes the light of a whole life dies
When the love is gone".

Na mentalidade primitiva, a *mágica* tem rima, e a rima dá poder às palavras, as torna "cármina". (Faz exceção a

mágica de Mary Poppins, "Supercalifragilistikespiralidoso").

Enfim a *música* é tão substanciada de simetria que mesmo um ruído simétrico torna-se música, o *rítmo* (até um certo ponto). A estrutura melódica e as regras harmônicas são vinculadas a condições de simetria. A mesma "reversão do tempo" encontra-se no estilo "fugato", na expressão inversa do tema.

Sòmente na vida não há inversão do tempo, e nós sentimos cada dia mais a falta dessa simetria.

José Gomes Ferreira e a Poesia Moderna

CÉSAR LEAL

Não sei se vem aumentando ou diminuindo no Brasil o interesse pela poesia portuguesa escrita nos últimos cinquenta anos. Parece-me que os dois poetas mais conhecidos e estudados, desde a morte de Fernando Pessoa, em 1935, são José Régio e Miguel Torga. Ambos são indiscutivelmente bons poetas. Situam-se numa faixa da modernidade que tem constituído uma área de crescente interesse da crítica de poesia: a da linguagem poética, expressa através de um *tradicionalismo operante* que embora com fundamento no passado nem por isso deixa de ser moderno. Se o conceito de moderno é cada vez mais complexo, se o seu significado se amplia à medida em que se desenvolvem os estudos lingüísticos e literários, ainda assim não podemos afastar da mente do leitor de poesia — e falo não de todos mas do melhor leitor — a idéia de relacioná-lo com algo nôvo; nôvo não apenas naquela acepção das vanguardas, geralmente muito interessadas nos valores que vão surgindo e ampliando os níveis de consciência cultural como resultado do desenvolvimento científico e tecnológico.

Claro que não é meu propósito tratar aqui das implicações de natureza estética entre arte e ciência. Menos ainda entre tecnologia e arte. Mas a necessidade de comparar, de estabelecer relações, quase sempre se impõe ao analista, especialmente quando se busca iluminar o campo das idéias através do exemplo. Minha intenção, pois, é revelar a um público restrito, mas talvez interessado, um grande poeta português: José Gomes Ferreira. Não recordo haver lido nada sobre ele escrito no Brasil — seja em suplementos literários ou em revistas de cultura — o que não representa uma dificuldade muito

(*) Conferência pronunciada no "Seminário de Verão" do Centro de Estudos Portugêses do Instituto de Letras, em 4 de novembro de 1969.