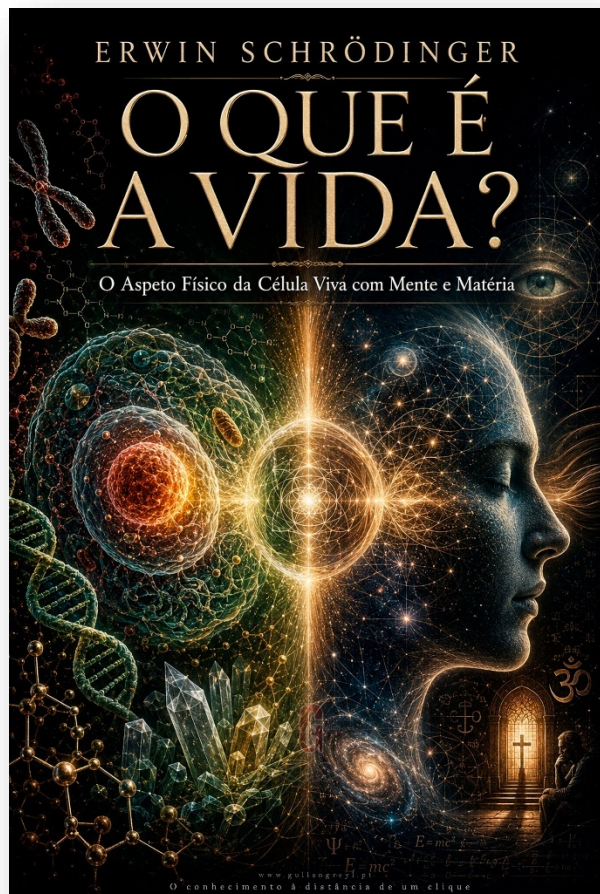


O QUE É A VIDA?

O Aspecto Físico da Célula Viva com Mente e Matéria



Autor: Erwin Schrödinger

Edição e Preparação Digital: Gullan Greyl

Edição original: What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell, 1944.

Edição portuguesa concluída em 19-10-2025



Livroteca Gullan Greyl

Sinopse

Em *O Que é a Vida? — O Aspecto Físico da Célula Viva com Mente e Matéria*, Erwin Schrödinger conduz o leitor por uma das travessias intelectuais mais ousadas do século XX: a passagem do enigma da vida ao enigma da consciência. No primeiro movimento, interroga a célula, a hereditariedade, a ordem biológica e o estranho poder com que a matéria viva resiste ao caos, antecipando intuições que marcariam profundamente a biologia moderna. No segundo, a pergunta aprofunda-se: se a vida já desafia as categorias usuais da física, que dizer da mente, da percepção, da unidade da consciência e da relação entre ciência, subjetividade e realidade?

Ao longo destas páginas, o leitor entra num espaço raro onde a física deixa de ser apenas estudo da matéria inerte e se transforma numa meditação sobre a própria condição humana. A célula viva surge como estrutura de ordem subtil; a entropia, como problema central da existência biológica; e a mente, não como simples subproduto mecânico, mas como mistério fundamental que obriga o pensamento científico a confrontar os seus próprios limites.

O Que é a Vida? / Mente e Matéria é, assim, mais do que um clássico científico: é uma obra de fronteira, onde biologia, física, filosofia e consciência se encontram. Um livro que leva o leitor do interior invisível da célula ao abismo luminoso da autoconsciência — e que mostra que compreender a vida é, inevitavelmente, começar também a interrogar o que somos, o que pensamos e qual é, afinal, o lugar da mente no tecido do Universo.

Esta tradução foi depurada segundo o princípio:
“Afinar o Instrumento sem Alterar a Melodia”
com apoio de Inteligência Artificial enquanto sistema de amplificação,
organização e clarificação cognitiva.
O objetivo não foi apenas traduzir, mas tornar o texto mais claro, coerente,
imersivo e diretamente experienciável, sem alterar a sua essência.

Gullan Greyl

*Não se trata de saber mais,
mas de ver melhor*

Índice

Apresentação – por Roger Penrose	1
Prefácio	2
O QUE É A VIDA?	4
O Aspeto Físico da Célula Viva	4
CAPÍTULO 1.....	5
A Abordagem do Físico Clássico à Questão “O Que é a Vida?”	5
1. O Caráter Geral e o Propósito da Investigação	5
2. Física Estatística. A Diferença Fundamental na Estrutura	6
3. A Abordagem do Físico Ingénuo à Questão “O Que É A Vida?”	9
4. Por Que É Que os Átomos São Tão Pequenos?	10
5. O Funcionamento de Um Organismo Requer Leis Físicas Exatas.....	12
6. As Leis Físicas Fundam-Se na Estatística Atómica e São, portanto, Apenas Aproximadas	14
7. A Sua Precisão Baseia-Se no Grande Número de Átomos Intervenientes. Primeiro Exemplo (Paramagnetismo)	15
8. Segundo Exemplo (Movimento Browniano, Difusão)	18
9. Terceiro Exemplo (Limites de Exatidão da Medição)	22
10. A Regra de $\sqrt{n}$	23
CAPÍTULO 2.....	26
O Mecanismo Hereditário	26
1. A Expetativa do Físico Clássico, Longe de Ser Trivial, está Errada.....	26
2. O Código Hereditário (Cromossomos).....	28
3. Crescimento do Corpo Através da Divisão Celular (Mitose)	30
4. Na Mitose, Cada Cromossoma é Duplicado	31
5. Divisão Redutiva (Meiose) e Fertilização (Singâmia).....	32
6. Indivíduos Haplóides.....	34
7. A Relevância Extraordinária da Divisão Redutora	35
8. Permuta Genética. Localização das Propriedades.....	36
9. Tamanho Máximo de Um Gene.....	39
10. Números Pequenos	41
11. Permanência	42
CAPÍTULO 3.....	44
Mutações.....	44
1. Mutações “Súbitas” – O Terreno de Trabalho da Seleção Natural	44
2. Elas Reproduzem-Se com Fidelidade, ou seja, São Perfeitamente Herdadas.....	47

3. Localização. Recessividade e Dominância	49
4. Introduzindo Alguma Linguagem Técnica	52
5. O Efeito Nocivo da Consanguinidade	53
6. Remarks Gerais e Históricas	55
7. A Necessidade de a Mutação Ser um Evento Raro	56
8. Mutações Induzidas por Raios X.....	57
9. Primeira Lei. A Mutação é Um Evento Único	58
10. Segunda Lei. Localização do Evento	60
CAPÍTULO 4.....	63
A Evidência Quântico-Mecânica.....	63
1. Permanência Inexplicável pela Física Clássica	63
2. Explicável pela Teoria Quântica	65
3. Teoria Quântica – Estados Discretos – Saltos Quânticos	66
4. Moléculas.....	68
5. Estabilidade Dependente da Temperatura	68
6. Interlúdio Matemático.....	70
7. Segunda Emenda	73
CAPÍTULO 5.....	76
Modelo de Delbrück: Discussão e Testes.....	76
1. A Imagem Geral da Substância Hereditária.....	76
2. A Singularidade da Imagem	77
3. Alguns Equívocos Tradicionais.....	78
4. Diferentes “Estados” da Matéria.....	80
5. A Distinção Que Realmente Importa	81
6. O Sólido Aperiódico	82
7. A Variedade de Conteúdos Compressos no Código Minúsculo	83
8. Comparação Com os Factos: Grau de Estabilidade; Descontinuidade das Mutações	84
9. Estabilidade dos Genes Naturalmente Seleccionados	86
10. A Por Vez Menor Estabilidade dos Mutantes.....	87
11. A Temperatura Influencia Menos os Genes Instáveis do Que os Estáveis.....	87
12. Como os Raios X Produzem Mutação.....	89
13. A Eficácia Deles Não Depende da Mutabilidade Espontânea	90
14. Mutações Reversíveis	90
CAPÍTULO 6.....	92
Ordem, Desordem e Entropia	92

1. Uma Conclusão Geral Notável do Modelo	92
2. Ordem Baseada em Ordem	93
3. A Matéria Viva Evita a Degradação ao Equilíbrio	95
4. Alimenta-se de “Entropia Negativa”	96
5. O Que É Entropia?.....	97
6. O Significado Estatístico da Entropia	98
7. Organização Mantida Através da Extração de “Ordem” do Ambiente	100
8. Nota ao Capítulo 6	101
CAPÍTULO 7.....	104
A Vida Baseia-se nas Leis da Física?	104
1. Novas Leis a Esperar no Organismo.....	104
2. Revisão da Situação Biológica.....	105
3. Resumindo a Situação Física	106
4. O Contraste Marcante	108
5. Duas Formas de Produzir Ordem.....	109
6. O Novo Princípio Não É Estranho à Física.....	110
7. O Movimento de um Relógio.....	112
8. Relojoaria Após Toda a Estatística	114
9. Teorema de NERNST	115
10. O Relógio de Pêndulo Está Virtualmente à Temperatura Zero	116
11. A Relação Entre Relógio e Organismo	116
Epílogo.....	118
Sobre Determinismo e Livre-Arbítrio	118
1. Nota para o Epílogo	124
MENTE E MATÉRIA	125
A Consciência, a Objetivação e a Unidade da Mente	125
CAPÍTULO 1.....	127
A Base Física da Consciência	127
1. O Problema	127
2. Uma Resposta Tentativa	129
3. Ética.....	135
CAPÍTULO 2.....	141
O Futuro da Compreensão	141
1. Um Impasse Biológico?	141
2. A Sombra Aparente do Darwinismo	144

3. O Comportamento Influencia a Seleção	147
4. Lamarckismo Simulado	150
5. Fixação Genética de Hábitos e Habilidades	153
6. Perigos para a Evolução Intelectual.....	156
CAPÍTULO 3.....	160
O Princípio da Objetivação	160
CAPÍTULO 4.....	175
O Paradoxo Aritmético: A Unidade da Mente	175
CAPÍTULO 5.....	191
Ciência e Religião.....	191
CAPÍTULO 6.....	209
O Mistério das Qualidades Sensuais	209
Esboço Autobiográfico	225
Notas	241

O QUE É A VIDA? MENTE E MATÉRIA

O Aspeto Físico da Célula Viva
A Consciência, a Objetivação e a
Unidade da Mente

Erwin Schrödinger

Apresentação – por Roger Penrose

Quando eu era um jovem estudante de Matemática, no início da década de 1950, não lia muito, mas o que lia — pelo menos quando chegava a concluir o livro — era, geralmente, de Erwin Schrödinger. Sempre achei a sua escrita cativante, e havia nela uma emoção de descoberta, acompanhada da perspectiva de alcançar uma compreensão verdadeiramente nova acerca deste mundo misterioso em que vivemos. Nenhum dos seus escritos possui mais desta qualidade do que o seu breve clássico *O Que é a Vida?* — que, como agora percebo, deve seguramente figurar entre os escritos científicos mais influentes deste século. Representa uma poderosa tentativa de compreender alguns dos verdadeiros mistérios da vida, feita por um físico cujas próprias percepções profundas tanto contribuíram para transformar a forma como entendemos do que é feito o mundo. O alcance transdisciplinar do livro era invulgar para a sua época — e, no entanto, está escrito com uma modéstia cativante, ainda que talvez desarmante, num nível que o torna acessível a não especialistas e a jovens que possam aspirar a ser cientistas. Na verdade, muitos cientistas que deram contributos fundamentais à Biologia, como J. B. S. Haldane e Francis Crick, admitiram ter sido fortemente influenciados (ainda que nem sempre em total concordância) pelas ideias amplas aqui apresentadas por este físico altamente original e profundamente reflexivo.

Como tantas obras que tiveram um grande impacto no pensamento humano, apresenta pontos que, uma vez compreendidos, têm um timbre de verdade quase evidente por si mesma; e, no entanto, continuam a ser cegamente ignorados por uma proporção desconcertantemente grande de pessoas que deveriam saber melhor. Quantas vezes ainda ouvimos dizer que os efeitos quânticos pouco podem ter de relevante no estudo da Biologia, ou até que comemos para obter energia? Isto serve para sublinhar a atualidade contínua que *O Que é a Vida?*, de Schrödinger, mantém para nós hoje. Vale amplamente a pena relê-lo!

Roger Penrose
8 de agosto de 1991

Prefácio

Supõe-se que um cientista possua um conhecimento completo e profundo, de primeira mão, sobre determinados assuntos e, por isso, espera-se normalmente que não escreva sobre qualquer tema de que não seja mestre. Isto é visto como uma questão de noblesse oblige (obrigação moral ligada ao estatuto ou competência). Para o presente fim, peço para renunciar à noblesse, se é que alguma possuo, e ser libertado da consequente obrigação. A minha desculpa é a seguinte:

Herdámos dos nossos antepassados o vivo anseio por um conhecimento unificado e abrangente. O próprio nome dado às mais altas instituições de ensino recorda-nos que, desde a Antiguidade e ao longo de muitos séculos, o aspeto universal foi o único a receber pleno crédito. Mas a expansão, tanto em largura como em profundidade, dos inúmeros ramos do saber, durante os últimos cem e poucos anos, colocou-nos perante um dilema peculiar. Sentimos claramente que só agora começamos a adquirir material fiável para fundir a soma total de tudo o que é conhecido num todo; mas, por outro lado, tornou-se praticamente impossível que uma única mente domine plenamente mais do que uma pequena parte especializada desse todo.

Não vejo outra saída para este dilema (a menos que queiramos perder para sempre o nosso verdadeiro objetivo) senão que alguns de nós nos atrevamos a embarcar numa síntese de factos e teorias, ainda que com conhecimento de segunda mão e incompleto de alguns deles, e correndo o risco de nos tornarmos ridículos.

Eis, portanto, a minha justificação.

As dificuldades da linguagem não são desprezáveis. A língua materna é como uma peça de roupa feita à medida, e nunca nos sentimos inteiramente à vontade quando ela não está imediatamente disponível e tem de ser substituída por outra. Devo a minha gratidão ao Dr. Inkster (Trinity College, Dublin), ao Dr. Pádraig Browne (St. Patrick's College, Maynooth) e, por último, mas não menos importante, ao Sr. S. C. Roberts. Foram sujeitos a grande trabalho para me ajustar à nova “peça de roupa” e a um trabalho ainda maior devido à minha ocasional relutância em abandonar algum “modelo” original meu. Caso parte dele tenha sobrevivido à tendência mitigadora dos meus amigos, a responsabilidade é minha, não deles.

Os títulos das numerosas secções foram originalmente concebidos para serem sumários marginais, e o texto de cada capítulo deve ser lido in continuo.

*E.S.
Dublin
Setembro de 1944*

Homo liber nulla de re minus quam de morte cogitat; et ejus sapientia non mortis sed vitae meditatio est. — Ética de Espinosa, Parte IV, Proposição 67

(Não há nada sobre o qual um homem livre reflita menos do que sobre a morte; a sua sabedoria é meditar, não sobre a morte, mas sobre a vida.)

O QUE É A VIDA?

O Aspeto Físico da Célula Viva

CAPÍTULO 1

A Abordagem do Físico Clássico à Questão “O Que é a Vida?”

Penso, logo existo.

Descartes

1. O Caráter Geral e o Propósito da Investigação

Este pequeno livro surgiu de um curso de palestras públicas, ministradas por um físico teórico a uma audiência de cerca de quatrocentas pessoas, que praticamente não diminuiu, apesar de ter sido avisada desde o início de que o tema era difícil e que as palestras não poderiam ser consideradas populares, ainda que a arma mais temida do físico — a dedução matemática — quase não fosse utilizada. A razão para isto não era que o tema fosse suficientemente simples para ser explicado sem matemática, mas antes que era demasiado complexo para ser totalmente acessível à matemática. Outra característica, que pelo menos conferiu uma aparência de popularidade, foi a intenção do palestrante de tornar clara a ideia fundamental — que se situa na interseção entre Biologia e Física — tanto para o físico como para o biólogo.

De facto, apesar da variedade de tópicos envolvidos, todo o empreendimento pretende transmitir apenas uma ideia — um

pequeno comentário sobre uma questão ampla e importante. Para não nos perdermos, poderá ser útil delinear o plano de forma muito breve, desde já.

A grande e importante e muito debatida questão é:

Como é que os acontecimentos no espaço e no tempo, que ocorrem dentro dos limites espaciais de um organismo vivo, podem ser explicados pela Física e pela Química?

A resposta preliminar que este pequeno livro se propõe expor e fundamentar pode ser resumida do seguinte modo:

A evidente incapacidade da Física e da Química atuais de explicar tais acontecimentos não constitui, de forma alguma, razão para duvidar de que eles possam vir a ser explicados por essas ciências.

2. Física Estatística. A Diferença Fundamental na Estrutura

Seria uma observação muito trivial se se destinasse apenas a estimular a esperança de alcançar no futuro o que não foi alcançado no passado. Mas o seu significado é muito mais positivo, ou seja, que a incapacidade, até ao presente momento, está plenamente explicada.

Hoje, graças ao trabalho engenhoso dos biólogos, principalmente dos geneticistas, ao longo dos últimos trinta ou quarenta anos,

sabe-se o suficiente sobre a estrutura material real dos organismos e sobre o seu funcionamento para afirmar, e para explicar precisamente porquê, que a Física e a Química atuais não poderiam, de forma alguma, explicar o que acontece no espaço e no tempo dentro de um organismo vivo.

Os arranjos dos átomos nas partes mais vitais de um organismo e a interação destes arranjos diferem de forma fundamental de todos aqueles arranjos de átomos que físicos e químicos até agora fizeram objeto das suas investigações experimentais e teóricas. Contudo, a diferença que acabo de qualificar de fundamental é de tal natureza que pode facilmente parecer insignificante para qualquer pessoa, exceto para um físico plenamente imbuído do conhecimento de que as leis da Física e da Química são estatísticas em toda a sua extensão.¹ Pois é em relação ao ponto de vista estatístico que a estrutura das partes vitais dos organismos vivos difere completamente da de qualquer pedaço de matéria que nós, físicos e químicos, alguma vez tenhamos manipulado fisicamente nos laboratórios ou mentalmente nos nossos escritórios.² É quase impensável que as leis e regularidades assim descobertas se apliquem imediatamente ao comportamento de sistemas que não exibem a estrutura sobre a qual essas leis e regularidades se baseiam.

Não se pode esperar que um não-físico compreenda — quanto mais apreenda a relevância — da diferença de “estrutura estatística” enunciada em termos tão abstratos como os que acabo de usar. Para dar vida e cor à afirmação, deixem-me antecipar o que será explicado com muito mais detalhe mais adiante,

nomeadamente que a parte mais essencial de uma célula viva — a fibra cromossómica — pode ser adequadamente chamada de cristal aperiódico. Em Física, até agora, lidámos apenas com cristais periódicos. Para a mente de um humilde físico, estes são objetos muito interessantes e complicados; constituem uma das estruturas materiais mais fascinantes e complexas com que a natureza inanimada testa a sua inteligência. Contudo, comparados com o cristal aperiódico, são relativamente simples e monótonos. A diferença de estrutura é do mesmo tipo que a existente entre um papel de parede comum, em que o mesmo padrão se repete incessantemente em periodicidade regular, e uma obra-prima de bordado, digamos, uma tapeçaria de Rafael, que não apresenta repetição aborrecida, mas um desenho elaborado, coerente e significativo, traçado pelo grande mestre.

Ao designar o cristal periódico como um dos objetos mais complexos da sua investigação, tinha em mente o físico propriamente dito. A Química Orgânica, de facto, ao investigar moléculas cada vez mais complicadas, aproximou-se muito desse “cristal aperiódico” que, na minha opinião, é o suporte material da vida. E, portanto, não é de estranhar que o químico orgânico já tenha dado contribuições amplas e importantes para o problema da vida, enquanto o físico praticamente não contribuiu.

3. A Abordagem do Físico Ingênuo à Questão “O Que É A Vida?”

Depois de ter indicado muito brevemente a ideia geral — ou melhor, o objetivo último — da nossa investigação, deixe-me descrever a linha de ataque.

Proponho desenvolver primeiro aquilo a que se poderia chamar “as ideias ingênuas de um físico sobre os organismos”, isto é, as ideias que poderiam surgir na mente de um físico que, depois de ter aprendido a sua física e, mais especialmente, os fundamentos estatísticos da sua ciência, começa a pensar nos organismos e no modo como eles se comportam e funcionam, e que se questiona conscienciosamente se poderá, a partir do que aprendeu, do ponto de vista da sua ciência comparativamente simples, clara e humilde, trazer alguma contribuição relevante para a questão.

Ver-se-á que sim. O passo seguinte será comparar as suas antecipações teóricas com os factos biológicos. Então ficará claro que — embora, no conjunto, as suas ideias pareçam bastante sensatas — precisam de ser apreciavelmente corrigidas. Desta forma, aproximar-nos-emos gradualmente da visão correta — ou, para dizer de modo mais modesto, daquela que proponho como sendo a correta.

Mesmo que eu esteja certo, não sei se o meu modo de abordagem é realmente o melhor e o mais simples. Mas, em suma, foi o meu. O “físico ingênuo” era eu próprio. E não consegui

encontrar nenhum caminho melhor ou mais claro para o objetivo do que o meu caminho tortuoso.

4. Por Que É Que os Átomos São Tão Pequenos?

Um bom método para desenvolver “as ideias ingénuas do físico” é começar por uma pergunta estranha, quase ridícula: Por que é que os átomos são tão pequenos? Para começar, eles são realmente muito pequenos. Cada pequeno pedaço de matéria que manipulamos na vida quotidiana contém um número enorme deles. Muitos exemplos foram criados para transmitir este facto a uma audiência, mas nenhum mais impressionante do que o usado por Lord Kelvin: Imagine que podia marcar as moléculas num copo de água; depois despejava o conteúdo do copo no oceano e agitava este último de modo a distribuir uniformemente as moléculas marcadas por todos os sete mares; se então tirasse um copo de água de qualquer ponto do oceano, encontraria nele cerca de uma centena das suas moléculas marcadas.³

As dimensões reais dos átomos⁴ situam-se entre cerca de $1/5000$ e $1/2000$ do comprimento de onda da luz amarela. A comparação é significativa, porque o comprimento de onda indica aproximadamente as dimensões do menor grão ainda reconhecível ao microscópio. Assim, ver-se-á que tal grão contém ainda milhares de milhões de átomos.

Ora, por que é que os átomos são tão pequenos?

É claro que a pergunta é uma evasiva. Pois não está realmente dirigida ao tamanho dos átomos. Está antes relacionada com o tamanho dos organismos, mais particularmente com o tamanho do nosso próprio corpo. Com efeito, o átomo é pequeno quando referido à nossa unidade cívica de comprimento, digamos a jarda ou o metro. Na física atômica é costume usar o chamado Ångström (abr. Å), que é a 10^{10} ª parte de um metro, ou em notação decimal 0,0000000001 metro. Os diâmetros atômicos variam entre 1 e 2Å. Ora, essas unidades cívicas (em relação às quais os átomos são tão pequenos) estão estreitamente ligadas à dimensão dos nossos corpos. Há uma história que faz remontar a jarda ao capricho de um rei inglês, a quem os seus conselheiros perguntaram que unidade deveriam adotar — e ele estendeu o braço lateralmente e disse: “Tomem a distância entre o meio do meu peito e a ponta dos meus dedos, isso servirá bem.” Verdadeira ou não, a história é significativa para o nosso propósito. O rei indicaria naturalmente um comprimento comparável ao do seu próprio corpo, sabendo que qualquer outro seria muito inconveniente. Apesar de toda a sua predileção pela unidade Ångström, o físico prefere ser informado de que o seu novo fato exigirá seis jardas e meia de tecido — em vez de sessenta e cinco mil milhões de Ångströms de tecido.

Fica assim estabelecido que a nossa questão visa realmente a razão entre dois comprimentos — o do nosso corpo e o do átomo, sendo a existência independente incontestável do lado do átomo. A questão formula-se, então, verdadeiramente assim: Por que é que os nossos corpos têm de ser tão grandes em comparação com o átomo?

Posso imaginar que muitos estudantes entusiastas de física ou de química tenham lamentado o facto de cada um dos nossos órgãos dos sentidos, formando uma parte mais ou menos substancial do nosso corpo e sendo, portanto (tendo em vista a grandeza da referida razão), ele próprio composto por inumeráveis átomos, ser demasiado grosseiro para ser afetado pelo impacto de um único átomo. Não podemos ver, sentir ou ouvir os átomos isolados. As nossas hipóteses a seu respeito diferem amplamente das constatações imediatas dos nossos sentidos grosseiros e não podem ser submetidas à prova da inspeção direta.

Terá de ser assim? Há uma razão intrínseca para isso? Podemos reconduzir este estado de coisas a algum princípio primeiro, a fim de verificar e compreender por que é que nada de diferente é compatível com as próprias leis da Natureza?

Ora, este é, por uma vez, um problema que o físico pode esclarecer completamente. A resposta, a todas estas perguntas, é afirmativa.

5. O Funcionamento de Um Organismo Requer Leis Físicas Exatas

Se não fosse assim, se fôssemos organismos tão sensíveis que um único átomo, ou mesmo alguns átomos, pudessem deixar uma impressão perceptível nos nossos sentidos — céus, como seria a vida! Para sublinhar um ponto: um organismo desse género não seria certamente capaz de desenvolver o tipo de pensamento

ordenado que, após atravessar uma longa sequência de estádios anteriores, acaba por resultar na formação, entre muitas outras ideias, da ideia de átomo.

Mesmo que escolhamos apenas este ponto, as considerações seguintes aplicar-se-iam, essencialmente, também ao funcionamento de órgãos diferentes do cérebro e do sistema sensorial. No entanto, a única coisa de interesse primordial para nós em nós próprios é que sentimos, pensamos e percebemos. Para o processo fisiológico responsável pelo pensamento e pela sensação, todos os outros desempenham um papel auxiliar — pelo menos do ponto de vista humano, se não do ponto de vista de uma biologia puramente objetiva. Além disso, a nossa tarefa ficará muito facilitada se escolhermos para investigação o processo que é acompanhado de perto por acontecimentos subjetivos, mesmo que sejamos ignorantes da verdadeira natureza desse estreito paralelismo. Com efeito, no meu entender, ele situa-se fora do âmbito da ciência natural e, muito provavelmente, fora da compreensão humana em absoluto.

Deparamo-nos, assim, com a seguinte questão: Por que é que um órgão como o nosso cérebro, com o sistema sensorial a ele associado, deve, por necessidade, consistir num número enorme de átomos, para que o seu estado físico em mudança esteja em correspondência próxima e íntima com um pensamento altamente desenvolvido? Com que fundamento é que a tarefa desse órgão é incompatível com o facto de ser, no seu todo ou em algumas das suas partes periféricas que interagem diretamente com o meio, um

mecanismo suficientemente refinado e sensível para responder e registrar o impacto de um único átomo vindo de fora?

A razão para isso é que aquilo a que chamamos pensamento (1) é em si mesmo algo ordenado e (2) só pode ser aplicado a material, isto é, a percepções ou experiências que possuam um certo grau de ordem. Isto tem duas consequências. Primeiro, uma organização física, para estar em correspondência próxima com o pensamento (como o meu cérebro está com o meu pensamento), deve ser uma organização muito bem ordenada, e isso significa que os acontecimentos que nela ocorrem têm de obedecer a leis físicas rigorosas, pelo menos com um grau muito elevado de precisão. Segundo, as impressões físicas exercidas sobre esse sistema fisicamente bem organizado por outros corpos exteriores correspondem, evidentemente, à percepção e à experiência do pensamento correspondente, formando a sua matéria, como lhe chamei. Portanto, as interações físicas entre o nosso sistema e os outros devem, em regra, possuir também um certo grau de ordem física, isto é, também elas têm de obedecer a leis físicas rigorosas, até um certo grau de precisão.

6. As Leis Físicas Fundam-Se na Estatística Atômica e São, portanto, Apenas Aproximadas

E por que razão tudo isto não poderia realizar-se no caso de um organismo composto apenas por um número moderado de átomos e já sensível ao impacto de um ou de alguns átomos apenas?

Porque sabemos que todos os átomos realizam constantemente um movimento térmico completamente desordenado que, por assim dizer, se opõe ao seu comportamento ordenado e não permite que os acontecimentos que ocorrem entre um pequeno número de átomos se alinhem segundo quaisquer leis reconhecíveis. Só na cooperação de um número enormemente grande de átomos é que as leis estatísticas começam a atuar e a controlar o comportamento desses conjuntos, com uma precisão que aumenta à medida que cresce o número de átomos envolvidos. É desse modo que os acontecimentos adquirem características verdadeiramente ordenadas. Todas as leis físicas e químicas que se sabe desempenharem um papel importante na vida dos organismos são deste tipo estatístico; qualquer outro tipo de legalidade e ordem que se possa imaginar é constantemente perturbado e tornado inoperante pelo incessante movimento térmico dos átomos.

7. A Sua Precisão Baseia-Se no Grande Número de Átomos Intervenientes. Primeiro Exemplo (Paramagnetismo)

Deixe-me tentar ilustrar isto com alguns exemplos, escolhidos um pouco ao acaso de entre milhares, e possivelmente não exatamente os melhores para cativar um leitor que esteja a aprender pela primeira vez acerca desta condição das coisas — uma condição que, na física e na química modernas, é tão fundamental como, digamos, o facto de os organismos serem compostos por células na biologia, ou como a Lei de Newton na astronomia, ou mesmo como a série dos números inteiros, 1, 2, 3, 4, 5, ... na matemática. Um principiante absoluto não deve esperar obter das

páginas seguintes uma compreensão e apreciação completas do assunto, que está associado aos nomes ilustres de Ludwig Boltzmann e Willard Gibbs e tratado nos manuais sob o nome de “termodinâmica estatística”.



Fig. 1. Paramagnetismo.

Se encher um tubo de quartzo oblongo com oxigénio gasoso e o colocar num campo magnético, verificará que o gás se magnetiza.⁵ A magnetização deve-se ao facto de as moléculas de oxigénio serem pequenos ímanes e tenderem a orientar-se paralelamente ao campo, como uma agulha de bússola. Mas não deve pensar que todas se alinham realmente de modo paralelo. Pois, se duplicar o campo, obterá o dobro da magnetização no seu corpo de oxigénio, e essa proporcionalidade mantém-se até intensidades de campo extremamente elevadas, a magnetização aumentando à taxa do campo que aplica.

Este é um exemplo particularmente claro de uma lei puramente estatística. A orientação que o campo tende a produzir é continuamente contrariada pelo movimento térmico, que trabalha

para uma orientação aleatória. O efeito deste confronto é, na verdade, apenas uma pequena preferência por ângulos agudos em vez de obtusos entre os eixos dos dipolos e o campo. Embora os átomos isolados mudem incessantemente a sua orientação, produzem, em média (devido ao seu número enorme), uma pequena, mas constante predominância de orientação na direção do campo e proporcional a este. Esta explicação engenhosa deve-se ao físico francês P. Langevin. Pode ser verificada da seguinte forma: se a fraca magnetização observada resulta realmente de tendências rivais, ou seja, o campo magnético, que procura alinhar todas as moléculas em paralelo, e o movimento térmico, que conduz à orientação aleatória, então deve ser possível aumentar a magnetização enfraquecendo o movimento térmico, isto é, baixando a temperatura, em vez de reforçar o campo. Isto é confirmado pela experiência, que mostra a magnetização inversamente proporcional à temperatura absoluta, em concordância quantitativa com a teoria (lei de Curie). O equipamento moderno permite-nos até, baixando a temperatura, reduzir o movimento térmico a uma insignificância tal que a tendência orientadora do campo magnético consegue impor-se, se não completamente, pelo menos o suficiente para produzir uma fração substancial de "magnetização completa". Nesse caso, já não esperamos que o dobro da intensidade de campo produza o dobro da magnetização, mas sim que esta aumente cada vez menos com o aumento do campo, aproximando-se do que se chama "saturação". Também esta expectativa é confirmada quantitativamente pela experiência.

Repare que este comportamento depende inteiramente do grande número de moléculas que cooperam para produzir a magnetização observável. De outro modo, esta não seria de todo constante, mas, ao oscilar de forma bastante irregular de segundo para segundo, testemunharia as vicissitudes do confronto entre o movimento térmico e o campo.

8. Segundo Exemplo (Movimento Browniano, Difusão)

Se encher a parte inferior de um recipiente de vidro fechado com nevoeiro, constituído por gotículas minúsculas, verificará que o limite superior do nevoeiro desce gradualmente, com uma velocidade bem definida, determinada pela viscosidade do ar e pelo tamanho e peso específico das gotículas. Mas se observar uma dessas gotículas ao microscópio, descobrirá que ela não desce de forma permanente com velocidade constante, mas executa um movimento muito irregular, o chamado movimento browniano, que corresponde a uma descida regular apenas em média.

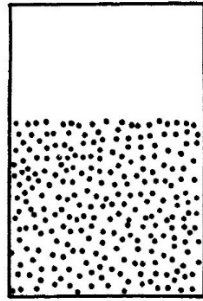


Fig. 2. Nevoeiro a afundar.



Fig. 3. Movimento Browniano de uma gota a afundar.

Ora, estas gotículas não são átomos, mas são suficientemente pequenas e leves para não serem inteiramente insensíveis ao impacto de uma única molécula daquelas que martelam a sua superfície em choques incessantes. Assim, são sacudidas e só em média conseguem seguir a influência da gravidade.

Este exemplo mostra a experiência curiosa e desordenada que teríamos se os nossos sentidos fossem suscetíveis ao impacto de apenas algumas moléculas. Existem bactérias e outros organismos tão pequenos que são fortemente afetados por este fenómeno. Os seus movimentos são determinados pelos caprichos térmicos do meio envolvente; não têm escolha. Se possuíssem algum movimento próprio poderiam, ainda assim, conseguir deslocar-se de um lugar para outro — mas com alguma dificuldade, já que o movimento térmico os sacode como um pequeno barco num mar agitado.

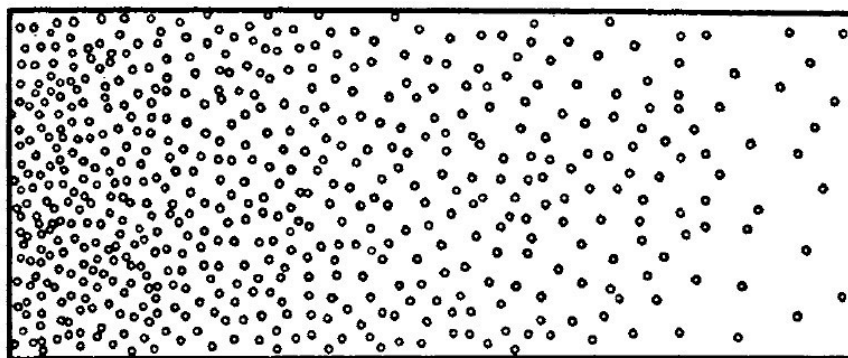


Fig. 4. Difusão da esquerda para a direita numa solução de concentração variável.

Um fenómeno muito semelhante ao movimento browniano é o da *difusão*. Imagine um recipiente cheio de um fluido, digamos água, com uma pequena quantidade de uma substância colorida dissolvida, digamos permanganato de potássio, não em concentração uniforme, mas como na Fig. 4, onde os pontos indicam as moléculas da substância dissolvida (permanganato) e a concentração diminui da esquerda para a direita. Se deixar este sistema em repouso, instala-se um processo muito lento de “difusão”: o permanganato espalha-se da esquerda para a direita, isto é, dos locais de maior concentração para os de menor concentração, até ficar igualmente distribuído pela água.

O notável neste processo, aparentemente simples e não particularmente interessante, é que ele não resulta, como se poderia pensar, de qualquer tendência ou força que empurre as moléculas de permanganato da região mais povoada para a menos povoada, como a população de um país a espalhar-se para zonas onde há mais espaço. Nada disso acontece com as nossas moléculas de permanganato. Cada uma delas comporta-se de modo totalmente independente das outras, que raramente encontra. Cada

uma, esteja numa região densa ou numa mais vazia, sofre sempre o mesmo destino: é continuamente sacudida pelos impactos das moléculas de água e move-se gradualmente numa direção imprevisível — por vezes em direção à maior, por vezes à menor concentração, outras vezes de forma oblíqua. O tipo de movimento que realizam tem sido frequentemente comparado ao de uma pessoa vendada numa superfície ampla, dotada de uma certa vontade de “andar”, mas sem qualquer preferência por uma direção em particular, mudando assim continuamente de rumo.

Que esta caminhada aleatória das moléculas de permanganato — a mesma para todas elas — produza ainda assim um fluxo regular em direção às regiões de menor concentração e acabe por conduzir a uma uniformidade de distribuição, é, à primeira vista, desconcertante — mas apenas à primeira vista. Se contemplar na Fig. 4 fatias finas de concentração aproximadamente constante, as moléculas de permanganato que num dado momento estão contidas numa fatia particular serão, é verdade, transportadas pela sua caminhada aleatória tanto para a esquerda como para a direita, com igual probabilidade. Mas precisamente por causa disso, um plano que separe duas fatias vizinhas será atravessado por mais moléculas vindas da esquerda do que no sentido contrário, simplesmente porque à esquerda existem mais moléculas em movimento aleatório do que à direita. E enquanto assim for, o balanço aparecerá como um fluxo regular da esquerda para a direita, até ser atingida a distribuição uniforme.

Quando estas considerações são traduzidas em linguagem matemática, obtém-se a lei exata da difusão na forma de uma equação diferencial parcial:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} = D \nabla^2 \rho,$$

a qual não irei incomodar o leitor a explicar, embora o seu significado em linguagem comum seja suficientemente simples.⁶ A razão para mencionar aqui esta severa lei “matematicamente exata” é sublinhar que a sua exatidão física deve, no entanto, ser questionada em cada aplicação particular. Baseada no puro acaso, a sua validade é apenas aproximada. Se, regra geral, constitui uma aproximação muito boa, isso deve-se apenas ao enorme número de moléculas que cooperam no fenómeno. Quanto menor o número delas, maiores serão as variações totalmente fortuitas que devemos esperar — e que podem ser observadas em circunstâncias favoráveis.

9. Terceiro Exemplo

(Limites de Exatidão da Medição)

O último exemplo que daremos é muito semelhante ao segundo, mas possui um interesse particular. Um corpo leve, suspenso por uma fibra longa e fina em posição de equilíbrio, é frequentemente usado pelos físicos para medir forças fracas que o desviam dessa posição de equilíbrio, aplicando-se forças elétricas, magnéticas ou gravitacionais de modo a torcê-lo em torno do eixo vertical. (O corpo leve deve, naturalmente, ser escolhido de forma adequada

ao propósito específico.) O esforço contínuo para melhorar a exatidão deste dispositivo de uso tão comum, a balança de torção, encontrou um limite curioso, e em si mesmo muito interessante. Ao escolher corpos cada vez mais leves e fibras cada vez mais finas e longas — para tornar a balança suscetível a forças cada vez mais fracas — chegou-se ao ponto em que o corpo suspenso se tornou visivelmente sensível ao impacto do movimento térmico das moléculas vizinhas e começou a executar uma incessante e irregular “dança” em torno da sua posição de equilíbrio, muito semelhante ao tremor da gotícula no segundo exemplo. Embora este comportamento não imponha um limite absoluto à exatidão das medições obtidas com a balança, estabelece um limite prático. O efeito incontrollável do movimento térmico compete com o efeito da força a medir e torna insignificante a deflexão isolada observada. É necessário multiplicar as observações para eliminar o efeito do movimento browniano do instrumento. Este exemplo é, penso eu, particularmente esclarecedor na nossa presente investigação. Pois, afinal, os nossos órgãos dos sentidos são também um tipo de instrumento. E podemos ver quão inúteis seriam se se tornassem demasiado sensíveis.

10. A Regra de $\sqrt{n}$

Basta de exemplos, por agora. Quero apenas acrescentar que não há uma única lei da física ou da química, entre aquelas que são relevantes no interior de um organismo ou nas suas interações com o ambiente, que eu não pudesse escolher como exemplo. A explicação detalhada poderia ser mais complicada, mas o ponto

essencial seria sempre o mesmo e, assim, a descrição tornar-se-ia monótona.

Mas gostaria de acrescentar uma afirmação quantitativa muito importante acerca do grau de inexatidão a esperar em qualquer lei física, a chamada regra de $\sqrt{n}$. Primeiro ilustrá-la-ei com um exemplo simples e depois generalizá-la-ei.

Se eu lhe disser que um certo gás, sob certas condições de pressão e temperatura, tem uma determinada densidade, e se o expressasse dizendo que, dentro de um certo volume (de dimensão relevante para uma experiência), existem nessas condições exatamente n moléculas do gás, então pode estar certo de que, se pudesse testar a minha afirmação num dado instante, a encontraria inexata, sendo o desvio da ordem de $\sqrt{n}$. Assim, se o número $n = 100$, encontraria um desvio de cerca de 10, portanto erro relativo = 10%. Mas se $n = 1$ milhão, provavelmente encontraria um desvio de cerca de 1 000, portanto erro relativo = 1/10%. Ora, de modo aproximado, esta lei estatística é bastante geral. As leis da física e da físico-química são inexatas dentro de um erro relativo provável da ordem de $1/\sqrt{n}$, onde n é o número de moléculas que cooperam para produzir essa lei — para garantir a sua validade dentro das regiões do espaço ou do tempo (ou de ambos) que interessam, seja por razões de princípio, seja para uma experiência particular. Veja, portanto, que um organismo deve ter uma estrutura relativamente grosseira para poder usufruir do benefício de leis suficientemente exatas, tanto para a sua vida interna como para a sua interação com o mundo externo. Caso contrário, o número de partículas cooperantes seria demasiado pequeno, e a “lei” demasiado inexata.

A exigência particular aqui é a da raiz quadrada. Pois, embora um milhão seja um número razoavelmente grande, uma exatidão de apenas 1 em 1 000 não é esmagadoramente boa, se uma coisa reivindica a dignidade de ser uma “Lei da Natureza”.

CAPÍTULO 2

O Mecanismo Hereditário

O Ser é eterno; pois existem leis para conservar os tesouros da vida de que o Universo se serve para a beleza. Goethe

1. A Expetativa do Físico Clássico, Longe de Ser Trivial, está Errada

Assim, chegámos à conclusão de que um organismo e todos os processos biologicamente relevantes que nele ocorrem devem ter uma estrutura extremamente “multiatômica” e devem estar salvaguardados contra eventos aleatórios, “monoatômicos”, que adquiram importância excessiva. O “físico ingénuo” diz-nos que isto é essencial, para que o organismo possa, por assim dizer, dispor de leis físicas suficientemente exatas sobre as quais se apoiar na organização do seu funcionamento maravilhosamente regular e bem ordenado. Como se enquadram estas conclusões, obtidas, biologicamente falando, *à priori* (isto é, do ponto de vista puramente físico), nos factos biológicos reais?

À primeira vista, poder-se-ia pensar que estas conclusões são pouco mais do que triviais. Um biólogo de, digamos, trinta anos atrás poderia ter dito que, embora fosse adequado para um conferencista popular enfatizar a importância, no organismo como

noutros contextos, da física estatística, o ponto era, de facto, um truísmo familiar. Pois, naturalmente, não só o corpo de um indivíduo adulto de qualquer espécie superior, mas cada célula que o compõe contém um número “cósmico” de átomos de cada tipo. E cada processo fisiológico particular que observamos, quer dentro da célula, quer na sua interação com o ambiente, aparenta — ou aparentava há trinta anos — envolver números tão enormes de átomos individuais e de processos monoatômicos que todas as leis relevantes da física e da físico-química estariam salvaguardadas mesmo sob as exigências rigorosas da física estatística em relação aos “números grandes”; esta exigência illustrei há pouco pela regra de $\sqrt{n}$.

Hoje sabemos que essa opinião teria sido um erro. Como veremos a seguir, grupos incrivelmente pequenos de átomos, muito pequenos para exibirem leis estatísticas exatas, desempenham um papel dominante nos acontecimentos muito ordenados e regulares dentro de um organismo vivo. Eles controlam as características observáveis em grande escala que o organismo adquire ao longo do seu desenvolvimento, determinam características importantes do seu funcionamento; e em tudo isto são exibidas leis biológicas muito precisas e rigorosas.

Devo começar por apresentar um breve resumo da situação na biologia, mais especialmente na genética — por outras palavras, tenho de resumir o estado atual do conhecimento sobre um tema do qual não sou mestre. Não há outra forma, e peço desculpa, particularmente a qualquer biólogo, pelo carácter diletante do meu resumo. Por outro lado, peço licença para expor as ideias

prevalecentes, mais ou menos dogmaticamente. Não se poderia esperar que um pobre físico teórico produzisse algo que se aproximasse de uma revisão competente da evidência experimental, que consiste num grande número de séries longas e cuidadosamente interligadas de experiências de reprodução de engenho verdadeiramente sem precedentes, por um lado, e de observações diretas da célula viva, conduzidas com todo o refinamento da microscopia moderna, por outro.

2. O Código Hereditário (Cromossomos)

Vou usar a palavra padrão de um organismo no sentido em que o biólogo a chama de “padrão quadridimensional”, significando não apenas a estrutura e o funcionamento desse organismo no adulto, ou em qualquer outro estágio particular, mas todo o seu desenvolvimento ontogenético, desde a célula ovo fertilizada até ao estágio de maturidade, quando o organismo começa a reproduzir-se. Agora, sabe-se que todo este padrão quadridimensional é determinado pela estrutura dessa única célula, o óvulo fertilizado. Além disso, sabemos que é essencialmente determinado pela estrutura de apenas uma pequena parte dessa célula, o seu núcleo. Este núcleo, no estado ordinário de “repouso” da célula, aparece normalmente como uma rede de cromatina¹, distribuída pela célula. Mas nos processos vitais da divisão celular (mitose e meiose, ver abaixo) observa-se que consiste num conjunto de partículas, geralmente em forma de fibras ou bastonetes, chamadas cromossomos, cujo número é 8 ou 12 ou, no homem, 48. Mas eu deveria ter escrito esses números ilustrativos como 2×4 , 2×6 , ..., 2×24 , ..., e deveria ter falado em dois conjuntos, para usar a

expressão no sentido habitual do biólogo. Pois, embora os cromossomos individuais às vezes se distingam claramente e se individualizem pela forma e tamanho, os dois conjuntos são quase inteiramente idênticos. Como veremos em breve, um conjunto vem da mãe (célula ovo), outro do pai (espermatozóide fertilizante). São estes cromossomos, ou provavelmente apenas uma fibra do esqueleto axial do que realmente vemos ao microscópio como cromossomo, que contêm, de alguma forma em código, todo o padrão do desenvolvimento futuro do indivíduo e do seu funcionamento no estado maduro. Cada conjunto completo de cromossomos contém o código completo; por isso existem, geralmente, duas cópias deste código na célula ovo fertilizada, que forma o estágio mais inicial do futuro indivíduo.

Ao chamar à estrutura das fibras do cromossomo um código, queremos dizer que a mente penetrante imaginada por Laplace, à qual cada ligação causal estava imediatamente acessível, poderia, pela sua estrutura, determinar se o ovo se desenvolveria, em condições adequadas, num galo negro ou numa galinha malhada, numa mosca ou numa planta de milho, num rododendro, num besouro, num rato ou numa mulher. Acrescenta-se ainda que as aparências das células ovo são frequentemente notavelmente semelhantes; e mesmo quando não são, como no caso dos ovos comparativamente gigantescos de aves e répteis, a diferença não reside tanto nas estruturas relevantes, mas no material nutritivo que, nesses casos, é adicionado por razões óbvias.

Mas o termo código é, naturalmente, demasiado restrito. As estruturas cromossômicas são ao mesmo tempo instrumentos para

realizar o desenvolvimento que prenunciam. São lei-código e poder executivo — ou, para usar outra analogia, são plano do arquiteto e ofício do construtor — num só.

3. Crescimento do Corpo Através da Divisão Celular (Mitose)

Como se comportam os cromossomos na ontogénese?²

O crescimento de um organismo é realizado através de divisões celulares consecutivas. Tal divisão celular chama-se mitose. Na vida de uma célula, não se trata de um acontecimento tão frequente quanto se poderia esperar, considerando o enorme número de células que compõem o nosso corpo. No início, o crescimento é rápido. O óvulo divide-se em duas “células-filhas” que, no passo seguinte, produzirão uma geração de quatro, depois de 8, 16, 32, 64, ..., etc. A frequência da divisão não se mantém exatamente igual em todas as partes do corpo em crescimento, e isso quebra a regularidade destes números. Mas a partir do seu rápido aumento, inferimos por um cálculo simples que, em média, tão poucas quanto 50 ou 60 divisões sucessivas são suficientes para produzir o número de células³ num homem adulto — ou, digamos, dez vezes esse número⁴, considerando a troca de células ao longo da vida. Assim, uma célula do meu corpo é, em média, apenas a 50.^a ou 60.^a “descendente” do óvulo que eu fui.

4. Na Mitose, Cada Cromossoma é Duplicado

Como se comportam os cromossomas na mitose? Eles duplicam-se — ambos os conjuntos, ambas as cópias do código, duplicam-se. O processo tem sido intensamente estudado ao microscópio e é de interesse primordial, mas demasiado complexo para descrever aqui em detalhe. O ponto essencial é que cada uma das duas “células-filhas” recebe um dote de dois conjuntos completos adicionais de cromossomas, exatamente semelhantes aos da célula-mãe. Assim, todas as células do corpo são exatamente iguais quanto ao seu tesouro cromossómico.⁵

Por mais pouco que entendamos do mecanismo, não podemos deixar de pensar que ele deve ser de alguma forma muito relevante para o funcionamento do organismo, que cada célula, mesmo uma menos importante, deva possuir uma cópia completa (duplicada) do código-genético. Há algum tempo, lemos nos jornais que, na sua campanha africana, o General Montgomery fazia questão de que cada soldado do seu exército estivesse meticulosamente informado de todos os seus planos. Se isso for verdade (como é concebível, dado o elevado grau de inteligência e fiabilidade das suas tropas), fornece uma excelente analogia para o nosso caso, em que o facto correspondente é certamente literalmente verdadeiro. O facto mais surpreendente é a duplicidade do conjunto de cromossomas, mantida ao longo das divisões mitóticas. Que esta seja a característica mais marcante do mecanismo genético é revelado de forma mais evidente pela única exceção à regra, que agora temos de discutir.

5. Divisão Redutiva (Meiose) e Fertilização (Singâmia)

Muito pouco depois de se iniciar o desenvolvimento do indivíduo, um grupo de células é reservado para produzir, numa fase posterior, os chamados gametas, as células espermáticas ou óvulos, conforme o caso, necessários à reprodução do indivíduo na maturidade. “Reservadas” significa que, entretanto, não servem a outros propósitos e sofrem muitas menos divisões mitóticas.

A divisão excecional ou redutiva (chamada meiose) é aquela através da qual, eventualmente, na maturidade, os gametas são produzidos a partir destas células reservadas, geralmente apenas pouco antes de ocorrer a singamia. Na meiose, o conjunto duplo de cromossomas da célula-mãe separa-se simplesmente em dois conjuntos simples, um dos quais vai para cada uma das duas células-filhas, os gametas.

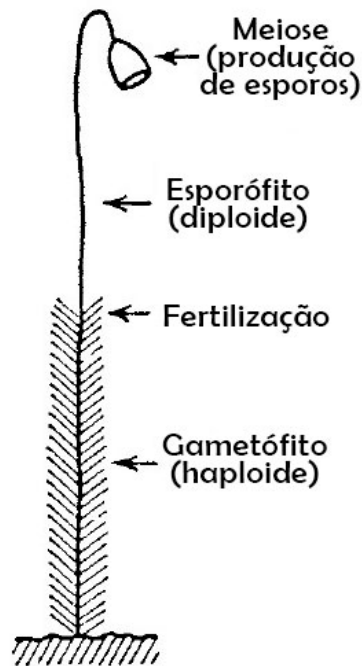


Fig. 5 - Alternância de gerações

Por outras palavras, a duplicação mitótica do número de cromossomas não ocorre na meiose, o número mantém-se constante e, assim, cada gameta recebe apenas metade — ou seja, apenas uma cópia completa do código, não duas, por exemplo, no homem apenas 24, e não $2 \times 24 = 48$.

As células com apenas um conjunto de cromossomas são chamadas haploides (do grego *haploos*, único). Assim, os gametas são haploides, enquanto as células ordinárias do corpo são diploides (do grego *diploos*, duplo).

Indivíduos com três, quatro, ... ou, falando de forma geral, com muitos conjuntos de cromossomas em todas as suas células corporais ocorrem ocasionalmente; estes últimos são então chamados triploides, tetraploides, ..., poliploides.

No ato de singamia, o gameta masculino (espermatozoide) e o gameta feminino (óvulo), ambas células haploides, coalescem para formar o óvulo fertilizado, que é assim diploide. Um dos seus conjuntos de cromossomas vem da mãe, o outro do pai.

6. Indivíduos Haplóides

Há ainda um outro ponto que necessita de retificação. Embora não seja indispensável para o nosso propósito, é de real interesse, pois mostra que, na verdade, um código-roteiro bastante completo do “padrão” está contido em cada conjunto de cromossomas.

Existem casos em que a meiose não é seguida, pouco depois, pela fecundação; a célula haploide (o “gameta”) sofre, entretanto, numerosas divisões mitóticas, que resultam na formação de um indivíduo haploide completo. É o que acontece no caso da abelha macho, o zangão, que é produzido partenogeneticamente, isto é, a partir de ovos não fecundados e, portanto, haploides da rainha. O zangão não tem pai! Todas as suas células somáticas são haplóides. Se quiser, pode chamá-lo de um espermatozoide grosseiramente exagerado; e, de facto, como todos sabem, a sua única e exclusiva tarefa na vida é justamente funcionar como tal. Contudo, talvez isso seja um ponto de vista algo ridículo. Pois o caso não é totalmente único. Existem famílias de plantas em que o gameta haploide, produzido por meiose e chamado, nesses casos, esporo, cai ao solo e, como uma semente, desenvolve-se num verdadeiro indivíduo haploide comparável em tamanho ao diploide. A Fig. 5 é um esboço simples de um musgo, bem conhecido nas nossas florestas. A parte inferior, folhosa, é a planta haploide, chamada gametófito, porque

na sua extremidade superior desenvolve órgãos sexuais e gametas que, por fecundação mútua, produzem, de forma habitual, a planta diploide — o caule nu com a cápsula no topo. Esta recebe o nome de esporófito, porque nela se formam, por meiose, os esporos contidos na cápsula superior. Quando a cápsula se abre, os esporos caem no solo e desenvolvem-se num caule folhoso, etc. Este ciclo de acontecimentos chama-se, com propriedade, alternância de gerações. Pode, se assim preferir, considerar o caso comum — o homem e os animais — da mesma forma. Mas, então, o “gametófito” é, em regra, uma geração unicelular de vida muito curta, seja o espermatozoide ou o óvulo, conforme o caso. O nosso corpo corresponde ao esporófito. Os nossos “esporos” são as células de reserva a partir das quais, por meiose, surge a geração unicelular.

7. A Relevância Extraordinária da Divisão Redutora

O acontecimento importante, verdadeiramente decisivo no processo de reprodução do indivíduo não é a fecundação, mas sim a meiose. Um conjunto de cromossomas vem do pai, outro da mãe. Nem o acaso nem o destino podem interferir nisso. Cada homem⁶ deve exatamente metade da sua herança à mãe e metade ao pai. O facto de uma das linhagens parecer muitas vezes prevalecer deve-se a outras razões, que veremos mais adiante. (O próprio sexo é, naturalmente, o exemplo mais simples de tal prevalência.)

Mas quando segue a origem da sua herança até aos seus avós, o caso já é diferente. Fixemos a atenção no meu conjunto paterno de cromossomas, em particular num deles, digamos o nº 5. Ele é

uma réplica fiel ou do nº 5 que o meu pai recebeu do seu pai, ou do nº 5 que recebeu da sua mãe. A decisão foi tomada por uma probabilidade de 50:50 na meiose que ocorreu no corpo do meu pai em novembro de 1886 e que produziu o espermatozoide que, poucos dias depois, viria a ser eficaz na minha concepção. Exatamente a mesma história poderia repetir-se a propósito dos cromossomas nºs 1, 2, 3, ..., 24 do meu conjunto paterno, e *mutatis mutandis* (com as devidas adaptações) acerca de cada um dos meus cromossomas maternos. Além disso, todas as 48 decisões são inteiramente independentes. Mesmo que se soubesse que o meu cromossoma paterno nº 5 provinha do meu avô Josef Schrödinger, o nº 7 teria ainda igual probabilidade de ser também dele ou da sua esposa Marie, de nascimento Bogner.

8. Permuta Genética. Localização das Propriedades

Mas o puro acaso recebeu ainda um campo mais vasto na mistura da herança dos avós nos descendentes do que poderia parecer pela descrição anterior, na qual se assumiu tacitamente, ou até se afirmou explicitamente, que um cromossoma particular, como um todo, provinha ou do avô ou da avó; por outras palavras, que os cromossomas individuais eram transmitidos sem se dividirem. Na realidade, isso não acontece — ou pelo menos não sempre.

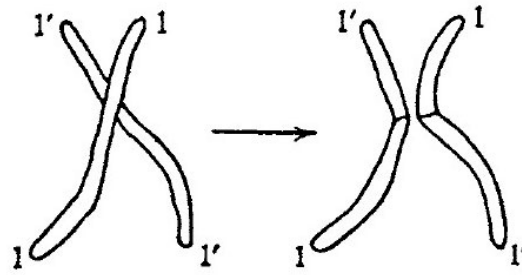


Fig. 6 - Crossing-over. Esquerda: os dois cromossomas homólogos em contacto. Direita: após troca e separação.

Antes de serem separados na divisão redutora, digamos no corpo do pai, quaisquer dois cromossomas “homólogos” entram em contato estreito, durante o qual por vezes trocam entre si porções inteiras, como ilustrado na Fig. 6. Por este processo, chamado *permuta genética*, duas propriedades situadas nas respetivas partes desse cromossoma serão separadas no neto, que herdará uma delas do avô e a outra da avó. O ato de permuta genética, não sendo nem muito raro nem muito frequente, forneceu-nos informações inestimáveis acerca da localização das propriedades nos cromossomas. Para um relato completo teríamos de recorrer a conceitos que apenas serão introduzidos no próximo capítulo (como heterozigotia, dominância, etc.); mas como isso nos levaria para além do âmbito deste pequeno livro, deixo já indicado o ponto essencial.

Se não houvesse permuta genética, duas propriedades das quais o mesmo cromossoma fosse responsável seriam sempre transmitidas em conjunto, nenhum descendente recebendo uma sem a outra. Já duas propriedades situadas em cromossomas diferentes teriam ou uma probabilidade de 50:50 de serem separadas, ou seriam invariavelmente separadas — neste último

caso, quando se encontrassem em cromossomas homólogos do mesmo progenitor, que nunca poderiam permanecer juntos.

Estas regras e probabilidades são alteradas pela permuta genética. Daí que a probabilidade deste acontecimento possa ser determinada registando cuidadosamente a composição percentual da descendência em extensas experiências de reprodução, devidamente planeadas para esse fim. Ao analisar as estatísticas, adota-se a hipótese de trabalho sugestiva de que a “ligação” entre duas propriedades situadas no mesmo cromossoma é tanto menos frequentemente quebrada por permuta genética quanto mais próximas estiverem uma da outra. Pois, nesse caso, há menos hipótese de o ponto de troca se situar entre elas; ao passo que propriedades localizadas em extremidades opostas do cromossoma são separadas em cada permuta genética. (Algo semelhante aplica-se à recombinação de propriedades localizadas em cromossomas homólogos do mesmo progenitor.) Desta forma, pode esperar-se obter, a partir das “estatísticas de ligação”, uma espécie de “mapa de propriedades” dentro de cada cromossoma.

Estas expectativas foram plenamente confirmadas. Nos casos em que os testes foram aplicados de forma rigorosa (principalmente, mas não exclusivamente, na *Drosophila*), as propriedades estudadas dividiram-se efetivamente em tantos grupos distintos, sem ligação entre si, quantos os diferentes cromossomas (quatro na *Drosophila*). Dentro de cada grupo pôde elaborar-se um mapa linear de propriedades que explica quantitativamente o grau de ligação entre quaisquer duas desse grupo, deixando pouca dúvida

de que elas estão efetivamente localizadas, e localizadas ao longo de uma linha, tal como a forma alongada do cromossoma sugere.

É claro que o esquema do mecanismo hereditário, tal como aqui traçado, permanece ainda bastante vazio e sem cor, até ligeiramente ingênuo. Pois não dissemos ainda o que entendemos exatamente por uma propriedade. Parece nem adequado nem possível dissecar em “propriedades” discretas o padrão de um organismo que é, essencialmente, uma unidade, um “todo”. Na prática, o que afirmamos em qualquer caso concreto é que um par de progenitores diferia num certo aspeto bem definido (por exemplo, um tinha olhos azuis, o outro, castanhos), e que a descendência segue, nesse aspeto, ou um ou outro. O que localizamos no cromossoma é o assento dessa diferença. (Chamamos-lhe, em linguagem técnica, um “locus (posição/local)” ou, se pensarmos na estrutura material hipotética que o sustenta, um “gene”.) A diferença de propriedade, a meu ver, é realmente o conceito fundamental, mais ainda do que a propriedade em si — apesar da aparente contradição linguística e lógica desta afirmação. As diferenças de propriedades são, de facto, discretas, como surgirá no próximo capítulo, quando tivermos de falar de mutações, e o esquema árido até agora apresentado adquirirá, assim espero, mais vida e cor.

9. Tamanho Máximo de Um Gene

Acabámos de introduzir o termo gene para o portador material hipotético de uma determinada característica hereditária. Devemos agora salientar dois pontos que serão altamente relevantes para a

nossa investigação. O primeiro é o tamanho — ou melhor, o tamanho máximo — de tal portador; por outras palavras, até que volume mínimo conseguimos localizar a herança? O segundo ponto será a permanência de um gene, a deduzir da durabilidade do padrão hereditário.

No que diz respeito ao tamanho, existem duas estimativas inteiramente independentes: uma baseada em evidências genéticas (experiências de reprodução), a outra em evidências citológicas (observação microscópica direta). A primeira é, em princípio, bastante simples. Depois de termos localizado, da forma acima descrita, um número considerável de diferentes características (em grande escala) num determinado cromossoma — digamos, da mosca *Drosophila* —, para obter a estimativa necessária basta dividir o comprimento medido desse cromossoma pelo número de características e multiplicar pela secção transversal. Pois, naturalmente, só contamos como diferentes aquelas características que são ocasionalmente separadas por permuta genética, de modo que não possam dever-se à mesma estrutura (microscópica ou molecular). Por outro lado, é claro que esta estimativa só pode fornecer um tamanho máximo, porque o número de características isoladas pela análise genética aumenta continuamente à medida que o trabalho avança.

A outra estimativa, embora baseada em observação microscópica, é na realidade bem menos direta. Certas células da *Drosophila* (nomeadamente, as das suas glândulas salivares) encontram-se, por alguma razão, enormemente aumentadas, e o mesmo acontece aos seus cromossomas. Neles distingue-se um

padrão denso de bandas transversais escuras ao longo da fibra. C. D. Darlington observou que o número dessas bandas (2.000, no caso que estudou) é, embora consideravelmente maior, ainda aproximadamente da mesma ordem de grandeza que o número de genes localizados nesse cromossoma por experiências de reprodução. Ele inclina-se a considerar essas bandas como representando os próprios genes (ou as separações entre genes). Dividindo o comprimento do cromossoma, medido numa célula de tamanho normal, por esse número (2.000), encontra para o volume de um gene o equivalente a um cubo com aresta de 300 Å. Considerando a imprecisão inevitável destas estimativas, podemos aceitar que este valor seja também o obtido pelo primeiro método.

10. Números Pequenos

Uma discussão completa sobre a relação da física estatística com todos os factos que recordo — ou, talvez devesse dizer, da relação destes factos com a aplicação da física estatística à célula viva — será feita mais adiante. Mas quero chamar a atenção, neste ponto, para o facto de que 300 Å correspondem apenas a cerca de 100 ou 150 distâncias atómicas num líquido ou num sólido, de modo que um gene contém certamente não mais do que cerca de um milhão ou alguns milhões de átomos. Esse número é demasiado pequeno (do ponto de vista da $\sqrt{n}$) para implicar um comportamento ordenado e regular de acordo com a física estatística — e isso significa de acordo com a própria física. É demasiado pequeno, mesmo que todos esses átomos desempenhassem o mesmo papel, como acontece num gás ou numa gota de líquido. E o gene não é, com toda a certeza, apenas uma gota homogénea de líquido. É

provavelmente uma grande molécula de proteína, na qual cada átomo, cada radical, cada anel heterocíclico desempenha um papel individual, mais ou menos diferente daquele desempenhado por quaisquer outros átomos, radicais ou anéis semelhantes. Esta é, de qualquer forma, a opinião de geneticistas de renome, como Haldane e Darlington, e em breve teremos de referir experiências genéticas que quase chegam a prová-lo.

11. Permanência

Passemos agora à segunda questão de grande relevância: Que grau de permanência encontramos nas propriedades hereditárias e o que devemos, portanto, atribuir às estruturas materiais que as transportam?

A resposta a isto pode ser dada sem qualquer investigação especial. O simples facto de falarmos em propriedades hereditárias indica que reconhecemos que a sua permanência é quase absoluta. Pois não devemos esquecer que o que é transmitido do progenitor ao filho não é apenas esta ou aquela particularidade — um nariz adunco, dedos curtos, uma tendência para o reumatismo, hemofilia, dicromasia, etc. Estas características podemos escolher comodamente para estudar as leis da hereditariedade. Mas, na realidade, é todo o padrão (quadridimensional) do fenótipo, a natureza visível e manifesta do indivíduo, que é reproduzido sem alteração apreciável ao longo de gerações, permanecendo estável durante séculos — embora não ao longo de dezenas de milhares de anos — e sendo transportado em cada transmissão pela estrutura material dos núcleos das duas células que se unem para formar a

célula-ovo fecundada. Isso é um prodígio — e apenas um é maior; um que, embora intimamente ligado a este, situa-se num plano diferente. Refiro-me ao facto de que nós, cujo ser total assenta inteiramente num maravilhoso jogo de interações deste género, possuímos, contudo, o poder de adquirir um conhecimento considerável acerca dele. Creio ser possível que esse conhecimento avance até pouco menos do que uma compreensão completa — do primeiro prodígio. O segundo poderá, muito bem-estar para além da compreensão humana.

CAPÍTULO 3

Mutações

E aquilo que na aparência flutuante paira,

Vós devereis fixar com pensamentos duradouros.

Goethe

1. Mutações “Súbitas” – O Terreno de Trabalho da Seleção Natural

Os factos gerais que acabámos de apresentar como prova da durabilidade atribuída à estrutura génica talvez nos sejam demasiado familiares para causarem impacto ou serem considerados convincentes. Aqui, pela primeira vez, o ditado comum de que as exceções confirmam a regra é, de facto, verdadeiro. Se não houvesse exceções na semelhança entre filhos e pais, ter-nos-íamos visto privados não apenas de todas aquelas belas experiências que nos revelaram o mecanismo detalhado da hereditariedade, mas também dessa grande experiência, multiplicada por milhões, que a Natureza conduz ao forjar as espécies através da seleção natural e da sobrevivência dos mais aptos.

Permita-me tomar este último tema importante como ponto de partida para apresentar os factos relevantes — novamente com um pedido de desculpas e uma lembrança de que não sou biólogo:

Hoje sabemos com certeza que Darwin se enganou ao considerar as pequenas variações contínuas e accidentais, que inevitavelmente ocorrem mesmo na população mais homogénea, como sendo o material sobre o qual atua a seleção natural. Pois foi provado que tais variações não são herdadas. O facto é suficientemente importante para merecer uma breve ilustração. Se pegar numa cultura de cevada de estirpe pura, e medir, espiga a espiga, o comprimento das suas aristas, e representar graficamente os resultados da sua estatística, obterá uma curva em forma de sino, como se mostra na Fig. 7, em que o número de espigas com um comprimento definido de arista é colocado em função desse mesmo comprimento.

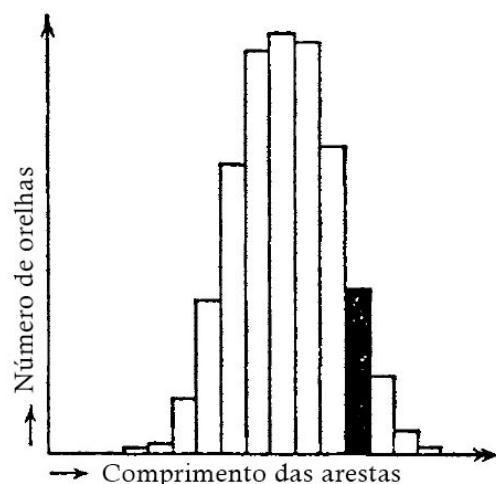


Fig. 7 - Estatísticas do comprimento das aristas numa cultura pura. O grupo preto deve ser selecionado para a sementeira. (Os detalhes não são de uma experiência real, mas são apenas para fins ilustrativos.)

Por outras palavras: prevalece um determinado comprimento médio e as variações, em qualquer direção, ocorrem com certas frequências. Agora escolha um grupo de espigas (assinaladas a negro) com aristas visivelmente acima da média, mas em número suficiente para serem semeadas sozinhas num campo e darem uma nova colheita. Ao realizar as mesmas estatísticas para esta nova colheita, Darwin teria esperado encontrar a curva correspondente deslocada para a direita. Por outras palavras, teria esperado produzir, por seleção, um aumento do comprimento médio das aristas.

Não é isso que acontece, se tiver sido utilizada uma estirpe de cevada verdadeiramente pura. A nova curva estatística, obtida a partir da colheita selecionada, é idêntica à primeira, e o mesmo aconteceria se fossem escolhidas para semente espigas com aristas particularmente curtas. A seleção não tem efeito — porque as pequenas variações contínuas não são herdadas. Elas não se baseiam, de forma evidente, na estrutura da substância hereditária; são acidentais.

Mas há cerca de quarenta anos o holandês de Vries descobriu que, mesmo na descendência de linhagens completamente puras, um número muito pequeno de indivíduos — digamos, dois ou três em dezenas de milhares — surgem com pequenas alterações, mas de tipo 'súbito'; a expressão 'súbito' não significa que a alteração seja muito grande, mas sim que há uma descontinuidade, visto que não existem formas intermédias entre os indivíduos inalterados e os poucos alterados. De Vries chamou a isso uma mutação. O facto significativo é a descontinuidade. Isso faz lembrar a um físico a

teoria dos quanta — em que não ocorrem energias intermédias entre dois níveis de energia vizinhos. Ele sentir-se-ia inclinado a chamar à teoria das mutações de, de Vries, em sentido figurado, a teoria quântica da biologia. Veremos mais adiante que isso é muito mais do que uma figura de estilo. As mutações devem-se, na verdade, a saltos quânticos na molécula do gene. Mas a teoria dos quanta tinha apenas dois anos quando de Vries publicou pela primeira vez a sua descoberta, em 1902. Não é de estranhar que tenha sido necessária mais uma geração para se descobrir a íntima ligação!

2. Elas Reproduzem-Se com Fidelidade, ou seja, São Perfeitamente Herdadas

As mutações são herdadas com a mesma perfeição que os caracteres originais e inalterados. Para dar um exemplo: na primeira colheita de cevada considerada acima, poderiam surgir algumas espigas com aristas muito fora do intervalo de variabilidade mostrado na Fig. 7, digamos, sem aristas de todo. Estas poderiam representar uma mutação de, de Vries e, nesse caso, reproduzir-se-iam com perfeita fidelidade, isto é, todos os seus descendentes seriam igualmente desprovidos de aristas.

Assim, uma mutação é, de forma inequívoca, uma alteração no tesouro hereditário e deve ser explicada por alguma modificação na substância hereditária. Na verdade, a maior parte das experiências de cruzamento mais importantes, que nos revelaram o mecanismo da hereditariedade, consistiram numa análise cuidadosa da

descendência obtida através do cruzamento, segundo um plano pré-concebido, de indivíduos mutados (ou, em muitos casos, com múltiplas mutações) com não mutados ou com indivíduos portadores de mutações diferentes.

Por outro lado, em virtude de se reproduzirem com fidelidade, as mutações constituem um material adequado sobre o qual a seleção natural pode atuar e produzir as espécies, tal como descrito por Darwin, eliminando os menos aptos e permitindo a sobrevivência dos mais aptos. Na teoria de Darwin, basta substituir 'mutações' pelas suas 'pequenas variações acidentais' (assim como a teoria quântica substitui a 'transferência contínua de energia' pelo 'salto quântico'). Em todos os outros aspetos, poucas alterações foram necessárias à teoria de Darwin — isto, se interpreto corretamente a visão sustentada pela maioria dos biólogos¹.

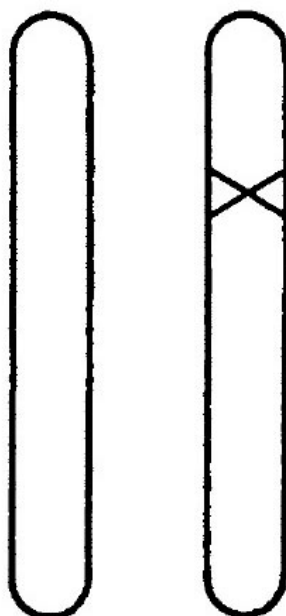


Fig. 8 - Mutante heterozigoto. A cruz marca o gene mutado.

3. Localização. Recessividade e Dominância

Devemos agora rever alguns outros factos e noções fundamentais acerca das mutações, novamente de forma algo dogmática, sem mostrar diretamente como surgem, um a um, a partir da evidência experimental.

Deveríamos esperar que uma mutação observada fosse causada por uma alteração numa região determinada de um dos cromossomas. E assim é. É importante afirmar que sabemos com certeza que se trata de uma alteração apenas num cromossoma, e não no “locus” correspondente do cromossoma homólogo. A Fig. 8 indica isto esquematicamente, sendo a cruz o sinal do locus mutado. O facto de apenas um cromossoma ser afetado é revelado quando o indivíduo mutado (frequentemente chamado mutante) é cruzado com um não mutado. Exatamente metade da descendência apresenta o carácter mutante e a outra metade o carácter normal. É precisamente o que se deve esperar como consequência da separação dos dois cromossomas na meiose do mutante — como se mostra, de forma muito esquemática, na Fig. 9. Trata-se de uma “árvore genealógica”, representando cada indivíduo (de três gerações consecutivas) simplesmente pelo par de cromossomas em questão. Repare que, se o mutante tivesse ambos os cromossomas afetados, todos os filhos receberiam a mesma herança (mista), diferente da de qualquer dos progenitores.

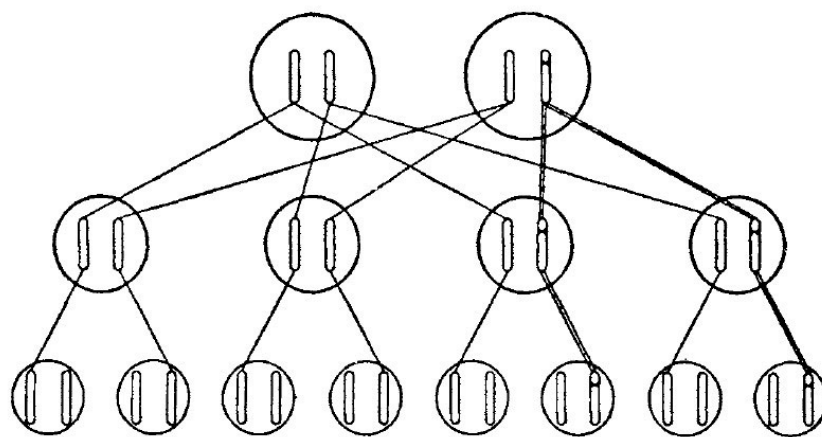


Fig. 9 - Herança de uma mutação. As linhas retas indicam a transferência de um cromossoma, as duplas, a do cromossoma mutado. Os cromossomas não contabilizados da terceira geração provêm dos parceiros da segunda geração, que não estão incluídos no diagrama. Devem ser considerados não parentes, livres da mutação.

Mas experimentar neste domínio não é tão simples como poderia parecer a partir do que acabámos de dizer. A complexidade deve-se a um segundo facto importante, ou seja, que as mutações são muito frequentemente latentes. O que significa isso?

No mutante, as duas "cópias do guião-código" já não são idênticas; apresentam duas "leituras" ou "versões" diferentes, pelo menos naquele ponto específico. Talvez valha a pena esclarecer de imediato que, embora seja tentador, seria, contudo, totalmente errado considerar a versão original como "ortodoxa" e a versão mutante como "herética". Temos de as considerar, em princípio, como possuidoras de igual legitimidade — pois também os caracteres normais surgiram, eles próprios, de mutações.

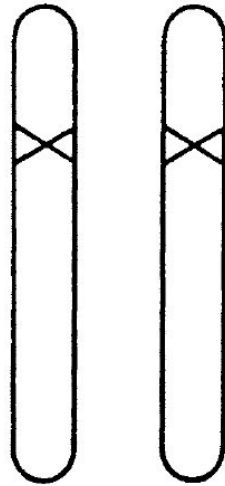


Fig. 10 - Mutante homozigoto, obtido num quarto dos descendentes, quer pela autofecundação de um mutante heterozigoto (ver Fig. 8) quer pelo cruzamento de dois deles.

O que na realidade acontece é que o “padrão” do indivíduo, em regra geral, segue uma ou outra das versões, que pode ser a normal ou a mutante. A versão que é seguida chama-se dominante, a outra recessiva; por outras palavras, a mutação é chamada dominante ou recessiva, conforme seja imediatamente eficaz em alterar o padrão ou não.

As mutações recessivas são ainda mais frequentes do que as dominantes e são muito importantes, embora de início não se manifestem de forma alguma. Para afetarem o padrão, têm de estar presentes em ambos os cromossomas (ver Fig. 10). Tais indivíduos podem ser produzidos quando dois mutantes recessivos iguais se cruzam entre si, ou quando um mutante se cruza consigo mesmo; isto é possível em plantas hermafroditas e até acontece espontaneamente. Uma simples reflexão mostra que, nestes casos, cerca de um quarto da descendência será deste tipo e, assim, exibirá visivelmente o padrão mutado.

4. Introduzindo Alguma Linguagem Técnica

Julgo que será mais claro explicar aqui alguns termos técnicos. Aquilo a que chamei “versão do guião-código” — seja a original ou uma mutante — passou a designar-se por alelo. Quando as versões são diferentes, como indicado na Fig. 8, o indivíduo é chamado heterozigótico, em relação a esse locus. Quando são iguais, como no indivíduo não mutado ou no caso da Fig. 10, são chamados homozigóticos. Assim, um alelo recessivo influencia o padrão apenas quando homozigótico, enquanto um alelo dominante produz o mesmo padrão quer esteja em homozigose quer apenas em heterozigose.

A cor é muito frequentemente dominante sobre a ausência de cor (ou branco). Assim, por exemplo, uma ervilheira só florescerá branca quando possuir o “alelo recessivo responsável pelo branco” em ambos os cromossomas em questão, ou seja, quando for “homozigótica para branco”; nesse caso, reproduzir-se-á fielmente, e todos os seus descendentes serão brancos. Mas um único “alelo vermelho” (o outro sendo branco; heterozigótico) fará a planta florescer vermelha, tal como o farão dois alelos vermelhos (homozigóticos). A diferença entre estes dois últimos casos só se revelará na descendência: o vermelho heterozigótico produzirá alguns descendentes brancos, enquanto o vermelho homozigótico se reproduzirá fielmente.

O facto de dois indivíduos poderem ser exatamente iguais na sua aparência exterior, mas diferentes na sua herança, é tão importante que merece uma diferenciação precisa. O geneticista diz que têm o

mesmo fenótipo, mas genótipo diferente. O conteúdo dos parágrafos anteriores poderia, assim, ser resumido na breve, mas altamente técnica, afirmação:

Um alelo recessivo influencia o fenótipo apenas quando o genótipo é homozigótico.

Usaremos ocasionalmente estas expressões técnicas, mas recordaremos ao leitor o seu significado sempre que necessário.

5. O Efeito Nocivo da Consanguinidade

As mutações recessivas, enquanto permanecem apenas em estado heterozigótico, não constituem, naturalmente, terreno de atuação para a seleção natural. Se forem prejudiciais, como muito frequentemente acontece, não serão, contudo, eliminadas, porque permanecem latentes. Assim, pode acumular-se uma verdadeira multidão de mutações desfavoráveis sem causar danos imediatos. Mas, evidentemente, são transmitidas a metade da descendência, o que tem uma aplicação importante no homem, no gado, nas aves domésticas ou em qualquer outra espécie cujas boas qualidades físicas nos interessem diretamente. Na Fig. 9 supõe-se que um indivíduo masculino (digamos, concretamente, eu próprio) transporte heterozigoticamente uma dessas mutações recessivas prejudiciais, de modo que esta não se manifeste. Suponhamos que a minha esposa está livre dela. Então metade dos nossos filhos (segunda linha) também a transportarão — novamente em estado heterozigótico. Se todos eles se cruzarem, por sua vez, com

parceiros não mutados (omitidos do diagrama, para evitar confusão), um quarto dos nossos netos, em média, será afetado do mesmo modo.

Não existe perigo de o defeito se tornar manifesto, a menos que indivíduos igualmente afetados se cruzem entre si, caso em que, como uma simples reflexão mostra, um quarto dos seus filhos, estando em homozigose, manifestaria o problema. A seguir à autofecundação (possível apenas em plantas hermafroditas), o maior perigo seria um casamento entre um filho e uma filha meus. Cada um deles teria igual probabilidade de estar ou não latentemente afetado; assim, um quarto destas uniões incestuosas seria perigoso, na medida em que um quarto dos seus filhos manifestaria o defeito. O fator de risco para uma criança gerada por consanguinidade incestuosa é, portanto, de 1:16.

Do mesmo modo, o fator de risco resulta em 1:64 para a descendência de uma união entre dois netos ("de raça pura") meus que sejam primos direitos. Estas probabilidades não parecem ser esmagadoras e, na realidade, o segundo caso é geralmente tolerado. Mas não esqueçamos que analisámos apenas as consequências de uma possível lesão latente num dos parceiros do casal ancestral ("eu e a minha esposa"). Na verdade, é bastante provável que ambos transportem mais do que uma deficiência latente deste género. Se souber que você próprio transporta uma em particular, tem de contar com a possibilidade de 1 em cada 8 dos seus primos direitos a partilhar consigo! As experiências com plantas e animais parecem indicar que, para além das deficiências relativamente raras e de carácter grave, existe uma multidão de

outras menores cujas probabilidades se combinam, degradando no conjunto a descendência resultante da consanguinidade. Como já não estamos inclinados a eliminar os malformados da forma brutal que os Lacedemónios costumavam adotar no monte Taígeto, temos de assumir uma visão particularmente séria destas questões no caso do homem, onde a seleção natural dos mais aptos está em grande parte restringida, ou até mesmo invertida. O efeito antisseletivo do massacre moderno em massa da juventude saudável de todas as nações dificilmente é compensado pela consideração de que, em condições mais primitivas, a guerra poderia ter tido um valor positivo ao permitir a sobrevivência da tribo mais apta.

6. Remarks Gerais e Históricas

O facto de o alelo recessivo, quando heterozigótico, ser completamente suprimido pelo dominante e não produzir qualquer efeito visível é impressionante. Convém, pelo menos, mencionar que existem exceções a este comportamento. Quando uma boca-de-leão branca homozigótica é cruzada com uma boca-de-leão carmesim igualmente homozigótica, toda a descendência imediata apresenta uma cor intermédia, ou seja, são rosas (não carmesim, como se poderia esperar). Um caso muito mais importante de dois alelos a exercerem a sua influência simultaneamente ocorre nos grupos sanguíneos — mas não podemos entrar nisso aqui. Não me surpreenderia se, afinal, a recessividade se revelasse capaz de graus e dependente da sensibilidade dos testes que aplicamos para examinar o fenótipo.

Este é talvez o momento para uma palavra sobre a história inicial da genética. A espinha dorsal da teoria — a lei da herança, para gerações sucessivas, de propriedades nas quais os progenitores diferem, e mais especialmente a importante distinção entre recessivo e dominante — deve-se ao agora mundialmente famoso abade agostiniano Gregor Mendel (1822-1884). Mendel nada sabia sobre mutações e cromossomos. Nos jardins do seu mosteiro em Brunn (Brno), realizou experiências com a ervilha-de-jardim, da qual criou diferentes variedades, cruzando-as e observando a descendência na 1.^a, 2.^a, 3.^a... geração. Pode dizer-se que experimentou com mutantes que encontrou prontos na natureza. Os resultados foram publicados já em 1866 nos *Proceedings of the Naturforschender Verein em Brunn*. Ninguém parece ter-se interessado particularmente pelo passatempo do abade e, certamente, ninguém tinha a menor ideia de que a sua descoberta se tornaria, no século XX, a estrela-guia de um ramo inteiramente novo da ciência, facilmente o mais fascinante dos nossos dias. O seu artigo foi esquecido e só redescoberto em 1900, simultânea e independentemente, por Correns (Berlim), de Vries (Amesterdão) e Tschermak (Viena).

7. A Necessidade de a Mutação Ser um Evento Raro

Até agora, tendemos a concentrar a nossa atenção nas mutações prejudiciais, que podem ser as mais numerosas; mas é necessário afirmar com clareza que também nos deparamos com mutações vantajosas. Se uma mutação espontânea representa um pequeno passo no desenvolvimento da espécie, temos a impressão de que alguma alteração é “testada” de forma bastante aleatória, correndo

o risco de ser prejudicial, caso em que é automaticamente eliminada. Isto destaca um ponto muito importante. Para ser material adequado ao trabalho da seleção natural, as mutações devem ser eventos raros, como de facto o são. Se fossem tão frequentes que existisse uma probabilidade considerável de, digamos, uma dúzia de mutações diferentes ocorrer no mesmo indivíduo, as prejudiciais predominariam, regra geral, sobre as vantajosas, e a espécie, em vez de ser melhorada pela seleção, permaneceria inalterada ou pereceria. O conservadorismo comparativo resultante do elevado grau de permanência dos genes é essencial. Uma analogia pode ser buscada no funcionamento de uma grande fábrica. Para desenvolver métodos melhores, inovações, mesmo que ainda não comprovadas, têm de ser testadas. Mas, para determinar se as inovações aumentam ou diminuem a produção, é essencial que sejam introduzidas uma de cada vez, enquanto todas as outras partes do mecanismo permanecem constantes.

8. Mutações Induzidas por Raios X

Temos agora de rever uma série de trabalhos de investigação genética de grande engenho, que se revelarão a característica mais relevante da nossa análise.

A percentagem de mutações na descendência, a chamada taxa de mutação, pode ser aumentada para um múltiplo elevado da pequena taxa natural de mutação irradiando os progenitores com raios X ou raios Y. As mutações produzidas desta forma não diferem de forma alguma (exceto por serem mais numerosas) daquelas que

ocorrem espontaneamente, e tem-se a impressão de que toda mutação “natural” pode também ser induzida por raios X. Em *Drosophila*, muitas mutações especiais reaparecem espontaneamente repetidas vezes nas vastas culturas; elas foram localizadas no cromossoma, conforme descrito nas pp. 26-29, e receberam nomes especiais. Foram mesmo identificados os chamados “alelos múltiplos”, ou seja, duas ou mais “versões” e “leituras” diferentes — para além da normal, não mutada — do mesmo ponto no código cromossômico; isso significa não apenas duas, mas três ou mais alternativas nesse locus (posição) particular, qualquer duas das quais estão entre si na relação “dominante-recessivo” quando ocorrem simultaneamente nos loci (posições) correspondentes dos dois cromossomas homólogos.

Os experimentos com mutações produzidas por raios X dão a impressão de que cada “transição” particular, digamos, do indivíduo normal para um mutante específico, ou vice-versa, possui o seu próprio “coeficiente de raios X”, indicando a percentagem da descendência que apresenta a mutação dessa forma, quando uma dose unitária de raios X é aplicada aos progenitores, antes do nascimento da descendência.

9. Primeira Lei. A Mutação é Um Evento Único

Além disso, as leis que regem a taxa de mutação induzida são extremamente simples e extremamente elucidativas. Sigo aqui o

relatório de N. W. Timoféëff, em *Biological Reviews*, vol. IX, 1934. Em grande medida, refere-se ao próprio trabalho brilhante desse autor. A primeira lei é:

1. O aumento é exatamente proporcional à dose de radiação, de modo que se pode realmente falar [como eu fiz] de um coeficiente de aumento.

Estamos tão habituados à proporcionalidade simples que corremos o risco de subestimar as consequências profundas desta lei simples. Para as compreender, podemos lembrar que o preço de uma mercadoria, por exemplo, nem sempre é proporcional à sua quantidade. Em tempos normais, um lojista pode ficar tão impressionado por ter comprado seis laranjas, que você, ao decidir levar afinal uma dúzia inteira, lhe as venda por menos do que o dobro do preço das seis. Em tempos de escassez, pode acontecer o contrário. No caso presente, concluímos que a primeira meia-dose de radiação, enquanto provoca, digamos, que um em cada mil descendentes sofra mutação, não influenciou de todo os restantes, nem predispondo-os nem imunizando-os contra a mutação. Pois, caso contrário, a segunda meia-dose não provocaria novamente apenas um em cada mil mutantes. A mutação não é, portanto, um efeito acumulado, produzido por pequenas porções consecutivas de radiação que se reforçam mutuamente. Deve consistir em algum evento único que ocorre num cromossoma durante a irradiação. Que tipo de evento será esse?

10. Segunda Lei. Localização do Evento

Isto é esclarecido pela segunda lei, ou seja:

2. Se variar a qualidade dos raios (comprimento de onda) dentro de limites amplos, desde raios X suaves até raios γ relativamente duros, o coeficiente mantém-se constante, desde que a dose administrada seja a mesma, em unidades ditas r ,

ou seja, desde que se meça a dose pelo total de iões produzidos por unidade de volume numa substância padrão escolhida adequadamente, durante o tempo e no local onde os progenitores estão expostos aos raios.

Como substância padrão escolhe-se o ar não só por conveniência, mas também pelo facto de os tecidos orgânicos serem compostos por elementos de peso atómico semelhante ao do ar. Um limite inferior para a quantidade de ionizações ou processos afins² (excitações) no tecido obtém-se simplesmente multiplicando o número de ionizações no ar pela razão das densidades. É, portanto, bastante óbvio — e confirmado por uma investigação mais crítica — que o evento único que causa uma mutação é precisamente uma ionização (ou processo semelhante) ocorrendo dentro de algum volume “crítico” da célula germinativa. Qual é o tamanho deste volume crítico? Pode ser estimado a partir da taxa de mutação observada, considerando o seguinte: se uma dose de

50.000 iões por cm^3 produz apenas uma probabilidade de 1:1000 de que qualquer gâmeta particular (que se encontre na região irradiada) sofra mutação de determinada forma, concluimos que o volume crítico, o “alvo” que deve ser “atingido” por uma ionização para que essa mutação ocorra, é apenas 1/1000 de 1/50.000 de cm^3 , ou seja, uma cinquenta-milionésima de cm^3 . Os números não são exatos, sendo usados apenas como ilustração. Na estimativa real, segue-se M. Delbrück, num artigo de Delbrück, N. W. Timoféeff e K. G. Zimmer³, que também será a principal fonte da teoria a expor nos dois capítulos seguintes. Chega-se a um tamanho de cerca de dez distâncias atómicas médias cúbicas, contendo apenas cerca de $10^3 =$ mil átomos. A interpretação mais simples deste resultado é que há uma boa probabilidade de produzir essa mutação quando uma ionização (ou excitação) ocorre não a mais de cerca de dez átomos de distância de algum ponto particular no cromossoma. Discutiremos isto com mais detalhe em seguida.

O relatório de Timoféeff contém uma dica prática que não posso deixar de mencionar, embora, claro, não tenha relação com a nossa investigação atual. Existem muitas situações na vida moderna em que um ser humano tem de ser exposto a raios X. Os perigos diretos envolvidos — como queimaduras, cancro por radiação, esterilização — são bem conhecidos, e são fornecidas proteções como telas de chumbo, aventais carregados de chumbo, etc., especialmente para enfermeiros e médicos que manipulam os raios regularmente. A questão é que, mesmo quando estes perigos iminentes para o indivíduo são eficazmente evitados, parece existir o perigo indireto de pequenas mutações prejudiciais serem produzidas nas células germinativas — mutações do tipo que havíamos mencionado ao

falar dos efeitos desfavoráveis da consanguinidade. Para colocar de forma drástica, embora talvez um pouco ingénua, a nocividade de um casamento entre primos diretos poderia muito bem ser aumentada pelo facto de a avó ter trabalhado durante muito tempo como enfermeira de raios X. Não é uma questão que deva preocupar qualquer indivíduo pessoalmente. Mas qualquer possibilidade de infetar gradualmente a raça humana com mutações latentes indesejadas deve ser motivo de preocupação para a comunidade.

CAPÍTULO 4

A Evidência Quântico-Mecânica

E o voo flamejante da tua imaginação acomoda-se numa imagem, numa parábola.

Goethe

1. Permanência Inexplicável pela Física Clássica

Assim, com a ajuda do maravilhosamente subtil instrumento dos raios X (que, como recorda o físico, revelou há trinta anos as detalhadas estruturas reticulares atómicas dos cristais), os esforços conjuntos de biólogos e físicos lograram recentemente reduzir o limite superior do tamanho da estrutura microscópica responsável por uma característica de grande escala do indivíduo — o “tamanho de um gene” —, baixando-o muito abaixo das estimativas obtidas nas pp. 29-30. Estamos agora seriamente confrontados com a questão: como podemos, do ponto de vista da física estatística, reconciliar os factos de que a estrutura genética parece envolver apenas um número relativamente pequeno de átomos (da ordem de 1.000 e possivelmente muito menos) e, contudo, manifesta uma atividade extremamente regular e legal, com uma durabilidade ou permanência que roça o miraculoso?

Deixe-me destacar, mais uma vez, a situação verdadeiramente espantosa. Vários membros da dinastia dos Habsburgos

apresentam uma peculiar deformação do lábio inferior. A sua hereditariedade foi cuidadosamente estudada e publicada, completa com retratos históricos, pela Academia Imperial de Viena, sob os auspícios da própria família. A característica revela-se ser um verdadeiro “alelo” mendeliano em relação à forma normal do lábio. Fixando a atenção nos retratos de um membro da família do século XVI e no de um seu descendente, vivo no século XIX, podemos assumir com segurança que a estrutura material do gene responsável pela característica anómala foi transmitida de geração em geração ao longo dos séculos, fielmente reproduzida em cada uma das não muito numerosas divisões celulares que se sucederam entre eles. Além disso, o número de átomos envolvidos nessa estrutura genética responsável é provavelmente da mesma ordem de grandeza que nos casos testados por raios X. O gene foi mantido a uma temperatura em torno dos 98°F durante todo esse tempo. Como compreender que permaneceu imperturbado pela tendência desorganizadora do movimento térmico ao longo de séculos?

Um físico do final do século XIX teria ficado sem resposta para esta questão, se estivesse disposto a recorrer apenas às leis da Natureza que conseguisse explicar e compreender realmente. Talvez, de facto, após uma breve reflexão sobre a situação estatística, respondesse (corretamente, como veremos): estas estruturas materiais só podem ser moléculas. Da existência, e por vezes da altíssima estabilidade, dessas associações de átomos, a química já detinha, na época, um vasto conhecimento. Mas esse conhecimento era puramente empírico. A natureza de uma molécula não era compreendida — o forte laço mútuo dos átomos que mantém a molécula coesa era um completo enigma para todos.

Na verdade, a resposta mostra-se correta. Mas tem um valor limitado enquanto a enigmática estabilidade biológica for atribuída apenas a uma igualmente enigmática estabilidade química. A evidência de que dois fenômenos semelhantes na aparência se baseiam no mesmo princípio é sempre precária, enquanto o próprio princípio permanecer desconhecido.

2. Explicável pela Teoria Quântica

Neste caso, a explicação é fornecida pela teoria quântica. À luz do conhecimento atual, o mecanismo da hereditariedade está intimamente relacionado, ou melhor, fundado na própria base da teoria quântica. Esta teoria foi descoberta por Max Planck em 1900. A genética moderna pode datar-se da redescoberta do artigo de Mendel por de Vries, Correns e Tschermak (1900) e do artigo de de Vries sobre mutações (1901-1903). Assim, os nascimentos das duas grandes teorias quase coincidem, e não admira que ambas tenham tido de atingir certa maturidade antes de a ligação poder emergir. Do lado da teoria quântica, foram necessários mais de vinte e cinco anos até que, em 1926-27, a teoria quântica da ligação química fosse delineada nos seus princípios gerais por W. Heitler e F. London. A teoria de Heitler-London envolve as concepções mais subtis e intrincadas do mais recente desenvolvimento da teoria quântica (chamada "mecânica quântica" ou "mecânica ondulatória"). Uma apresentação sem recurso ao cálculo é praticamente impossível, ou pelo menos exigiria outro pequeno volume como este. Mas felizmente, agora que todo o trabalho foi realizado e serviu para clarificar o nosso pensamento, parece ser possível indicar de forma mais direta a ligação entre os "saltos

quânticos” e as mutações, escolhendo de momento o elemento mais evidente. É isso que aqui tentamos.

3. Teoria Quântica – Estados Discretos – Saltos Quânticos

A grande revelação da teoria quântica foi a descoberta de aspetos de discretização no Livro da Natureza, num contexto em que qualquer coisa diferente da continuidade parecia absurda, de acordo com as concepções sustentadas até então.

O primeiro caso deste género dizia respeito à energia. Um corpo em grande escala altera a sua energia de forma contínua. Um pêndulo, por exemplo, posto em oscilação, abranda gradualmente devido à resistência do ar. Estranhamente, revela-se necessário admitir que um sistema à escala atómica se comporta de modo diferente. Por razões nas quais não podemos entrar aqui, temos de assumir que um pequeno sistema pode, pela sua própria natureza, possuir apenas determinadas quantidades discretas de energia, chamadas os seus níveis de energia peculiares. A transição de um estado para outro é um acontecimento bastante misterioso, geralmente designado por “salto quântico”.

Mas a energia não é a única característica de um sistema. Tomemos novamente o pêndulo, mas imaginemos um em que a massa pode realizar diferentes tipos de movimento: uma bola pesada suspensa por um fio preso ao teto. Ela pode oscilar no sentido norte-sul, leste-oeste, em qualquer outra direção, ou ainda

em círculo ou em elipse. Soprado suavemente com um fole, pode passar continuamente de um estado de movimento para qualquer outro.

Nos sistemas de pequena escala, a maioria destas características — ou outras semelhantes, sem entrarmos em pormenores — altera-se de forma descontínua. Estão “quantizadas”, tal como a energia.

O resultado é que um certo número de núcleos atômicos, juntamente com os seus guardiões eletrônicos, quando se encontram próximos uns dos outros, formando “um sistema”, são incapazes, pela sua própria natureza, de adotar qualquer configuração arbitrária que possamos imaginar. A sua natureza intrínseca deixa-lhes apenas uma série, muito numerosa, mas discreta, de “estados” entre os quais escolher¹. Costumamos chamá-los níveis ou níveis de energia, porque a energia é uma parte muito relevante da característica. Mas é preciso compreender que a descrição completa inclui muito mais do que apenas a energia. É virtualmente correto entender um estado como significando uma configuração definida de todos os corpúsculos.

A transição de uma dessas configurações para outra é um salto quântico. Se a segunda possuir maior energia (“um nível mais alto”), o sistema deve receber do exterior, no mínimo, a diferença entre as duas energias, para que a transição seja possível. Para um nível mais baixo pode mudar espontaneamente, gastando o excedente de energia sob a forma de radiação.

4. Moléculas

Entre o conjunto discreto de estados de uma determinada seleção de átomos pode não existir necessariamente, mas pode haver, um nível mais baixo, implicando uma aproximação estreita dos núcleos entre si. Átomos nesse estado formam uma molécula. O ponto a sublinhar aqui é que a molécula terá, por necessidade, uma certa estabilidade; a configuração não pode alterar-se, a menos que, do exterior, seja fornecida pelo menos a diferença de energia necessária para a “elevar” ao nível imediatamente superior. Assim, essa diferença de nível, que é uma quantidade bem definida, determina quantitativamente o grau de estabilidade da molécula. Observar-se-á como este facto está intimamente ligado à própria base da teoria quântica, isto é, à discretização do esquema de níveis.

Devo pedir ao leitor que aceite como adquirido que esta ordem de ideias foi minuciosamente verificada pelos factos químicos; e que se mostrou bem-sucedida em explicar o facto fundamental da valência química, assim como muitos pormenores acerca da estrutura das moléculas, das suas energias de ligação, das suas estabilidades a diferentes temperaturas e assim por diante. Refiro-me à teoria de Heitler-London, que, como disse, não pode ser aqui examinada em detalhe.

5. Estabilidade Dependente da Temperatura

Devemos contentar-nos em examinar o ponto que tem interesse primordial para a nossa questão biológica, a saber, a estabilidade de uma molécula a diferentes temperaturas. Consideremos o nosso sistema de átomos inicialmente no seu estado de mais baixa energia. O físico chamar-lhe-ia uma molécula ao zero absoluto de temperatura. Para elevá-la ao nível ou estado imediatamente superior, é necessário fornecer-lhe uma certa quantidade definida de energia. A forma mais simples de tentar fornecê-la é “aquecendo” a molécula. Coloca-se a molécula num ambiente de temperatura mais elevada (“banho térmico”), permitindo assim que outros sistemas (átomos, moléculas) colidam com ela. Tendo em conta a completa irregularidade do movimento térmico, não existe um limite de temperatura nítido no qual a “elevação” ocorra com certeza e de imediato. Pelo contrário, a qualquer temperatura (diferente do zero absoluto) há uma certa probabilidade, maior ou menor, de que a elevação ocorra, sendo essa probabilidade tanto maior quanto mais elevada for a temperatura do banho térmico. A melhor forma de exprimir esta probabilidade é indicar o tempo médio de espera até que a elevação se verifique — o “tempo de expetativa”.

Segundo uma investigação de M. Polanyi e E. Wigner², o “tempo de expetativa” depende em grande parte da razão entre duas energias: uma é precisamente a diferença de energia necessária para produzir a elevação (vamos representá-la por W); a outra caracteriza a intensidade do movimento térmico à temperatura em questão (vamos representar a temperatura absoluta por T e a energia característica por kT)³. É evidente que a probabilidade de realizar a elevação é tanto menor — e, portanto, o tempo de

expetativa tanto maior — quanto maior for a elevação em comparação com a energia térmica média, ou seja, quanto maior for a razão $W:kT$. O surpreendente é o quanto o tempo de expetativa depende enormemente de alterações relativamente pequenas na razão $W:kT$. Para dar um exemplo (seguindo Delbrück): para W trinta vezes kT , o tempo de expetativa pode ser tão curto como 1/10 segundos; mas sobe para 16 meses quando W é cinquenta vezes kT ; e para 30.000 anos quando W é sessenta vezes kT !

6. Interlúdio Matemático

Talvez seja útil indicar em linguagem matemática — para os leitores a quem tal agrada — a razão desta enorme sensibilidade a alterações no salto de nível ou na temperatura, acrescentando ainda algumas observações físicas do mesmo género. A razão é que o tempo de expetativa, chamemos-lhe t , depende da razão W/kT por meio de uma função exponencial, assim:

$$t = \tau e^{W/kT}$$

Aqui, t é uma certa pequena constante da ordem de 10^{-13} ou 10^{-14} s. Ora, esta função exponencial particular não é um aspeto accidental. Ela reaparece repetidamente na teoria estatística do calor, constituindo, por assim dizer, a sua espinha dorsal. É uma medida da improbabilidade de uma quantidade de energia tão grande como W se acumular accidentalmente numa determinada parte do sistema — e é essa improbabilidade que aumenta de forma

tão colossal quando é necessário um múltiplo considerável da “energia média” kT .

Na verdade, um $W = 30kT$ (ver o exemplo citado acima) já é algo extremamente raro. O facto de não conduzir ainda a um tempo de expectativa enormemente longo (apenas 1/10 segundos, no nosso exemplo) deve-se, naturalmente, à pequenez do fator τ . Este fator tem um significado físico. É da ordem do período das vibrações que ocorrem constantemente no sistema. Poderia, em termos muito gerais, descrevê-lo como significando que a probabilidade de acumular a quantidade necessária W , embora muito pequena, se repete incessantemente “a cada vibração”, isto é, cerca de 10^{13} ou 10^{14} vezes em cada segundo.

Ao apresentar estas considerações como uma teoria da estabilidade da molécula, foi tacitamente assumido que o salto quântico, a que chamámos “elevação”, conduz, senão a uma desintegração completa, pelo menos a uma configuração essencialmente diferente dos mesmos átomos — uma molécula isomérica, como diria o químico, isto é, uma molécula composta pelos mesmos átomos, mas numa disposição diferente (na aplicação à biologia, isto representará um “alelo” distinto no mesmo “locus”, e o salto quântico representará uma mutação).

Para permitir esta interpretação, dois pontos devem ser emendados na nossa exposição, que simplifiquei propositadamente para torná-la minimamente inteligível. Tal como a apresentei, poderia imaginar-se que apenas no seu estado mais baixo o nosso

grupo de átomos forma aquilo a que chamamos uma molécula, e que já o nível imediatamente superior seria “outra coisa”. Não é assim. Na realidade, ao nível mais baixo segue-se uma série densa de níveis que não implicam qualquer alteração apreciável na configuração como um todo, mas apenas correspondem àquelas pequenas vibrações entre os átomos a que aludimos acima. Também elas estão “quantizadas”, mas com passos comparativamente pequenos de um nível para o outro. Assim, os impactos das partículas do “banho térmico” podem ser suficientes para as excitar já a temperaturas relativamente baixas. Se a molécula for uma estrutura extensa, poderá conceber essas vibrações como ondas sonoras de alta frequência, atravessando a molécula sem lhe causar qualquer dano.

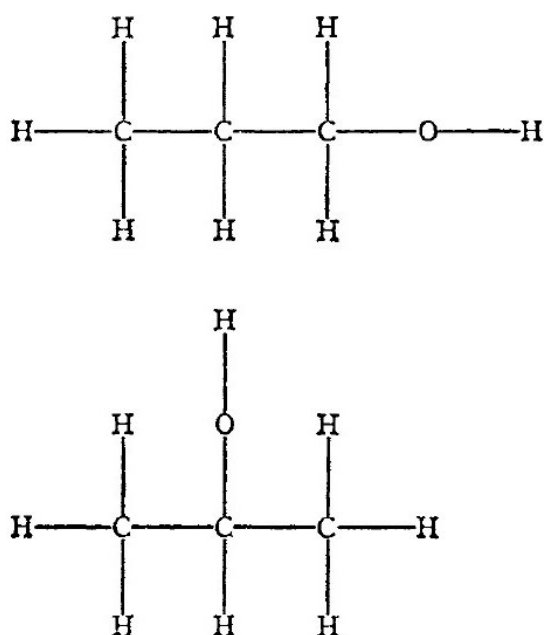


Fig. 11 - Os dois isómeros do álcool propílico.

Portanto, a primeira emenda não é muito significativa: temos de desconsiderar a “estrutura fina vibracional” do esquema de níveis.

O termo “nível imediatamente superior” deve ser entendido como significando o próximo nível que corresponda a uma mudança relevante na configuração.

7. Segunda Emenda

A segunda emenda é muito mais difícil de explicar, porque se refere a certas características vitais, mas bastante complicadas, do esquema de níveis relevantemente diferentes. A passagem livre entre dois desses níveis pode ser obstruída, independentemente do fornecimento de energia necessário; de facto, pode estar obstruída mesmo do estado mais alto para o mais baixo.

Comecemos pelos factos empíricos. É sabido pelo químico que o mesmo grupo de átomos pode unir-se de mais de uma forma para formar uma molécula. Tais moléculas são chamadas isoméricas (“constituídas pelas mesmas partes”; ἴσος = mesmo, μέρος = parte). O isomerismo não é uma exceção, é a regra. Quanto maior a molécula, mais alternativas isoméricas são possíveis. A Fig. 11 mostra um dos casos mais simples: os dois tipos de propanol, ambos constituídos por 3 carbonos (C), 8 hidrogénios (H) e 1 oxigénio (O)⁴. O oxigénio pode ser interposto entre qualquer hidrogénio e o seu carbono, mas apenas os dois casos mostrados na figura correspondem a substâncias diferentes. E realmente são diferentes: todas as suas constantes físicas e químicas são distintamente diferentes. Além disso, as suas energias são diferentes; elas representam “níveis diferentes”.

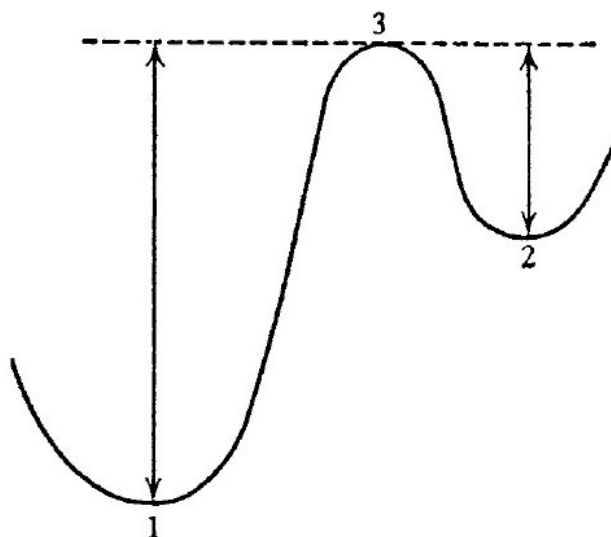


Fig. 12. Limiar de energia (3) entre os níveis isoméricos (1) e (2).
As setas indicam as energias mínimas necessárias para a transição.

O facto notável é que ambas as moléculas são perfeitamente estáveis, comportando-se como se estivessem em “estados mais baixos”. Não ocorrem transições espontâneas de um estado para o outro.

A razão é que as duas configurações não são configurações vizinhas. A transição de uma para a outra só pode ocorrer através de configurações intermédias que possuem uma energia maior do que qualquer uma delas. De forma simplificada, o oxigénio tem de ser retirado de uma posição e inserido na outra. Não parece haver maneira de o fazer sem passar por configurações de energia consideravelmente mais alta. A situação é por vezes representada figurativamente na Fig. 12, em que 1 e 2 representam os dois isómeros, 3 o “limiar” entre eles, e as duas setas indicam as “elevações”, isto é, os fornecimentos de energia necessários para produzir a transição do estado 1 para o estado 2 ou do estado 2 para o estado 1, respetivamente.

Agora podemos apresentar a nossa “segunda emenda”: transições deste tipo isomérico são as únicas em que nos iremos interessar na nossa aplicação biológica. Foram estas que tivemos em mente ao explicar a “estabilidade” nas pp. 49-51. O “salto quântico” a que nos referimos é a transição de uma configuração molecular relativamente estável para outra. A energia necessária para a transição (quantidade denotada por W) não é a diferença real de nível, mas o passo desde o nível inicial até ao limiar (ver as setas na Fig. 12).

Transições sem limiar interposto entre o estado inicial e o final são completamente irrelevantes, e não apenas na nossa aplicação biológica. Na realidade, não contribuem para a estabilidade química da molécula. Porquê? Porque não têm efeito duradouro, permanecendo despercebidas. Quando ocorrem, são quase imediatamente seguidas por um retorno ao estado inicial, já que nada impede a sua regressão.

CAPÍTULO 5

Modelo de Delbrück: Discussão e Testes

De facto, assim como a luz se manifesta em relação à escuridão, a verdade é o padrão de si mesma e do erro. SPINOSA, *Ethics*, Pt II, Prop.43.

1. A Imagem Geral da Substância Hereditária

Dos factos resulta uma resposta muito simples à nossa pergunta, a saber: serão estas estruturas, compostas por relativamente poucos átomos, capazes de resistir, durante longos períodos, à influência perturbadora do movimento térmico a que a substância hereditária está continuamente exposta? Suponhamos que a estrutura de um gene é a de uma enorme molécula, capaz apenas de mudanças descontínuas, que consistem numa reorganização dos átomos e conduzem a uma molécula isomérica¹. A reorganização pode afetar apenas uma pequena região do gene, e pode haver um vasto número de diferentes reorganizações possíveis. Os limiares de energia que separam a configuração atual de quaisquer outras possíveis isoméricas têm de ser suficientemente elevados (em comparação com a energia térmica média de um átomo) para tornar a transformação um acontecimento raro. Estes acontecimentos raros identificamo-los com mutações espontâneas.

As partes posteriores deste capítulo serão dedicadas a submeter esta imagem geral de um gene e da mutação (devida principalmente ao físico alemão M. Delbrück) a um teste, comparando-a em detalhe com os factos genéticos. Antes de o fazermos, convém tecer alguns comentários sobre os fundamentos e a natureza geral da teoria.

2. A Singularidade da Imagem

Terá sido absolutamente essencial, para a questão biológica, ir escavar até às raízes mais profundas e fundar a imagem na mecânica quântica? A conjectura de que um gene é uma molécula é hoje, ousado dizer, um lugar-comum. Poucos biólogos, quer estejam familiarizados com a teoria quântica ou não, discordariam dela. Na p. 47, arriscámo-nos a colocá-la na boca de um físico pré-quântico, como a única explicação razoável da permanência observada. As considerações subsequentes sobre isomerismo, energia limiar, o papel primordial da razão $W:kT$ na determinação da probabilidade de uma transição isomérica — tudo isso poderia muito bem ser introduzido numa base puramente empírica, em qualquer caso sem recorrer à teoria quântica. Por que insisti eu tão fortemente na perspetiva quântica, embora não pudesse realmente esclarecê-la neste pequeno livro e talvez tenha até aborrecido alguns leitores?

A mecânica quântica é o primeiro aspeto teórico que explica, a partir de princípios fundamentais, todos os tipos de agregados de átomos efetivamente encontrados na Natureza. A ligação de Heitler-London é uma característica única e singular da teoria, não inventada com o propósito de explicar a ligação química. Surge por

si própria, de modo altamente interessante e intrigante, sendo-nos imposta por considerações inteiramente diferentes. Verifica-se que corresponde exatamente aos factos químicos observados e, como disse, trata-se de uma característica única, suficientemente bem compreendida para nos permitir afirmar com razoável certeza que “tal coisa não poderia voltar a acontecer” no desenvolvimento ulterior da teoria quântica.

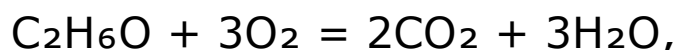
Consequentemente, podemos afirmar com segurança que não há alternativa à explicação molecular da substância hereditária. O ponto de vista físico não deixa outra possibilidade para explicar a sua permanência. Se a imagem de Delbrück falhasse, teríamos de abandonar novas tentativas. Esse é o primeiro ponto que desejo sublinhar.

3. Alguns Equívocos Tradicionais

Mas pode perguntar-se: haverá realmente nenhuma outra estrutura duradoura composta por átomos além das moléculas? Não conserva, por exemplo, uma moeda de ouro, enterrada num túmulo durante dois mil anos, os traços da efígie nela cunhada? É verdade que a moeda consiste num número enorme de átomos, mas certamente não estamos, neste caso, inclinados a atribuir a simples preservação da forma à estatística dos grandes números. O mesmo comentário aplica-se a um grupo de cristais bem formado que encontramos incrustado numa rocha, onde deve ter permanecido durante períodos geológicos sem se alterar.

Isso conduz-nos ao segundo ponto que quero elucidar. Os casos de uma molécula, de um sólido, de um cristal não são realmente diferentes. À luz do conhecimento atual, são virtualmente o mesmo. Infelizmente, o ensino escolar mantém certas concepções tradicionais, desatualizadas há muitos anos, que obscurecem a compreensão do verdadeiro estado das coisas.

Com efeito, o que aprendemos na escola sobre moléculas não nos dá a ideia de que estas estão mais próximas do estado sólido do que do líquido ou do gasoso. Pelo contrário, ensinaram-nos a distinguir cuidadosamente entre uma transformação física, como a fusão ou a evaporação, em que as moléculas se conservam (de modo que, por exemplo, o álcool, quer seja sólido, líquido ou gasoso, consiste sempre das mesmas moléculas, C_2H_6O), e uma transformação química, como, por exemplo, a combustão do álcool,



em que uma molécula de álcool e três moléculas de oxigénio sofrem uma reorganização para formar duas moléculas de dióxido de carbono e três moléculas de água.

Sobre cristais, ensinaram-nos que estes formam redes periódicas tridimensionais, em que a estrutura da molécula isolada é por vezes reconhecível, como no caso do álcool e da maioria dos compostos orgânicos, enquanto noutros cristais, por exemplo o sal-gema ($NaCl$), as moléculas de $NaCl$ não podem ser delimitadas de modo inequívoco, porque cada átomo de Na está simetricamente rodeado

por seis átomos de Cl, e vice-versa, de modo que é em grande parte arbitrário que pares, se é que existem, sejam considerados como parceiros moleculares.

Finalmente, disseram-nos que um sólido pode ser cristalino ou não, e, neste último caso, chamamo-lo amorfo.

4. Diferentes “Estados” da Matéria

Não iria ao ponto de afirmar que todas estas afirmações e distinções estão completamente erradas. Para fins práticos, são por vezes úteis. Mas, no verdadeiro aspeto da estrutura da matéria, os limites devem ser traçados de uma forma inteiramente diferente. A distinção fundamental é entre as duas linhas do seguinte esquema de “equações”:

$$\text{molécula} = \text{sólido} = \text{cristal}$$
$$\text{gás} = \text{líquido} = \text{amorfo}$$

Devemos explicar brevemente estas afirmações. Os chamados sólidos amorfos ou não são realmente amorfos ou não são realmente sólidos. Na fibra de carvão “amorfo”, a estrutura rudimentar do cristal de grafite foi revelada pelos raios X. Assim, o carvão é um sólido, mas também cristalino. Onde não encontramos estrutura cristalina, temos de considerar a substância como um líquido com “viscosidade” (fricção interna) muito elevada. Uma tal substância revela, pela ausência de uma temperatura de fusão bem

definida e de um calor latente de fusão, que não é um verdadeiro sólido. Quando aquecida, amolece gradualmente e acaba por se liquefazer sem descontinuidade. (Lembro-me de que, no final da Primeira Grande Guerra, em Viena, nos deram uma substância semelhante ao asfalto como substituto do café. Era tão dura que se tinha de usar um cinzel ou um machado para partir o pequeno tijolo em pedaços, mostrando então uma clivagem lisa, semelhante a concha. Contudo, dado algum tempo, comportava-se como um líquido, preenchendo densamente a parte inferior de um recipiente em que, por imprudência, alguém a deixasse durante alguns dias.)

A continuidade entre o estado gasoso e o líquido é uma história bem conhecida. Pode-se liquefazer qualquer gás sem descontinuidade, contornando o chamado ponto crítico. Mas não entraremos aqui nesse assunto.

5. A Distinção Que Realmente Importa

Justificámos, assim, tudo o que consta no esquema acima, exceto o ponto principal, a saber: queremos que uma molécula seja considerada como um sólido = cristal.

A razão disto é que os átomos que formam uma molécula, quer sejam poucos quer muitos, estão unidos por forças da mesma natureza exata que unem os inúmeros átomos que constituem um verdadeiro sólido, um cristal. A molécula apresenta a mesma

solidez de estrutura que um cristal. Lembre-se de que é precisamente nesta solidez que nos apoiamos para explicar a permanência do gene!

A distinção realmente importante na estrutura da matéria é se os átomos estão ou não ligados entre si por aquelas forças “solidificantes” de Heitler-London. Num sólido e numa molécula, todos eles estão. Num gás de átomos isolados (como, por exemplo, o vapor de mercúrio), não estão. Num gás composto por moléculas, apenas os átomos no interior de cada molécula estão ligados dessa forma.

6. O Sólido Aperiódico

Uma pequena molécula poderia ser chamada de “o germe de um sólido”. A partir de tal pequeno germe sólido, parecem existir duas maneiras diferentes de construir associações cada vez maiores. Uma é a forma relativamente monótona de repetir a mesma estrutura em três direções, repetidamente. Esse é o caminho seguido num cristal em crescimento. Uma vez estabelecida a periodicidade, não há limite definido para o tamanho do agregado. A outra forma é construir um agregado cada vez mais extenso sem o recurso monótono da repetição. Esse é o caso da molécula orgânica cada vez mais complicada, na qual cada átomo, e cada grupo de átomos, desempenha um papel individual, não inteiramente equivalente ao de muitos outros (como acontece numa estrutura periódica). Poderíamos chamar isso, de forma bastante apropriada, de cristal ou sólido aperiódico, e expressar a nossa

hipótese dizendo: acreditamos que um gene — ou talvez toda a fibra cromossômica² — seja um sólido aperiódico.

7. A Variedade de Conteúdos Compressos no Código Minúsculo

Muitas vezes se perguntou como este pequeno ponto de matéria, o núcleo do óvulo fecundado, poderia conter um código elaborado envolvendo todo o desenvolvimento futuro do organismo? Uma associação bem ordenada de átomos, dotada de resistividade suficiente para manter a sua ordem permanentemente, parece ser a única estrutura material concebível que oferece uma variedade de arranjos possíveis (“isoméricos”), suficientemente grande para incorporar um sistema complicado de “determinações” dentro de um limite espacial reduzido. De facto, o número de átomos numa tal estrutura não precisa de ser muito grande para produzir um número quase ilimitado de arranjos possíveis. Para ilustrar, pense no código Morse. Os dois sinais diferentes, ponto e traço, em grupos bem ordenados de no máximo quatro, permitem trinta especificações diferentes. Agora, se se permitisse usar um terceiro sinal, além do ponto e do traço, e usasse grupos de até dez, poderia formar 88.572 “letras” diferentes; com cinco sinais e grupos de até 25, o número é 372.529.029.846.191.405.

Poder-se-á objetar que a analogia é deficiente, porque os sinais Morse podem ter composição diferente (por exemplo, .- e ..-) e, portanto, são um mau análogo para o isomerismo. Para remediar este defeito, consideremos, do terceiro exemplo, apenas as

combinações de exatamente 25 símbolos e apenas aquelas que contêm exatamente 5 de cada um dos supostos 5 tipos (5 pontos, 5 traços, etc.). Uma contagem aproximada dá-lhe o número de combinações como 62.330.000.000.000, sendo que os zeros à direita representam cifras que não me dei ao trabalho de calcular.

É claro que, no caso real, de modo algum “todos” os arranjos do grupo de átomos representarão uma molécula possível; além disso, não se trata de um código a ser adotado arbitrariamente, pois o próprio código deve ser o fator operativo que desencadeia o desenvolvimento. Mas, por outro lado, o número escolhido no exemplo (25) ainda é muito pequeno, e apenas considerámos arranjos simples numa linha. O que desejamos ilustrar é simplesmente que, com a imagem molecular do gene, deixa de ser inconcebível que o código minúsculo corresponda precisamente a um plano de desenvolvimento altamente complicado e especificado, e que de algum modo contenha os meios para o pôr em operação.

8. Comparação Com os Factos: Grau de Estabilidade; Descontinuidade das Mutações

Procedamos finalmente a comparar a imagem teórica com os factos biológicos. A primeira questão, obviamente, é saber se ela consegue realmente explicar o elevado grau de permanência que observamos. São razoáveis os valores limiares da quantidade requerida — múltiplos elevados da energia térmica média kT —, estarão eles dentro do intervalo conhecido da química comum? Essa questão é trivial; pode ser respondida afirmativamente sem

recorrer a tabelas. As moléculas de qualquer substância que o químico consiga isolar a uma dada temperatura devem, a essa temperatura, ter uma vida útil de pelo menos alguns minutos. (E isto é dizer pouco; normalmente têm muito mais.) Assim, os valores limiares com que o químico se depara são, por necessidade, precisamente da ordem de grandeza necessária para explicar praticamente qualquer grau de permanência que o biólogo possa observar; recordemos, da p. 51, que limiares variando num intervalo de cerca de 1:2 explicam tempos de vida desde uma fração de segundo até dezenas de milhares de anos.

Mas mencionemos alguns números, para referência futura. As razões W/kT mencionadas como exemplo na p. 51, ou seja,

$$\frac{W}{kT} = 30, 50, 60$$

produzindo tempos de vida de

$$\frac{1}{10} \text{ s.}, 16 \text{ meses}, 30.000 \text{ anos},$$

correspondem, à temperatura ambiente, a valores limiares de

0.9, 1.5, 1.8 electron-volts.

Devemos explicar a unidade "electron-volt", que é bastante conveniente para o físico, porque se pode visualizar. Por exemplo, o terceiro número (1.8) significa que um eletrão, acelerado por uma

tensão de cerca de 2 volts, adquiria energia suficiente para efetuar a transição por impacto. (Para comparação, a pilha de uma lanterna de bolso comum tem 3 volts.)

Estas considerações tornam concebível que uma mudança isomérica de configuração em alguma parte da nossa molécula, produzida por uma flutuação ocasional da energia vibracional, possa efetivamente ser um evento suficientemente raro para ser interpretado como uma mutação espontânea. Assim, explicamos, pelos próprios princípios da mecânica quântica, o facto mais impressionante das mutações, aquele que primeiro atraiu a atenção de, de Vries: são variações “saltitantes”, sem formas intermédias ocorrendo.

9. Estabilidade dos Genes Naturalmente Seleccionados

Tendo-se descoberto o aumento da taxa natural de mutação por qualquer tipo de radiação ionizante, poderia pensar-se em atribuir a taxa natural à radioatividade do solo e do ar e à radiação cósmica. Mas uma comparação quantitativa com os resultados dos raios X mostra que a “radiação natural” é demasiado fraca e só poderia explicar uma pequena fração da taxa natural.

Admitindo que temos de explicar as raras mutações naturais por flutuações casuais do movimento térmico, não devemos surpreender-nos muito por a Natureza ter conseguido fazer uma escolha tão subtil dos valores limiares quanto necessária para tornar a mutação rara. Pois, como já concluímos anteriormente

nestas lições, mutações frequentes são prejudiciais à evolução. Indivíduos que, por mutação, adquiram uma configuração de gene de estabilidade insuficiente terão poucas hipóteses de ver a sua descendência “ultrarradical”, rapidamente mutante, sobreviver por muito tempo. A espécie será libertada deles e assim irá acumular genes estáveis por seleção natural.

10. A Por Vez Menor Estabilidade dos Mutantes

Mas, naturalmente, no que respeita aos mutantes que ocorrem nos nossos experimentos de cruzamento e que selecionamos, enquanto mutantes, para estudar a sua descendência, não há razão para esperar que apresentem todos essa estabilidade muito elevada. Pois ainda não foram “testados” — ou, se foram, foram “rejeitados” nas populações selvagens — possivelmente devido a uma mutabilidade excessiva. De qualquer forma, não nos surpreende nada descobrir que, na realidade, alguns destes mutantes apresentam uma mutabilidade muito mais elevada do que os genes “selvagens” normais.

11. A Temperatura Influencia Menos os Genes Instáveis do Que os Estáveis

Isto permite-nos testar a nossa fórmula de mutabilidade, que era

$$\tau = \tau e^{W/kt}.$$

(Lembrar-se-á que t é o tempo esperado para uma mutação com energia limiar W .) Perguntamos: como muda t com a temperatura? Encontramos facilmente, a partir da fórmula anterior e com boa aproximação, a razão entre o valor de t à temperatura $T+10$ e o valor à temperatura

$$\frac{\tau_{T+10}}{\tau_T} = e^{-10W/kT^2}$$

O expoente sendo agora negativo, a razão é, naturalmente, inferior a 1. O tempo de expectativa é diminuído ao aumentar a temperatura, e a mutabilidade aumenta. Isto pode ser testado e foi testado com a mosca *Drosophila*, na faixa de temperatura que os insetos toleram. O resultado foi, à primeira vista, surpreendente: a baixa mutabilidade dos genes selvagens aumentou de forma clara, mas a mutabilidade relativamente alta observada em alguns dos genes já mutados não aumentou, ou pelo menos aumentou muito menos. Isso é precisamente o que esperamos ao comparar as nossas duas fórmulas. Um valor grande de W/kT , que segundo a primeira fórmula é necessário para tornar t grande (gene estável), produzirá, de acordo com a segunda, um valor pequeno da razão calculada, ou seja, um aumento considerável da mutabilidade com a temperatura. (Os valores reais da razão parecem situar-se entre cerca de 1/2 e 1/5. O recíproco, 2.5, é o que numa reação química ordinária chamamos fator de van't Hoff.)

12. Como os Raios X Produzem Mutações

Passando agora para a taxa de mutação induzida por raios X, já inferimos, a partir dos experimentos de cruzamento: primeiro (pela proporcionalidade entre taxa de mutação e dose), que algum evento único produz a mutação; segundo (pelos resultados quantitativos e pelo facto de a taxa de mutação ser determinada pela densidade de ionização integrada e independente do comprimento de onda), que este evento único deve ser uma ionização, ou processo semelhante, que tem de ocorrer dentro de um certo volume de apenas cerca de 10 distâncias atómicas cúbicas, para produzir uma mutação específica. De acordo com a nossa imagem, a energia para ultrapassar o limiar deve, obviamente, ser fornecida por esse processo semelhante a uma explosão, ionização ou excitação. Chamo-lhe "semelhante a uma explosão" porque a energia gasta numa ionização (gasta, aliás, não pelo raio X em si, mas por um electrão secundário que ele produz) é bem conhecida e tem a quantidade comparativamente enorme de 30 electron-volts. Essa energia é inevitavelmente transformada em movimento térmico enormemente aumentado à volta do ponto onde é libertada e espalha-se daí sob a forma de uma "onda de calor", uma onda de intensas oscilações dos átomos. Que esta onda de calor ainda possa fornecer a energia limiar necessária de 1 ou 2 electron-volts a uma "distância média de ação" de cerca de dez distâncias atómicas, não é inconcebível, embora um físico imparcial pudesse ter antecipado uma distância de ação ligeiramente menor. Que, em muitos casos, o efeito da explosão não seja uma transição isomérica ordenada, mas sim uma lesão do cromossoma, uma lesão que se torna letal quando, por cruzamentos engenhosos, o parceiro

não lesado (o cromossoma correspondente do segundo conjunto) é removido e substituído por um parceiro cujo gene correspondente se sabe ser ele próprio mórbido — tudo isso é absolutamente esperado e é exatamente o que se observa.

13. A Eficácia Deles Não Depende da Mutabilidade Espontânea

Várias outras características são, se não previsíveis a partir da imagem, pelo menos facilmente compreendidas a partir dela. Por exemplo, um mutante instável não apresenta, em média, uma taxa de mutação induzida por raios X muito superior à de um gene estável. De facto, com uma explosão fornecendo uma energia de 30 electron-volts, não se esperaria que fizesse grande diferença se a energia limiar necessária fosse um pouco maior ou menor, digamos 1 ou 1.3 electron-volts.

14. Mutações Reversíveis

Em alguns casos, estudou-se uma transição em ambas as direcções, digamos, de um determinado gene “selvagem” para um mutante especificado e de volta desse mutante para o gene selvagem. Nestes casos, a taxa natural de mutação é por vezes quase a mesma, por vezes muito diferente. À primeira vista, isso pode causar estranheza, porque o limiar a superar parece ser o mesmo em ambos os casos. Mas, naturalmente, não precisa de ser, porque deve ser medido a partir do nível de energia da configuração inicial, que pode ser diferente para o gene selvagem e para o gene

mutado. (Ver Fig. 12 na p. 54, onde "1" poderia referir-se ao alelo selvagem e "2" ao mutante, cuja menor estabilidade seria indicada pela seta mais curta.)

No geral, penso que o "modelo" de Delbrück resiste razoavelmente bem aos testes, e estamos justificados em usá-lo nas considerações subsequentes.

CAPÍTULO 6

Ordem, Desordem e Entropia

Nem o corpo pode determinar a mente a pensar, nem a mente pode determinar o corpo a mover-se, a descansar ou a fazer qualquer outra coisa (se é que tal coisa existe). SPINOSA, Ethics, Pt III, Prop. 2

1. Uma Conclusão Geral Notável do Modelo

Permita-me referir à passagem da p. 62, na qual procurei explicar que a representação molecular do gene tornava pelo menos concebível que o código em miniatura devesse estar em correspondência um-para-um com um plano de desenvolvimento altamente complexo e específico e que, de algum modo, contivesse os meios de o pôr em operação. Muito bem então, mas como o faz? Como iremos transformar a “concebibilidade” em verdadeira compreensão?

O modelo molecular de Delbrück, na sua completa generalidade, parece não conter qualquer pista acerca de como funciona a substância hereditária. Com efeito, não espero que qualquer informação detalhada sobre esta questão venha a surgir da física num futuro próximo. O avanço está a ser feito e continuará, estou certo disso, a ser feito pela bioquímica, sob a orientação da fisiologia e da genética.

Nenhuma informação detalhada sobre o funcionamento do mecanismo genético pode emergir de uma descrição da sua estrutura tão geral como a que foi apresentada acima. Isso é óbvio. Mas, estranhamente, há apenas uma conclusão geral a retirar daí, e essa, confesso, foi o meu único motivo para escrever este livro.

Da representação geral de Delbrück da substância hereditária resulta que a matéria viva, embora não fuja às “leis da física” tal como estabelecidas até hoje, é suscetível de envolver “outras leis da física” até agora desconhecidas, que, contudo, uma vez reveladas, formarão parte tão integral desta ciência quanto as anteriores.

2. Ordem Baseada em Ordem

Esta é uma linha de pensamento bastante subtil, sujeita a equívocos em mais do que um aspeto. Todas as páginas restantes ocupam-se em torná-la clara. Uma visão preliminar, tosca, mas não de todo errónea, pode ser encontrada nas seguintes considerações:

Foi explicado no capítulo 1 que as leis da física, tal como as conhecemos, são leis estatísticas¹. Elas têm muito a ver com a tendência natural das coisas para passarem à desordem. Mas, para conciliar a elevada durabilidade da substância hereditária com a sua dimensão diminuta, tivemos de escapar à tendência para a desordem através da “invenção da molécula”, na realidade, uma molécula invulgarmente grande que tem de ser uma obra-prima de ordem altamente diferenciada, protegida pela vara mágica da teoria

quântica. As leis do acaso não são invalidadas por esta “invenção”, mas o seu resultado é modificado. O físico está familiarizado com o facto de as leis clássicas da física serem modificadas pela teoria quântica, sobretudo a baixas temperaturas. Existem muitos exemplos disso. A vida parece ser um deles, um particularmente impressionante. A vida parece ser um comportamento ordenado e conforme à lei da matéria, não baseado exclusivamente na sua tendência para passar da ordem à desordem, mas baseado em parte numa ordem existente que é mantida.

Ao físico — mas apenas a ele — eu poderia esperar tornar mais clara a minha visão dizendo: o organismo vivo parece ser um sistema macroscópico que, em parte do seu comportamento, se aproxima daquela conduta puramente mecânica (em contraste com a termodinâmica) para a qual todos os sistemas tendem, à medida que a temperatura se aproxima do zero absoluto e a desordem molecular é eliminada.

O não-físico acha difícil acreditar que realmente as leis ordinárias da física, que ele considera o protótipo da precisão inviolável, estejam baseadas na tendência estatística da matéria para passar à desordem. Dei exemplos no capítulo 1. O princípio geral envolvido é a famosa Segunda Lei da Termodinâmica (princípio da entropia) e o seu igualmente famoso fundamento estatístico. Nas pp. 71-75 tentarei esboçar a incidência do princípio da entropia sobre o comportamento em grande escala de um organismo vivo — esquecendo por agora tudo o que se sabe acerca dos cromossomas, da hereditariedade, e assim por diante.

3. A Matéria Viva Evita a Degradação ao Equilíbrio

Qual é a característica distintiva da vida? Quando é que um pedaço de matéria se diz estar vivo? Quando continua a “fazer algo”, a mover-se, a trocar material com o seu ambiente, e assim por diante, e isso por um período muito mais longo do que esperaríamos que um pedaço inanimado de matéria “se mantivesse ativo” em circunstâncias semelhantes. Quando um sistema que não está vivo é isolado ou colocado num ambiente uniforme, todo o movimento geralmente cessa muito rapidamente como resultado de vários tipos de fricção; as diferenças de potencial elétrico ou químico são equalizadas, substâncias que tendem a formar um composto químico fazem-no, a temperatura torna-se uniforme pela condução do calor. Depois disso, todo o sistema esmorece até se tornar num pedaço morto e inerte de matéria. Um estado permanente é atingido, no qual não ocorrem eventos observáveis. O físico chama a este estado equilíbrio termodinâmico, ou de “entropia máxima”.

Na prática, um estado deste género é geralmente atingido muito rapidamente. Em teoria, muito frequentemente ainda não é um equilíbrio absoluto, ainda não é o verdadeiro máximo de entropia. Mas então a aproximação final ao equilíbrio é muito lenta. Pode levar qualquer coisa entre horas, anos, séculos... Para dar um exemplo — um em que a aproximação é ainda bastante rápida: se um copo cheio de água pura e um segundo cheio de água açucarada forem colocados juntos numa caixa hermeticamente fechada, a temperatura constante, parece a princípio que nada acontece, e cria-se a impressão de completo equilíbrio. Mas após um dia ou

assim nota-se que a água pura, devido à sua maior pressão de vapor, evapora lentamente e condensa-se sobre a solução. Esta transborda. Só depois de a água pura ter evaporado totalmente é que o açúcar atinge o seu objetivo de estar igualmente distribuído por toda a água líquida disponível.

Estas aproximações lentas e finais ao equilíbrio nunca poderiam ser confundidas com vida, e podemos desconsiderá-las aqui. Referi-me a elas apenas para me livrar da acusação de imprecisão.

4. Alimenta-se de “Entropia Negativa”

É por evitar a rápida degradação ao estado inerte de “equilíbrio” que um organismo parece tão enigmático; a tal ponto que, desde os primórdios do pensamento humano, se afirmou que alguma força especial não física ou sobrenatural (*vis viva*, enteléquia) estava ativa no organismo — e, em certos meios, ainda hoje se afirma.

Como é que o organismo vivo evita a degradação? A resposta óbvia é: comendo, bebendo, respirando e (no caso das plantas) assimilando. O termo técnico é metabolismo. A palavra grega (μεταβάλλειν) significa mudança ou troca. Troca de quê? Originalmente, a ideia subjacente é, sem dúvida, a troca de material. (Por exemplo, em alemão, metabolismo é *Stoffwechsel*, “troca de substância”.) Mas que a “troca de material” devesse ser o essencial é absurdo. Qualquer átomo de azoto, oxigénio, enxofre, etc., é tão bom quanto qualquer outro do mesmo tipo; que ganho poderia haver em trocá-los? Durante algum tempo, no passado, a

nossa curiosidade foi silenciada dizendo-se que nos alimentamos de energia. Em certos países muito avançados (não me recordo se era a Alemanha ou os EUA, ou ambos) encontravam-se cartas de restaurantes que indicavam, além do preço, o conteúdo energético de cada prato. Escusado será dizer que, tomada à letra, esta explicação é igualmente absurda. Para um organismo adulto, o conteúdo energético é tão estacionário quanto o conteúdo material. Sendo certo que qualquer caloria vale tanto quanto qualquer outra, não se percebe como uma mera troca poderia ajudar.

Então, o que é essa coisa preciosa contida no nosso alimento que nos preserva da morte? A resposta é fácil. Todo processo, evento, acontecimento — chame-lhe o que quiser; numa palavra, tudo o que se passa na Natureza — implica um aumento da entropia na parte do mundo onde ocorre. Assim, um organismo vivo aumenta continuamente a sua entropia — ou, se preferir, produz entropia positiva — e, desse modo, tende a aproximar-se do estado perigoso de entropia máxima, que é a morte. Só pode manter-se afastado dele, isto é, vivo, extraíndo continuamente do seu ambiente, entropia negativa — que é algo de muito positivo, como veremos de imediato. O que um organismo consome é entropia negativa. Ou, dito de forma menos paradoxal, o essencial no metabolismo é que o organismo consegue libertar-se de toda a entropia que não pode deixar de produzir enquanto está vivo.

5. O Que É Entropia?

O que é entropia? Deixe-me antes de mais salientar que não se trata de um conceito ou ideia vaga, mas de uma grandeza física

mensurável, tal como o comprimento de uma vara, a temperatura em qualquer ponto de um corpo, o calor de fusão de um determinado cristal ou o calor específico de uma dada substância. No ponto zero absoluto de temperatura (cerca de $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) a entropia de qualquer substância é nula. Quando coloca a substância em qualquer outro estado por pequenos passos lentos e reversíveis (mesmo que, desse modo, a substância mude a sua natureza física ou química, ou se divida em duas ou mais partes de natureza física ou química diferente), a entropia aumenta numa quantidade que se calcula dividindo cada pequena porção de calor que teve de fornecer nesse processo pela temperatura absoluta à qual foi fornecida — e somando todas essas pequenas contribuições. Para dar um exemplo: quando funde um sólido, a sua entropia aumenta de uma quantidade igual ao calor de fusão dividido pela temperatura no ponto de fusão. Vê, a partir disto, que a unidade em que a entropia é medida é $\text{cal}/^{\circ}\text{C}$ (tal como a caloria é a unidade de calor ou o centímetro a unidade de comprimento).

6. O Significado Estatístico da Entropia

Mencionei esta definição técnica apenas para retirar a entropia da atmosfera de vaga obscuridade que frequentemente a envolve. Muito mais importante para nós aqui é a sua relação com o conceito estatístico de ordem e desordem, uma conexão que foi revelada pelas investigações de Boltzmann e Gibbs em física estatística. Também esta é uma ligação quantitativa exata e é expressa por:

$$\text{entropia} = k \log D,$$

onde k é a chamada constante de Boltzmann ($= 3,2983 \cdot 10^{-24}$ cal/°C), e D uma medida quantitativa da desordem atomística do corpo em questão. Dar uma explicação rigorosa desta quantidade D em breves termos não técnicos é quase impossível. A desordem que ela indica é em parte a do movimento térmico, em parte a que consiste em diferentes tipos de átomos ou moléculas estarem misturados ao acaso, em vez de estarem ordenadamente separados — por exemplo, as moléculas de açúcar e de água no exemplo citado acima. A equação de Boltzmann é bem ilustrada por esse exemplo. A gradual “difusão” do açúcar por toda a água disponível aumenta a desordem D e, portanto (uma vez que o logaritmo de D cresce com D), aumenta a entropia. É também bastante claro que qualquer fornecimento de calor aumenta o tumulto do movimento térmico, ou seja, aumenta D e, assim, aumenta a entropia; é particularmente evidente que assim seja quando se funde um cristal, já que desse modo se destrói a disposição ordenada e permanente dos átomos ou moléculas e se transforma a rede cristalina numa distribuição aleatória em constante mudança.

Um sistema isolado ou um sistema num ambiente uniforme (que, para a consideração presente, é melhor incluirmos como parte do sistema que contemplamos) aumenta a sua entropia e aproxima-se mais ou menos rapidamente do estado inerte de entropia máxima. Reconhecemos agora que esta lei fundamental da física é apenas a tendência natural das coisas para se aproximarem do estado caótico (a mesma tendência que exibem os livros de uma biblioteca ou as pilhas de papéis e manuscritos sobre uma secretária) a menos que a contrariemos. (O análogo do movimento térmico irregular, neste

caso, é o facto de lidarmos com esses objetos de vez em quando sem nos preocuparmos em devolvê-los ao seu devido lugar.)

7. Organização Mantida Através da Extração de “Ordem” do Ambiente

Como poderíamos expressar, em termos da teoria estatística, a maravilhosa faculdade de um organismo vivo, pela qual ele retarda a decadência para o equilíbrio termodinâmico (morte)? Dissemos antes: “Ele alimenta-se de entropia negativa”, atraindo, por assim dizer, um fluxo de entropia negativa sobre si próprio, para compensar o aumento de entropia que produz ao viver e assim manter-se num nível estacionário e relativamente baixo de entropia.

Se D é uma medida de desordem, o seu recíproco, $1/D$, pode ser considerado como uma medida direta de ordem. Uma vez que o logaritmo de $1/D$ é simplesmente o negativo do logaritmo de D , podemos escrever a equação de Boltzmann assim:

$$-(entropia) = k \times \log\left(\frac{1}{D}\right).$$

Assim, a expressão estranha “entropia negativa” pode ser substituída por uma melhor: a entropia, tomada com sinal negativo, é ela própria uma medida de ordem. Portanto, o mecanismo pelo qual um organismo se mantém estacionário num nível relativamente elevado de ordem (ou seja, num nível relativamente

baixo de entropia) consiste realmente em sugar continuamente ordem do seu ambiente. Esta conclusão é menos paradoxal do que parece à primeira vista. Poder-se-ia até considerá-la trivial. De facto, no caso dos animais superiores, sabemos bem o tipo de ordem de que se alimentam, ou seja, o estado extremamente ordenado da matéria em compostos orgânicos mais ou menos complexos, que lhes servem de alimento. Depois de a utilizarem, devolvem-na numa forma muito degradada — não totalmente degradada, no entanto, pois as plantas ainda podem tirar proveito dela. (Estas, claro, têm a sua fonte mais poderosa de “entropia negativa” na luz solar.)

8. Nota ao Capítulo 6

As observações sobre a entropia negativa suscitaram dúvidas e oposição por parte de colegas físicos. Deixe-me dizer primeiro que, se tivesse procurado satisfazer apenas os físicos, teria deixado a discussão focar-se na energia livre. É uma noção mais familiar neste contexto. Mas este termo altamente técnico parecia, do ponto de vista linguístico, demasiado próximo de energia para fazer com que o leitor médio perceba o contraste entre as duas coisas. Ele tenderia a tomar “livre” mais ou menos como um epíteto decorativo sem grande relevância, enquanto, na realidade, o conceito é bastante intrincado, cuja relação com o princípio ordem-desordem de Boltzmann é mais difícil de rastrear do que no caso da entropia e da “entropia tomada com sinal negativo”, que, aliás, não é da minha invenção. Acontece que é precisamente aquilo em que o argumento original de Boltzmann se baseava.

Mas F. Simon salientou-me muito acertadamente que as minhas simples considerações termodinâmicas não explicam o facto de termos de nos alimentar de matéria “num estado extremamente ordenado de compostos orgânicos mais ou menos complexos” em vez de carvão ou diamante. Ele tem razão. Mas, para o leitor leigo, devo explicar que um pedaço de carvão não queimado ou diamante, juntamente com a quantidade de oxigénio necessária para a sua combustão, também se encontra num estado extremamente ordenado, tal como o físico o entende. Prova disso: se permitirmos que a reacção ocorra — a queima do carvão — é produzida uma grande quantidade de calor. Ao libertá-lo para o ambiente, o sistema dispõe do considerável aumento de entropia resultante da reacção, e atinge um estado em que, de facto, tem aproximadamente a mesma entropia que antes.

No entanto, não poderíamos alimentar-nos do dióxido de carbono resultante da reacção. E, portanto, Simon está completamente certo ao salientar-me, como fez, que, de facto, o conteúdo energético do nosso alimento importa; por isso, a minha ironia em relação aos cartões de menu que o indicam foi fora de lugar. A energia é necessária não só para repor a energia mecânica dos nossos esforços corporais, mas também o calor que continuamente libertamos para o ambiente. E o facto de libertarmos calor não é accidental, mas essencial. Pois é precisamente desta forma que nos livramos do excesso de entropia que produzimos continuamente no nosso processo vital físico.

Isto parece sugerir que a temperatura mais elevada do animal de sangue quente inclui a vantagem de lhe permitir livrar-se da sua

entropia a uma velocidade maior, de modo a poder sustentar um processo vital mais intenso. Não tenho certeza de quanto de verdade há neste argumento (pelo qual sou responsável, não Simon). Pode contestar-se que, por outro lado, muitos animais de sangue quente estão protegidos contra a perda rápida de calor por pelagens ou penas. Portanto, o paralelismo entre temperatura corporal e “intensidade de vida”, que acredito existir, poderá ter de ser explicado mais diretamente pela lei de van’t Hoff, mencionada na pág. 65: a temperatura mais elevada em si acelera as reações químicas envolvidas na vida. (O facto de que realmente o faz foi confirmado experimentalmente em espécies cuja temperatura do ambiente é monitorizada.)

CAPÍTULO 7

A Vida Baseia-se nas Leis da Física?

Se um homem nunca se contradiz, a razão deve ser que ele, na prática, quase nunca diz coisa alguma. MIGUEL DE UNAMUNDO (citando de uma conversa)

1. Novas Leis a Esperar no Organismo

O que desejo tornar claro neste último capítulo é, em suma, que, a partir de tudo o que aprendemos sobre a estrutura da matéria viva, devemos estar preparados para encontrá-la a funcionar de um modo que não pode ser reduzido às leis ordinárias da física. E não com base na ideia de que exista alguma “nova força” ou algo semelhante a dirigir o comportamento dos átomos individuais dentro de um organismo vivo, mas porque a construção é diferente de tudo o que até agora testámos no laboratório físico. Para o dizer de forma crua, um engenheiro, familiarizado apenas com motores a vapor, ficará, depois de inspecionar a construção de um motor elétrico, preparado para o encontrar a funcionar segundo princípios que ainda não compreende. Reconhece o cobre, que lhe é familiar em chaleiras, usado aqui sob a forma de longos fios enrolados em bobinas; reconhece o ferro, que lhe é familiar em alavancas, barras e cilindros de vapor, a preencher o interior dessas bobinas de fio de cobre. Ele estará convencido de que é o mesmo cobre e o mesmo ferro, sujeitos às mesmas leis da Natureza — e nisso tem razão. A

diferença de construção basta para o preparar para um modo de funcionamento inteiramente diferente. Não suspeitará que um motor elétrico é movido por um fantasma só porque começa a rodar ao acionar-se um interruptor, sem caldeira nem vapor.

2. Revisão da Situação Biológica

O desenrolar dos acontecimentos no ciclo vital de um organismo manifesta uma regularidade e uma ordem admiráveis, sem paralelo em nada do que encontramos na matéria inanimada. Verificamos que está controlado por um grupo de átomos extremamente bem organizado, que representa apenas uma pequena fração do total existente em cada célula. Além disso, pela perspectiva que formámos do mecanismo da mutação, concluímos que a deslocação de apenas alguns átomos dentro do grupo de “átomos governantes” da célula germinativa basta para provocar uma mudança bem definida nas características hereditárias de larga escala do organismo.

Estes factos são, sem dúvida, os mais interessantes que a ciência revelou no nosso tempo. Podemos até sentir-nos inclinados a considerá-los, afinal, não totalmente inaceitáveis. A surpreendente capacidade de um organismo em concentrar sobre si mesmo um “fluxo de ordem” e, assim, escapar à decadência em caos atómico — de “beber ordem” de um ambiente apropriado — parece estar ligada à presença dos “sólidos aperiódicos”, as moléculas cromossómicas, que representam, sem dúvida, o grau mais elevado de associação atómica ordenada que conhecemos — muito superior

ao do cristal periódico comum — em virtude do papel individual que cada átomo e cada radical desempenha aqui.

Dito em poucas palavras, testemunhamos o fenómeno de a ordem existente revelar o poder de se manter e de produzir acontecimentos ordenados. Isso soa suficientemente plausível, embora, ao achá-lo plausível, recorramos, sem dúvida, à experiência que temos da organização social e de outros acontecimentos que envolvem a atividade dos organismos. E assim pode parecer que algo semelhante a um círculo vicioso está implícito.

3. Resumindo a Situação Física

Seja como for, o ponto a enfatizar repetidamente é que, para o físico, o estado de coisas não é apenas implausível, mas profundamente entusiasmante, porque é sem precedentes. Ao contrário da crença comum, o curso regular dos acontecimentos, regido pelas leis da física, nunca é consequência de uma única configuração bem ordenada de átomos — a não ser que essa configuração de átomos se repita um grande número de vezes, seja como no cristal periódico, seja como num líquido ou num gás composto por um grande número de moléculas idênticas.

Mesmo quando o químico manipula *in vitro* uma molécula muito complicada, depara-se sempre com um número enorme de moléculas semelhantes. É a elas que as suas leis se aplicam. Poderá dizer-lhe, por exemplo, que um minuto depois de ter iniciado uma

determinada reação, metade das moléculas terá reagido, e, após um segundo minuto, três quartos delas já o terão feito. Mas se uma molécula em particular — supondo que fosse possível acompanhar o seu percurso — estará entre as que reagiram ou entre as que ainda permanecem intactas, isso ele não poderia prever. Trata-se de uma questão de puro acaso.

Isto não é uma mera conjectura teórica. Não se trata de nunca podermos observar o destino de um pequeno grupo de átomos ou até de um único átomo. Podemos, ocasionalmente. Mas sempre que o fazemos, encontramos uma completa irregularidade, que apenas coopera para produzir regularidade na média. Tratámos de um exemplo no capítulo 1. O movimento browniano de uma pequena partícula suspensa num líquido é totalmente irregular. Porém, se houver muitas partículas semelhantes, os seus movimentos irregulares darão origem ao fenómeno regular da difusão.

A desintegração de um único átomo radioativo é observável (ele emite um projétil que causa uma cintilação visível num ecrã fluorescente). Mas se lhe for dado um único átomo radioativo, a sua esperança de vida é muito menos certa do que a de um pardal saudável. Na verdade, nada mais pode ser dito senão isto: enquanto vive (e pode viver milhares de anos), a probabilidade de explodir no segundo seguinte, seja ela grande ou pequena, permanece a mesma. Esta evidente falta de determinação individual resulta, contudo, na lei exponencial exata de desintegração de um grande número de átomos radioativos do mesmo tipo.

4. O Contraste Marcante

Na biologia deparamo-nos com uma situação inteiramente diferente. Um único grupo de átomos, existente apenas numa cópia, produz acontecimentos ordenados, maravilhosamente ajustados entre si e com o ambiente, de acordo com leis das mais subtis. Digo, existente apenas numa cópia, pois temos afinal o exemplo do ovo e do organismo unicelular. Nas etapas seguintes de um organismo superior, as cópias multiplicam-se, é verdade. Mas até que ponto? Algo como 10^{14} num mamífero adulto, pelo que compreendo. E o que é isso! Apenas uma milionésima parte do número de moléculas contidas numa polegada cúbica de ar. Embora relativamente volumosos, ao fundirem-se formariam apenas uma gotícula de líquido. E observa-se ainda a forma como estão efetivamente distribuídos. Cada célula alberga apenas um deles (ou dois, se tivermos em conta a diploidia). Ora, sabendo nós o poder que esse minúsculo gabinete central possui na célula isolada, não se assemelham eles a estações de governo local espalhadas pelo corpo, comunicando entre si com grande facilidade, graças ao código que lhes é comum?

Pois bem, esta é uma descrição fantástica, talvez mais condizente com um poeta do que com um cientista. No entanto, não é necessária qualquer imaginação poética, apenas uma reflexão científica clara e sóbria, para reconhecer que estamos aqui, evidentemente, perante acontecimentos cujo desenrolar regular e legal é guiado por um “mecanismo” inteiramente diferente do “mecanismo probabilístico” da física. Pois é simplesmente um facto de observação que o princípio orientador em cada célula está

incorporado numa única associação atômica, existente apenas numa cópia (ou, por vezes, em duas) — e é um facto de observação que daí resulta a produção de acontecimentos que são um paradigma de ordem. Quer nos pareça surpreendente, quer nos pareça perfeitamente plausível que um grupo pequeno, mas altamente organizado de átomos seja capaz de agir desta maneira, a situação é sem precedentes, não tem paralelo em parte alguma senão na matéria viva. O físico e o químico, ao investigarem a matéria inanimada, nunca testemunharam fenómenos que tivessem de interpretar desta forma. O caso não se colocava, e por isso a nossa teoria não o abrange — a nossa bela teoria estatística, da qual tão justamente nos orgulhávamos, porque nos permitia espreitar por detrás do pano e observar a magnífica ordem da lei física exata emergindo do desordem atômica e molecular; porque revelava que a lei mais importante, mais geral, mais abrangente — a do aumento da entropia — podia ser compreendida sem qualquer pressuposto especial *ad hoc* (para esta finalidade), já que não é senão a própria desordem molecular.

5. Duas Formas de Produzir Ordem

A ordem encontrada no desenrolar da vida tem origem numa fonte diferente. Parece haver dois “mecanismos” distintos pelos quais os acontecimentos ordenados podem ser produzidos: o “mecanismo estatístico”, que produz “ordem a partir da desordem”, e o novo, que produz “ordem a partir da ordem”. Para uma mente isenta de preconceitos, o segundo princípio parece ser muito mais simples, muito mais plausível. Sem dúvida que o é. Eis por que os físicos estavam tão orgulhosos de terem descoberto o outro, o

princípio da “ordem-a-partir-da-desordem”, que é efetivamente seguido pela Natureza e que, sozinho, proporciona a compreensão da grande linha dos acontecimentos naturais, em primeiro lugar da sua irreversibilidade. Mas não podemos esperar que as “leis da física” daí derivadas bastem, de imediato, para explicar o comportamento da matéria viva, cujas características mais marcantes se baseiam visivelmente, em larga medida, no princípio da “ordem-a-partir-da-ordem”. Não esperaríamos que dois mecanismos inteiramente diferentes viessem a produzir o mesmo tipo de lei — tal como não esperaríamos que a sua chave de casa abrisse a porta do vizinho.

Não devemos, portanto, desanimar com a dificuldade de interpretar a vida pelas leis ordinárias da física. Pois é precisamente isso que devemos esperar, a partir do conhecimento que adquirimos da estrutura da matéria viva. Devemos estar preparados para encontrar nela um novo tipo de lei física em vigor. Ou deveremos chamá-la uma lei não física, para não dizer, suprassensível?

6. O Novo Princípio Não É Estranho à Física

Não. Não penso assim. Pois o novo princípio em causa é genuinamente físico: é, na minha opinião, nada mais do que o princípio da teoria quântica uma vez mais. Para explicar isto, temos de avançar um pouco, incluindo um refinamento, para não dizer uma correção, da afirmação feita anteriormente, a saber, que todas as leis físicas se baseiam na estatística.

Esta afirmação, repetida vezes sem conta, não podia deixar de suscitar contradição. Pois, de facto, há fenómenos cujas características mais evidentes assentam diretamente no princípio da “ordem-a-partir-da-ordem” e parecem nada ter a ver com estatística ou desordem molecular.

A ordem do sistema solar, o movimento dos planetas, mantém-se por um tempo praticamente indefinido. A configuração deste momento está diretamente ligada à configuração em qualquer instante particular da época das Pirâmides; pode ser recuada até aí ou vice-versa. Eclipses históricos foram calculados e encontraram-se em estreita concordância com os registos históricos ou, em alguns casos, serviram mesmo para corrigir a cronologia aceite. Estes cálculos não implicam qualquer estatística; baseiam-se unicamente na lei da atração universal de Newton.

Também o movimento regular de um bom relógio ou de qualquer mecanismo semelhante não parece ter nada a ver com estatística. Em suma, todos os acontecimentos puramente mecânicos parecem seguir clara e diretamente o princípio da “ordem-a-partir-da-ordem”. E, se dizemos “mecânico”, o termo deve ser entendido num sentido amplo. Um tipo muito útil de relógio é, como sabe, baseado na transmissão regular de impulsos elétricos da central de energia.

Lembro-me de um pequeno artigo interessante de Max Planck sobre o tema “O Tipo Dinâmico e o Tipo Estatístico de Lei” (“Dynamische und Statistische Gesetzmässigkeit”). A distinção é precisamente aquela a que aqui chamámos “ordem a partir da ordem” e “ordem a partir da desordem”. O objetivo desse artigo era

mostrar como o interessante tipo de lei estatística, que controla os acontecimentos em larga escala, se constitui a partir das leis “dinâmicas” que se supõe governarem os acontecimentos em pequena escala, a interação dos átomos e moléculas isolados. Este último tipo é ilustrado pelos fenómenos mecânicos em larga escala, como o movimento dos planetas ou de um relógio, etc.

Assim, parece que o “novo” princípio, o princípio da ordem-a-partir-da-ordem, para o qual apontámos com grande solenidade como sendo a verdadeira chave para a compreensão da vida, não é de todo novo para a física. A atitude de Planck chega mesmo a reivindicar prioridade para ele. Parecemos chegar à conclusão ridícula de que a chave para a compreensão da vida é que ela se baseia num puro mecanismo, um “mecanismo de relojoaria” no sentido do artigo de Planck. A conclusão não é ridícula e, na minha opinião, não é inteiramente errada, mas tem de ser tomada “com uma boa pitada de sal”.

7. O Movimento de um Relógio

Vamos analisar o movimento de um relógio real com precisão. Ele não é, de modo algum, um fenómeno puramente mecânico. Um relógio puramente mecânico não precisaria de mola nem de corda. Uma vez posto em movimento, continuaria para sempre. Um relógio real sem mola pára após alguns balanços do pêndulo; a sua energia mecânica transforma-se em calor. Este é um processo atomístico infinitamente complicado. O quadro geral que o físico forma a respeito obriga-o a admitir que o processo inverso não é totalmente impossível: um relógio sem mola poderia, de repente, começar a

mover-se, à custa da energia térmica das suas próprias engrenagens e do ambiente. O físico teria de dizer: o relógio experimenta um acesso exceccionalmente intenso de movimento browniano. Como vimos no capítulo 2 (p. 17), com um equilíbrio de torção muito sensível (eletrómetro ou galvanómetro), esse tipo de fenómeno ocorre constantemente. No caso de um relógio, é, claro, infinitamente improvável.

Se o movimento de um relógio deve ser atribuído ao tipo dinâmico ou ao tipo estatístico de acontecimentos regulares (para usar as expressões de Planck) depende da nossa postura. Ao chamá-lo de fenómeno dinâmico, fixamos a atenção no movimento regular que pode ser garantido por uma mola comparativamente fraca, a qual supera as pequenas perturbações do movimento térmico, de modo a que possamos desconsiderá-las. Mas, se nos lembrarmos de que, sem uma mola, o relógio vai gradualmente abrandando devido ao atrito, percebemos que este processo só pode ser compreendido como um fenómeno estatístico.

Por mais insignificantes que possam ser, do ponto de vista prático, os efeitos do atrito e do aquecimento num relógio, não há dúvida de que a segunda postura, que não os negligencia, é a mais fundamental, mesmo quando estamos perante o movimento regular de um relógio movido por mola. Pois não se deve acreditar que o mecanismo impulsor elimina realmente a natureza estatística do processo. O quadro físico verdadeiro inclui a possibilidade de que mesmo um relógio em movimento regular possa, de repente, inverter o seu movimento e, trabalhando ao contrário, enrolar novamente a sua própria mola — à custa do calor

do ambiente. O acontecimento é apenas “um pouco menos provável” do que um “acesso browniano” de um relógio sem mecanismo impulsor.

8. Relojoaria Após Toda a Estatística

Vamos agora rever a situação. O caso “simples” que analisámos é representativo de muitos outros — na realidade, de todos aqueles que parecem escapar ao princípio abrangente da estatística molecular. Os mecanismos de relógio feitos de matéria física real (em contraste com a imaginação) não são verdadeiros “relógios perfeitos”. O elemento de acaso pode ser mais ou menos reduzido, a probabilidade de o relógio falhar completamente pode ser infinitesimal, mas ele permanece sempre em segundo plano. Mesmo no movimento dos corpos celestes, não faltam influências irreversíveis de atrito e térmicas. Assim, a rotação da Terra diminui lentamente devido ao atrito das marés e, juntamente com esta redução, a Lua afasta-se gradualmente da Terra, algo que não aconteceria se a Terra fosse uma esfera rígida em rotação completa.

No entanto, o facto permanece: os “mecanismos físicos” exibem visivelmente características muito proeminentes de “ordem-a-partir-da-ordem”, o tipo que despertou o entusiasmo do físico quando as encontrou no organismo. Parece provável que os dois casos tenham, afinal, algo em comum. Resta ver o que é isso e qual é a diferença marcante que torna o caso do organismo verdadeiramente novo e sem precedentes.

9. Teorema de NERNST

Quando é que um sistema físico — qualquer tipo de associação de átomos — exhibe “lei dinâmica” (no sentido de Planck) ou características de “relógio perfeito”? A teoria quântica oferece uma resposta muito curta a esta questão: no zero absoluto de temperatura. À medida que a temperatura se aproxima do zero, a desordem molecular deixa de ter qualquer influência sobre os acontecimentos físicos. Este facto não foi, aliás, descoberto pela teoria, mas através da investigação cuidadosa de reações químicas numa ampla gama de temperaturas, extrapolando os resultados até ao zero absoluto — que, na prática, nunca pode ser atingido. Este é o famoso “Teorema do Calor” de Walther Nernst, que por vezes, e com justiça, recebe o orgulhoso nome de “Terceira Lei da Termodinâmica” (sendo a primeira o princípio da energia e a segunda o princípio da entropia).

A teoria quântica fornece a base racional da lei empírica de Nernst e permite também estimar quão próximo um sistema deve estar do zero absoluto para exhibir um comportamento aproximadamente “dinâmico”. Qual é, em cada caso particular, a temperatura já praticamente equivalente a zero?

Não deve acreditar que isso implique sempre uma temperatura muito baixa. De facto, a descoberta de Nernst foi induzida pelo facto de que, mesmo à temperatura ambiente, a entropia desempenha um papel surpreendentemente insignificante em muitas reações químicas. (Recordemos que a entropia é uma medida direta da desordem molecular, ou seja, do seu logaritmo.)

10. O Relógio de Pêndulo Está Virtualmente à Temperatura Zero

E quanto a um relógio de pêndulo? Para um relógio de pêndulo, a temperatura ambiente é praticamente equivalente ao zero absoluto. É por isso que ele funciona “dinamicamente”. Continuará a funcionar como o faz se o arrefecer (desde que tenha eliminado todos os vestígios de óleo!). Mas não continuará a funcionar se o aquecer acima da temperatura ambiente, pois acabará por derreter.

11. A Relação Entre Relógio e Organismo

Isto parece muito trivial, mas, penso, atinge o ponto cardinal. Os mecanismos de relógio são capazes de funcionar “dinamicamente” porque são construídos com sólidos, mantidos na forma pelas forças de London-Heitler, suficientemente fortes para resistir à tendência desordenada do movimento térmico à temperatura ordinária.

Creio que agora poucas palavras mais são necessárias para revelar o ponto de semelhança entre um relógio e um organismo. É simples e exclusivamente que o último também se baseia num sólido — o cristal aperiódico que forma a substância hereditária, largamente protegido da desordem do movimento térmico. Mas, por favor, não me acuse de chamar às fibras cromossômicas apenas as “engrenagens da máquina orgânica” — pelo menos não sem referência às profundas teorias físicas em que a analogia se fundamenta.

Pois, de facto, é ainda menos retórico recordar a diferença fundamental entre os dois e justificar os epítetos “novo” e “sem precedentes” no caso biológico.

As características mais marcantes são: primeiro, a curiosa distribuição das engrenagens num organismo pluricelular, para a qual posso remeter à descrição algo poética na p. 80; e, em segundo lugar, o facto de que a engrenagem individual não é de fabrico grosseiro humano, mas a obra-prima mais refinada alguma vez alcançada nos domínios da mecânica quântica do Senhor.

Epílogo

Sobre Determinismo e Livre-Arbítrio

Como recompensa pelo esforço sério que tomei para expor os aspetos puramente científicos do nosso problema *sine ira et studio* (*de forma imparcial e objetiva*), permito-me acrescentar a minha própria visão, necessariamente subjetiva, das implicações filosóficas.

Segundo as evidências apresentadas nas páginas anteriores, os acontecimentos espaço-temporais no corpo de um ser vivo — que correspondem à atividade da sua mente, à sua autoconsciência ou a quaisquer outras ações — são, considerando também a sua complexa estrutura e a explicação estatística aceite da físico-química, se não estritamente determinísticos, pelo menos estatístico-determinísticos. Ao físico, desejo enfatizar que, na minha opinião, e contrariamente à opinião defendida em alguns círculos, a indeterminação quântica não desempenha papel biologicamente relevante neles, exceto talvez por realçar o seu carácter puramente accidental em acontecimentos como a meiose, mutações naturais ou induzidas por raios X, etc. — o que, em qualquer caso, é óbvio e bem reconhecido.

Para efeito de argumento, permitam-me considerar isto como um facto, como acredito que qualquer biólogo imparcial faria, se

não existisse o bem conhecido e desagradável sentimento de “declarar-se como um puro mecanismo”. Pois isso é considerado contraditório com o Livre-Arbítrio, tal como garantido pela introspecção direta.

Mas experiências imediatas em si mesmas, por mais variadas e díspares que sejam, são logicamente incapazes de se contradizerem. Vejamos, então, se não podemos tirar a conclusão correta, não contraditória, a partir das seguintes duas premissas:

- I. O meu corpo funciona como um puro mecanismo segundo as Leis da Natureza.
- II. No entanto, eu sei, por experiência direta incontestável, que estou a dirigir os seus movimentos, cujos efeitos prevejo e que podem ser fatais e de máxima importância, caso em que sinto e assumo plena responsabilidade por eles.

A única inferência possível a partir destes dois factos é, penso eu, que eu — eu no sentido mais amplo da palavra, isto é, toda a mente consciente que alguma vez disse ou sentiu “eu” — sou a pessoa, se é que há alguma, que controla o “movimento dos átomos” segundo as Leis da Natureza.

Dentro de um *Kulturkreis* (meio cultural) em que certas concepções (que outrora tiveram ou ainda têm um significado mais amplo entre outros povos) foram limitadas e especializadas, é

ousado dar a esta conclusão a formulação simples que ela exige. Na terminologia cristã, dizer: "Logo, eu sou Deus Todo-Poderoso" soa tanto blasfemo como insensato. Mas, por favor, ignore por um momento essas conotações e considere se a inferência acima não é o mais próximo que um biólogo pode chegar de provar Deus e a imortalidade de um só golpe.

Em si mesma, esta percepção não é nova. Os registros mais antigos de que tenho conhecimento remontam a cerca de 2.500 anos ou mais. Desde os primeiros grandes Upanixades, o reconhecimento ATHMAN = BRAHMAN (o eu pessoal igual ao eu eterno, onnipresente e tudo-abarcante) era, no pensamento indiano, considerado, longe de ser blasfemo, representar a quintessência da mais profunda percepção dos acontecimentos do mundo. O esforço de todos os estudiosos do Vedanta era, depois de terem aprendido a pronunciar com os lábios, realmente assimilar nas suas mentes este mais grandioso de todos os pensamentos.

De novo, os místicos de muitos séculos, independentemente e, no entanto, em perfeita harmonia uns com os outros (um pouco como as partículas num gás ideal), descreveram, cada um deles, a experiência única da sua vida em termos que podem ser condensados na frase: DEUS FACTUS SUM (Tornei-me Deus).

Para a ideologia ocidental, este pensamento permaneceu um estranho, apesar de Schopenhauer e de outros que o defenderam, e apesar daqueles verdadeiros amantes que, ao olharem nos olhos um do outro, tomam consciência de que o seu pensamento e a sua alegria são numericamente um — não apenas semelhantes ou

idênticos —, mas eles, em regra, estão emocionalmente demasiado ocupados para se entregarem ao pensamento claro, no que, a esse respeito, muito se assemelham ao místico.

Permita-me fazer alguns comentários adicionais. A consciência nunca é experienciada no plural, apenas no singular. Mesmo nos casos patológicos de consciência dividida ou personalidade dupla, as duas pessoas alternam-se; nunca se manifestam simultaneamente. Num sonho, desempenhamos vários personagens ao mesmo tempo, mas não de forma indiscriminada: somos um deles; nesse personagem agimos e falamos diretamente, enquanto muitas vezes esperamos ansiosamente a resposta de outro, sem nos apercebermos de que somos nós quem controla os seus movimentos e a sua fala tanto quanto os nossos próprios.

Como surge, então, a ideia de pluralidade (tão enfaticamente contestada pelos autores dos Upanixades)? A consciência encontra-se intimamente ligada e dependente do estado físico de uma região limitada de matéria: o corpo. (Considere as mudanças da mente durante o desenvolvimento do corpo, como a puberdade, envelhecimento, senilidade, etc., ou os efeitos de febre, intoxicação, narcose, lesões cerebrais, e assim por diante.) Agora, existe uma grande pluralidade de corpos semelhantes. Daí que a pluralização das consciências ou mentes pareça uma hipótese muito sugestiva. Provavelmente todas as pessoas simples e ingênuas, bem como a grande maioria dos filósofos ocidentais, a aceitaram.

Isto leva quase imediatamente à invenção das almas, tantas quantos os corpos, e à questão de saber se são mortais como o

corpo ou se são imortais e capazes de existir por si mesmas. A primeira alternativa é desagradável, enquanto a segunda ignora, descuida ou desdenha dos factos nos quais a hipótese da pluralidade se baseia. Foram colocadas questões ainda mais absurdas: os animais também têm alma? Chegou-se mesmo a questionar se as mulheres, ou apenas os homens, têm alma.

Consequências tais, mesmo que apenas tentativas de raciocínio, devem suscitar suspeita quanto à hipótese da pluralidade, comum a todas as doutrinas ocidentais oficiais. Não estaremos a inclinar-nos para disparates ainda maiores, se ao rejeitarmos as suas superstições grosseiras mantivermos a sua ingénua ideia de pluralidade das almas, mas “remediando-a” ao declarar que as almas são perecíveis, sendo destruídas juntamente com os respetivos corpos?

A única alternativa possível é simplesmente manter-se na experiência imediata de que a consciência é um singular do qual o plural é desconhecido; que existe apenas uma coisa e que o que parece ser pluralidade é meramente uma série de diferentes aspetos dessa única coisa, produzidos por uma ilusão (Māyā indiana); a mesma ilusão é produzida numa galeria de espelhos, e, de igual forma, *Gaurisankar* e o Monte Everest revelam-se ser o mesmo pico visto de diferentes vales.

Existem, claro, histórias fantasmagóricas elaboradas enraizadas nas nossas mentes que dificultam a aceitação de tal reconhecimento simples. Por exemplo, diz-se que há uma árvore lá fora da minha janela, mas eu não vejo realmente a árvore. Por

algum engenhoso dispositivo, cujos passos iniciais e relativamente simples são os únicos explorados, a árvore real projeta uma imagem de si mesma na minha consciência, e é isso que percebo. Se estiver ao meu lado e olhar para a mesma árvore, ela consegue projetar também uma imagem na sua alma. Eu vejo a minha árvore e você vê a sua (notavelmente parecida com a minha), e aquilo que a árvore é em si, não sabemos. Por esta extravagância, Kant é responsável. No âmbito das ideias que consideram a consciência como um *singulare tantum* (apenas singular), é conveniente substituí-la pela afirmação de que há obviamente apenas uma árvore e que toda a história da imagem é uma história de fantasmas.

Ainda assim, cada um de nós tem a impressão indiscutível de que a soma total da sua própria experiência e memória forma uma unidade, completamente distinta da de qualquer outra pessoa. Ele refere-se a ela como “eu”. *O que é este “eu”?*

Se o analisar cuidadosamente, penso que descobrirá que ele é apenas um pouco mais do que uma coleção de dados individuais (experiências e memórias), ou seja, a tela sobre a qual são reunidos. E, numa introspeção profunda, descobrirá que o que realmente significa por “eu” é essa substância fundamental sobre a qual eles se recolhem. Pode ir para um país distante, perder de vista todos os seus amigos, quase esquecê-los; adquire novos amigos, partilha a vida com eles tão intensamente como alguma vez fez com os antigos. Cada vez menos importante será o facto de, enquanto vive a sua nova vida, ainda se lembrar da antiga. “A juventude que fui eu”, pode começar a falar dela na terceira pessoa; de facto, o

protagonista do romance que lhe provavelmente lhe é mais próximo do coração, certamente mais intensamente vivo e melhor conhecido. Ainda assim, não houve qualquer interrupção, nenhuma morte. E mesmo que um hipnotizador habilidoso conseguisse eliminar completamente todas as suas reminiscências anteriores, não descobriria que ele lhe matou. Em nenhum caso há perda da existência pessoal a lamentar. Nem haverá jamais.

1. Nota para o Epílogo

O ponto de vista aqui adotado alinha-se com aquilo que Aldous Huxley chamou recentemente — e muito apropriadamente — de *Filosofia Perene*. O seu belo livro (Londres, Chatto and Windus, 1946) é singularmente adequado para explicar não apenas o estado das coisas, mas também por que é tão difícil de compreender e tão propenso a encontrar oposição.

MENTE E MATÉRIA

A Consciência, a Objetivação e a Unidade da Mente

As Tarner Lectures

proferidas no Trinity College, Cambridge,

em outubro de 1956

Para

o meu famoso e

amado amigo

HANS HOFF

com profunda devoção

CAPÍTULO 1

A Base Física da Consciência

1. O Problema

O mundo é uma construção das nossas sensações, percepções e memórias. É conveniente considerá-lo como existindo objetivamente por si próprio. Mas ele certamente não se torna manifesto pela sua mera existência. O seu tornar-se manifesto é condicional a acontecimentos muito especiais em partes muito especiais deste mesmo mundo, ou seja, a certos eventos que ocorrem num cérebro. Trata-se de uma implicação extraordinariamente peculiar, que suscita a questão: que propriedades particulares distinguem estes processos cerebrais e lhes permitem produzir a manifestação? Podemos adivinhar que processos materiais têm este poder e quais não? Ou, mais simplesmente: que tipo de processo material está diretamente associado à consciência?

Um racionalista pode sentir-se inclinado a tratar esta questão de forma sumária, mais ou menos da seguinte maneira. Pela nossa própria experiência e, no que diz respeito aos animais superiores, por analogia, a consciência está ligada a certos tipos de eventos em matéria viva organizada, isto é, a certas funções nervosas. Quão longe para trás ou “para baixo” no reino animal ainda existe algum

tipo de consciência, e como será ela nas suas fases iniciais, são especulações gratuitas, questões que não podem ser respondidas e que devem ser deixadas a sonhadores ociosos. É ainda mais gratuito entregar-se a pensamentos sobre se, porventura, outros eventos também — eventos em matéria inorgânica, quanto mais não sejam todos os eventos materiais — estarão de algum modo associados à consciência. Tudo isto é pura fantasia, tão irrefutável quanto impossível de provar, e, portanto, sem valor para o conhecimento.

Aquele que aceita este afastamento sumário da questão deve ser advertido sobre o estranho vazio que assim consente em deixar na sua imagem do mundo. Pois o surgimento de células nervosas e de cérebros em determinadas linhagens de organismos é um acontecimento muito especial, cujo significado e importância estão bastante bem compreendidos. Trata-se de um tipo particular de mecanismo pelo qual o indivíduo responde a situações alternativas, alternando conseqüentemente o comportamento, um mecanismo de adaptação a um meio em mudança. É o mais elaborado e engenhoso de todos esses mecanismos e, onde quer que surja, rapidamente assume um papel dominante. Contudo, não é *sui generis* (único no seu género). Grandes grupos de organismos, em particular as plantas, alcançam desempenhos muito semelhantes de uma forma inteiramente diferente.

Estamos preparados para acreditar que esta viragem tão especial no desenvolvimento dos animais superiores — uma viragem que, afinal, poderia nunca ter ocorrido — foi condição necessária para que o mundo se iluminasse a si próprio na luz da consciência? De

outro modo, teria permanecido como um espetáculo diante de bancadas vazias, não existindo para ninguém e, portanto, em rigor, não existindo? Isto parecer-me-ia a falência de uma concepção do mundo. O impulso de procurar uma saída para este impasse não deveria ser abafado pelo receio de incorrer no escárnio dos sábios racionalistas.

Segundo Spinoza, cada coisa ou ser particular é uma modificação da substância infinita, isto é, de Deus. Expressa-se por cada um dos seus atributos, em particular pelo da extensão e pelo do pensamento. O primeiro é a sua existência corpórea no espaço e no tempo, o segundo é — no caso de um homem ou animal vivo — a sua mente. Mas, para Spinoza, qualquer coisa corpórea inanimada é, ao mesmo tempo, também “um pensamento de Deus”, ou seja, existe igualmente no segundo atributo. Deparamo-nos aqui com a ousada ideia de animação universal, embora não pela primeira vez, nem sequer na filosofia ocidental. Dois mil anos antes, os filósofos jônicos adquiriram por isso o cognome de hilozoístas. Após Spinoza, o génio de Gustav Theodor Fechner não hesitou em atribuir uma alma a uma planta, à Terra como corpo celeste, ao sistema planetário, etc. Eu não acompanho essas fantasias, mas não gostaria de ter de julgar quem chegou mais perto da verdade profunda: Fechner ou os falidos do racionalismo.

2. Uma Resposta Tentativa

Veja que todas as tentativas de alargar o domínio da consciência, perguntando a nós próprios se algo desse género poderia ser razoavelmente associado a outros processos que não os nervosos,

têm inevitavelmente de cair em especulações não provadas e impossíveis de provar. Mas pisamos terreno mais firme quando começamos na direção oposta. Nem todo o processo nervoso — muito menos todo o processo cerebral — é acompanhado pela consciência. Muitos não o são, embora do ponto de vista fisiológico e biológico se assemelhem bastante aos “conscientes”, tanto pelo facto de frequentemente consistirem em impulsos aferentes seguidos por impulsos eferentes, como pelo seu significado biológico de regularem e temporizarem reações, ora no interior do sistema, ora em relação a um meio em mudança. Em primeiro lugar, encontramos aqui as ações reflexas nos gânglios vertebrais e na parte do sistema nervoso que eles controlam. Mas também (e isto será o nosso objeto de estudo especial) muitos processos reflexos existem que passam pelo cérebro e, no entanto, não caem de modo nenhum na consciência ou já quase deixaram de o fazer. Pois, neste último caso, a distinção não é nítida; ocorrem graus intermédios entre o plenamente consciente e o completamente inconsciente. Examinando vários representantes de processos fisiologicamente muito semelhantes, todos a atuar no interior do nosso corpo, não deverá ser demasiado difícil descobrir, pela observação e pelo raciocínio, as características distintivas que procuramos.

A meu ver, a chave encontra-se nos seguintes factos bem conhecidos. Qualquer sucessão de eventos em que participemos com sensações, perceções e possivelmente ações cai gradualmente fora do domínio da consciência quando a mesma sequência de eventos se repete da mesma forma com muita frequência. Mas é imediatamente projetada para a região consciente se, numa

repetição, ou a ocasião ou as condições ambientais encontradas diferirem daquilo que eram em todas as ocorrências anteriores. Mesmo assim, pelo menos de início, apenas essas modificações ou “diferenciais” irrompem no campo da consciência — os que distinguem a nova ocorrência das anteriores e que, portanto, exigem geralmente “novas considerações”. Cada um de nós pode fornecer dezenas de exemplos retirados da experiência pessoal, de modo que posso abster-me de os enumerar agora.

O esbatimento gradual da consciência é de importância extrema para toda a estrutura da nossa vida mental, que se baseia inteiramente no processo de adquirir prática pela repetição — processo que Richard Semon generalizou no conceito de Mneme, sobre o qual falaremos mais adiante. Uma experiência isolada, que nunca se repetirá, é biologicamente irrelevante. O valor biológico reside apenas em aprender a reação adequada a uma situação que se apresenta repetidamente, em muitos casos periodicamente, e que requer sempre a mesma resposta para que o organismo mantenha a sua posição. Ora, pela nossa experiência interior, sabemos o seguinte: nas primeiras repetições surge na mente um novo elemento — o “já encontrado” ou *notal*, como Richard Avenarius lhe chamou. Com repetições frequentes, toda a sequência de eventos transforma-se cada vez mais em rotina, torna-se cada vez menos interessante, e as respostas tornam-se cada vez mais fiáveis, à medida que se desvanecem da consciência. O rapaz recita o seu poema, a rapariga toca a sua sonata ao piano “quase a dormir”. Seguimos o caminho habitual até à oficina, atravessamos a rua nos lugares de costume, entramos nas travessas, etc., enquanto os nossos pensamentos estão ocupados

com coisas inteiramente diferentes. Sempre que a situação apresenta um diferencial relevante — digamos que a rua está em obras no lugar onde costumávamos atravessar, e temos de fazer um desvio — esse diferencial e a nossa resposta a ele entram na consciência; contudo, rapidamente se esbatem novamente abaixo do limiar, se esse diferencial se tornar numa característica constantemente repetida. Diante de alternativas variáveis, desenvolvem-se bifurcações que podem fixar-se da mesma forma. Assim, desviamo-nos para as Salas de Aula da Universidade ou para o Laboratório de Física no ponto certo, sem grande esforço mental, desde que ambos sejam destinos frequentes.

Deste modo, diferenciais, variantes de resposta, bifurcações, etc., acumulam-se em abundância inabarcável, mas apenas os mais recentes permanecem no domínio da consciência — apenas aqueles em relação aos quais a substância viva ainda se encontra na fase de aprendizagem ou de treino. Poder-se-ia dizer, metaforicamente, que a consciência é o tutor que supervisiona a educação da substância viva, mas deixa o seu aluno entregue a si próprio em todas as tarefas para as quais já se encontra suficientemente treinado. Mas quero sublinhar três vezes a vermelho que digo isto apenas como metáfora. O facto é apenas este: situações novas e as novas respostas que suscitam permanecem na luz da consciência; as antigas e bem treinadas já não.

Centenas e centenas de manipulações e desempenhos da vida quotidiana tiveram de ser aprendidos em tempos, e com grande atenção e esforço. Tomemos, por exemplo, as primeiras tentativas de uma criança em aprender a andar. Estão eminentemente no foco

da consciência; os primeiros êxitos são acolhidos pela própria criança com gritos de alegria. Quando o adulto aperta os atacadores dos sapatos, acende a luz, despe as roupas à noite, come com faca e garfo... essas ações, que outrora tiveram de ser aprendidas com esforço, em nada o perturbam nos pensamentos em que pode estar imerso nesse momento. Isto pode ocasionalmente dar origem a lapsos cómicos. Conta-se a história de um famoso matemático cuja esposa o encontrou deitado na cama, com as luzes apagadas, pouco depois de uma festa começar em sua casa. O que tinha acontecido? Ele fora ao quarto mudar a gola da camisa. Mas a simples ação de retirar a gola antiga desencadeou nele, profundamente absorvido em pensamentos, toda a cadeia de ações que habitualmente se lhe seguia.

Ora, este estado de coisas, tão bem conhecido na *ontogenia* da nossa vida mental, parece-me lançar luz sobre a *filogenia dos processos nervosos inconscientes*, como o batimento cardíaco, o peristaltismo intestinal, etc. Diante de situações praticamente constantes ou regularmente variáveis, eles estão tão bem e fiavelmente treinados que há muito tempo caíram fora da esfera da consciência. Também aqui encontramos graus intermédios: por exemplo, a respiração, que geralmente decorre sem atenção, mas que pode tornar-se modificada e consciente devido a diferenciais na situação, como ar enfumado ou um ataque de asma. Outro exemplo é o desatar em lágrimas por tristeza, alegria ou dor física — evento que, embora consciente, dificilmente pode ser controlado pela vontade. Também ocorrem lapsos cómicos de natureza mnemónica herdada, como o eriçar dos cabelos por terror, ou a cessação da secreção de saliva em grande excitação — respostas que em

tempos tiveram significado, mas que se perderam no caso do homem.

Duvido que todos concordem de imediato com o passo seguinte, que consiste em estender estas noções a processos que não sejam nervosos. Por agora, apenas insinuarei brevemente a ideia, embora, para mim, seja a mais importante de todas. Pois é precisamente esta generalização que lança luz sobre o problema com que começámos: que eventos materiais estão associados ou acompanhados pela consciência e quais não? A resposta que proponho é a seguinte: aquilo que dissemos e demonstrámos ser uma propriedade dos processos nervosos é, na realidade, uma propriedade dos processos orgânicos em geral, a saber: estarem associados à consciência na medida em que são novos.

Na noção e terminologia de Richard Semon, a ontogenia não só do cérebro como de todo o soma individual é a “bem memorizada” repetição de uma cadeia de eventos que já tiveram lugar de forma semelhante milhares de vezes antes. As suas primeiras fases, como sabemos pela nossa própria experiência, são inconscientes — primeiro no útero materno; mas mesmo as semanas e meses seguintes de vida decorrem em grande parte no sono. Durante esse tempo o recém-nascido leva a cabo uma evolução de longa duração e hábito, na qual se depara com condições que, de caso para caso, variam muito pouco. O desenvolvimento orgânico subsequente começa a ser acompanhado pela consciência apenas na medida em que há órgãos que gradualmente entram em interação com o meio, adaptam as suas funções às mudanças na situação, são influenciados, adquirem prática, são de modos especiais

modificados pelas circunstâncias. Nós, vertebrados superiores, possuímos tal órgão sobretudo no nosso sistema nervoso. Portanto, a consciência associa-se às suas funções que se adaptam, por aquilo a que chamamos experiência, a um meio em mudança. O sistema nervoso é o lugar onde a nossa espécie ainda se encontra em transformação filogenética; metaforicamente falando, é o “cimo vegetativo” (*Vegetationsspitze*) do nosso tronco. Resumiria, assim, a minha hipótese geral: a consciência está associada à aprendizagem da substância viva; o seu saber fazer (*Können*) é inconsciente.

3. Ética

Mesmo sem esta última generalização, que para mim é muito importante, mas que a outros pode ainda parecer bastante duvidosa, a teoria da consciência que esbocei parece abrir caminho para uma compreensão científica da ética.

Em todas as épocas e entre todos os povos, o fundamento de qualquer código ético (*Tugendlehre*) digno de ser levado a sério foi, e continua a ser, a autonegação (*Selbstüberwindung*). O ensinamento da ética assume sempre a forma de uma exigência, de um desafio, de um “tu deves”, que de algum modo se opõe à nossa vontade primitiva. Onde vem este contraste peculiar entre o “eu quero” e o “tu deves”? Não será absurdo que me seja pedido que sufoque os meus apetites primitivos, renegue o meu verdadeiro eu, seja diferente do que realmente sou? Com efeito, nos nossos dias — talvez mais até do que noutros tempos — ouvimos muitas vezes esta exigência ser alvo de troça: “Eu sou como sou, deem

espaço à minha individualidade! Livre desenvolvimento aos desejos que a natureza plantou em mim! Todos os deveres que se opõem a isto são disparates, fraude de padres. Deus é a Natureza, e à Natureza pode-se creditar ter-me formado como quis que eu fosse.” Estas palavras de ordem ouvem-se por vezes. E não é fácil refutar a sua óbvia e brutal simplicidade. O imperativo de Kant é assumidamente irracional.

Mas, felizmente, o fundamento científico destas palavras de ordem está carcomido. A nossa visão do “vir-a-ser” (*das Werden*) dos organismos torna fácil compreender que a nossa vida consciente — não digo que deva ser, mas que de facto é necessariamente — uma luta contínua contra o nosso ego primitivo. Pois o nosso eu natural, a nossa vontade primitiva com os seus desejos inatos, é manifestamente o correlato mental do legado material recebido dos nossos antepassados. Ora, enquanto espécie estamos em desenvolvimento, e marchamos na primeira linha das gerações; assim, cada dia da vida de um homem representa um pequeno fragmento da evolução da nossa espécie, que continua em pleno curso. É verdade que um único dia da vida de alguém, ou até mesmo uma vida inteira, não passa de um leve golpe do cinzel na estátua sempre inacabada. Mas toda a imensa evolução que atravessámos no passado também foi produzida por miríades desses pequenos golpes de cinzel. O material para esta transformação, a condição para que ela ocorra, são naturalmente as mutações espontâneas hereditárias. Contudo, para a seleção entre elas, o comportamento do portador da mutação, os seus hábitos de vida, têm uma importância extraordinária e uma influência decisiva. De outro modo, a origem das espécies, as

tendências aparentemente orientadas ao longo das quais a seleção decorre, não poderiam ser compreendidas nem mesmo nos longos intervalos de tempo que, afinal, são limitados e cujos limites conhecemos bem.

E assim, a cada passo, em cada dia da nossa vida, algo da forma que possuíamos até então tem de mudar, de ser superado, de ser apagado e substituído por algo novo. A resistência da nossa vontade primitiva é o correlato psíquico da resistência da forma existente ao cinzel transformador. Pois nós próprios somos cinzel e estátua, conquistadores e conquistados ao mesmo tempo — é uma verdadeira e contínua “autossuperação” (*Selbstüberwindung*).

Mas não será absurdo sugerir que este processo de evolução devesse cair de forma direta e significativa na consciência, considerando a sua lentidão desmesurada não só em comparação com o curto espaço de uma vida individual, mas até com épocas históricas? Não correrá simplesmente sem ser notado?

Não. À luz das nossas considerações anteriores, não é assim. Elas culminaram em considerar a consciência como associada a acontecimentos fisiológicos que ainda estão a ser transformados pela interação mútua com um meio em mudança. Além disso, concluímos que apenas essas modificações se tornam conscientes quando ainda estão na fase de treino, até que, muito mais tarde, se tornem numa posse hereditária, bem treinada e inconsciente da espécie. Em suma: a consciência é um fenómeno na zona da evolução. Este mundo ilumina-se a si mesmo apenas onde, ou apenas na medida em que, se desenvolve e cria novas formas.

Lugares de estagnação escapam à consciência; podem apenas aparecer na sua interação com os lugares de evolução.

Se isto for aceite, segue-se que a consciência e a discórdia consigo próprio estão inseparavelmente ligadas, chegando mesmo a ser, por assim dizer, proporcionais uma à outra. Isto soa a paradoxo, mas os mais sábios de todos os tempos e povos testemunharam confirmá-lo. Homens e mulheres para quem este mundo brilhou com uma luz invulgar de consciência, e que pela vida e pela palavra moldaram e transformaram mais do que outros essa obra de arte que chamamos humanidade, testemunham pelo discurso, pela escrita ou até pela própria vida que mais do que outros foram rasgados pelas dores da discórdia interior. Que isto seja um consolo para quem também sofre dela. Sem ela nunca nasceu nada duradouro.

Não me interpretem mal. Sou cientista, não pregador da moral. Não pensem que pretendo propor a ideia de que a nossa espécie se desenvolve para um objetivo mais elevado como um motivo eficaz para propagar o código moral. Isso não pode ser, já que é um objetivo desinteressado, um motivo altruísta, e que, para ser aceite, já pressupõe virtude. Sinto-me tão incapaz como qualquer outro de explicar o “dever” do imperativo de Kant. A lei ética, na sua forma geral mais simples (“sê altruísta!”), é claramente um facto: está aí, é aceite mesmo pela vasta maioria dos que raramente a cumprem. Considero a sua existência enigmática como um indício de que nos encontramos no início de uma transformação biológica de uma atitude geral egoísta para uma altruísta, de que o homem está prestes a tornar-se um animal social. Para um animal solitário, o

egoísmo é uma virtude que tende a preservar e melhorar a espécie; em qualquer tipo de comunidade torna-se um vício destrutivo. Um animal que se lance a formar estados sem restringir fortemente o egoísmo perecerá. Formadores de estados filogeneticamente muito mais antigos, como as abelhas, as formigas e as térmitas, abandonaram por completo o egoísmo. No entanto, o seu estágio seguinte — o egoísmo nacional, ou, em resumo, o nacionalismo — continua em pleno vigor entre eles. Uma abelha operária que se engane e entre numa colmeia errada é assassinada sem hesitação.

Agora, no homem, algo parece estar em curso que não é raro: acima da primeira modificação, traços claros de uma segunda na mesma direção tornam-se visíveis muito antes de a primeira estar sequer quase alcançada. Embora continuemos a ser bastante vigorosos egoístas, muitos de nós começam a ver que o nacionalismo também é um vício que deve ser abandonado. Aqui, talvez, algo muito estranho possa surgir. O segundo passo — a pacificação da luta entre povos — pode ser facilitado pelo facto de o primeiro passo estar longe de ser alcançado, de modo que os motivos egoístas continuam a ter um apelo vigoroso. Cada um de nós está ameaçado pelas terríveis novas armas de agressão e é, assim, levado a desejar a paz entre as nações. Se fôssemos abelhas, formigas ou guerreiros lacedemónios, para quem o medo pessoal não existe e a cobardia é a coisa mais vergonhosa do mundo, a guerra prosseguiria para sempre. Mas, felizmente, somos apenas homens — e cobardes.

As considerações e conclusões deste capítulo são, para mim, de muito antiga data; remontam a mais de trinta anos. Nunca as perdi

de vista, mas temi seriamente que tivessem de ser rejeitadas com base na ideia de que parecem assentar na “herança dos caracteres adquiridos”, noutras palavras, no lamarckismo. Isto não estamos inclinados a aceitar. Contudo, mesmo rejeitando a herança dos caracteres adquiridos, isto é, aceitando a Teoria da Evolução de Darwin, verificamos que o comportamento dos indivíduos de uma espécie exerce uma influência muito significativa na orientação da evolução e, assim, simula uma espécie de pseudolamarckismo. Isto é explicado — e consolidado pela autoridade de Julian Huxley — no capítulo seguinte, que, no entanto, foi escrito com um problema ligeiramente diferente em vista, e não apenas para dar apoio às ideias aqui apresentadas.

CAPÍTULO 2

O Futuro da Compreensão¹

1. Um Impasse Biológico?

Podemos, creio eu, considerar extremamente improvável que a nossa compreensão do mundo represente qualquer estágio definido ou final, um máximo ou um ótimo em qualquer sentido. Com isto não quero dizer apenas que a continuação da nossa investigação nas várias ciências, dos nossos estudos filosóficos e do nosso esforço religioso provavelmente virá a ampliar e a aperfeiçoar a nossa visão atual. O que é provável que venhamos a ganhar deste modo nos próximos, digamos, dois mil e quinhentos anos — estimando a partir do que ganhámos desde Protágoras, Demócrito e Antístenes — é insignificante em comparação com aquilo a que aqui aludo. Não há qualquer razão para acreditar que o nosso cérebro seja o supremo *ne plus ultra* (isto é, o auge ou limite máximo de perfeição) de um órgão do pensamento no qual o mundo se reflete. É mais provável do que o contrário que uma espécie pudesse vir a possuir um mecanismo semelhante, cuja imagética correspondente se comparasse à nossa como a nossa se compara à do cão, ou a deste, por sua vez, à do caracol.

Se assim for, então — embora não seja relevante em princípio — interessa-nos, por assim dizer, por razões pessoais, saber se algo

dessa natureza poderia ser alcançado no nosso globo pela nossa própria descendência ou pela descendência de alguns de nós. O globo está bem. É um belo arrendamento jovem, ainda com tempo de uso em condições aceitáveis de vida durante aproximadamente o mesmo período que nos levou (digamos, mil milhões de anos) a desenvolver-nos desde os primórdios até ao que somos agora. Mas estaremos nós próprios bem? Se aceitarmos a teoria atual da evolução — e não temos melhor — poderá parecer que fomos quase cortados do futuro desenvolvimento. Ainda se poderá esperar uma evolução física no homem, quero dizer, alterações relevantes na nossa constituição física que se tornem gradualmente fixas como características hereditárias, tal como o nosso corpo atual está fixado pela herança — alterações genotípicas, para usar o termo técnico do biólogo? Esta questão é difícil de responder. Podemos estar a aproximar-nos do fim de um beco sem saída, ou até tê-lo já alcançado. Isto não seria um acontecimento excecional e não significaria que a nossa espécie teria de se extinguir muito em breve. A partir dos registos geológicos sabemos que algumas espécies, ou mesmo grandes grupos, parecem ter atingido o limite das suas possibilidades evolutivas há muito tempo e, contudo, não desapareceram, permanecendo inalterados, ou sem mudança significativa, durante muitos milhões de anos. As tartarugas, por exemplo, e os crocodilos são, nesse sentido, grupos muito antigos, relíquias de um passado remotíssimo; também nos dizem que todo o vasto grupo dos insetos está mais ou menos na mesma situação — e eles compreendem um número maior de espécies distintas do que todo o resto do reino animal junto. Mas os insetos mudaram muito pouco em milhões de anos, enquanto o resto da superfície viva da Terra, durante esse tempo, sofreu transformações para

além do reconhecível. O que provavelmente bloqueou a evolução ulterior dos insetos foi isto — que eles adotaram o plano (não interpretarás mal esta expressão figurada) — que adotaram o plano de usar o esqueleto por fora em vez de por dentro, como nós fazemos. Tal armadura externa, embora proporcione proteção além de estabilidade mecânica, não pode crescer como crescem os ossos de um mamífero entre o nascimento e a maturidade. Esta circunstância torna inevitavelmente muito difíceis as mudanças adaptativas graduais na história vital do indivíduo.

No caso do homem, vários argumentos parecem opor-se a uma evolução ulterior. As mudanças espontâneas e hereditárias — hoje chamadas mutações — das quais, segundo a teoria de Darwin, as “vantajosas” são automaticamente selecionadas, constituem, em geral, apenas pequenos passos evolutivos, proporcionando, quando muito, uma ligeira vantagem. É por isso que, nas deduções de Darwin, se atribui um papel importante à habitual e enorme abundância de descendência, da qual apenas uma fração muito pequena pode possivelmente sobreviver. Só assim uma pequena melhoria na probabilidade de sobrevivência parece ter uma possibilidade razoável de se concretizar. Todo este mecanismo parece estar bloqueado no homem civilizado — em certos aspetos, até invertido. De um modo geral, não estamos dispostos a ver os nossos semelhantes sofrer e perecer; por isso, introduzimos gradualmente instituições legais e sociais que, por um lado, protegem a vida, condenam o infanticídio sistemático, procuram ajudar cada ser humano doente ou frágil a sobreviver, e, por outro lado, têm de substituir a eliminação natural dos menos aptos, mantendo a descendência dentro dos limites dos meios de

subsistência disponíveis. Isto é alcançado parcialmente de forma direta, através do controlo de natalidade, e parcialmente ao impedir uma proporção considerável de fêmeas de se acasalarem. Ocasionalmente — como esta geração sabe bem de mais — a loucura da guerra e todos os desastres e erros que a seguem contribuem com a sua parte para o equilíbrio. Milhões de adultos e crianças de ambos os sexos são mortos pela fome, pela exposição às intempéries, por epidemias. Enquanto, num passado remoto, se supõe que a guerra entre pequenas tribos ou clãs tivesse um valor positivo de seleção, é duvidoso que alguma vez o tenha tido em tempos históricos — e é indubitável que a guerra atualmente não tem nenhum. Significa um assassinato indiscriminado, tal como os avanços da medicina e da cirurgia resultam numa salvação indiscriminada de vidas. Embora justamente opostos na nossa estima, tanto a guerra como a arte médica parecem não ter qualquer valor seletivo.

2. A Sombra Aparente do Darwinismo

Estas considerações sugerem que, enquanto espécie em desenvolvimento, chegámos a um ponto de estagnação e temos poucas perspetivas de progresso biológico ulterior. Mesmo que assim fosse, isso não teria de nos preocupar. Poderíamos sobreviver, sem qualquer mudança biológica, durante milhões de anos — como os crocodilos e muitos insetos. Ainda assim, de um certo ponto de vista filosófico, essa ideia é deprimente, e eu gostaria de tentar defender o contrário. Para o fazer, devo abordar um certo aspeto da teoria da evolução que encontro sustentado no conhecido livro do Professor Julian Huxley, *Evolution*², um aspeto

que, segundo ele, nem sempre é devidamente apreciado pelos evolucionistas modernos.

As exposições populares da teoria de Darwin tendem a conduzir-nos a uma visão sombria e desencorajadora, devido à aparente passividade do organismo no processo de evolução. As mutações ocorrem espontaneamente no genoma — a “substância hereditária”. Temos razões para acreditar que se devem principalmente ao que o físico chama uma flutuação termodinâmica, ou, por outras palavras, ao puro acaso. O indivíduo não tem a mínima influência sobre o património hereditário que recebe dos pais, nem sobre aquele que transmite à sua descendência. As mutações que ocorrem são sujeitas à “seleção natural dos mais aptos”. Isto, por sua vez, parece significar puro acaso, já que quer dizer que uma mutação favorável aumenta as probabilidades de sobrevivência do indivíduo e de gerar descendência, à qual transmite a mutação em questão. Fora isto, a sua atividade durante a vida parece biologicamente irrelevante, pois nada dela influencia a descendência: as propriedades adquiridas não são herdadas. Qualquer habilidade ou treino alcançado perde-se — não deixa vestígio, morre com o indivíduo, não é transmitido. Um ser inteligente nesta situação concluiria que a Natureza, por assim dizer, recusa a sua colaboração — ela faz tudo por si mesma, condenando o indivíduo à inatividade, ou melhor, ao niilismo.

Como sabe, a teoria de Darwin não foi a primeira teoria sistemática da evolução. Foi precedida pela teoria de Lamarck, que assenta inteiramente na suposição de que quaisquer novas características adquiridas por um indivíduo devido ao seu ambiente

específico ou ao seu comportamento durante a vida, antes da reprodução, podem ser — e geralmente são — transmitidas à sua descendência, se não na totalidade, pelo menos em parte. Assim, se um animal, por viver em solo rochoso ou arenoso, desenvolvesse calos protetores nas plantas dos pés, essa calosidade tornar-se-ia gradualmente hereditária, de modo que as gerações seguintes a receberiam como um dom gratuito, sem o esforço de a adquirir. Do mesmo modo, a força, a destreza ou até a adaptação estrutural desenvolvida em qualquer órgão pelo seu uso contínuo para certos fins não se perderia, mas seria transmitida, pelo menos em parte, à descendência. Esta visão não só oferece uma explicação simples para a surpreendente e específica adaptação ao meio ambiente, tão característica de todos os seres vivos, como é também bela, inspiradora, encorajadora e revigorante. É infinitamente mais atraente do que o aspeto sombrio e passivo aparentemente proposto pelo darwinismo. Um ser inteligente que se considere um elo na longa cadeia da evolução pode, segundo a teoria de Lamarck, ter confiança de que os seus esforços e empenho em aperfeiçoar as suas capacidades, tanto físicas como mentais, não se perdem no sentido biológico, mas formam uma pequena, embora integrante, contribuição para o esforço da espécie rumo a uma perfeição cada vez mais elevada.

Infelizmente, o lamarckismo é insustentável. A suposição fundamental em que assenta — a de que as propriedades adquiridas podem ser herdadas — é falsa. Segundo o melhor do nosso conhecimento, não podem. Os passos individuais da evolução são mutações espontâneas e fortuitas, que nada têm a ver com o comportamento do indivíduo durante a sua vida. E assim,

parecemos estar de novo confinados ao aspeto sombrio do darwinismo que descrevi acima.

3. O Comportamento Influencia a Seleção

Desejo agora mostrar-lhe que não é bem assim. Sem alterar nada nas suposições básicas do darwinismo, podemos ver que o comportamento do indivíduo, isto é, a forma como faz uso das suas faculdades inatas, desempenha um papel relevante — aliás, o papel mais relevante — na evolução. Há um núcleo de verdade na visão de Lamarck: existe uma ligação causal incontornável entre o funcionamento — o uso efetivo e proveitoso — de uma característica (um órgão, qualquer propriedade, aptidão ou traço físico) e o seu desenvolvimento ao longo das gerações, sendo gradualmente aperfeiçoada para os fins a que serve. Essa ligação entre uso e aperfeiçoamento foi uma perceção muito correta de Lamarck, e mantém-se na perspetiva darwinista atual, embora seja facilmente esquecida por quem observa o darwinismo de forma superficial. O desenrolar dos acontecimentos é quase o mesmo que se o lamarckismo fosse verdadeiro — apenas o mecanismo pelo qual as coisas acontecem é mais complexo do que Lamarck supôs. O ponto não é fácil de explicar nem de compreender, por isso pode ser útil resumir o resultado de antemão. Para evitar vaguezas, pensemos num órgão — embora a característica em questão pudesse ser qualquer propriedade, hábito, comportamento ou mesmo uma pequena modificação de tais elementos. Lamarck pensava que o órgão (a) é usado, (b) é assim aperfeiçoado, e (c) o aperfeiçoamento é transmitido à descendência. Isto está errado. Devemos antes conceber que o órgão (a) sofre variações ao acaso,

(b) as variações vantajosas são acumuladas ou, pelo menos, realçadas pela seleção, e (c) este processo continua de geração em geração, as mutações selecionadas constituindo um aperfeiçoamento duradouro. A mais impressionante simulação do lamarckismo ocorre — segundo Julian Huxley — quando as variações iniciais que iniciam o processo não são verdadeiras mutações, isto é, ainda não são hereditárias. Contudo, se forem vantajosas, podem ser acentuadas pelo que ele chama “seleção orgânica”, e, por assim dizer, preparam o terreno para que as verdadeiras mutações — quando ocorrem na direção “desejável” — sejam imediatamente aproveitadas.

Passemos agora a alguns detalhes. O ponto mais importante é compreender que uma nova característica ou modificação de uma característica, adquirida por variação, por mutação ou por mutação combinada com alguma seleção, pode facilmente induzir o organismo a uma atividade em relação ao seu meio que aumenta a utilidade dessa característica e, portanto, reforça a pressão da seleção sobre ela. Ao possuir a nova ou modificada característica, o indivíduo pode ser levado a alterar o seu ambiente — quer transformando-o ativamente, quer migrando —, ou pode mudar o seu comportamento em relação a esse ambiente, tudo isto de modo a reforçar fortemente a utilidade do novo traço e, assim, acelerar o seu aperfeiçoamento seletivo na mesma direção.

Esta afirmação pode parecer ousada, já que parece exigir propósito por parte do indivíduo, e até um elevado grau de inteligência. Mas quero salientar que a minha declaração, embora

inclua, claro, o comportamento inteligente e deliberado dos animais superiores, não se limita a eles. Vejamos alguns exemplos:

Nem todos os indivíduos de uma população têm exatamente o mesmo ambiente. Algumas flores de uma espécie selvagem crescem à sombra, outras em locais ensolarados, algumas nas partes altas de uma encosta de montanha elevada, outras nas zonas baixas ou no vale. Uma mutação — digamos, folhagem cabeluda — que seja benéfica em altitudes elevadas, será favorecida pela seleção nas regiões altas, mas “perder-se-á” no vale. O efeito é o mesmo que se os mutantes cabeludos tivessem migrado para um ambiente que favoreça novas mutações na mesma direção.

Outro exemplo: a sua capacidade de voar permite que as aves construam os ninhos no alto das árvores, onde os filhotes são menos acessíveis a alguns predadores. Inicialmente, aqueles que adotaram este comportamento tiveram uma vantagem seletiva. O segundo passo é que este tipo de abrigo seleciona os filhotes mais proficientes no voo. Assim, uma certa capacidade de voar provoca uma mudança no ambiente, ou no comportamento em relação ao ambiente, que favorece a acumulação da mesma capacidade.

O traço mais notável entre os seres vivos é que estão divididos em espécies que, muitas delas, são incrivelmente especializadas em desempenhos muito particulares e frequentemente complexos, dos quais dependem especialmente para sobreviver. Um jardim zoológico é quase uma mostra de curiosidades, e seria ainda mais, se incluísse uma perspectiva sobre a história de vida dos insetos. A

não especialização é a exceção. A regra é a especialização em truques estudados e peculiares que “ninguém pensaria se a Natureza não os tivesse feito”. É difícil acreditar que tudo isto tenha resultado apenas da “acumulação por acaso” darwiniana. Quer se queira, quer não, fica-se com a impressão de forças ou tendências a afastarem-se do “simples e evidente” em certas direções, rumo ao complicado. O “simples e evidente” parece representar um estado instável. Um afastamento deste estado provoca forças — aparentemente — que promovem um novo afastamento na mesma direção. Seria difícil compreender isto se o desenvolvimento de um dispositivo, mecanismo, órgão ou comportamento útil fosse produzido por uma longa sequência de eventos aleatórios, independentes uns dos outros, como se pensa na concepção original de Darwin. Na realidade, acredito que apenas o primeiro pequeno início “em certa direção” possui esta estrutura. Ele cria circunstâncias que “modelam o material plástico” — pela seleção — de forma cada vez mais sistemática na direção da vantagem inicial. Em termos metafóricos, poderia dizer-se: a espécie descobriu em que direção reside a sua sorte na vida e segue esse caminho.

4. Lamarckismo Simulado

Devemos tentar compreender, de forma geral, e formular sem recorrer a animismo, como é que uma mutação ao acaso, que confere ao indivíduo certa vantagem e favorece a sua sobrevivência num dado ambiente, tende a fazer mais do que isso, ou seja, aumentar as oportunidades de ser usada de forma proveitosa, concentrando sobre si, por assim dizer, a influência seletiva do ambiente.

Para revelar este mecanismo, consideremos o ambiente esquematicamente, como um conjunto de circunstâncias favoráveis e desfavoráveis. Entre as primeiras estão alimento, água, abrigo, luz solar, entre muitas outras; entre as segundas estão os perigos de outros seres vivos (inimigos), venenos e a rudeza dos elementos. Para simplificar, chamaremos ao primeiro tipo de “necessidades” e ao segundo de “inimigos”. Nem toda a necessidade pode ser satisfeita, nem todo o inimigo evitado. Mas uma espécie viva deve ter adquirido um comportamento que permita um compromisso, evitando os inimigos mais letais e satisfazendo as necessidades mais urgentes a partir das fontes mais acessíveis, de modo a sobreviver. Uma mutação favorável torna certas fontes mais facilmente acessíveis, ou reduz o perigo de certos inimigos, ou ambos. Isto aumenta a probabilidade de sobrevivência dos indivíduos dotados dessa mutação, mas, além disso, altera o compromisso mais favorável, porque muda o peso relativo das necessidades ou inimigos sobre os quais a mutação atua. Indivíduos que — por acaso ou inteligência — modificam o seu comportamento de acordo serão mais favorecidos e, portanto, selecionados. Esta mudança de comportamento não é transmitida à geração seguinte pelo genoma, ou seja, não por herança direta, mas isso não significa que não seja transmitida. O exemplo mais simples e primitivo é dado por espécies de flores (com habitat ao longo de uma encosta extensa) que desenvolvem um mutante cabeludo. Os mutantes cabeludos, favorecidos principalmente nas partes altas, dispersam as suas sementes nessas áreas, de modo que a próxima geração de “cabeludos”, tomada no seu conjunto, “subiu a encosta”, por assim dizer, para melhor aproveitar a mutação favorável.

Em tudo isto, deve ter-se em mente que, geralmente, a situação é extremamente dinâmica, e a luta é muito intensa. Numa população relativamente prolífica que, naquele momento, sobrevive sem aumentar apreciavelmente, os inimigos superam geralmente as necessidades — a sobrevivência individual é a exceção. Além disso, inimigos e necessidades estão frequentemente associados, de modo que uma necessidade urgente só pode ser satisfeita enfrentando certo inimigo (por exemplo, a antílope precisa ir ao rio para beber, mas o leão conhece bem o local). O padrão total de inimigos e necessidades é intrincadamente entrelaçado. Assim, uma ligeira redução de certo perigo por uma mutação pode fazer uma diferença considerável para aqueles mutantes que enfrentam esse perigo e evitam outros. Isto pode resultar numa seleção perceptível, não só da característica genética em questão, mas também da habilidade (intencional ou acidental) em usá-la. Esse tipo de comportamento é transmitido à descendência por exemplo, por aprendizagem, num sentido generalizado da palavra. A mudança de comportamento, por sua vez, reforça o valor seletivo de qualquer nova mutação na mesma direção.

O efeito de tal manifestação pode ter grande semelhança com o mecanismo imaginado por Lamarck. Embora nem um comportamento adquirido nem quaisquer alterações físicas que ele implique sejam transmitidos diretamente à descendência, o comportamento desempenha, ainda assim, um papel importante no processo. Mas a ligação causal não é como Lamarck pensava, antes pelo contrário. Não é o comportamento que muda a constituição física dos progenitores e, por herança física, a dos descendentes. É a alteração física nos progenitores que modifica — direta ou

indiretamente, por seleção — o seu comportamento; e essa mudança de comportamento é transmitida à descendência, por exemplo, por imitação, ensino ou, de forma mais primitiva, por outros meios, juntamente com a alteração física carregada pelo genoma. Mais ainda, mesmo que a alteração física ainda não seja herdável, a transmissão do comportamento induzido “por ensino” pode ser um fator evolutivo altamente eficiente, porque abre a porta para futuras mutações herdáveis, preparando o organismo para tirar delas o melhor proveito e submetê-las a uma seleção intensa.

5. Fixação Genética de Hábitos e Habilidades

Alguém poderia objetar que o que aqui descrevemos pode ocorrer ocasionalmente, mas não poderia continuar indefinidamente a formar o mecanismo essencial da evolução adaptativa. Pois a própria mudança de comportamento não é transmitida por herança física, pelo material hereditário, pelos cromossomas. No início, portanto, certamente não está fixada geneticamente, e é difícil ver como poderia vir a ser incorporada no “tesouro hereditário”. Este é um problema importante por si só. Sabemos, de facto, que hábitos são herdados, como, por exemplo, os hábitos de construção de ninhos nas aves, os diversos hábitos de limpeza que observamos em cães e gatos, entre outros exemplos evidentes. Se isto não pudesse ser compreendido pelas linhas darwinianas ortodoxas, o darwinismo teria de ser abandonado. A questão torna-se particularmente significativa na sua aplicação ao homem, uma vez que queremos inferir que o esforço e trabalho de um indivíduo durante a sua vida constituem uma contribuição

integradora para o desenvolvimento da espécie, no sentido biológico correto. A situação, resumidamente, é a seguinte:

Segundo as nossas suposições, as mudanças de comportamento acompanham as mudanças físicas, primeiro como consequência de uma alteração ao acaso na constituição física, mas muito rapidamente dirigindo o mecanismo de seleção para canais definidos, porque, à medida que o comportamento se aproveita dos primeiros benefícios rudimentares, apenas novas mutações na mesma direção têm algum valor seletivo. Mas, à medida que (digamos) o novo órgão se desenvolve, o comportamento torna-se cada vez mais ligado à mera posse desse órgão. Comportamento e constituição física fundem-se numa só coisa. Não se pode possuir mãos hábeis sem usá-las para atingir os objetivos; caso contrário, seriam um obstáculo (como frequentemente acontece a um amador no palco, que apenas possui objetivos fictícios). Não se podem ter asas eficientes sem tentar voar. Não se pode ter um órgão de fala modulável sem tentar imitar os sons à volta. Distinguir entre a posse de um órgão e o impulso de o usar e aperfeiçoar através da prática, considerando-os duas características diferentes do organismo, seria uma distinção artificial, possível apenas por linguagem abstrata, sem correspondente na natureza. Devemos, claro, não pensar que o comportamento, gradualmente, se infiltra na estrutura cromossômica (ou no que quer que seja) e adquire “loci” (*posições específicas nos cromossomas onde se localizam genes*) próprios. São os novos órgãos em si (e eles tornam-se geneticamente fixos) que carregam consigo o hábito e a forma de os usar. A seleção seria impotente para “produzir” um novo órgão se o organismo não fizesse uso apropriado dele ao longo do

processo. E isto é essencial. Assim, as duas coisas seguem em paralelo e tornam-se fixas geneticamente como uma só unidade: um órgão usado — como se Lamarck estivesse certo.

É elucidativo comparar este processo natural com a construção de um instrumento pelo homem. À primeira vista, parece haver um contraste acentuado. Se fabricarmos um mecanismo delicado, na maioria dos casos estragaríamos o objeto se tentássemos usá-lo repetidamente antes de estar concluído. A Natureza, parece, procede de forma diferente: não pode produzir um novo organismo e os seus órgãos senão enquanto são continuamente usados, testados e examinados quanto à eficiência. Mas, na realidade, esta analogia não é totalmente correta. A criação de um único instrumento pelo homem corresponde à ontogénese, ou seja, ao crescimento de um indivíduo desde a semente até à maturidade. Aqui também a interferência não é desejável. Os jovens devem ser protegidos; não devem ser postos a trabalhar antes de adquirirem toda a força e habilidade da sua espécie. O verdadeiro paralelo com o desenvolvimento evolutivo dos organismos poderia ser ilustrado, por exemplo, por uma exposição histórica de bicicletas, mostrando como esta máquina mudou gradualmente de ano para ano, de década para década — ou, da mesma forma, de locomotivas, automóveis, aviões, máquinas de escrever, etc. Aqui, assim como no processo natural, é essencial que a máquina seja continuamente usada e assim melhorada; não literalmente aprimorada pelo uso, mas pelo conhecimento adquirido e pelas alterações sugeridas pela experiência. A bicicleta, aliás, ilustra o caso mencionado anteriormente de um organismo antigo, que atingiu a perfeição

possível e, portanto, cessou praticamente de sofrer alterações significativas. Ainda assim, não está prestes a desaparecer.

6. Perigos para a Evolução Intelectual

Voltemos agora ao início deste capítulo. Partimos da questão: é provável que o homem continue a evoluir biologicamente? A nossa discussão trouxe, acredito, dois pontos relevantes.

O primeiro é a importância biológica do comportamento. Ao conformar-se com as faculdades inatas e com o ambiente, e ao adaptar-se a mudanças em qualquer desses fatores, o comportamento, embora não seja herdado por si só, pode acelerar o processo de evolução por ordens de grandeza. Enquanto nas plantas e nas classes inferiores do reino animal o comportamento adequado é alcançado pelo lento processo de seleção, isto é, por tentativa e erro, a elevada inteligência do homem permite-lhe realizá-lo por escolha. Esta vantagem incalculável pode facilmente sobrepor-se à desvantagem da sua propagação lenta e relativamente escassa, ainda reduzida pela preocupação biologicamente perigosa de não deixar que a sua prole exceda o volume de recursos disponíveis para a sua subsistência.

O segundo ponto, relativo à questão de saber se o desenvolvimento biológico ainda é esperado no homem, está intimamente ligado ao primeiro. De certa forma, obtemos a resposta completa: isso dependerá de nós e das nossas ações. Não devemos esperar que as coisas aconteçam, acreditando que estão

decididas por um destino irrevogável. Se quisermos que aconteçam, devemos agir. Caso contrário, não. Tal como o desenvolvimento político e social e a sequência de acontecimentos históricos em geral não nos são impostos pelo giro do destino, mas dependem em grande parte das nossas ações, também o nosso futuro biológico, que nada mais é do que história em grande escala, não deve ser tomado como um destino imutável decidido de antemão por qualquer Lei da Natureza. Para nós, que somos os sujeitos ativos nesta peça, ele não o é, ainda que para um ser superior, que nos observa como nós observamos os pássaros e as formigas, possa assim parecer. A razão pela qual o homem tende a considerar a história, em sentido mais restrito ou mais amplo, como um acontecimento predestinado, controlado por regras e leis que ele não pode alterar, é óbvia: cada indivíduo sente que, por si só, tem pouca influência, a menos que consiga transmitir a sua opinião a muitos outros e persuadi-los a ajustar o seu comportamento em conformidade.

Quanto ao comportamento concreto necessário para assegurar o nosso futuro biológico, mencionarei apenas um ponto geral que considero de importância primária. Acredito que estamos, neste momento, em grave perigo de perder o “caminho para a perfeição”. Por tudo o que foi dito, a seleção é um requisito indispensável para o desenvolvimento biológico. Se for completamente excluída, o desenvolvimento cessa e pode mesmo ser invertido. Nas palavras de Julian Huxley: “... a preponderância das mutações degenerativas (de perda) resultará na degeneração de um órgão quando este se torna inútil e a seleção deixa de atuar para mantê-lo em bom estado.”

Acredito que a crescente mecanização e “estupidificação” da maioria dos processos industriais envolve o sério perigo de degeneração geral do nosso órgão da inteligência. Quanto mais as oportunidades na vida do indivíduo inteligente e do trabalhador pouco responsivo forem niveladas pela repressão do trabalho manual e pela difusão de tarefas tediosas e aborrecidas em linhas de produção, mais se tornará supérfluo um cérebro capaz, mãos hábeis e olhos atentos. De facto, o homem menos inteligente, que naturalmente se adapta mais facilmente ao trabalho monótono, será favorecido; terá mais facilidade em prosperar, estabilizar-se e gerar descendência. O resultado poderá mesmo equivaler a uma seleção negativa em relação a talentos e capacidades.

As dificuldades da vida industrial moderna levaram à criação de instituições destinadas a mitigá-las, como a proteção dos trabalhadores contra a exploração e o desemprego, e muitas outras medidas de bem-estar e segurança. São devidamente consideradas benéficas e tornaram-se indispensáveis. Ainda assim, não podemos ignorar que, ao aliviar a responsabilidade do indivíduo de cuidar de si próprio e ao nivelar as oportunidades, estas medidas tendem também a eliminar a competição de talentos e, assim, a colocar um travão eficiente na evolução biológica. Reconheço que este ponto é altamente controverso. Pode-se argumentar que o cuidado com o bem-estar presente deve sobrepor-se à preocupação com o futuro evolutivo. Mas, felizmente, creio que estes objetivos se conciliam, segundo o meu argumento principal. Além da necessidade, o tédio tornou-se o pior flagelo das nossas vidas. Em vez de deixar que a engenhosa maquinaria que inventámos produza uma quantidade crescente de luxo supérfluo, devemos planear o seu uso de modo a

retirar aos seres humanos todo o trabalho mecânico, pouco inteligente e “robotizado”. A máquina deve assumir o labor para o qual o homem é demasiado bom, e não o homem assumir o trabalho para o qual a máquina é demasiado cara, como acontece frequentemente. Isto não tornará a produção mais barata, mas tornará os envolvidos mais felizes. Pouca esperança há de implementar tal sistema enquanto prevalecer a competição entre grandes empresas e grupos em todo o mundo. Contudo, este tipo de competição é tão desinteressante quanto biologicamente inútil. O nosso objetivo deve ser restabelecer, em seu lugar, a competição interessante e inteligente entre indivíduos.

CAPÍTULO 3

O Princípio da Objetivação

Há nove anos, apresentei dois princípios gerais que constituem a base do método científico: o princípio da compreensibilidade da natureza e o princípio da objetivação. Desde então, voltei a abordar este tema ocasionalmente — pela última vez, no meu pequeno livro *Nature and the Greeks*¹. Desejo tratar aqui, em detalhe, do segundo princípio: a objetivação. Antes de explicar o que entendo por esse termo, quero afastar um possível mal-entendido que, como percebi a partir de algumas recensões desse livro, acabou por surgir, embora eu julgasse tê-lo prevenido desde o início. Trata-se simplesmente do seguinte: algumas pessoas pareceram pensar que a minha intenção era estabelecer os princípios fundamentais que deveriam estar na base do método científico, ou, pelo menos, aqueles que com justiça e correção estão na base da ciência e devem ser mantidos a todo o custo. Nada disso. Afirmar — e continuo a afirmar — apenas que tais princípios são de facto os que estão na base da ciência; e, aliás, constituem uma herança dos antigos gregos, de quem toda a nossa ciência e pensamento científico ocidentais tiveram origem.

Esse mal-entendido não é, contudo, muito surpreendente. Quando alguém ouve um cientista enunciar princípios básicos da ciência, destacando dois deles como particularmente fundamentais

e de longa tradição, é natural que se pense que ele, pelo menos, os apoia fortemente e deseja impô-los. Mas, por outro lado, a ciência — repare — nunca impõe nada; a ciência enuncia. A ciência não visa senão formular afirmações verdadeiras e adequadas sobre o seu objeto. O cientista impõe apenas duas coisas: a verdade e a sinceridade — impõe-nas a si próprio e aos outros cientistas. No caso presente, o objeto é a própria ciência — tal como se desenvolveu, se tornou e é atualmente —, não como *deveria* ser ou *deveria* desenvolver-se no futuro.

Passemos agora a esses dois princípios em si. Quanto ao primeiro — que a natureza pode ser compreendida — direi aqui apenas algumas palavras. O mais espantoso acerca dele é que tenha sido necessário inventá-lo, que tenha sido necessário conceber tal ideia. Ele provém da Escola de Mileto, dos *physiologoi*. Desde então, permaneceu inalterado, embora talvez nem sempre incontaminado. A linha atual da física é, possivelmente, uma séria contaminação. O princípio da incerteza, a alegada ausência de uma conexão causal rigorosa na natureza, pode representar um afastamento, um abandono parcial. Seria interessante discutir isso, mas reservo-me aqui para tratar do outro princípio — aquele a que chamei objetivação.

Por isto entendo aquilo que também é frequentemente chamado de “hipótese do mundo real” à nossa volta. Sustento que se trata de uma certa simplificação que adotamos para dominar o problema infinitamente intrincado da natureza. Sem disso termos plena consciência e sem sermos rigorosamente sistemáticos, excluímos o Sujeito Cognoscente do domínio da natureza que procuramos

compreender. Colocamo-nos, com a nossa própria pessoa, na posição de um observador que não pertence ao mundo — o qual, precisamente por esse procedimento, se torna um mundo objetivo. Este artifício é encoberto por duas circunstâncias. Em primeiro lugar, o meu próprio corpo (ao qual a minha atividade mental está tão direta e intimamente ligada) faz parte do objeto — o mundo real à minha volta — que construo a partir das minhas sensações, percepções e memórias. Em segundo lugar, os corpos de outras pessoas fazem parte desse mundo objetivo. Ora, tenho excelentes razões para acreditar que esses outros corpos também estão ligados, ou são, por assim dizer, os assentos de esferas de consciência. Não posso ter qualquer dúvida razoável acerca da existência ou de algum tipo de efetividade dessas esferas de consciência alheias; no entanto, não tenho absolutamente nenhum acesso subjetivo direto a nenhuma delas. Sou, portanto, inclinado a tomá-las como algo objetivo, como fazendo parte do mundo real à minha volta. Além disso, dado que não existe distinção entre mim e os outros, mas, pelo contrário, plena simetria para todos os efeitos práticos, concluo que eu próprio também faço parte desse mundo material real à minha volta. Por assim dizer, coloco novamente o meu próprio eu sensível (que tinha construído este mundo como um produto mental) dentro dele — com o pandemônio de consequências lógicas desastrosas que decorrem dessa cadeia de conclusões erradas. Apontaremos essas consequências uma por uma; para já, deixem-me apenas mencionar as duas antinomias mais flagrantes que resultam da nossa consciência do facto de que só conseguimos alcançar uma imagem moderadamente satisfatória do mundo ao preço elevadíssimo de nos retirarmos dela, assumindo o papel de um observador não envolvido.

A primeira dessas antinomias é o espanto ao constatar que a nossa imagem do mundo é “incolor, fria, muda”. Cor e som, calor e frio são as nossas sensações imediatas; não admira que estejam ausentes num modelo de mundo do qual removemos a nossa própria pessoa mental.

A segunda é a nossa busca infrutífera pelo lugar onde a mente atua sobre a matéria ou vice-versa — bem conhecida a partir da honesta investigação de Sir Charles Sherrington, magnificamente exposta em *Man on his Nature*. O mundo material só pôde ser construído ao preço de se retirar dele o próprio eu, isto é, a mente. A mente não faz parte dele; evidentemente, por isso, não pode atuar sobre ele nem ser por ele afetada. (Isto foi dito numa frase muito breve e clara por Espinosa; ver p. 123.)

Quero aprofundar alguns dos pontos que referi. Em primeiro lugar, cito uma passagem de um artigo de C. G. Jung que me agradou porque sublinha o mesmo ponto num contexto bastante diferente — embora de forma fortemente vituperante. Enquanto eu continuo a considerar que a remoção do Sujeito Cognoscente da imagem objetiva do mundo é o elevado preço pago por uma representação relativamente satisfatória, ainda que provisória, Jung vai mais longe e censura-nos por pagarmos este resgate a partir de uma situação intrincadamente difícil. Ele diz:

Toda a ciência (*Wissenschaft*), no entanto, é uma função da alma, na qual todo o conhecimento está enraizado. A alma é o maior de todos os milagres cósmicos; é a *conditio sine qua non* (*condição indispensável*) do mundo enquanto objeto. É extraordinariamente

surpreendente que o mundo ocidental (salvo raríssimas exceções) pareça ter tão pouca apreciação deste facto. O dilúvio de objetos externos de conhecimento fez com que o sujeito de todo o conhecimento se retirasse para o segundo plano, muitas vezes até à aparência de inexistência².

Naturalmente, Jung tem toda a razão. É também evidente que ele, estando envolvido na ciência da psicologia, é muito mais sensível à jogada inicial em questão — muito mais do que um físico ou um fisiologista. No entanto, eu diria que um recuo rápido da posição mantida durante mais de dois mil anos é perigoso. Podemos perder tudo sem ganhar mais do que alguma liberdade num domínio particular — embora muito importante. Mas eis o problema colocado: a ciência relativamente nova da psicologia exige imperativamente um espaço vital; torna inevitável reconsiderar a jogada inicial. Esta é uma tarefa árdua; não a resolveremos aqui e agora — devemos dar-nos por satisfeitos por a termos apenas assinalado.

Enquanto aqui encontrámos o psicólogo Jung a queixar-se da exclusão da mente — ou da negligência da alma, como ele lhe chama — na nossa imagem do mundo, gostaria agora de apresentar, em contraste, ou talvez antes como complemento, algumas citações de eminentes representantes das ciências mais antigas e mais modestas — a física e a fisiologia — que se limitam a constatar o facto de que “o mundo da ciência” se tornou tão horivelmente objetivo que já não deixa espaço para a mente e as suas sensações imediatas.

Alguns leitores talvez se recordem dos “dois tampos de secretária” de A. S. Eddington: um é o velho e familiar móvel diante do qual ele se senta, apoiando nele os braços; o outro é o corpo físico científico, que não só carece de todas as qualidades sensoriais como, além disso, está crivado de vazios; a maior parte dele é espaço vazio — simples nada —, entremeado de inumeráveis minúsculos pontos de algo: os eletrões e os núcleos que giram incessantemente, mas sempre separados por distâncias pelo menos cem mil vezes maiores do que o seu próprio tamanho. Depois de ter contrastado ambos com o seu estilo maravilhosamente vívido, Eddington resume assim:

No mundo da física assistimos a uma representação em sombras da vida familiar. A sombra do meu cotovelo repousa sobre a sombra da mesa enquanto a sombra da tinta escorre sobre o papel-sombra... A franca percepção de que a ciência física lida com um mundo de sombras é um dos progressos mais significativos dos tempos recentes³.

Repare que o avanço mais recente não consiste em o mundo da física ter adquirido esse caráter sombrio; ele já o possuía desde Demócrito de Abdera, e até antes — apenas não estávamos conscientes disso. Pensávamos que lidávamos com o próprio mundo; expressões como modelo ou imagem para designar as construções conceptuais da ciência só surgiram na segunda metade do século XIX, e não antes, tanto quanto sei.

Não muito tempo depois, Sir Charles Sherrington publicou o seu notável *Man on his Nature*⁴. O livro é permeado por uma busca

honestas por evidências objetivas da interação entre a matéria e a mente. Sublinho o epíteto honestas, porque é necessário um esforço muito sério e sincero para procurar algo que, à partida, se está profundamente convencido de que não pode ser encontrado — porque, contrariamente à crença popular, não existe. Um breve resumo do resultado dessa busca encontra-se na página 357:

A mente, aquilo que qualquer percepção pode abranger, torna-se, portanto, no nosso mundo espacial, mais fantasmal do que um fantasma. Invisível, intangível, não é sequer uma coisa delineável; não é uma “coisa”. Permanece sem confirmação sensorial — e permanecerá assim para sempre.

Nas minhas próprias palavras, eu expressaria isto dizendo: a mente ergueu o mundo exterior objetivo do filósofo natural a partir da sua própria substância. A mente não poderia lidar com essa tarefa gigantesca de outro modo senão através do artifício simplificador de se excluir a si mesma — de se retirar da sua criação conceptual. Por conseguinte, esta já não contém o seu criador.

Não consigo transmitir a grandeza do livro imortal de Sherrington apenas citando frases; é preciso lê-lo. Ainda assim, mencionarei algumas das mais particularmente características:

A ciência física... confronta-nos com o impasse de que a mente, em si mesma, não pode tocar piano — a mente, em si mesma, não pode mover um dedo de uma mão. (p. 222)

Eis então o impasse. O vazio do “como” da alavanca da mente sobre a matéria. A inconsequência deixa-nos perplexos. Será um mal-entendido? (p. 232)

Confrontemos estas conclusões, formuladas por um fisiologista experimental do século XX, com a simples afirmação do maior filósofo do século XVII, Bento de Espinosa (Ética, Parte III, Proposição 2):

Nec corpus mentem ad cogitandum, nec mens corpus ad motum, neque ad quietem, nec ad aliquid (si quid est) aliud determinare potest.

(Nem o corpo pode determinar a mente a pensar, nem a mente pode determinar o corpo ao movimento ou ao repouso, ou a qualquer outra coisa — se é que existe tal coisa.)

O impasse é um verdadeiro impasse. Não somos, então, os autores dos nossos atos? E, no entanto, sentimo-nos responsáveis por eles — somos punidos ou elogiados conforme o caso. É uma antinomia terrível. Sustento que ela não pode ser resolvida ao nível da ciência atual, que ainda está inteiramente imersa no “princípio de exclusão” — sem o saber —, e é daí que provém a antinomia. Reconhecer isto tem valor, mas não resolve o problema. Não se pode eliminar o “princípio de exclusão” por decreto, por assim dizer. A atitude científica teria de ser reconstruída; a ciência teria de ser refeita. É preciso cuidado.

Assim, vemo-nos confrontados com a seguinte situação notável. Embora a substância de que é construída a nossa imagem do mundo

provenha exclusivamente dos órgãos dos sentidos — enquanto órgãos da mente —, de modo que a imagem do mundo de cada pessoa é, e permanece sempre, uma construção da sua própria mente, sem que se possa provar que tenha qualquer outra existência, a mente consciente, porém, permanece uma estranha dentro dessa construção: não tem nela espaço vital, não se pode localizá-la em parte alguma do espaço. Geralmente, não nos damos conta deste facto porque estamos completamente habituados a pensar na personalidade de um ser humano — ou, já agora, também na de um animal — como situada no interior do seu corpo. Saber que, na realidade, não pode ser encontrada ali é tão surpreendente que provoca dúvida e hesitação; custa-nos muito admiti-lo. Habitualmente localizamos a personalidade consciente dentro da cabeça — eu diria, a uma ou duas polegadas atrás do ponto médio dos olhos. É dali que ela nos lança, conforme o caso, olhares de compreensão, de amor, de ternura — ou de desconfiança e cólera. Pergunto-me se alguma vez se notou que o olho é o único órgão dos sentidos cujo carácter puramente recetivo não reconhecemos no pensamento ingénuo. Invertendo o verdadeiro estado das coisas, somos muito mais inclinados a imaginar “raios de visão” a sair do olho do que “raios de luz” que o atingem de fora. Com frequência encontramos representado tal “raio de visão” num desenho humorístico, ou mesmo em antigos esquemas destinados a ilustrar um instrumento ou uma lei ótica — uma linha pontilhada que parte do olho e aponta para o objeto, com uma seta na extremidade para indicar a direção. Caro leitor — ou, melhor ainda, cara leitora —, recorde os olhos luminosos e radiantes com que o seu filho lhe contempla quando lhe leva um novo brinquedo, e depois ouve o físico dizer-lhe que, na realidade, nada sai desses

olhos; que, objetivamente, a única função deles é ser continuamente atingidos por e receber quanta de luz. Na realidade! Que estranha realidade! Algo parece faltar nela.

É-nos muito difícil compreender que a localização da personalidade, da mente consciente, dentro do corpo seja apenas simbólica — um mero auxílio de uso prático. Sigamos, com todo o conhecimento de que dispomos, um desses “olhares ternos” para o interior do corpo. Encontraremos ali uma atividade suprema, ou, se preferirmos, uma maquinaria de complexidade assombrosa. Descobrimos milhões de células de estrutura altamente especializada, dispostas num padrão de intrincada organização que serve, de forma evidente, a uma comunicação e cooperação muito amplas e requintadas; um martelar incessante de impulsos eletroquímicos regulares, que, no entanto, mudam rapidamente de configuração, sendo conduzidos de célula nervosa em célula nervosa, dezenas de milhares de contatos abrindo-se e fechando-se a cada fração de segundo, transformações químicas sendo induzidas — e talvez outras alterações ainda desconhecidas. Tudo isto encontramos e, à medida que a fisiologia progride, podemos confiar em que viremos a conhecer cada vez mais. Mas suponhamos agora que, num caso particular, observa vários feixes eferentes de correntes pulsantes que, saindo do cérebro através de longas projeções celulares (fibras nervosas motoras), são conduzidos até certos músculos do braço, os quais, em consequência, estendem uma mão hesitante e trémula para se despedir de si — numa separação longa e dilacerante; ao mesmo tempo, talvez outros feixes pulsantes provoquem uma secreção glandular que envolve o pobre olho entristecido num véu de lágrimas. Mas em parte alguma,

desde o olho até ao órgão central, passando pelos músculos do braço e pelas glândulas lacrimais — em parte alguma, por mais que avance a fisiologia —, encontrará a personalidade, encontrará a dor profunda, a inquietação atónita dessa alma, ainda que a sua realidade lhe seja tão certa como se a sofresse você mesmo — como, na verdade, sofre! A imagem que a análise fisiológica nos oferece de qualquer outro ser humano — mesmo do nosso amigo mais íntimo — recorda-me vivamente a magistral história de Edgar Allan Poe, que, estou certo, muitos leitores lembrarão: *A Máscara da Morte Rubra*. Um príncipe e a sua comitiva refugiam-se num castelo isolado para escapar à peste da Morte Rubra que devasta o país. Após uma semana de reclusão, organizam um grande baile de máscaras. Uma das figuras mascaradas — alta, inteiramente velada, vestida de vermelho e evidentemente destinada a representar alegoricamente a peste — faz todos estremecerem, tanto pela ousadia da escolha como pela suspeita de que pudesse tratar-se de um intruso. Por fim, um jovem audaz aproxima-se da máscara vermelha e, com um gesto brusco, arranca-lhe o véu e o capuz. Encontra-o vazio.

Ora, os nossos crânios não estão vazios. Mas aquilo que encontramos dentro deles — por mais vivo interesse que desperte — é verdadeiramente nada, quando comparado com a vida e as emoções da alma.

Tomar consciência disto pode, num primeiro momento, perturbar-nos. A mim, porém, parece-me, a uma reflexão mais profunda, antes uma consolação. Quando tem de enfrentar o corpo de um amigo falecido que tanto lamenta, não é reconfortante

perceber que esse corpo nunca foi realmente o assento da sua personalidade, mas apenas um símbolo — “para referência prática”? Como apêndice a estas considerações, aqueles que se sentem profundamente interessados pelas ciências físicas talvez desejem ouvir-me pronunciar-me sobre uma linha de ideias, relativa ao sujeito e ao objeto, que tem sido amplamente destacada pela escola dominante do pensamento na física quântica, cujos protagonistas são Niels Bohr, Werner Heisenberg, Max Born e outros. Permita-me, antes de mais, oferecer uma brevíssima descrição dessas ideias. Elas podem ser resumidas do seguinte modo⁵:

Não podemos fazer qualquer afirmação factual acerca de um determinado objeto natural (ou sistema físico) sem “entrar em contato” com ele. Esse “contato” é uma interação física real. Mesmo que consista apenas em “olharmos para o objeto”, este deve ser atingido por raios de luz e refletir esses raios para o olho ou para algum instrumento de observação. Isto significa que o objeto é afetado pela nossa observação. Não é possível obter conhecimento algum sobre um objeto mantendo-o rigorosamente isolado. A teoria prossegue afirmando que essa perturbação não é irrelevante nem totalmente compreensível. Assim, após qualquer número de observações minuciosas, o objeto permanece num estado cujas certas características (as últimas observadas) são conhecidas, mas outras (aquelas perturbadas pela última observação) não são conhecidas, ou não são conhecidas com precisão. Este estado de coisas é apresentado como explicação para o facto de nunca ser possível uma descrição completa e sem lacunas de qualquer objeto físico.

Se isto tiver de ser aceite — e possivelmente terá de ser —, então entra em conflito com o princípio da compreensibilidade da natureza. Isso, por si só, não é um estigma. Disse no início que os meus dois princípios não têm a intenção de ser vinculativos para a ciência; eles apenas exprimem aquilo a que realmente nos temos mantido na ciência física durante muitos e muitos séculos, e que

não pode ser facilmente alterado. Pessoalmente, não me sinto seguro de que o nosso conhecimento atual justifique a mudança. Considero possível que os nossos modelos possam ser modificados de tal forma que, em nenhum momento, exibam propriedades que não possam, em princípio, ser observadas simultaneamente — modelos mais pobres em propriedades simultâneas, mas mais ricos em adaptabilidade às mudanças do ambiente. Contudo, esta é uma questão interna da física, que não se decide aqui e agora. Mas, a partir da teoria explicada anteriormente — da interferência inevitável e incomensurável dos dispositivos de medição com o objeto sob observação —, têm sido extraídas e salientadas consequências elevadas de natureza epistemológica, relativas à relação entre sujeito e objeto. Sustenta-se que as descobertas recentes na física teriam avançado até à misteriosa fronteira entre sujeito e objeto. Essa fronteira, dizem-nos, não é, de facto, uma fronteira nítida. Faz-se-nos entender que nunca observamos um objeto sem que ele seja modificado ou matizado pela nossa própria atividade de observação. Faz-se-nos entender que, sob o impacto dos nossos métodos refinados de observação e de reflexão sobre os resultados dos nossos experimentos, essa misteriosa fronteira entre sujeito e objeto se terá dissolvido.

Para criticar estas afirmações, aceitemos, em primeiro lugar, a distinção ou discriminação consagrada pelo tempo entre objeto e sujeito, tal como muitos pensadores aceitaram em tempos antigos e ainda aceitam nos tempos recentes. Entre os filósofos que a aceitaram — desde Demócrito de Abdera até ao “Velho de Königsberg” —, foram poucos, se é que houve algum, que não enfatizassem que todas as nossas sensações, percepções e

observações possuem um forte matiz pessoal e subjetivo, não revelando a natureza da “coisa-em-si”, usando a expressão de Kant. Enquanto alguns desses pensadores poderiam ter em mente apenas uma distorção mais ou menos intensa ou ligeira, Kant deixou-nos com uma resignação completa: nunca conheceremos coisa alguma acerca da sua “coisa-em-si”. Assim, a ideia de subjetividade em toda a aparência é muito antiga e familiar. O que é novo no contexto presente é o seguinte: não só as impressões que recebemos do nosso ambiente dependeriam largamente da natureza e do estado contingente do nosso *sensorium*, como inversamente o próprio ambiente que desejamos captar é modificado por nós, nomeadamente pelos dispositivos que instalamos para o observar.

Talvez seja assim — até certo ponto, certamente é. Talvez, a partir das leis recentemente descobertas da física quântica, esta modificação não possa ser reduzida abaixo de certos limites bem estabelecidos. Ainda assim, eu não gostaria de chamar a isto uma influência direta do sujeito sobre o objeto. Pois o sujeito, se é que existe tal coisa, é aquilo que sente e pensa. Sensações e pensamentos não pertencem ao “mundo da energia”; não podem provocar qualquer alteração nesse mundo da energia, como sabemos por Espinosa e por Sir Charles Sherrington.

Tudo isto foi dito do ponto de vista de que aceitamos a distinção consagrada pelo tempo entre sujeito e objeto. Embora tenhamos de a aceitar na vida quotidiana “para referência prática”, deveríamos, assim creio, abandoná-la no pensamento filosófico. A

sua rígida consequência lógica foi revelada por Kant: a sublime, mas vazia, ideia da “coisa-em-si”, sobre a qual nunca saberemos nada.

São os mesmos elementos que constituem a minha mente e o mundo. Esta situação é idêntica para toda mente e o seu mundo, apesar da abundância insondável de “referências cruzadas” entre eles. O mundo é-me dado apenas uma vez — não um mundo existente e outro percebido. Sujeito e objeto são apenas um. A barreira entre eles não pode ser dita como tendo-se desmoronado em resultado da experiência recente nas ciências físicas, pois essa barreira não existe.

CAPÍTULO 4

O Paradoxo Aritmético:

A Unidade da Mente

A razão pela qual o nosso eu sensível, percecione e pensante não é encontrado em parte alguma dentro da nossa imagem científica do mundo pode ser facilmente indicada em sete palavras: porque ele é em si mesmo essa imagem do mundo. É idêntico ao todo e, portanto, não pode estar contido nele como uma parte. Mas, naturalmente, aqui deparamos com o paradoxo aritmético: parece haver uma grande multidão desses egos conscientes, sendo o mundo, contudo, apenas um. Isto decorre da forma como o conceito de mundo se produz a si próprio. Os diversos domínios das consciências “privadas” sobrepõem-se parcialmente. A região comum a todas, onde todas se sobrepõem, é a construção do “mundo real à nossa volta”. Apesar disso, permanece uma sensação de desconforto, suscitando perguntas como: será o meu mundo realmente o mesmo que o teu? Haverá um único mundo real, distinto das suas imagens introjetadas, por via da percepção, em cada um de nós? E, sendo assim, serão essas imagens semelhantes ao mundo real, ou será este, o mundo “em si mesmo”, talvez muito diferente daquele que percebemos?

Tais perguntas são engenhosas, mas, na minha opinião, muito propensas a confundir o problema. Não possuem respostas

adequadas. Todas elas são, ou conduzem a antinomias que brotam de uma única fonte — a que chamei de paradoxo aritmético: os muitos egos conscientes, a partir das cujas experiências mentais o único mundo é construído. A solução deste paradoxo dos números eliminaria todas as questões desse género e revelá-las-ia, atrevo-me a dizer, como falsas questões.

Existem duas vias de saída para o paradoxo numérico, ambas parecendo bastante insensatas do ponto de vista do pensamento científico atual (baseado no pensamento da Grécia Antiga e, portanto, profundamente “ocidental”). Uma dessas vias é a multiplicação do mundo, na temível doutrina das mónadas de Leibniz: cada mónada sendo um mundo em si mesma, sem comunicação entre elas; a mónada “não tem janelas”, está “incomunicável”. Que, apesar disso, todas estejam em acordo entre si, é o que se chama “harmonia pré-estabelecida”. Creio que há poucos a quem esta sugestão agrade, ou que a considerem um verdadeiro alívio da antinomia numérica.

Há, obviamente, apenas uma alternativa, a saber: a unificação das mentes ou consciências. A sua multiplicidade é apenas aparente — na verdade, existe apenas uma mente. Esta é a doutrina dos Upanixades. E não apenas dos Upanixades. A união mística com Deus implica regularmente essa atitude, a menos que seja contrariada por fortes preconceitos existentes; e isto significa que ela é menos facilmente aceite no Ocidente do que no Oriente. Permita-me citar, como exemplo fora dos Upanixades, um místico persa islâmico do século XIII, Aziz Nasafi. Retiro-o de um artigo de Fritz Meyer¹, traduzindo da tradução alemã:

Na morte de qualquer criatura viva, o espírito regressa ao mundo espiritual, o corpo ao mundo corpóreo. Contudo, apenas os corpos estão sujeitos à mudança. O mundo espiritual é um único espírito que permanece, semelhante a uma luz, por detrás do mundo corpóreo, e que, quando uma criatura individual vem à existência, brilha através dela como através de uma janela. Conforme a natureza e o tamanho da janela, entra mais ou menos luz no mundo. A própria luz, contudo, permanece inalterada.

Há dez anos, Aldous Huxley publicou um precioso volume que intitulou *A Filosofia Perene*², uma antologia dos místicos das mais diversas épocas e dos mais diversos povos. Abra-o onde quiser, e encontrará muitas belas declarações de natureza semelhante. Ficará impressionado com o miraculoso acordo entre seres humanos de diferentes raças, diferentes religiões, ignorando completamente a existência uns dos outros, separados por séculos e milénios, e pelas maiores distâncias que há no nosso globo.

Mesmo assim, é preciso dizer que, para o pensamento ocidental, esta doutrina tem pouco apelo; é-lhe desagradável, apelidada de fantástica, não científica. Pois bem, assim é — porque a nossa ciência, a ciência grega, está fundada na objetivação, e por meio dela cortou-se de uma compreensão adequada do Sujeito do Conhecimento, da mente. Mas creio que é precisamente neste ponto que o nosso modo atual de pensar necessita de ser corrigido — talvez com uma pequena transfusão de sangue do pensamento oriental. Isso, contudo, não será fácil; devemos precaver-nos contra erros — uma transfusão de sangue exige sempre grande cuidado para evitar coagulações. Não desejamos perder a precisão

lógica que o nosso pensamento científico alcançou, e que não tem paralelo em nenhum outro lugar nem em nenhuma outra época.

Ainda assim, pode ser dito algo em favor do ensinamento místico da identidade de todas as mentes entre si e com a mente suprema — em contraste com a temível monadologia de Leibniz. A doutrina da identidade pode reivindicar ser confirmada pelo facto empírico de que a consciência nunca é experienciada no plural, apenas no singular. Nenhum de nós alguma vez experienciou mais do que uma consciência, e não há sequer vestígio de indícios circunstanciais de que tal alguma vez tenha ocorrido em parte alguma do mundo. Se eu disser que não pode haver mais do que uma consciência na mesma mente, isto parece uma tautologia óbvia — somos totalmente incapazes de imaginar o contrário. E, no entanto, há casos ou situações em que esperaríamos, e quase exigiríamos, que essa coisa inimaginável acontecesse, se é que ela pode acontecer de algum modo.

É precisamente este ponto que gostaria agora de discutir com algum pormenor, e de o sustentar com citações de Sir Charles Sherrington, que foi ao mesmo tempo (evento raro!) um homem de génio supremo e um cientista sóbrio. Pelo que sei, ele não possuía qualquer inclinação pela filosofia dos Upanixades. O meu propósito nesta discussão é contribuir, talvez, para abrir caminho a uma futura assimilação da doutrina da identidade dentro da nossa própria visão científica do mundo — sem que tenhamos de pagar por isso com a perda da sobriedade e da precisão lógica.

Disse há pouco que não somos capazes sequer de imaginar uma pluralidade de consciências numa só mente. Podemos pronunciar essas palavras, é certo, mas elas não descrevem nenhuma experiência concebível. Mesmo nos casos patológicos de “personalidade dividida”, as duas pessoas alternam — nunca ocupam o campo simultaneamente; aliás, é precisamente essa a característica essencial: elas nada sabem uma da outra.

Quando, no teatro de marionetas do sonho, seguramos nas mãos os fios de várias personagens, controlando as suas ações e as suas falas, não temos consciência de que é assim. Apenas uma delas sou eu, o sonhador. Nela ajo e falo diretamente, enquanto posso esperar, ansioso e curioso, pelo que outra dirá em resposta, ou se irá satisfazer o meu pedido urgente. Que eu poderia realmente fazê-la dizer e fazer o que me aprouvesse não me ocorre — na verdade, não é bem assim. Pois, num sonho desse género, o “outro” é, atrevo-me a dizer, na maioria das vezes, a personificação de algum obstáculo sério que me resiste na vida desperta e sobre o qual, de facto, não tenho qualquer controlo. O estranho estado de coisas aqui descrito é, muito provavelmente, a razão pela qual a maioria das pessoas antigas acreditava firmemente que estava realmente em comunicação com as pessoas — vivas ou falecidas — ou talvez com deuses ou heróis, que encontravam nos seus sonhos. É uma superstição difícil de morrer. No limiar do século VI a.C., Heráclito de Éfeso pronunciou-se claramente contra ela — com uma lucidez rara nos seus fragmentos por vezes obscuros. Mas Lucrécio Caro, que se julgava o protagonista do pensamento iluminado, ainda se agarra a essa superstição no século I a.C. Nos nossos dias, é provavelmente rara, mas duvido que esteja totalmente extinta.

Passemos agora a algo completamente diferente. Considero absolutamente impossível formar uma ideia de como, por exemplo, a minha própria mente consciente (que sinto ser uma) poderia ter-se originado pela integração das consciências das células (ou de algumas delas) que compõem o meu corpo — ou de como, em cada momento da minha vida, ela seria, por assim dizer, o resultado dessas consciências. Poder-se-ia pensar que uma tal “comunidade de células”, como cada um de nós é, seria a ocasião por excelência para a mente manifestar pluralidade, se alguma vez fosse capaz de o fazer. A expressão “comunidade” ou “estado de células” (*Zellstaat*) já não deve hoje ser considerada uma mera metáfora. Ouça o que diz Sherrington:

Afirmar que, das células componentes que nos constituem, cada uma é uma vida individual e centrada em si mesma, não é uma mera frase. Não é apenas uma conveniência descritiva. A célula, enquanto componente do corpo, não é apenas uma unidade visivelmente delimitada, mas uma vida unificada centrada em si mesma. Conduz a sua própria vida... A célula é uma vida-unidade, e a nossa vida — que, por sua vez, é uma vida unitária — consiste inteiramente das vidas das células.³

Mas esta história pode ser acompanhada com mais detalhe e de forma mais concreta. Tanto a patologia do cérebro como as investigações fisiológicas sobre a percepção sensorial falam de modo inequívoco a favor de uma separação regional do *sensorium* em domínios cuja independência é espantosamente ampla — ao ponto de nos levar a esperar que essas regiões estivessem associadas a domínios independentes da mente; mas não estão. Um exemplo particularmente característico é o seguinte: se olhar para uma

paisagem distante, primeiro de modo normal, com ambos os olhos abertos, depois apenas com o olho direito, fechando o esquerdo, e depois o contrário, não notará diferença apreciável. O espaço visual psíquico é, em todos os três casos, rigorosamente o mesmo. Ora, isto poderia dever-se, muito bem, ao facto de que, a partir das terminações nervosas correspondentes na retina, o estímulo é transmitido ao mesmo centro no cérebro, onde “a percepção é fabricada” — tal como, por exemplo, na minha casa, o botão da porta de entrada e o do quarto da minha esposa acionam a mesma campainha situada por cima da porta da cozinha. Esta seria a explicação mais simples; porém, é errada.

Sherrington relata experiências muito interessantes sobre a frequência-limite de cintilação. Vou tentar dar-lhe um resumo tão breve quanto possível. Imagine um pequeno farol montado num laboratório, emitindo um grande número de lampejos por segundo — digamos 40, 60, 80 ou 100. À medida que aumenta a frequência dos lampejos, a cintilação desaparece a partir de uma determinada frequência, dependendo dos detalhes experimentais; e o observador — que supomos estar a ver normalmente com ambos os olhos — passa então a ver uma luz contínua.⁴ Suponhamos que essa frequência-limite seja de 60 lampejos por segundo em certas condições. Agora, numa segunda experiência, sem alterar mais nada, um dispositivo apropriado permite que apenas cada segundo lampejo chegue ao olho direito, e cada outro lampejo ao olho esquerdo, de modo que cada olho recebe apenas 30 lampejos por segundo. Se os estímulos fossem conduzidos ao mesmo centro fisiológico, isto não deveria fazer diferença: se eu carregar no botão da porta de entrada, digamos, a cada dois segundos, e a minha

esposa fazer o mesmo no seu quarto, alternando comigo, a campainha da cozinha tocará a cada segundo — exatamente como se um de nós a pressionasse a cada segundo, ou ambos o fizéssemos em simultâneo a cada segundo. No entanto, na segunda experiência de cintilação não é isso que acontece. Trinta lampejos para o olho direito mais trinta lampejos alternados para o esquerdo estão longe de ser suficientes para eliminar a sensação de cintilação; é necessário o dobro da frequência para isso — ou seja, 60 para o direito e 60 para o esquerdo, se ambos os olhos estiverem abertos. Permita-me citar a principal conclusão nas palavras do próprio Sherrington:

Não é a conjunção espacial do mecanismo cerebral que combina os dois relatórios... É quase como se as imagens do olho direito e do olho esquerdo fossem vistas cada uma por um de dois observadores, e as mentes desses dois observadores fossem combinadas numa só mente. É como se as percepções do olho direito e do olho esquerdo fossem elaboradas separadamente e depois combinadas psiquicamente numa só... É como se cada olho possuísse um *sensorium* separado, de considerável dignidade própria, no qual os processos mentais baseados nesse olho fossem desenvolvidos até mesmo a níveis plenamente percetivos. Tal equivaleria, fisiologicamente, a um subcérebro visual. Haveria, portanto, dois desses subcérebros — um para o olho direito e outro para o esquerdo. A contemporaneidade da ação, mais do que a união estrutural, parece ser o que assegura a sua colaboração mental.⁵

Segue-se então uma série de considerações muito gerais, das quais voltarei a destacar apenas as passagens mais características:

Existem, assim, subcérebros quase independentes, baseados nas diversas modalidades sensoriais? No cérebro superior, os antigos “cinco” sentidos, em vez de estarem inextricavelmente fundidos uns nos outros e ainda submersos sob mecanismos de ordem superior, continuam claramente discerníveis, cada um demarcado na sua esfera própria. Até que ponto a mente é uma coleção de mentes perceptoras quase independentes, integradas psiquicamente, em larga medida, pela simultaneidade temporal das experiências? ...

Quando se trata de “mente”, o sistema nervoso não se integra por centralização numa célula pontifical. Pelo contrário, elabora uma democracia multiplicada por milhões, em que cada unidade é uma célula... A vida concreta, composta de subvidas, revela, embora integrada, a sua natureza aditiva e declara-se um fenómeno de minúsculos focos de vida que atuam em conjunto...

Quando, porém, nos voltamos para a mente, nada disso se verifica. A célula nervosa isolada nunca é um cérebro em miniatura. A constituição celular do corpo nada oferece que nos dê, a partir da mente, qualquer indício disso... Uma única célula pontifical do cérebro não poderia assegurar à reação mental um carácter mais unificado e não atómico do que o garante a vasta camada de células do cérebro superior. A matéria e a energia parecem ter estrutura granular — e o mesmo sucede com a “vida” —, mas não com a mente.

Citei-lhe as passagens que mais me impressionaram. Sherrington, com o seu conhecimento superior do que realmente se passa num corpo vivo, mostra-se aqui em luta com um paradoxo que, pela sua franqueza e absoluta sinceridade intelectual, não tenta esconder nem disfarçar (como muitos outros o fariam, ou já o fizeram), mas expõe quase brutalmente, sabendo muito bem que essa é a única forma de aproximar qualquer problema científico ou

filosófico da sua solução. Ao encobri-lo com frases “bonitas”, impedir-se-ia o progresso e tornar-se-ia a antinomia perene (não para sempre, mas até que alguém denuncie o logro). O paradoxo de Sherrington é também um paradoxo aritmético — um paradoxo dos números — e creio que está intimamente relacionado com aquele a que dei esse nome anteriormente neste capítulo, embora não seja de modo algum idêntico a ele. O paradoxo anterior consistia, em suma, no mundo único que se cristaliza a partir das muitas mentes. O de Sherrington é o único espírito, aparentemente fundado nas muitas vidas das células ou, noutra formulação, na multiplicidade dos subcérebros — cada um dos quais parece possuir uma dignidade própria tão considerável que nos sentimos impelidos a associar-lhe uma submente. Contudo, sabemos que uma submente é uma monstruosidade atroz, tal como o é uma plurimente — nenhuma delas possui qualquer correspondente na experiência de alguém, nem pode ser de modo algum concebida.

Proponho que ambos os paradoxos serão resolvidos (não pretendo resolvê-los aqui e agora) pela assimilação, na estrutura da nossa ciência ocidental, da doutrina oriental da identidade. A mente é, pela sua própria natureza, um *singulare tantum*. Eu diria: o número total de mentes é exatamente um. Atrevo-me a chamá-la indestrutível, uma vez que possui um calendário peculiar — a mente é sempre agora. Na realidade, não existe um antes nem um depois para a mente. Há apenas um agora que inclui memórias e expetativas. Contudo, reconheço que a nossa linguagem não é adequada para expressar isto, e também reconheço — caso alguém o queira afirmar — que, neste ponto, estou a falar de religião, não de ciência; uma religião, contudo, não oposta à ciência, mas

sustentada pelo que a investigação científica desinteressada trouxe à luz.

Sherrington diz: "A mente do homem é um produto recente do lado do nosso planeta."⁶

Concordo, naturalmente. Se, porém, a primeira palavra (do homem) fosse omitida, já não concordaria. Tratámos disso anteriormente, no capítulo I. Seria estranho, para não dizer ridículo, pensar que a mente consciente e contemplativa — que é a única capaz de refletir o devir do mundo — tenha surgido apenas em determinado momento desse mesmo devir, aparecendo de forma contingente, associada a um engenho biológico muito particular, o qual, de forma bastante evidente, desempenha apenas a função de facilitar que certas formas de vida se mantenham, favorecendo assim a sua preservação e propagação: formas de vida que foram tardias e foram precedidas por muitas outras que se sustentaram sem tal engenho (um cérebro). Apenas uma pequena fração delas (se contarmos por espécies) embarcou na aventura de "arranjar um cérebro". E antes disso tudo ter acontecido — teria sido um espetáculo para plateias vazias? Poderemos, sequer, chamar "mundo" a algo que ninguém contempla?

Quando um arqueólogo reconstrói uma cidade ou uma cultura de tempos idos, o que o interessa é a vida humana no passado — ações, sensações, pensamentos, sentimentos, alegrias e dores dos humanos que ali viveram. Mas um mundo que existiu durante milhões de anos sem que nenhuma mente dele tivesse consciência, sem que o contemplasse — será esse mundo algo? Terá

verdadeiramente existido? Não nos esqueçamos: dizer, como dissemos, que o devir do mundo se reflete numa mente consciente é apenas um cliché, uma frase feita, uma metáfora tornada familiar. O mundo é dado uma só vez. Nada é refletido. O original e a imagem no espelho são idênticos. O mundo, estendido no espaço e no tempo, é apenas a nossa representação (*Vorstellung*). A experiência não nos dá o mais pequeno indício de que seja algo além disso — como Berkeley bem sabia.

Mas a fábula de um mundo que existiu durante milhões de anos antes de, contingentemente, produzir cérebros nos quais pudesse olhar-se a si mesmo, tem uma continuação quase trágica, que gostaria de descrever novamente nas palavras de Sherrington:

O universo da energia está, dizem-nos, a esgotar-se. Tende fatalmente para um equilíbrio que será final. Um equilíbrio no qual a vida não poderá existir. Contudo, a vida continua a evoluir incessantemente. O nosso planeta, no seu contexto, criou-a e está a criá-la. E com ela evolui a mente. Se a mente não é um sistema de energia, como é que o esgotamento do universo a afetará? Poderá permanecer incólume? Sempre que o sabemos, a mente finita está ligada a um sistema energético em funcionamento. Quando esse sistema energético deixar de funcionar, que será da mente que com ele funcionava? Permitirá o universo, que elaborou e está a elaborar a mente finita, que ela então pereça?⁷

Tais considerações são, de certo modo, desconcertantes. O que nos confunde é o curioso duplo papel que a mente consciente adquire. Por um lado, é o palco — e o único palco — onde todo este processo cósmico se desenrola; é o vaso, o recipiente que o contém

por completo e fora do qual nada existe. Por outro lado, forma-se em nós a impressão — talvez uma impressão ilusória — de que, dentro dessa azáfama do mundo, a mente consciente está ligada a certos órgãos muito particulares (os cérebros), que, embora sejam sem dúvida o mais interessante engenho da fisiologia animal e vegetal, não são únicos, nem *sui generis*; pois, como tantos outros, servem apenas para sustentar a vida dos seus possuidores, e é apenas por isso que foram elaborados, ao longo do processo de especiação, pela seleção natural.

Por vezes, um pintor introduz no seu grande quadro, ou um poeta no seu longo poema, uma figura modesta e secundária que é ele próprio. Assim, o poeta da *Odisseia* quis, suponho, representar-se a si mesmo na figura do bardo cego que, no palácio dos Feaces, canta as batalhas de Troia e comove o herói ferido até às lágrimas. Do mesmo modo, no Canto dos Nibelungos, quando os heróis atravessam as terras austríacas, encontramos um poeta que se suspeita ser o próprio autor de todo o épico. E, no quadro de Dürer *Todos os Santos*, duas coroas de fiéis reúnem-se em oração em torno da Trindade, nas alturas do céu — um círculo de bem-aventurados acima e um círculo de humanos sobre a terra. Entre estes últimos há reis, imperadores e papas, mas também, se não me engano, o retrato do próprio artista, como uma figura humilde e lateral que bem poderia faltar sem que a composição perdesse o seu efeito total.

Para mim, este parece ser o melhor símile do desconcertante duplo papel da mente. Por um lado, a mente é o artista que produziu o todo; por outro, na obra acabada, ela é apenas um acessório

insignificante, que poderia estar ausente sem diminuir o efeito global.

Falando sem metáforas, temos de declarar que nos encontramos aqui perante uma dessas antinomias típicas que nascem do facto de ainda não termos conseguido elaborar uma visão do mundo minimamente inteligível sem excluir dele a nossa própria mente — a produtora do quadro do mundo —, de tal modo que a mente acaba por não ter lugar algum dentro dele. A tentativa de a inserir à força, afinal, conduz inevitavelmente a absurdos.

Mais acima, comentei o facto de, por essa mesma razão, o quadro físico do mundo carecer de todas as qualidades sensoriais que compõem o *Sujeito Cognoscente*. O modelo é incolor, insonoro e intangível. Da mesma forma — e pela mesma razão —, o mundo da ciência carece, ou é despojado, de tudo aquilo que só tem significado em relação ao sujeito consciente que contempla, percebe e sente. Refiro-me, em primeiro lugar, aos valores éticos e estéticos, a todos os valores de qualquer tipo, a tudo o que se relaciona com o sentido e o alcance de todo o espetáculo. Tudo isso não só está ausente, como não pode, do ponto de vista puramente científico, ser organicamente inserido. Se alguém tenta introduzi-lo à força — como uma criança que pinta de cor as cópias de um desenho sem cor —, ele simplesmente não se ajusta. Pois tudo o que se tenta fazer entrar neste modelo do mundo, queira-se ou não, assume a forma de uma afirmação científica sobre factos — e, como tal, torna-se falso.

A vida é valiosa em si mesma. «Sê reverente para com a vida» — foi assim que Albert Schweitzer formulou o mandamento fundamental da ética. A natureza, porém, não demonstra qualquer reverência pela vida. A natureza trata a vida como se fosse a coisa mais sem valor do mundo. Produzida aos milhões, é, na sua maioria, rapidamente aniquilada ou lançada como presa diante de outras formas de vida para as alimentar. Precisamente este é o método supremo de gerar formas sempre novas de vida. «Não torturarás, não infligirás dor!» — este mandamento é-lhe desconhecido. As suas criaturas dependem de se dilacerarem umas às outras numa luta incessante.

«Não há nada bom ou mau, senão o pensar que o torna assim.» Nenhum acontecimento natural é, em si mesmo, bom ou mau, nem é, em si, belo ou feio. Os valores estão ausentes — e, de modo ainda mais notável, estão ausentes o sentido e a finalidade. A natureza não age por propósitos. Quando, em alemão, falamos de uma adaptação “finalística” (*zweckmässig*) de um organismo ao seu meio, sabemos que se trata apenas de uma maneira conveniente de falar. Se tomarmos a expressão à letra, estamos enganados. Enganamo-nos dentro da própria estrutura do nosso quadro do mundo. Nele, só existe encadeamento causal.

O mais doloroso é o silêncio absoluto de todas as nossas investigações científicas perante as questões que formulamos acerca do significado e do alcance de todo este espetáculo. Quanto mais atentamente o observamos, mais desprovido de propósito e mais insensato ele nos parece. O espetáculo que decorre só adquire sentido em relação à mente que o contempla. Mas aquilo que a

ciência nos diz sobre essa relação é manifestamente absurdo: como se a mente tivesse sido produzida precisamente por esse mesmo espetáculo que agora observa — e que desapareceria com ele, quando o sol afinal arrefecesse e a Terra se tornasse um deserto de gelo e neve.

Permita-me mencionar brevemente o notório ateísmo da ciência, que naturalmente se insere no mesmo contexto. A ciência tem de suportar, repetidamente, este opróbrio — mas injustamente. Nenhum deus pessoal pode fazer parte de um modelo do mundo que só se tornou acessível ao preço de remover dele tudo o que é pessoal. Sabemos que, quando Deus é experimentado, esse é um acontecimento tão real como uma percepção sensorial imediata ou como a consciência da própria personalidade. Tal como estas, Ele tem de estar ausente da imagem espaço-temporal. «Não encontro Deus em parte alguma no espaço e no tempo» — é isto que lhe dirá o naturalista honesto. E, por isso, ele incorre na censura daqueles cujo catecismo declara: «Deus é espírito.»

CAPÍTULO 5

Ciência e Religião

A ciência pode garantir informação sobre questões de religião? Poderão os resultados da investigação científica ser de alguma utilidade na obtenção de uma atitude razoável e satisfatória perante aquelas questões candentes que, por vezes, assaltam a todos? Alguns de nós — em particular a juventude saudável e feliz — conseguem afastá-las por longos períodos; outros, já em idade avançada, convenceram-se de que não existe resposta e resignaram-se a desistir de a procurar; enquanto outros, ainda, são assombrados ao longo de toda a vida por esta incongruência do nosso intelecto, e também por temores profundos suscitados pela superstição popular ancestral. Refiro-me sobretudo às questões relativas ao “outro mundo”, à “vida depois da morte” e a tudo o que com elas se relaciona. Note, por favor, que não tentarei, naturalmente, responder a estas questões, mas apenas à muito mais modesta: poderá a ciência fornecer alguma informação sobre elas ou ajudar-nos — a muitos de nós inevitavelmente — a pensar sobre elas?

Para começar, de forma muito primitiva, certamente que pode, e já o fez, sem grande cerimónia. Lembro-me de ver gravuras antigas — creio que mapas geográficos do mundo — que incluíam o inferno, o purgatório e o paraíso, o primeiro situado nas

profundezas subterrâneas e o último, muito acima nos céus. Tais representações não eram entendidas de modo puramente alegórico (como o seriam em períodos posteriores, por exemplo, na célebre pintura *Todos os Santos*, de Dürer); testemunhavam uma crença ingênua bastante difundida na época. Hoje, nenhuma igreja pede aos fiéis que interpretem os seus dogmas de forma materialista; pelo contrário, desencorajaria seriamente tal atitude. Este progresso foi certamente favorecido pelo nosso conhecimento do interior do planeta (ainda que escasso), da natureza dos vulcões, da composição da atmosfera, da provável história do sistema solar e da estrutura da galáxia e do universo. Nenhuma pessoa culta esperaria encontrar tais construções dogmáticas em qualquer região do espaço acessível à nossa investigação — atrevo-me a dizer, nem sequer numa região que, embora fora do alcance da pesquisa, se prolongasse para além desse espaço. Mesmo que estivesse convencida da sua realidade, dar-lhes-ia um estatuto espiritual. Não direi que, entre as pessoas profundamente religiosas, tal iluminação tenha necessariamente esperado pelas referidas descobertas científicas; mas estas contribuíram, sem dúvida, para erradicar a superstição materialista nesses assuntos.

Contudo, isto diz respeito a um estado de espírito bastante primitivo. Existem pontos de maior interesse. As contribuições mais importantes da ciência para ultrapassar as desconcertantes perguntas: “Quem somos nós, realmente? De onde vim e para onde vou?” — ou, pelo menos, para sossegar o nosso espírito — consistem, a meu ver, na gradual idealização do tempo. Ao pensar nisto, impõem-se-nos os nomes de três homens — embora muitos outros, incluindo não-cientistas, tenham seguido a mesma direção,

como Santo Agostinho de Hipona e Boécio —: Platão, Kant e Einstein.

Os dois primeiros não eram cientistas, mas a sua intensa devoção às questões filosóficas, o seu profundo interesse pelo mundo, tinham origem na ciência. No caso de Platão, esse interesse derivava da matemática e da geometria (o uso do “e” talvez soe desnecessário hoje, mas não, creio, no seu tempo). O que conferiu à obra de Platão uma distinção incomparável, que continua a brilhar em esplendor inalterado após mais de dois mil anos? Pelo que sabemos, não se deve a ele nenhuma descoberta especial acerca dos números ou das figuras geométricas. A sua compreensão do mundo material — da física e da vida — é por vezes fantasiosa e, no conjunto, inferior à de outros (os sábios de Tales a Demócrito), alguns dos quais viveram mais de um século antes dele. No conhecimento da natureza, foi amplamente superado pelo seu discípulo Aristóteles e por Teofrasto. Para todos, exceto para os seus devotos mais fervorosos, longos trechos dos seus diálogos dão a impressão de um jogo gratuito de palavras, sem o desejo de definir o sentido de um termo, antes na crença de que a própria palavra revelará o seu conteúdo se for suficientemente revolvida. A sua utopia social e política — que fracassou e o pôs em grave perigo quando tentou realizá-la na prática — encontra hoje poucos admiradores, em tempos que infelizmente conheceram experiências semelhantes. Então, o que fez a sua fama?

Na minha opinião, foi o facto de ele ter sido o primeiro a conceber a ideia de uma existência intemporal e a enfatizá-la — contra a razão — como uma realidade, mais real do que a nossa experiência

efetiva; esta, dizia ele, é apenas uma sombra daquela, de onde toda a realidade experimentada é emprestada. Refiro-me à teoria das formas (ou ideias). Como surgiu ela? Não há dúvida de que foi despertada pelo contato de Platão com o ensinamento de Parménides e dos eleatas. Mas é igualmente evidente que isso encontrou em Platão uma veia viva e afim — algo muito semelhante à sua bela alegoria de que aprender pela razão é da natureza de relembrar um conhecimento anteriormente possuído, mas então latente, e não de descobrir verdades inteiramente novas. Contudo, o Um eterno, ubíquo e imutável de Parménides transformou-se, na mente de Platão, num pensamento muito mais poderoso: o Reino das Ideias, que apela à imaginação, embora, por necessidade, permaneça um mistério. Mas este pensamento nasceu, creio eu, de uma experiência muito real — a de ter sido tomado por admiração e reverência perante as revelações do domínio dos números e das figuras geométricas, como muitos homens o foram depois dele e os pitagóricos antes. Platão reconheceu e absorveu profundamente a natureza dessas revelações: elas desdobram-se por puro raciocínio lógico, que nos dá a conhecer relações verdadeiras cuja veracidade não é apenas inatacável, mas é, de forma evidente, eterna; essas relações existiam e existirão, independentemente da nossa investigação sobre elas. Uma verdade matemática é intemporal; não passa a existir quando a descobrimos. Contudo, a sua descoberta é um acontecimento muito real — pode ser uma emoção comparável a um grande presente de uma fada.

As três alturas de um triângulo (ABC) encontram-se num único ponto (O).

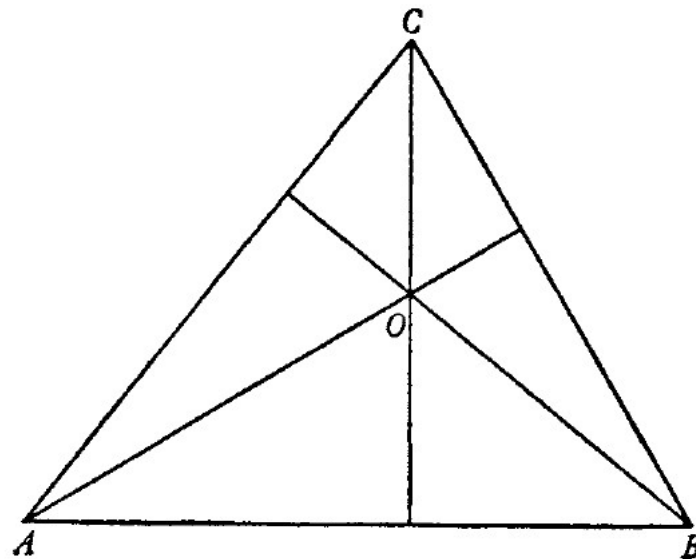


Fig. 1.

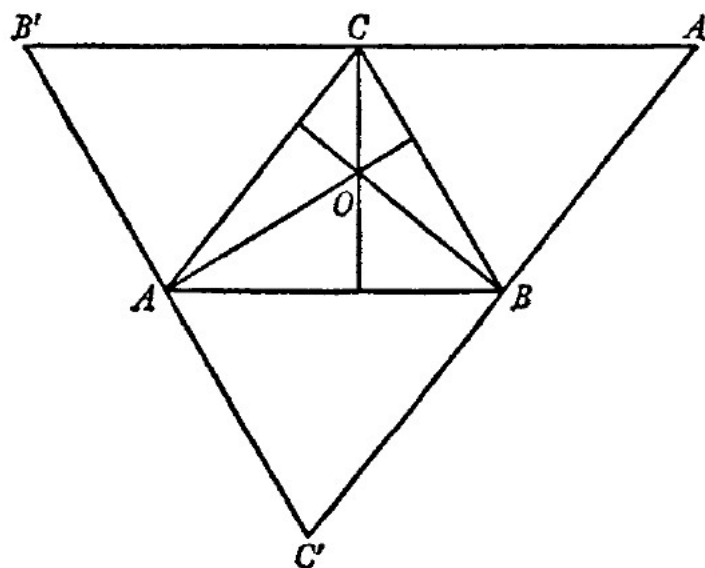


Fig. 2.

(A Altura é a perpendicular traçada de um vértice até ao lado oposto, ou até ao seu prolongamento.) À primeira vista, não se percebe por que razão deveriam encontrar-se num só ponto; três linhas quaisquer, normalmente, formam um triângulo. Agora, trace por cada vértice a paralela ao lado oposto, de modo a formar um triângulo maior, $A'B'C'$. Este consiste em quatro triângulos

congruentes. As três alturas de ABC são, no triângulo maior, as perpendiculares erguidas a meio dos seus lados — as suas “linhas de simetria”. A perpendicular erguida em C deve conter todos os pontos que se encontram à mesma distância de A' e de B' ; a erguida em B contém todos os pontos que se encontram à mesma distância de A' e de C' . O ponto onde estas duas perpendiculares se cruzam tem, portanto, a mesma distância aos três vértices A' , B' e C' , e deve, por conseguinte, situar-se também sobre a perpendicular erguida em A , pois esta contém todos os pontos equidistantes de B' e de C' . Q.E.D. (Quod Erat Demonstrandum — “O que se queria demonstrar”).

Todo o número inteiro, exceto 1 e 2, está “no meio” de dois números primos, ou seja, é a sua média aritmética; por exemplo:

$$8 = \frac{1}{2} (5 + 11) = \frac{1}{2} (3 + 13)$$

$$17 = \frac{1}{2} (31 + 3) = \frac{1}{2} (29 + 5) = \frac{1}{2} (23 + 11)$$

$$20 = \frac{1}{2} (11 + 29) = \frac{1}{2} (3 + 37)."$$

Como vê, há geralmente mais do que uma solução. O teorema chama-se de *Goldbach* e é tido como verdadeiro, embora ainda não tenha sido provado.

Somando os números ímpares consecutivos — começando apenas com 1; depois $1 + 3 = 4$; depois $1 + 3 + 5 = 9$; e depois $1 + 3 + 5 + 7 = 16$ — obtém-se sempre um número quadrado; de

facto, obtêm-se assim todos os números quadrados, sendo sempre o quadrado do número de parcelas ímpares somadas. Para compreender a generalidade desta relação, pode-se substituir, na soma, cada par de parcelas equidistantes do meio (isto é, a primeira e a última, depois a segunda e a penúltima, e assim por diante) pela sua média aritmética, que é, evidentemente, igual ao número total de parcelas. Assim, no último dos exemplos acima:

$$4 + 4 + 4 + 4 = 4 \times 4.$$

Passemos agora a Kant. Tornou-se um lugar-comum afirmar que ele ensinou a idealidade do espaço e do tempo, e que esta era uma parte fundamental — se não a parte mais fundamental — do seu pensamento. Tal como a maior parte da sua filosofia, não pode ser nem verificada nem refutada; mas isso não lhe retira interesse (antes o aumenta — se pudesse ser provada ou refutada, seria trivial). O significado é o seguinte: estar estendido no espaço e ocorrer numa ordem temporal bem definida de “antes e depois” não é uma qualidade do mundo que percecionamos, mas pertence à mente percecionante, que, na sua situação atual, não pode deixar de registar tudo o que lhe é apresentado segundo esses dois esquemas de ordenação — espaço e tempo. Isto não quer dizer que a mente compreenda esses esquemas de ordem independentemente de qualquer experiência, mas que não pode deixar de os desenvolver e aplicar à experiência quando esta ocorre — e, sobretudo, que esse facto não prova nem sugere que o espaço e o tempo sejam esquemas de ordem inerentes à “coisa-em-si”, que, segundo alguns, seria a causa da nossa experiência.

Não é difícil argumentar que tudo isto é uma mistificação. Nenhum homem pode distinguir, dentro de si, o domínio das suas percepções do domínio das coisas que as causam, pois, por mais detalhado que seja o conhecimento que adquira sobre toda a história, essa história ocorre apenas uma vez, não duas. A duplicação é uma alegoria, sugerida sobretudo pela comunicação com outros seres humanos e até com animais — o que mostra que as suas percepções, na mesma situação, parecem ser muito semelhantes às nossas, à parte diferenças insignificantes de ponto de vista (no sentido literal de “ponto de projeção”). Mas mesmo supondo que isto nos obriga a considerar um mundo objetivamente existente como causa das nossas percepções — como a maioria das pessoas faz —, como poderemos decidir se uma característica comum a toda a nossa experiência se deve à constituição da nossa mente ou a uma qualidade partilhada por todas essas coisas objetivamente existentes? É certo que as nossas percepções sensoriais constituem o nosso único conhecimento sobre as coisas. Este mundo objetivo permanece, contudo, uma hipótese — ainda que natural. E, se o admitirmos, não será então muito mais natural atribuir a esse mundo externo, e não a nós próprios, todas as características que as nossas percepções sensoriais nele encontram?

Contudo, a importância suprema da afirmação de Kant não consiste em simplesmente distribuir, de modo justo, os papéis da mente e do seu objeto — o mundo — no processo em que a mente “forma uma ideia do mundo”, porque, como acabei de salientar, é praticamente impossível distinguir claramente os dois. O grande feito foi ter concebido a ideia de que esta única realidade — mente ou mundo — pode muito bem ser capaz de outras formas de

manifestação que não conseguimos apreender e que não implicam as noções de espaço e de tempo. Isto representa uma libertação imponente do nosso enraizado preconceito. Provavelmente existem outras ordens de manifestação diferentes daquelas que têm a estrutura do espaço-tempo. Creio que foi Schopenhauer o primeiro a ler isto em Kant. Essa libertação abre caminho à fé, no sentido religioso, sem entrar constantemente em conflito com os resultados claros que a experiência — sobre o mundo tal como o conhecemos — e o pensamento lógico proclamam de forma inequívoca. Por exemplo — para falar do caso mais significativo — a experiência, tal como a conhecemos, impõe-nos com toda a força a convicção de que não pode sobreviver à destruição do corpo, com cuja vida (tal como conhecemos a vida) está inseparavelmente ligada. Então, não haverá nada depois desta vida? Não. Não do modo como concebemos a experiência, que necessariamente tem de ocorrer no espaço e no tempo. Mas, numa ordem de manifestação em que o tempo não desempenha qualquer papel, a noção de “depois” é destituída de sentido. O pensamento puro não pode, naturalmente, oferecer-nos qualquer garantia de que tal ordem de existência exista; mas pode remover os obstáculos aparentes que nos impedem de a conceber como possível. Foi isso que Kant fez com a sua análise — e é, a meu ver, essa a sua importância filosófica.

Chego agora a Einstein, no mesmo contexto. A atitude de Kant perante a ciência era incrivelmente ingénua, como concordará se folhear as suas *Fundamentações Metafísicas da Ciência Natural* (*Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*). Ele aceitava a ciência física tal como ela se apresentava no seu tempo (1724–1804) como algo praticamente definitivo e ocupava-se em

justificar filosoficamente as suas afirmações. Que isto tenha acontecido a um génio daquela grandeza deve servir de advertência permanente aos filósofos. Kant demonstrava, de forma aparentemente irrefutável, que o espaço era necessariamente infinito, e acreditava firmemente que era da natureza da mente humana dotá-lo das propriedades geométricas resumidas por Euclides. Nesse espaço euclidiano, uma massa de matéria movia-se, isto é, alterava a sua configuração à medida que o tempo avançava. Para Kant — como para qualquer físico do seu tempo — o espaço e o tempo eram duas concepções totalmente distintas; por isso, não hesitou em chamar ao primeiro a forma da nossa intuição externa e ao segundo a forma da nossa intuição interna (*Anschauung*). O reconhecimento de que o espaço infinito de Euclides não é uma forma necessária de observar o mundo da nossa experiência — e de que o espaço e o tempo são melhor compreendidos como um único contínuo de quatro dimensões — pareceu abalar os alicerces da filosofia kantiana, mas, na realidade, não prejudicou a parte mais valiosa do seu pensamento.

Esse reconhecimento coube a Einstein (e a vários outros, como H. A. Lorentz, Poincaré e Minkowski). O enorme impacto das suas descobertas sobre filósofos, pessoas comuns e senhoras nos salões deve-se ao facto de as terem trazido para primeiro plano: mesmo no domínio da nossa experiência, as relações espaço-temporais são muito mais complexas do que Kant jamais sonhou, seguindo, nesse aspeto, todos os físicos, homens comuns e senhoras dos salões que o precederam.

A nova perspectiva tem o seu efeito mais profundo sobre a antiga noção de tempo. O tempo é a noção de “antes e depois”. A nova atitude nasce das seguintes duas raízes:

- 1) A noção de “antes e depois” assenta na relação de causa e efeito. Sabemos — ou, pelo menos, formámos a ideia — de que um acontecimento A pode causar, ou ao menos modificar, outro acontecimento B, de modo que, se A não existisse, B também não existiria, ou pelo menos não na forma modificada que assume. Por exemplo: quando uma granada explode, mata o homem que estava sentado sobre ela; além disso, a explosão é ouvida em locais distantes. O ato de matar pode ser simultâneo à explosão, mas o som ouvido à distância será posterior; contudo, nenhum dos efeitos pode ocorrer antes da causa. Esta é uma noção fundamental — é, de facto, através dela que, também na vida quotidiana, decidimos qual dos dois acontecimentos ocorreu depois ou, pelo menos, não antes do outro. A distinção baseia-se inteiramente na ideia de que o efeito não pode preceder a causa. Se temos razões para pensar que B foi causado por A, ou que mostra vestígios de A, ou mesmo se, a partir de indícios circunstanciais, é concebível que o mostre, então considera-se que B certamente não é anterior a A.
- 2) Guarde isto em mente. A segunda raiz é a evidência experimental e observacional de que os efeitos não se propagam com velocidade arbitrariamente elevada. Existe um limite superior, que, por coincidência, é a velocidade da luz no vácuo. Em escala humana, é extremamente alta — a luz

poderia dar cerca de sete voltas ao equador em apenas um segundo —, mas não é infinita. Chamemos-lhe c . Aceitemos isto como um facto fundamental da natureza. Segue-se então que a distinção anteriormente mencionada entre “antes e depois” ou “mais cedo e mais tarde” (baseada na relação de causa e efeito) não é universalmente aplicável — ela falha em certos casos. Isto não é fácil de explicar em linguagem não matemática. Não que o esquema matemático seja particularmente complicado; o problema é que a linguagem comum é tendenciosa, pois está profundamente impregnada da noção de tempo — não se pode usar um verbo (do latim *verbum*, “a palavra”; em alemão *Zeitwort*, “palavra de tempo”) sem o usar num ou noutro tempo verbal.

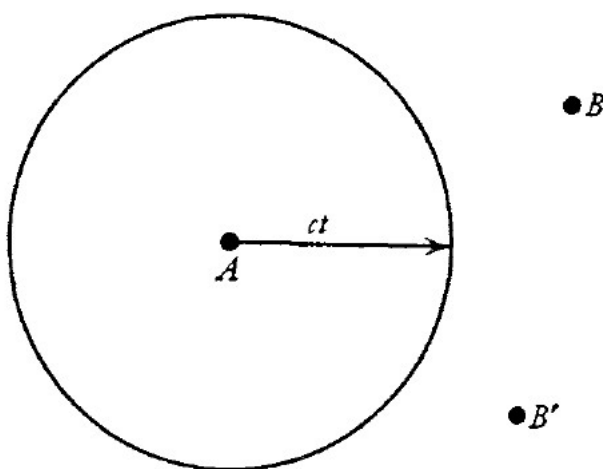


Fig. 3.

A consideração mais simples — embora, como se verá, não plenamente adequada — é a seguinte: dado um acontecimento A , considere, num momento posterior, um acontecimento B localizado fora da esfera de raio ct em torno de A . Nesse caso, B não pode

exibir qualquer “vestígio” de A; nem, naturalmente, A de B. Assim, o nosso critério colapsa. Pela linguagem que usamos, chamámos, evidentemente, a B o acontecimento posterior; mas estaremos certos disso, já que o critério falha em ambos os sentidos?

Considere, agora, num momento anterior (por t), um acontecimento B' situado fora dessa mesma esfera. Também neste caso, como antes, nenhum vestígio de B' pode ter alcançado A (nem, naturalmente, qualquer vestígio de A pode manifestar-se em B').

Assim, em ambos os casos, existe exatamente a mesma relação de não interferência mútua. Não há qualquer diferença conceptual entre as classes B e B' , no que respeita à sua relação de causa e efeito com A. Portanto, se quisermos fazer dessa relação — e não de um preconceito linguístico — a base da distinção entre “antes e depois”, então B e B' formam uma única classe de acontecimentos que não são nem anteriores nem posteriores a A. A região do espaço-tempo ocupada por essa classe é chamada de região de simultaneidade potencial (com respeito ao acontecimento A). Esta expressão é usada porque é sempre possível adotar um referencial espaço-temporal que torne A simultâneo com um determinado B ou com um determinado B' . Esta foi a descoberta de Einstein (conhecida pelo nome de Teoria da Relatividade Restrita, de 1905).

Estas coisas tornaram-se, para nós, físicos, uma realidade muito concreta; usamo-las no trabalho quotidiano tal como usamos a tabuada ou o teorema de Pitágoras sobre os triângulos retângulos. Por vezes, pergunto-me por que causaram elas tamanha comoção

tanto no público em geral como entre os filósofos. Suponho que se deve a isto: significaram a destronização do tempo enquanto tirano rígido imposto de fora — uma libertação da regra inquebrável do “antes e depois”. Pois, de facto, o tempo é o nosso mais severo senhor, ao restringir ostensivamente a existência de cada um de nós a limites estreitos — setenta ou oitenta anos, como diz o Pentateuco. Ser permitido brincar com o programa de tal senhor — até então tido por inatacável —, mesmo que apenas de forma limitada, parece trazer um grande alívio; parece incentivar o pensamento de que todo o “horário” talvez não seja tão sério quanto parecia à primeira vista. E esse pensamento é um pensamento religioso — melhor ainda, eu diria: o pensamento religioso.

Einstein não veio — como por vezes se ouve dizer — desmentir as profundas reflexões de Kant sobre a idealização do espaço e do tempo; pelo contrário, deu um grande passo no sentido da sua realização.

Falei do impacto de Platão, Kant e Einstein sobre a visão filosófica e religiosa. Agora, entre Kant e Einstein — cerca de uma geração antes deste —, a ciência física assistiu a um acontecimento de enorme importância que poderia parecer destinado a comover tanto os filósofos, como o homem comum, como as senhoras dos salões, pelo menos tanto quanto a teoria da relatividade, senão mais. O facto de isso não ter acontecido deve-se, creio eu, a que essa viragem mental é ainda mais difícil de compreender e, por conseguinte, só foi apreendida por muito poucos entre essas três categorias de pessoas — no melhor dos casos, por um ou outro

filósofo. Esse acontecimento está ligado aos nomes do americano Willard Gibbs e do austríaco Ludwig Boltzmann. Direi agora algo sobre ele.

Com muito poucas exceções (que são, de facto, exceções), o curso dos acontecimentos na natureza é irreversível. Se tentarmos imaginar uma sequência temporal de fenómenos exatamente oposta àquela que realmente observamos — como num filme projetado ao contrário —, essa sequência invertida, embora facilmente imaginável, quase sempre entraria em flagrante contradição com as leis bem estabelecidas da ciência física.

A orientação geral de tudo o que acontece foi explicada pela teoria mecânica ou estatística do calor, e essa explicação foi justamente celebrada como uma das suas mais admiráveis conquistas. Não entrarei aqui nos detalhes da teoria física — o que, de resto, não é necessário para apreender o essencial da explicação. Esta teria sido muito pobre se a irreversibilidade tivesse sido introduzida como uma propriedade fundamental do mecanismo microscópico dos átomos e das moléculas. Tal explicação não seria melhor do que muitas explicações puramente verbais medievais, como: “o fogo é quente devido à sua qualidade ígnea”. Não. Segundo Boltzmann, deparamo-nos com a tendência natural de qualquer estado de ordem transformar-se, por si mesmo, num estado menos ordenado — mas não o inverso. Tome como analogia um baralho de cartas que tenha cuidadosamente disposto, começando pelo 7, 8, 9, 10, valete, dama, rei, ás de copas, e assim sucessivamente nos outros naipes. Se embaralhar esse conjunto bem ordenado uma, duas ou três vezes, ele transformar-se-á

gradualmente num conjunto aleatório. Mas isto não é uma propriedade intrínseca do processo de embaralhar. Dado o conjunto desordenado resultante, é perfeitamente concebível um processo de embaralhamento que cancelasse exatamente o efeito do primeiro e restaurasse a ordem original. No entanto, todos esperarão que o primeiro caso ocorra — e ninguém o segundo. De facto, seria preciso esperar muito tempo até que tal inversão acontecesse por mero acaso.

Este é, então, o cerne da explicação de Boltzmann sobre o carácter unidirecional de tudo o que acontece na natureza (incluindo, claro, a história de vida de um organismo, do nascimento à morte). A grande virtude desta explicação é que a “seta do tempo” (como a chamou Eddington) não está embutida nos mecanismos de interação — representados no nosso exemplo pelo ato mecânico de embaralhar cartas. Esse ato, esse mecanismo, é até agora inocente de qualquer noção de passado ou futuro; é, em si mesmo, completamente reversível. A “seta” — a própria noção de passado e futuro — resulta de considerações estatísticas. No nosso exemplo das cartas, o ponto crucial é que existe apenas uma ou muito poucas ordenações perfeitas das cartas, mas bilhões e bilhões de desordens.

Ainda assim, a teoria foi repetidamente contestada, por vezes por pessoas muito inteligentes. A objeção resume-se ao seguinte: diz-se que a teoria é logicamente insustentável. Argumenta-se que, se os mecanismos fundamentais não distinguem entre as duas direções do tempo e funcionam perfeitamente de forma simétrica, como poderia a sua cooperação produzir um comportamento

integrado, fortemente inclinado numa única direção? O que vale para uma direção deve valer igualmente para a oposta.

Se este argumento fosse conclusivo, seria fatal, pois ataca precisamente o ponto que era considerado a principal virtude da teoria: derivar acontecimentos irreversíveis de mecanismos reversíveis.

O argumento é perfeitamente sólido, mas não é fatal. Ele tem razão ao afirmar que o que vale para uma direção também vale para a direção oposta do tempo, que desde o início é introduzida como uma variável perfeitamente simétrica. Mas não se deve saltar para a conclusão de que tal simetria vale de forma geral para ambas as direções. No enquadramento mais cauteloso, deve-se dizer que, em cada caso particular, vale apenas uma ou outra direção. É preciso acrescentar: no caso particular do mundo tal como o conhecemos, o “desgaste” (usando uma expressão por vezes adotada) ocorre numa única direção, que chamamos do passado para o futuro. Por outras palavras, a teoria estatística do calor decide, de forma soberana, por definição própria, em que direção o tempo flui. (Isto tem uma consequência crucial para a metodologia do físico: nunca se deve introduzir qualquer elemento que decida de forma independente a direção da seta do tempo, sob pena de desmoronar a bela construção de Boltzmann.)

Poder-se-ia temer que, em diferentes sistemas físicos, a definição estatística do tempo não produzisse sempre a mesma direção temporal. Boltzmann enfrentou corajosamente essa eventualidade; sustentou que, se o universo for suficientemente

extenso e/ou existir por tempo bastante longo, o tempo poderia, de facto, correr na direção oposta em partes distantes do mundo. O ponto tem sido debatido, mas dificilmente vale a pena prolongar a discussão. Boltzmann não sabia aquilo que hoje nos parece extremamente provável: o universo, tal como o conhecemos, não é nem grande nem antigo o suficiente para dar origem a tais inversões em larga escala. Posso acrescentar, sem entrar em explicações detalhadas, que em escala muito pequena, tanto no espaço como no tempo, tais inversões têm sido observadas (movimento browniano, Smoluchowski).

Na minha opinião, a “teoria estatística do tempo” tem um impacto ainda maior na filosofia do tempo do que a teoria da relatividade. Esta última, embora revolucionária, deixa intacto o fluxo unidirecional do tempo, que pressupõe; já a teoria estatística constrói-o a partir da ordem dos acontecimentos. Isto significa uma libertação da tirania do velho Cronos. Aquilo que construímos na nossa mente não pode, a meu ver, ter poder ditatorial sobre a própria mente — nem poder de a impor, nem de a aniquilar. Mas alguns de vós, tenho a certeza, chamarão a isto misticismo. Assim, com todo o respeito pelo facto de que a teoria física é sempre relativa — dependendo de certas premissas básicas —, podemos, ou pelo menos eu acredito, afirmar que a teoria física, no estado em que se encontra, sugere fortemente a indestrutibilidade da Mente pelo Tempo.

CAPÍTULO 6

O Mistério das Qualidades Sensuais

Neste último capítulo desejo demonstrar, com um pouco mais de detalhe, o estado de coisas muito estranho já notado num famoso fragmento de Demócrito de Abdera — o estranho facto de que, por um lado, todo o nosso conhecimento sobre o mundo que nos rodeia, tanto aquele adquirido na vida quotidiana como aquele revelado pelas experiências laboratoriais mais cuidadosamente planeadas e meticulosas, assenta inteiramente na percepção sensorial imediata, enquanto, por outro lado, esse mesmo conhecimento não consegue revelar as relações entre as percepções sensoriais e o mundo exterior, de modo que, na imagem ou modelo que formamos do mundo exterior, guiados pelas nossas descobertas científicas, todas as qualidades sensuais estão ausentes. Enquanto a primeira parte desta afirmação é, creio eu, facilmente aceite por todos, a segunda talvez não seja tão frequentemente reconhecida, simplesmente porque o não-cientista tem, em geral, uma grande reverência pela ciência e atribui-nos, a nós cientistas, a capacidade de, pelos nossos “métodos fabulosamente refinados”, discernir aquilo que, pela sua própria natureza, nenhum ser humano pode discernir — e nunca será capaz de discernir.

Se perguntar a um físico qual é a sua ideia de luz amarela, ele dir-lhe-á que se trata de ondas eletromagnéticas transversais com

um comprimento de onda na vizinhança dos 590 milimícrons. Se lhe perguntar: “Mas onde entra o amarelo?”, ele responderá: “Na minha representação, não entra de modo algum; porém, este tipo de vibrações, quando atinge a retina de um olho saudável, provoca, na pessoa cujo olho é esse, a sensação de amarelo.” Ao investigar mais, poderá ouvir que diferentes comprimentos de onda produzem diferentes sensações de cor — mas nem todos o fazem, apenas aqueles entre cerca de 800 e 400 $\mu\mu$. Para o físico, as ondas infravermelhas (mais de 800 $\mu\mu$) e as ultravioletas (menos de 400 $\mu\mu$) são fenómenos do mesmo tipo que as ondas na região entre 800 e 400 $\mu\mu$, às quais o olho é sensível. Como surge esta peculiar seleção? É, evidentemente, uma adaptação à radiação solar, que é mais intensa nesta região de comprimentos de onda, diminuindo em ambas as extremidades. Além disso, a sensação de cor intrinsecamente mais luminosa — o amarelo — ocorre precisamente nesse ponto (dentro da referida região) onde a radiação solar apresenta o seu máximo, um verdadeiro pico.

Podemos ainda perguntar: será que a radiação com um comprimento de onda próximo dos 590 $\mu\mu$ é a única a produzir a sensação de amarelo? A resposta é: de modo algum. Se ondas de 760 $\mu\mu$, que por si mesmas produzem a sensação de vermelho, forem misturadas, numa proporção definida, com ondas de 535 $\mu\mu$, que por si mesmas produzem a sensação de verde, essa mistura gera um amarelo indistinguível daquele produzido por 590 $\mu\mu$. Dois campos adjacentes iluminados, um pela mistura e outro pela luz espectral simples, parecem exatamente iguais — não se consegue distinguir qual é qual. Poderia isto ser previsto a partir dos comprimentos de onda? Existe alguma relação numérica com estas

características físicas e objetivas das ondas? Não. É claro que o gráfico de todas as misturas deste tipo foi traçado empiricamente; chama-se o triângulo das cores. Mas ele não está simplesmente relacionado com os comprimentos de onda. Não há regra geral segundo a qual uma mistura de duas luzes espectrais corresponda a uma situada entre elas; por exemplo, uma mistura de “vermelho” e “azul”, provenientes das extremidades do espectro, dá “púrpura”, que não é produzida por nenhuma luz espectral simples. Além disso, o referido gráfico — o triângulo das cores — varia ligeiramente de uma pessoa para outra, e difere consideravelmente em algumas pessoas, chamadas tricromatas anómalas (que não são daltónicas).

A sensação de cor não pode ser explicada pela representação objetiva das ondas luminosas dada pelo físico. Poderia o fisiologista explicá-la, se possuísse um conhecimento mais completo do que aquele que hoje tem sobre os processos que ocorrem na retina e sobre os processos nervosos desencadeados por ela nos feixes do nervo ótico e no cérebro? Não creio. No máximo, poderíamos alcançar um conhecimento objetivo de que fibras nervosas são excitadas e em que proporção — talvez até saber exatamente que processos elas produzem em certas células cerebrais — sempre que a sua mente regista a sensação de amarelo numa determinada direção ou área do campo de visão. Mas mesmo um conhecimento tão íntimo nada nos diria sobre a sensação de cor, e em particular sobre a sensação de amarelo nessa direção — pois os mesmos processos fisiológicos poderiam, concebivelmente, resultar numa sensação de sabor doce, ou em qualquer outra. Quero dizer simplesmente isto: podemos estar certos de que não há nenhum processo nervoso cuja descrição objetiva inclua a característica “cor

amarela” ou “sabor doce”, tal como a descrição objetiva de uma onda eletromagnética não inclui nenhuma dessas características.

O mesmo se aplica às outras sensações. É bastante interessante comparar a percepção da cor, que acabámos de analisar, com a do som. Esta é normalmente transmitida por ondas elásticas de compressão e dilatação propagadas no ar. O seu comprimento de onda — ou, para sermos mais precisos, a sua frequência — determina a altura (ou tom) do som ouvido. (Nota: a relevância fisiológica refere-se à frequência, e não ao comprimento de onda, também no caso da luz, onde, porém, ambas são praticamente recíprocas, uma vez que as velocidades de propagação no espaço vazio e no ar não diferem de forma sensível.) Não é preciso dizer que a gama de frequências do “som audível” é muito diferente da, da “luz visível”: varia de cerca de 12 ou 16 por segundo até 20 000 ou 30 000 por segundo, enquanto as da luz são da ordem de várias centenas de mil milhões (em unidades inglesas). No entanto, a gama relativa é muito mais ampla no caso do som — abrange cerca de 10 oitavas (em contraste com pouco menos de uma oitava no caso da “luz visível”); além disso, ela varia de pessoa para pessoa, especialmente com a idade: o limite superior é regularmente e de forma considerável reduzido com o avançar dos anos. Mas o facto mais surpreendente sobre o som é que uma mistura de várias frequências distintas nunca se combina para produzir apenas uma altura intermédia, como poderia ser produzida por uma frequência intermédia. Em grande medida, as alturas sobrepostas são percecionadas separadamente — embora simultaneamente —, sobretudo por pessoas com ouvido musical apurado. A mistura de muitas notas superiores (“harmónicos”) de diversas qualidades e

intensidades resulta no que se chama o timbre (em alemão: *Klangfarbe*), pelo qual aprendemos a distinguir um violino, uma trompa, um sino de igreja, um piano... mesmo a partir de uma única nota tocada. Mas até os ruídos têm o seu timbre, a partir do qual podemos inferir o que está a acontecer; e até o meu cão reconhece o som peculiar da abertura de uma certa lata, da qual ocasionalmente recebe um biscoito. Em tudo isto, as proporções entre as frequências que cooperam são de suma importância. Se todas forem alteradas na mesma proporção — como acontece ao reproduzir um disco de gramofone demasiado devagar ou demasiado depressa —, ainda assim se reconhece o que está a acontecer. No entanto, algumas distinções relevantes dependem das frequências absolutas de certos componentes. Se um disco com uma voz humana for reproduzido demasiado depressa, as vogais alteram-se de forma perceptível — em particular, o “a” de *car* transforma-se no “a” de *care*. Uma gama contínua de frequências é sempre desagradável, quer apresentada em sequência — como num apito de sirene ou no miar prolongado de um gato —, quer simultaneamente, o que é difícil de obter, exceto talvez com uma multidão de sirenes ou um regimento de gatos a uivar. Isto é, novamente, algo inteiramente diferente do caso da percepção da luz. Todas as cores que normalmente percecionamos são produzidas por misturas contínuas; e uma gradação contínua de tons, numa pintura ou na natureza, pode ser, por vezes, de uma grande beleza.

As principais características da percepção do som são bem compreendidas no mecanismo do ouvido, acerca do qual possuímos um conhecimento mais sólido e seguro do que aquele que temos sobre a química da retina. O órgão principal é a cóclea — um tubo

ósseo em espiral que se assemelha à concha de um certo tipo de caracol marinho: uma minúscula escada em caracol que se vai tornando cada vez mais estreita à medida que “sobe”. Em vez dos degraus (para continuarmos o símile), ao longo dessa escada em espiral estão esticadas fibras elásticas, formando uma membrana cuja largura (ou o comprimento de cada fibra individual) diminui do “fundo” para o “topo”. Assim, como as cordas de uma harpa ou de um piano, as fibras de diferentes comprimentos respondem mecanicamente a oscilações de diferentes frequências. Para uma dada frequência, uma área específica e reduzida da membrana — não apenas uma única fibra — responde; para uma frequência mais alta, responde uma outra área, onde as fibras são mais curtas. Uma vibração mecânica de frequência definida deve então gerar, em cada uma dessas fibras nervosas, os bem conhecidos impulsos nervosos que se propagam até certas regiões do córtex cerebral. Sabemos, em termos gerais, que o processo de condução é praticamente o mesmo em todos os nervos e varia apenas com a intensidade da excitação; esta, por sua vez, afeta a frequência dos impulsos — que, evidentemente, não deve ser confundida com a frequência do som, pois as duas nada têm a ver uma com a outra.

O quadro, no entanto, não é tão simples como desejaríamos. Se um físico tivesse construído o ouvido, com o propósito de dotar o seu possuidor da incrível capacidade de discriminação de altura e de timbre que de facto possui, tê-lo-ia construído de modo diferente. Mas talvez acabasse por regressar à forma atual. Seria mais simples e agradável se pudéssemos afirmar que cada “corda” da cóclea responde apenas a uma frequência perfeitamente definida da vibração recebida. Mas não é assim. E por que não é assim?

Porque as vibrações dessas “cordas” são fortemente amortecidas. Isso, por necessidade, alarga a sua gama de ressonância. O nosso físico poderia tê-las construído com o menor amortecimento possível; mas isso teria a terrível consequência de a percepção de um som não cessar quase imediatamente após a onda que o produz terminar — ela prolongar-se-ia por algum tempo, até que o ressonador fracamente amortecido da cóclea se extinguísse. A discriminação de altura seria obtida à custa da discriminação temporal entre sons sucessivos. É intrigante como o mecanismo real consegue conciliar ambos de forma tão absolutamente perfeita.

Entrei em algum detalhe aqui para lhe fazer sentir que nem a descrição do físico, nem a do fisiologista, contêm qualquer traço da sensação do som. Qualquer descrição deste tipo é forçosamente levada a terminar com uma frase como esta: esses impulsos nervosos são conduzidos até uma determinada região do cérebro, onde são registados como uma sequência de sons. Podemos acompanhar as variações de pressão no ar, à medida que produzem as vibrações do tímpano; podemos ver como o seu movimento é transmitido, por uma cadeia de minúsculos ossículos, até outra membrana e, finalmente, até partes da membrana situada dentro da cóclea — composta por fibras de comprimento variável, como descrevi acima. Podemos compreender como uma dessas fibras vibrantes origina um processo elétrico e químico de condução na fibra nervosa com a qual está em contato. Podemos seguir essa condução até ao córtex cerebral e até obter algum conhecimento objetivo de certas coisas que ali acontecem. Mas em parte alguma encontraremos esse “registo como som”, que simplesmente não

está contido na nossa representação científica — ele existe apenas na mente da pessoa de cujo ouvido e cérebro estamos a falar.

Poderíamos discutir de modo semelhante as sensações de tato, de calor e de frio, de olfato e de paladar. Estas duas últimas — os chamados sentidos químicos (sendo o olfato responsável pela análise de substâncias gasosas e o paladar pela de substâncias líquidas) — têm em comum com a sensação visual o facto de, perante um número infinito de estímulos possíveis, responderem com um conjunto restrito de qualidades sensoriais: no caso do paladar, amargo, doce, ácido e salgado, e as suas misturas peculiares. O olfato é, creio eu, mais variado do que o paladar e, em certos animais, é muito mais apurado do que no ser humano. Quais as características objetivas de um estímulo físico ou químico que modificam a sensação de forma perceptível — isso parece variar muito no reino animal. As abelhas, por exemplo, possuem uma visão cromática que se estende bem para dentro do ultravioleta; são verdadeiros tricromatas (e não dicromatas, como pareciam ser em experiências anteriores que não tiveram em conta o ultravioleta). É de particular interesse o facto de as abelhas, como von Frisch em Munique descobriu há não muito tempo, serem especialmente sensíveis a vestígios de polarização da luz; isto ajuda-as na sua orientação em relação ao Sol, de uma forma surpreendentemente elaborada. Para um ser humano, mesmo a luz completamente polarizada é indistinguível da luz comum, não polarizada. Descobriu-se que os morcegos são sensíveis a vibrações de frequência extremamente elevada (ultrassons), muito para além do limite superior da audição humana; eles próprios as produzem, usando-as como uma espécie de “radar” para evitar obstáculos. O

sentido humano de calor e frio apresenta a curiosa característica de *“les extrêmes se touchent”* (os extremos tocam-se): se tocarmos inadvertidamente num objeto muito frio, podemos por um momento julgar que ele está quente e que nos queimou os dedos.

Há vinte ou trinta anos, químicos dos Estados Unidos descobriram um composto curioso, de cujo nome químico me esqueci — um pó branco, insípido para algumas pessoas, mas intensamente amargo para outras. Este facto despertou grande interesse e tem sido amplamente investigado desde então. A qualidade de ser um “degustador” (para essa substância específica) é inerente ao indivíduo, independentemente de quaisquer outras condições. Além disso, é herdada segundo as leis de Mendel, de modo semelhante à herança das características dos grupos sanguíneos. Tal como acontece com estes últimos, parece não haver qualquer vantagem ou desvantagem concebível em ser “degustador” ou “não degustador”. Um dos dois “alelos” é dominante nos heterozigotos — creio que é o do degustador. Parece-me muito improvável que essa substância, descoberta por acaso, seja única. É muito provável que “os gostos diferem” de uma forma bastante geral — e num sentido muito real!

Voltemos agora ao caso da luz e investiguemos um pouco mais profundamente o modo como ela é produzida e a maneira como o físico determina as suas características objetivas. Suponho que, hoje em dia, é do conhecimento geral que a luz é normalmente produzida por eletrões — em particular, por aqueles que, num átomo, “fazem algo” em torno do núcleo. Um eletrão não é nem vermelho nem azul, nem de qualquer outra cor; o mesmo se aplica

ao protão, o núcleo do átomo de hidrogénio. Mas a união de ambos, no átomo de hidrogénio, segundo o físico, produz radiação eletromagnética composta por uma série discreta de comprimentos de onda. Os componentes homogéneos dessa radiação, quando separados por um prisma ou uma rede ótica, estimulam no observador as sensações de vermelho, verde, azul e violeta, através de determinados processos fisiológicos, cujo carácter geral é suficientemente bem conhecido para que se possa afirmar que esses processos não são vermelhos, verdes ou azuis; de facto, os elementos nervosos em questão não exibem cor em virtude da sua estimulação. O branco ou o cinzento que as células nervosas apresentam, quer estejam ou não estimuladas, é certamente insignificante em relação à sensação de cor que, no indivíduo a quem pertencem esses nervos, acompanha a sua excitação.

Contudo, o nosso conhecimento da radiação do átomo de hidrogénio e das propriedades físicas objetivas dessa radiação teve origem na observação, por alguém, dessas linhas espectrais coloridas em determinadas posições dentro do espectro obtido a partir do vapor de hidrogénio incandescente. Foi assim que se obteve o primeiro conhecimento — mas de modo algum o conhecimento completo. Para o alcançar, é necessário eliminar de imediato os elementos sensoriais, e vale a pena seguir esse processo neste exemplo característico. A cor, por si só, nada lhe diz sobre o comprimento de onda; na verdade, vimos anteriormente que, por exemplo, uma linha espectral amarela poderia, em princípio, não ser “monocromática” no sentido físico do termo, mas composta por muitos comprimentos de onda diferentes — se não soubéssemos que a construção do nosso espectroscópio exclui essa

possibilidade. O aparelho recolhe luz de um comprimento de onda definido numa posição igualmente definida do espectro. A luz que aí aparece tem sempre exatamente a mesma cor, qualquer que seja a sua origem. Mesmo assim, a qualidade da sensação de cor não oferece qualquer indício direto que permita deduzir a propriedade física — o comprimento de onda — e isso independentemente da pobreza relativa da nossa discriminação das tonalidades, que de resto não satisfaria o físico. À priori, a sensação de azul poderia, em princípio, ser provocada por ondas longas e a de vermelho por ondas curtas — em vez do contrário, como de facto acontece.

Para completar o nosso conhecimento das propriedades físicas da luz proveniente de qualquer fonte, deve ser utilizado um tipo especial de espectroscópio, no qual a decomposição é obtida através de uma rede de difração. Um prisma não serviria, porque não se conhecem antecipadamente os ângulos sob os quais refrata os diferentes comprimentos de onda, que variam consoante o material do prisma. Na verdade, à priori, com um prisma nem sequer poderia saber que a radiação mais fortemente desviada é a de comprimento de onda mais curto — como efetivamente sucede.

A teoria da rede de difração é muito mais simples do que a do prisma. A partir do pressuposto físico fundamental sobre a luz — apenas o facto de ser um fenómeno ondulatório —, é possível, se souber o número de sulcos equidistantes da rede por polegada (geralmente da ordem de muitos milhares), determinar o ângulo exato de desvio para um dado comprimento de onda e, portanto, inversamente, inferir o comprimento de onda a partir da “constante da rede” e do ângulo de desvio. Em alguns casos (notavelmente nos

efeitos Zeeman e Stark), algumas das linhas espectrais estão polarizadas. Para completar a descrição física neste aspecto — em que o olho humano é totalmente insensível —, coloca-se um polarizador (um prisma de Nicol) no percurso do feixe, antes da decomposição; ao rodar lentamente o Nicol em torno do seu eixo, certas linhas extinguem-se ou reduzem-se à luminosidade mínima em determinadas orientações, o que indica a direção (ortogonal ao feixe) da sua polarização total ou parcial.

Uma vez desenvolvida toda esta técnica, ela pode ser estendida muito além da região visível. As linhas espectrais dos vapores incandescentes não se limitam à região visível, a qual, fisicamente, não tem qualquer distinção especial. As linhas formam longas séries teoricamente infinitas. Os comprimentos de onda de cada série estão ligados por uma lei matemática relativamente simples, própria de cada série, que se mantém uniforme ao longo de toda ela, sem distinção da parte que por acaso se encontra na região visível. Essas leis seriais foram descobertas inicialmente de forma empírica, mas hoje são compreendidas teoricamente. Naturalmente, fora da região visível, uma chapa fotográfica deve substituir o olho. Os comprimentos de onda são inferidos a partir de medições puramente dimensionais: primeiro, uma vez por todas, determina-se a constante da rede — isto é, a distância entre sulcos vizinhos (o recíproco do número de sulcos por unidade de comprimento); depois, medem-se as posições das linhas na chapa fotográfica, a partir das quais, juntamente com as dimensões conhecidas do aparelho, podem ser calculados os ângulos de desvio.

Estas são coisas bem conhecidas, mas desejo salientar dois pontos de importância geral, que se aplicam a quase toda a medição física.

O estado de coisas sobre o qual me alonguei até aqui é frequentemente descrito dizendo-se que, à medida que a técnica de medição se aperfeiçoa, o observador é gradualmente substituído por instrumentos cada vez mais elaborados. Ora, no caso presente, isso não é de modo algum verdade: ele não é substituído gradualmente, mas sim desde o início. Procurei explicar que a impressão colorida que o observador tem do fenómeno não fornece a mais leve pista sobre a sua natureza física. É necessário introduzir o dispositivo de traçar uma rede e medir certos comprimentos e ângulos antes mesmo de se poder obter o mais rudimentar conhecimento qualitativo daquilo a que chamamos a natureza física objetiva da luz e dos seus componentes físicos. Esse é o passo relevante. O facto de o dispositivo vir a ser progressivamente aperfeiçoado, mantendo-se, contudo, essencialmente o mesmo, é epistemologicamente irrelevante, por maiores que sejam os avanços conseguidos.

O segundo ponto é que o observador nunca é inteiramente substituído pelos instrumentos; pois, se o fosse, não poderia evidentemente obter conhecimento algum. Ele próprio deve ter construído o instrumento e, quer durante a construção, quer depois, deve ter feito medições cuidadosas das suas dimensões e verificações das suas partes móveis (por exemplo, um braço de suporte que gira em torno de um pino cónico e desliza ao longo de uma escala circular de ângulos), de modo a assegurar que o

movimento é exatamente o pretendido. É verdade que, para algumas dessas medições e verificações, o físico dependerá da fábrica que produziu e forneceu o instrumento; ainda assim, toda essa informação remonta, em última instância, às percepções sensoriais de alguma pessoa viva, por mais engenhosos que sejam os dispositivos usados para facilitar o trabalho. Finalmente, ao utilizar o instrumento na sua investigação, o observador deve fazer as leituras correspondentes — sejam leituras diretas de ângulos ou de distâncias medidas ao microscópio, ou entre linhas espectrais registadas numa chapa fotográfica. Muitos dispositivos auxiliares podem facilitar este trabalho; por exemplo, o registo fotométrico da transparência da chapa, que fornece um diagrama ampliado no qual as posições das linhas podem ser facilmente lidas. Mas é necessário lê-las! Os sentidos do observador têm de intervir, inevitavelmente. O registo mais preciso, se não for examinado, nada nos diz.

Assim, regressamos a este estado de coisas tão estranho: embora a percepção sensorial direta do fenómeno nada nos diga sobre a sua natureza física objetiva (ou aquilo a que normalmente chamamos assim) e deva ser rejeitada desde o início como fonte de informação, a imagem teórica que obtemos no fim repousa inteiramente sobre um intrincado conjunto de informações, todas elas obtidas através de percepção sensorial direta. A teoria baseia-se nelas, é construída a partir delas, e, no entanto, não se pode realmente dizer que as contenha. Ao utilizarmos essa imagem, esquecemo-nos geralmente da sua origem, exceto de modo muito geral, sabendo que a nossa ideia de uma onda luminosa não é uma invenção arbitrária de um excêntrico, mas se baseia na experiência.

Fiquei surpreendido quando descobri, por mim próprio, que este estado de coisas já era claramente compreendido pelo grande Demócrito, no século V a.C., embora ele não tivesse qualquer conhecimento de instrumentos de medição física minimamente comparáveis aos de que lhe falei (que são dos mais simples usados no nosso tempo).

Galeno preservou-nos um fragmento (Diels, fr. 125), no qual Demócrito apresenta o intelecto (διδνοια) em discussão com os sentidos (αἰσθήσεις) sobre o que é “real”. O intelecto diz:

“Aparentemente há cor, aparentemente doçura, aparentemente amargor; na realidade, apenas átomos e o vazio.”

Ao que os sentidos respondem:

“Pobre intelecto, esperas vencer-nos enquanto de nós obténs as tuas provas? A tua vitória é a tua derrota.”

Neste capítulo procurei, através de exemplos simples retirados da mais humilde das ciências — a física —, contrastar dois factos gerais:

- a) todo o conhecimento científico se baseia na percepção sensorial, e

- b) não obstante, as concepções científicas dos processos naturais formadas deste modo carecem de todas as qualidades sensoriais e, por isso, não podem dar conta destas.

Permita-me concluir com uma observação de carácter geral.

As teorias científicas servem para facilitar a visão de conjunto das nossas observações e dos resultados experimentais. Todo o cientista sabe o quão difícil é recordar um grupo de factos de extensão moderada antes que tenha sido formado, pelo menos, um esboço primitivo de uma imagem teórica acerca deles. Não é, portanto, de admirar — e de modo algum deve ser motivo de censura aos autores de artigos originais ou de manuais — que, uma vez constituída uma teoria razoavelmente coerente, estes já não descrevam os factos nus que descobriram ou que desejam transmitir ao leitor, mas os revistam com a terminologia dessa ou dessas teorias. Este procedimento, embora muito útil para conservarmos os factos numa disposição ordenada, tende a obliterar a distinção entre as observações reais e a teoria que delas nasceu. E dado que as primeiras possuem sempre alguma qualidade sensorial, as teorias são facilmente tomadas como se explicassem as qualidades sensoriais — o que, evidentemente, nunca fazem.

Esboço Autobiográfico

Vivi longe do meu melhor amigo, na verdade o único amigo próximo que alguma vez tive, durante a maior parte da minha vida. (Talvez seja por isso que muitas vezes fui acusado de ser galanteador em vez de verdadeiro amigo.) Ele estudava biologia (botânica, para ser exato); eu, física. E muitas noites passeávamos de um lado para o outro entre a *Gluckgasse* e a *Schlüsselgasse*, mergulhados em conversas filosóficas. Mal sabíamos então que o que nos parecia original já ocupava grandes mentes há séculos. Não evitam os professores sempre esses tópicos, por receio de que possam entrar em conflito com doutrinas religiosas e provocar perguntas incômodas? Esta é a principal razão pela qual me afastei da religião, que nunca me causou qualquer mal.

Não sei se foi logo após a Primeira Guerra Mundial, ou durante o tempo que passei em Zurique (1921-1927), ou mesmo mais tarde em Berlim (1927-1933), que Fränzel e eu passámos novamente uma longa noite juntos. As pequenas horas da manhã encontraram-nos ainda a conversar num café nos arredores de Viena. Parecia ter mudado bastante ao longo dos anos. Afinal, as nossas cartas tinham sido poucas e de conteúdo muito limitado.

Devo acrescentar que também passámos tempo a ler Richard Semon. Nunca antes nem depois li um livro sério com mais alguém. Richard Semon foi rapidamente banido pelos biólogos, uma vez que as suas ideias, segundo eles, se baseavam na herança de características adquiridas. Assim, o seu nome foi esquecido. Muitos anos depois, deparei-me com ele num livro (*Human Knowledge?*) de Bertrand Russell, que dedicou um estudo profundo a este genial biólogo, destacando a importância da sua teoria da Mneme.

Fränzel e eu não nos vimos novamente até 1956. Desta vez, foi um encontro muito breve no nosso apartamento em Viena, *Pasteurgasse 4*, enquanto outras pessoas estavam presentes, pelo que esses quinze minutos mal valem a pena mencionar. Fränzel e a sua esposa viviam do outro lado da fronteira, a norte, aparentemente sem impedimentos das autoridades; no entanto, sair do país tornara-se bastante difícil. Nunca mais nos reencontrámos: dois anos depois, ele morreu de forma muito súbita.

Hoje ainda sou amigo do seu encantador sobrinho e sobrinha, filhos do seu irmão favorito, Silvio. Silvio, o mais novo da família, era médico em Krems, onde fui vê-lo quando regresssei

à Áustria em 1956. Devia estar já gravemente doente, pois morreu pouco tempo depois. Um dos irmãos de Fränzel, E., ainda está vivo. É um cirurgião respeitado em Klagenfurt. E. levou-me uma vez até ao Einser (Dolomitas de Sexten) e, mais ainda, ajudou-me a descer em segurança. Receio que tenhamos perdido contato, afastados pelas nossas diferentes visões do mundo.

Pouco antes de entrar na Universidade de Viena em 1906, a única universidade em que alguma vez estive matriculado, o grande Ludwig Boltzmann encontrou o seu triste fim em Duino. Até hoje não esqueci as palavras claras, precisas e ainda entusiásticas com que Fritz Hasenöhl nos descreveu o trabalho de Boltzmann. O discípulo e sucessor de Boltzmann fez o seu discurso inaugural no outono de 1907 na primitiva sala de palestras do antigo edifício da Türkenstrasse, sem qualquer pompa ou cerimónia. Fiquei profundamente impressionado com a sua introdução, e nenhuma percepção em física me pareceu mais importante do que a de Boltzmann, apesar de Planck e Einstein. Aliás, o trabalho inicial de Einstein (antes de 1905) mostra como ele também estava fascinado pelo trabalho de Boltzmann. Foi o único que deu um passo importante além dele, invertendo a equação de Boltzmann $S = k \lg W$. Nenhum outro ser humano teve maior influência sobre mim do que Fritz Hasenöhl – talvez excetuando o meu pai, Rudolph, que ao longo de tantos anos em que vivemos juntos me envolveu em conversas sobre os seus muitos interesses. Mas disso falarei mais tarde.

Ainda estudante, fiz amizade com Hans Thirring. Essa amizade revelou-se duradoura. Quando Hasenöhl morreu em combate em 1916, Hans Thirring tornou-se seu sucessor; reformou-se aos setenta anos, renunciando ao privilégio de permanecer o ano honorário e deixando a cadeira de Boltzmann para o seu filho, Walter.

Após a I Guerra Mundial, enquanto assistente de Exner, conheci K. W. F. Kohlrausch, iniciando-se mais uma amizade duradoura. Kohlrausch ganhara reputação ao provar experimentalmente a existência das chamadas 'Flutuações de Schweidle'. No ano anterior ao início da guerra, trabalhámos juntos na investigação das “radiações secundárias”, que produziam – no menor ângulo possível sobre pequenas placas de materiais variados – um feixe (misto) de raios gama. Aprendi duas coisas nesses anos: primeiro, que eu não era adequado para trabalho experimental; segundo, que o meu ambiente e as pessoas nele envolvidas já não eram capazes de realizar progressos experimentais em larga escala. Havia muitas razões para isso, uma delas sendo que na encantadora velha Viena os bem-intencionados atrapalhadores eram colocados, muitas vezes por antiguidade, em posições-

chave, impedindo todo o progresso. Se apenas se tivesse compreendido que eram necessárias personalidades com grande capacidade mental, mesmo que isso implicasse trazê-las de longe! As teorias da eletricidade atmosférica e da radioatividade foram originalmente desenvolvidas em Viena, mas quem se dedicava de verdade ao seu trabalho tinha de seguir essas teorias para onde quer que fossem transmitidas. Lise Meitner, por exemplo, deixou Viena e foi para Berlim.

Mas voltemos a mim: em retrospectiva, estou muito grato por, devido ao meu treino como oficial da reserva em 1910/11, ter sido nomeado assistente de Fritz Exner e não de Hasenöhl. Isso significou que pude experimentar com K. W. F. Kohlrausch e utilizar vários instrumentos belíssimos, levá-los para o meu quarto, especialmente os ópticos, e mexer neles à vontade. Assim, podia montar o interferômetro, admirar os espectros, misturar cores, etc. Foi também assim que descobri – através da equação de Rayleigh – a anomalia de deutério dos meus olhos. Além disso, comprometi-me a fazer o longo curso prático, pelo que aprendi a valorizar a importância da medição. Gostaria que houvesse mais físicos teóricos que o fizessem.

Em 1918 tivemos uma espécie de revolução. O Imperador Carlos abdicou e a Áustria tornou-se república. O nosso quotidiano permaneceu praticamente igual. No entanto, a minha vida foi afetada pelo desmembramento do Império. Aceitara um posto como docente de física teórica em Czernowitz e já planeava passar todo o meu tempo livre a adquirir um conhecimento mais profundo de filosofia, tendo acabado de descobrir Schopenhauer, que me introduziu na Teoria Unificada dos Upanishads.

Para nós, vienenses, a guerra e as suas consequências significaram que já não podíamos satisfazer as nossas necessidades básicas. A fome foi o castigo que a Entente vitoriosa escolheu em retaliação pela guerra submarina ilimitada dos seus inimigos, uma guerra tão atroz que o herdeiro do príncipe Bismarck e os seus seguidores só conseguiram superá-la em quantidade, não em qualidade, na Segunda Guerra Mundial. A fome alastrava por todo o país, exceto nas quintas, para onde as nossas pobres mulheres eram enviadas a pedir ovos, manteiga e leite. Apesar dos bens com que pagavam — peças de malha, combinações bonitas, etc. — eram alvo de desdém e tratadas como mendigas.

Em Viena, tornara-se praticamente impossível conviver e receber amigos. Simplesmente não havia nada para oferecer, e mesmo os pratos mais simples eram reservados para o almoço de domingo. De certo modo, esta falta de vida social era compensada pela visita diária

às cozinhas comunitárias. As *Gemeinschaftsküchen* (cozinhas comunitárias) eram frequentemente apelidadas de *Gemeinheitsküchen* (*Gemeinheit* = “malvadez”, “truque mesquinho”). Era lá que nos encontrávamos para almoçar. Tínhamos de estar gratos às mulheres que consideravam ser seu dever criar refeições a partir do nada. Sem dúvida é mais fácil fazê-lo para 30 ou 50 pessoas do que para três. Além disso, aliviar os outros de um fardo deve, por si só, ser uma recompensa. Os meus pais e eu conhecemos ali várias pessoas com interesses semelhantes, e algumas delas — os Radon, por exemplo, ambos matemáticos — tornaram-se grandes amigos da nossa família.

Acredito que, de certo modo, os meus pais e eu estávamos particularmente em desvantagem. Naquele tempo vivíamos num grande apartamento (na verdade, dois unidos num só) no quinto andar de um edifício bastante valioso na cidade, que pertencia ao pai da minha mãe. Não tínhamos luz elétrica, em parte porque o meu avô não queria pagar pela instalação, e também porque o meu pai, em especial, se habituara à excelente luz a gás numa época em que as lâmpadas elétricas ainda eram muito caras e ineficientes, pelo que não víamos realmente necessidade delas. Além disso, mandámos retirar os antigos fogões de azulejo e substituímo-los por fogões a gás maciço com refletores de cobre — era difícil arranjar criados naqueles dias, e esperávamos assim facilitar-nos a vida. O gás também era usado para cozinhar, embora ainda tivéssemos um enorme e antigo fogão a lenha na cozinha. Tudo isto corria bem até que, um dia, um dos altos gabinetes burocráticos — provavelmente o conselho municipal — decretou que o gás passaria a ser racionado. A partir daí, cada agregado familiar passou a ter direito a apenas um metro cúbico por dia, independentemente do uso que desse ao combustível. Quem fosse apanhado a usar mais, era simplesmente cortado.

No verão de 1919 fomos para Millstadt, na Caríntia, e o meu pai, que tinha sessenta e dois anos, começou a mostrar os primeiros sinais de envelhecimento e daquilo que viria a ser a sua doença final — facto de que não nos apercebemos na altura. Sempre que íamos passear, ficava para trás, especialmente nas subidas, e disfarçava o cansaço com uma curiosidade botânica fingida. Desde cerca de 1902, o principal interesse do pai era a botânica. Durante os meses de verão, recolhia material para os seus estudos, não para montar um herbário próprio, mas para experimentar com o seu microscópio e microtomo. Tornara-se morfogeneticista e filogeneticista e abandonara a sua dedicação aos grandes pintores de Itália, bem como os seus próprios interesses artísticos, que consistiam em esboçar inúmeros

cenários de paisagens. A reação algo entediada do pai aos nossos apelos — “Oh, Rudolph, anda lá” e “Sr. Schrödinger, já está a ficar tarde” — também não nos alarmou; estávamos habituados a isso e atribuímo-lo à sua concentração absorvida.

Após o nosso regresso a Viena, os sinais tornaram-se mais evidentes, mas ainda assim não os levámos a sério como um aviso: hemorragias frequentes e intensas do nariz e da retina, e finalmente edema nas pernas. Penso que ele sabia, muito antes de todos nós, que o fim se aproximava. Infelizmente, isto coincidiu com a calamidade do gás mencionada acima. Comprámos lâmpadas de carbureto, e ele insistia em tratá-las pessoalmente. Um cheiro terrível espalhou-se pela sua bela biblioteca, que transformara num laboratório de carbureto. Vinte anos antes, quando aprendera a gravar com Schmutzer, usara o mesmo quarto para mergulhar as suas placas de cobre e zinco em ácidos e águas cloradas; eu ainda andava na escola e mostrava grande interesse pelas suas atividades. Mas agora deixei-o entregue a si mesmo. Estava contente por ter regressado ao meu amado Instituto de Física, depois de quase quatro anos de serviço na guerra. Além disso, no outono de 1919 fiquei noivo da rapariga que tem sido a minha esposa há quarenta anos. Não sei se o meu pai teve tratamento médico adequado, mas sei que devia tê-lo cuidado melhor. Devia ter pedido a Richard von Wettstein, que era afinal um bom amigo dele, que procurasse ajuda na faculdade de medicina. Teria um melhor aconselhamento retardado a arteriosclerose? E, se sim, teria sido isso uma vantagem para um homem doente? Só o pai conhecia plenamente a nossa situação financeira após o encerramento da nossa loja de linóleo e oleado na Stephansplatz, em 1917 (por falta de stock).

Morreu pacificamente na véspera de Natal de 1919, na sua velha poltrona.

O ano seguinte foi o da inflação galopante, o que significou a desvalorização da magra conta bancária do meu pai, que de qualquer forma nunca teria sido suficiente para manter os meus pais à tona. Os proveitos dos tapetes persas que ele vendera (com o meu consentimento!) evaporaram-se; desapareceram para sempre os microscópios, o microtomo e boa parte da sua biblioteca, que dei por um prato de lentilhas após a sua morte. A sua maior preocupação nos últimos meses fora que, à avançada idade de trinta e dois anos, eu ganhava praticamente nada — 1000 coroas austríacas (antes de impostos, claro, pois estou certo de que ele declarava este valor no seu imposto de renda, exceto quando eu era oficial durante a guerra). O único sucesso do filho que ele viveu para ver foi que me tinham oferecido (e eu

aceitei) um posto melhor remunerado como docente privado e assistente de Max Wien em Jena.

A minha esposa e eu mudámo-nos para Jena em abril de 1920, deixando a minha mãe por conta própria — facto de que hoje nada me orgulha. Ela teve de suportar o fardo de empacotar e limpar o apartamento. Oh, como éramos todos cegos! O pai dela, proprietário da casa, estava bastante preocupado, após a morte do meu pai, sobre quem pagaria a renda. Nós não tínhamos condições para o fazer, e a mãe teve de ceder o lugar a um inquilino mais abastado. O meu futuro sogro apareceu gentilmente com o homem, um empresário judeu que trabalhava para a Phoenix, uma próspera companhia de seguros. Assim, a minha mãe teve de sair, para onde, não sei. Se não tivéssemos sido tão cegos, teríamos previsto — e milhares de casos semelhantes nos teriam dado razão — quão excelente fonte de rendimento poderia ter sido o grande apartamento bem mobilado para a minha mãe se ela tivesse vivido mais. Ela morreu no outono de 1921, de cancro da coluna, após o que acreditávamos ter sido uma operação bem-sucedida ao cancro da mama em 1917.

Raramente me lembro de sonhos, e poucas vezes tive pesadelos, exceto talvez na minha primeira infância. No entanto, durante muito tempo após a morte do meu pai, um pesadelo recorria repetidamente: o meu pai ainda estava vivo e eu sabia que tinha dado todos os seus belos instrumentos e livros de botânica. O que faria ele agora, que eu destruíra de forma imprudente e irreversível a base da sua vida intelectual? Tenho a certeza de que era a minha consciência culpada que causava o sonho, dado que cuidei tão pouco dos meus pais entre 1919 e 1921. Esta só pode ser a explicação, pois normalmente não sou perturbado por pesadelos nem por consciência culpada.

A minha infância e adolescência (1887-1910 ou por volta disso) foi influenciada principalmente pelo meu pai, não de forma educativa convencional, mas de maneira mais quotidiana. Isso devia-se ao facto de ele passar muito mais tempo em casa do que a maioria dos homens que trabalham para viver, e eu também estar muito em casa. Nos meus primeiros anos de aprendizagem fui ensinado por um professor particular que vinha ver-me duas vezes por semana, e na escola secundária ainda tínhamos a abençoada tradição de frequentar vinte e cinco horas por semana, apenas de manhã. (Em duas tardes apenas tínhamos de assistir às aulas de educação religiosa protestante.)

Aprendi muito nessas ocasiões, embora o resultado nem sempre estivesse relacionado com a matéria religiosa. A limitação de tempo devido aos compromissos escolares é uma grande vantagem. Se o aluno se sentir inclinado, tem tempo para pensar e também pode ter aulas particulares nas disciplinas que não fazem parte do currículo. Só posso encontrar palavras de elogio para a minha escola (Akademisches Gymnasium): raramente me aborrecia lá, e quando isso acontecia (o nosso curso preparatório de filosofia era realmente mau), voltava a atenção para outro assunto, por exemplo, a minha tradução de francês.

Neste ponto gostaria de acrescentar uma observação de carácter mais geral. A descoberta dos cromossomas como fatores decisivos na hereditariedade parece ter dado à sociedade o direito de ignorar outros fatores igualmente importantes, embora mais conhecidos, como a comunicação, a educação e a tradição. Assume-se que estes não seriam tão relevantes porque, do ponto de vista da genética, não são suficientemente estáveis. Isto é bastante verdade. No entanto, há casos como o de Kaspar Hauser, por exemplo, e o de um pequeno grupo de crianças tasmanianas da “Idade da Pedra”, recentemente trazidas para viver em ambientes ingleses e recebendo uma educação inglesa de primeira classe, com o efeito de atingirem o nível educacional dos ingleses da alta sociedade. Não prova isto que são necessários tanto o código cromossómico como um ambiente humano civilizado para formar pessoas do nosso tipo? Por outras palavras, o nível intelectual de cada indivíduo é moldado pela “natureza” e pelo “educar”. As escolas são, portanto (não como a nossa Imperatriz Maria Teresa gostava de ver), inestimáveis para a orientação humana, e muito menos para fins políticos. E uma sólida formação familiar é igualmente importante para preparar o solo onde a escola semeará. Infelizmente, este é um facto ignorado por aqueles que afirmam que apenas os filhos dos menos instruídos devem frequentar escolas de ensino superior (serão os filhos dos mais instruídos excluídos pelas mesmas razões?) e também pela alta sociedade britânica, onde se considera de classe alta substituir a vida familiar por colégios internos e como sinal de nobreza deixar a casa cedo. Até a atual Rainha teve de separar-se do seu primogénito e enviá-lo para tal instituição. Nada disto me diz respeito estritamente. Apenas me veio à mente quando percebi novamente quanto ganhei com o tempo passado com o meu pai quando era rapaz e quanto pouco teria aproveitado da escola se ele não estivesse presente. Ele sabia na verdade muito mais do que tinham para oferecer, não porque tivesse sido forçado a estudar há trinta anos, mas porque ainda se interessava. Se me alongasse aqui, acabaria por contar uma longa história.

Mais tarde, quando ele se dedicou à botânica e eu praticamente devorei *A Origem das Espécies*, as nossas discussões assumiram um carácter diferente, certamente distinto do que se transmitia na escola, onde a teoria da evolução ainda era proibida nas aulas de biologia e os professores de educação religiosa eram aconselhados a chamá-la heresia. Claro que rapidamente me tornei um fervoroso seguidor do darwinismo (e ainda o sou hoje), enquanto o pai, influenciado pelos seus amigos, aconselhava cautela. A ligação entre a seleção natural e a sobrevivência do mais apto, por um lado, e a lei de Mendel e a teoria da mutação de, De Vries, por outro, ainda tinha de ser plenamente descoberta. Mesmo hoje não sei por que os zoologistas sempre tenderam a jurar por Darwin, enquanto os botânicos parecem ser mais reticentes. Contudo, havia algo em que todos concordávamos — e quando digo “todos”, lembro-me particularmente de Hofrat Anton Handlisch, zoologista no Museu de História Natural e o que mais gostei de entre os amigos do meu pai — todos estávamos de acordo em que a base da teoria da evolução era causal e não finalista; e que não havia leis especiais da natureza, como *vis viva* “força viva”, uma enteléquia ou uma força de ortogénese, a atuar nos organismos vivos para anular ou contrariar as leis universais da matéria inanimada. O meu professor de religião não teria ficado satisfeito com esta visão, mas também não me preocupava.

A nossa família tinha o hábito de viajar durante o verão. Isto não só animava a minha vida, como também aguçava o meu apetite intelectual. Recordo uma visita a Inglaterra, um ano antes de iniciar a escola intermédia (Mittelschule), quando fiquei com parentes da minha mãe em Ramsgate. A longa e vasta praia era ideal para passeios de burro e aprender a andar de bicicleta. As fortes marés chamavam a minha atenção por completo. Pequenas cabanas de banho sobre rodas eram montadas ao longo da praia, e um homem com o seu cavalo estava sempre ocupado a deslocar essas cabanas para cima ou para baixo conforme a maré. No Canal, percebi pela primeira vez que se podia ver o fumo do funil de barcos distantes no horizonte muito antes de eles aparecerem, resultado da curvatura da superfície da água.

Em Leamington encontrei a minha bisavó na Madeira Villa, e como ela se chamava Russell e a rua onde vivia se chamava “Russell”, fiquei convencido de que fora batizada em honra do meu falecido bisavô. Uma tia da minha mãe também vivia lá com o marido, Alfred Kirk, e seis gatos *Angora* (mais tarde dizia-se que eram vinte). Além disso, tinha um gato comum que muitas vezes regressava das suas aventuras noturnas em mau estado, pelo que lhe deram o nome Thomas Becket (referindo-se ao arcebispo de Canterbury assassinado por

ordem do Rei Henrique II) — o que, na altura, pouco significava para mim e não era muito apropriado.

Graças à minha tia Minnie, a irmã mais nova da minha mãe, que se mudou de Leamington para Viena quando eu tinha cinco anos, aprendi a falar inglês fluentemente muito antes de conseguir escrever em alemão, quanto mais em inglês. Quando finalmente fui apresentado à ortografia e leitura da língua que pensava conhecer tão bem, tive uma surpresa. Graças à minha mãe, iniciaram-se as meias-jornadas de prática de inglês. Na altura não fiquei muito satisfeito com isso. Caminhávamos juntos da Weiherburg até à pitoresca e então ainda tranquila cidade de Innsbruck, e a mãe dizia: “Agora vamos falar inglês um com o outro durante todo o caminho — nem mais uma palavra em alemão.” E foi exatamente o que fizemos. Só mais tarde percebi quanto me beneficiou até hoje. Apesar de ter sido forçado a deixar o país de nascimento, nunca me senti estrangeiro no estrangeiro.

Parece-me recordar de visitas a Kenilworth e Warwick durante os nossos passeios de bicicleta em torno de Leamington. E no regresso a Innsbruck desde Inglaterra, lembro-me de ter visto Bruges, Colónia, Coblença — um barco a vapor subiu connosco pelo Reno — lembro-me de Rüdesheim, Frankfurt, Munique, penso; depois Innsbruck. Recordo a pequena pensão que pertencia a Richard Attlmayr.

A partir daí, fui para a escola pela primeira vez, descendo até St. Nikolaus, onde tive aulas particulares, pois os meus pais receavam que tivesse esquecido o meu ABC e as contas durante as férias e que falhasse no exame de admissão no outono. Nos anos seguintes, quase sempre íamos para o Tirol do Sul ou para a Caríntia, e por vezes passávamos alguns dias em Veneza em setembro. Não há fim à lista de coisas belas que tive a oportunidade de ver naquela época, coisas que já não existem devido ao automóvel, ao “desenvolvimento” e às novas fronteiras. Creio que poucas pessoas, então, quanto mais hoje, tiveram uma infância e adolescência tão felizes como a minha, mesmo sendo filho único. Todos eram amáveis comigo e estávamos todos em bons termos uns com os outros. Se todos os professores, incluindo os pais, compreendessem a necessidade da compreensão mútua! Não podemos exercer qualquer influência duradoura sobre os que nos são confiados sem ela.

Talvez deva dizer algo sobre os meus anos na universidade entre 1906 e 1910, pois pode não haver oportunidade de o fazer mais tarde. Mencionei antes que Hasenöhl e o seu cuidadosamente concebido curso de quatro anos (cinco horas por semana!) me influenciaram

mais do que qualquer outra coisa. Infelizmente, perdi o último ano (1910/11), pois já não podia adiar o serviço militar obrigatório. Como se veio a verificar, não foi tão desagradável quanto esperava, pois fui enviado para a bela cidade antiga de Cracóvia e também passei um verão memorável perto da fronteira da Caríntia (perto de Malborghet). Para além das aulas de Hasenöhr, assisti a todas as outras de matemática que pude. Gustav Kohn dava palestras sobre geometria projetiva. O seu estilo, tão severo e claro, deixou uma impressão duradoura. Kohn alternava entre um método puramente sintético num ano — sem quaisquer fórmulas — e um método analítico no ano seguinte. Na realidade, não há melhor exemplo da existência de sistemas axiomáticos. Através dele, a dualidade revelou-se um fenómeno impressionante, diferindo um pouco na geometria bidimensional e tridimensional. Também nos demonstrou a profunda influência da teoria de grupos de Felix Klein no desenvolvimento da matemática. O facto de a existência de um quarto elemento harmónico ter de ser aceite como axioma numa estrutura bidimensional, enquanto que numa tridimensional pode ser facilmente provada, era para ele a ilustração mais simples do grande teorema de Gödel. Havia tantas coisas que aprendi com Kohn que nunca teria tempo de aprender mais tarde.

Assisti às palestras de Jerusalem sobre Spinoza — uma experiência memorável para quem o escutasse. Falava sobre tantas coisas, sobre Epicuro (“Ο θάνατος οὐκ ἔχθρὸς τοῦ ἀνθρώπου” - “A morte não é inimiga do homem” e “οὐδὲν θαυμάζειν” - “não se admirar de nada”), que Epicuro sempre mantinha em mente ao filosofar.

No primeiro ano também fiz análises químicas qualitativas, das quais certamente retirei muito proveito. As palestras de Skraup sobre análise química inorgânica eram bastante boas; as de análise química orgânica, que frequentei durante o semestre de verão, eram fracas em comparação. Poderiam ter sido dez vezes melhores e ainda assim dificilmente teriam melhorado a minha compreensão de ácidos nucleicos, enzimas, anticorpos e afins. Assim, só pude avançar à sensação, guiado pela intuição, que não deixou de ser produtiva.

A 31 de julho de 1914, o meu pai apareceu no meu pequeno gabinete na Boltzmannngasse para me comunicar que tinha sido chamado. O Predilsattel, na Caríntia, seria o meu primeiro destino. Fomos comprar duas armas, uma pequena e uma grande. Felizmente, nunca fui obrigado a usá-las contra homem ou animal, e em 1938, durante uma revista ao meu apartamento em Graz, entreguei-as ao oficial simpático, só para ter a certeza.

Algumas palavras sobre a guerra em si: a minha primeira mobilização, Predilsattel, foi tranquila. Houve, no entanto, um falso alarme. O nosso comandante, capitão Reindl, combinara com confidentes que, caso tropas italianas avançassem pelo largo vale em direção ao lago (Raiblersee), seríamos avisados por sinais de fumo. Aconteceu que alguém estava a assar batatas ou a queimar ervas junto à fronteira. Fomos instruídos a vigiar os dois postos e eu fiquei responsável pelo da esquerda. Passámos lá dez dias antes de alguém se lembrar de nos chamar de volta. Ali aprendi que as tábuas flexíveis do chão (com apenas um saco-cama e uma manta) são muito mais confortáveis para dormir do que um chão sólido. A minha outra observação foi de natureza diferente, algo que nunca tinha encontrado antes ou depois. Numa noite, o guarda de serviço acordou-me para informar que via várias luzes a moverem-se na encosta em frente, obviamente em direção à nossa posição. (Aliás, esta parte da montanha, Seekopf, não tinha caminhos). Saí do saco-cama e atravessei a passagem até ao posto para observar mais de perto. O guarda estava certo quanto às luzes, mas eram fogos de Sant'Elmo no topo do nosso próprio arame farpado, a poucos metros, e o deslocamento em relação ao fundo era apenas paralático. Isto porque o próprio observador se movia. Quando saía da nossa ampla trincheira à noite, observava aqueles pequenos fogos nos topos da relva que cobria o telhado. Foi a única vez que encontrei este fenómeno.

Depois de muito tempo ocioso, fui destacado para Franzensfeste, depois para Krems e depois para Komorn. Por curto período, servi na frente. Juntei-me a uma pequena unidade, primeiro em Gorizia, depois em Duino. Estavam equipados com um estranho canhão naval. Eventualmente recuámos para Sistiana, e dali fui enviado para um posto de observação bastante monótono, mas belo, perto de Prosecco, 900 pés acima de Trieste, onde tínhamos um canhão ainda mais estranho. A minha futura esposa, Annemarie, veio visitar-me lá, e numa ocasião o príncipe Sixtus de Bourbon, irmão da imperatriz Zita, visitou as nossas posições. Não estava em uniforme, e mais tarde soube que, na verdade, era nosso inimigo, pois servia no exército belga. A razão da sua visita na altura era tentar promover um acordo de paz separado entre a Áustria-Hungria e a Entente Cordiale, o que, claro, constituía alta traição contra a Alemanha. Infelizmente, o seu plano nunca se concretizou.

O meu primeiro contato com a teoria de Einstein de 1916 deu-se em Prosecco. Tinha tanto tempo disponível, mas grandes dificuldades em compreendê-la. No entanto, algumas das notas marginais que fiz nessa altura ainda me parecem razoavelmente inteligentes hoje. Normalmente, Einstein apresentava uma nova teoria de forma desnecessariamente

complicada, e nunca tanto como em 1945, quando introduziu a chamada teoria de campo unitário “assimétrica”. Mas talvez isso não seja apenas característico desse grande homem, mas quase sempre acontece quando alguém propõe uma ideia nova. No caso da teoria mencionada, Pauli disse-lhe ali mesmo que não era necessário introduzir as quantidades complexas, pois cada uma das suas equações tensoriais consistia de uma parte simétrica e de uma parte apenas simétrica de qualquer forma. Só em 1952, num artigo que escreveu juntamente com Mme B. Kaufman para um volume publicado para celebrar o sexagésimo aniversário de Louis de Broglie, concordou com a minha versão muito mais simples, excluindo engenhosamente a chamada versão “forte”. Este foi, de facto, um passo muito importante.

O último ano ou mais da guerra passei como “meteorologista”, primeiro em Viena, depois em Villach, depois em Wiener Neustadt e finalmente novamente em Viena. Isso foi uma grande vantagem para mim, pois fui poupado à desastrosa retirada das nossas linhas de frente fragmentadas.

Em março/abril de 1920, Annemarie e eu casámo-nos. Mudámo-nos pouco depois para Jena, onde alugámos uma casa mobilada. Esperava-se que eu acrescentasse alguma física teórica atualizada às aulas regulares do professor Auerbach. Beneficiámo-nos da amizade e cordialidade tanto dos Auerbach, que eram judeus, como do meu chefe Max Wien e sua esposa (eles eram antissemitas por tradição, mas sem malícia pessoal). Estar tão bem com todos eles foi uma grande ajuda. Em 1933, pelos vistos, os Auerbach não viam outra saída da opressão e humilhação que a ascensão de Hitler (Machtergreifung) lhes reservava senão o suicídio. Eberhard Buchwald, um jovem físico que acabara de perder a esposa, e um casal chamado Eller com os seus dois filhos pequenos também eram amigos nossos em Jena. A Sra. Eller veio visitar-me aqui em Alpbach no verão passado (1959), uma pobre viúva enlutada cujos três homens tinham perdido a vida lutando por uma causa em que não acreditavam.

Um relato cronológico da vida de alguém é uma das coisas mais aborrecidas que consigo imaginar. Quer esteja a recordar incidentes da sua própria vida ou de outra pessoa, raramente encontrará mais do que algumas experiências ou observações dignas de relato — mesmo que a ordem histórica dos acontecimentos lhe pareça importante na altura. Por isso, vou agora dar um breve resumo dos períodos da minha vida, para que possa referir-me a eles mais tarde sem ter de respeitar a ordem cronológica.

O primeiro período (1887-1920) termina com o meu casamento com Annemarie e a saída da Alemanha. Chamarei a este o meu primeiro Período Vienense. O segundo período (1920-7) chamarei “Os meus primeiros anos de errância”, pois fui levado a Jena, Stuttgart, Breslau e finalmente Zurique (em 1921). Este período termina com a minha convocação para Berlim como sucessor de Max Planck. Descobri a mecânica ondulatória durante a minha estadia em Arosa em 1925. O meu artigo foi publicado em 1926. Como resultado, parti numa tournée de palestras de dois meses pela América do Norte, que a Lei Seca dificultava e tornava mais peculiar. O terceiro período (1927-33) foi bastante agradável. Chamar-lhe-ei “Os meus anos de ensino e aprendizagem”. Terminou com a assunção do poder por Hitler, a chamada *Machtergreifung*, em 1933. Enquanto completava o semestre de verão desse ano, já estava ocupado a enviar os meus pertences para a Suíça. No final de julho, deixei Berlim para passar as férias no Tirol do Sul. O Tirol do Sul tornara-se italiano sob o Tratado de São Germano, pelo que ainda era acessível com os nossos passaportes alemães, ao passo que a Áustria não era. O grande sucessor do príncipe Bismarck tinha conseguido impor um bloqueio na Áustria, conhecido como *Tausendmarksperre*. (A minha esposa, por exemplo, não pôde visitar a mãe no seu septuagésimo aniversário. As autoridades de Sua Excelência não lhe deram permissão). Não voltei a Berlim após o verão, mas sim entreguei a minha demissão, que ficou sem resposta durante muito tempo. De facto, negaram então tê-la recebido, e quando souberam que me tinham atribuído o Prémio Nobel de Física, recusaram categoricamente aceitá-lo.

O quarto período (1933-9) chamarei “Os meus últimos anos de errância”. Logo na primavera de 1933, F. A. Lindemann (mais tarde Lord Cherwell) ofereceu-me uma “vida” em Oxford, por ocasião da sua primeira visita a Berlim, quando eu mencionei o meu desagrado pela situação presente. Ele cumpriu fielmente a sua palavra. Assim, a minha esposa e eu pusemo-nos a caminho num pequeno BMW adquirido para a ocasião. Saímos de Malcesine e, via Bérgamo, Lecco, St. Gotthard, Zurique e depois Paris, chegámos a Bruxelas, onde se realizava um Congresso de Solvay. Dali seguimos para Oxford; não viajámos juntos. Lindemann já tinha tomado as medidas necessárias para me tornar fellow (membro associado/bolseiro académico) do Magdalen College, embora eu recebesse a maior parte do salário da ICI.

Em 1936, quando me ofereceram uma cadeira na Universidade de Edimburgo e outra em Graz, escolhi esta última, uma decisão extremamente tola. Tanto a escolha como o desfecho

foram inusitados, embora o resultado tenha sido afortunado. Claro que em 1938 fui mais ou menos minado pelos nazis, mas já havia aceite um convite para Dublin, onde de Valera estava prestes a fundar o Instituto de Estudos Avançados. A lealdade à sua própria universidade jamais teria permitido a E.T. Whittaker, antigo professor de, de Valera em Edimburgo, sugerir-me para o cargo caso eu tivesse ido para Edimburgo em 1936. Como tal, Max Born foi nomeado em meu lugar. Dublin revelou-se cem vezes melhor para mim. Não só o trabalho em Edimburgo teria sido um grande fardo, como também a posição de estrangeiro inimigo na Grã-Bretanha durante a guerra.

A nossa segunda “fuga” levou-nos de Graz, via Roma, Genebra e Zurique, até Oxford, onde os nossos queridos amigos, os Whiteheads, nos alojaram por dois meses. Desta vez tivemos de deixar o nosso bom pequeno BMW, “Grauling”, para trás, pois seria demasiado lento, e além disso já não possuía carta de condução. O Instituto de Dublin ainda não estava “pronto”, pelo que a minha mulher, Hilde, Ruth e eu fomos para a Bélgica em dezembro de 1938. Primeiro dei aulas (em alemão!) na Universidade de Ghent como professor convidado; foi para a “Fondation Franqui-Seminar”. Mais tarde passámos cerca de quatro meses em Lapanne, junto ao mar. Foi um tempo encantador – apesar das águas-vivas. Também foi a única vez em que encontrei a fosforescência do mar. Em setembro de 1939, o primeiro mês da Segunda Guerra Mundial, partimos para Dublin via Inglaterra. Com os nossos passaportes alemães continuávamos a ser estrangeiros inimigos para os britânicos, mas, obviamente graças às cartas de recomendação de, de Valera, obtivemos trânsito. Talvez Lindemann também tenha mexido alguns cordelinhos nessa ocasião, apesar do encontro algo desagradável que tivemos um ano antes. Era afinal um homem muito digno, e estou convencido de que, como conselheiro de física do seu amigo Winston, se revelou inestimável na defesa da Grã-Bretanha durante a guerra.

O quinto período (1939-56) chamarei de “O Meu Longo Exílio”, mas sem as associações amargas da palavra, pois foi um tempo maravilhoso. De outra forma, nunca teria conhecido esta ilha remota e bela. Em nenhum outro lugar poderíamos ter vivido a guerra nazi tão intocados por problemas, o que é quase vergonhoso. Não consigo imaginar passar dezassete anos em Graz “a remar por inércia”, com ou sem os nazis, com ou sem guerra. Às vezes dizíamos baixinho entre nós: “Wir danken's unserem Führer” (“Devemos isso ao nosso Führer”).

O sexto período (1956-?) chamarei de “O Meu Tardio Período Vienense”. Já em 1946 me haviam oferecido novamente uma cadeira austríaca. Quando contei a de Valera sobre isso, ele aconselhou-me vivamente contra, apontando a situação política instável na Europa Central. Tinha toda a razão nesse ponto. Mas, embora tivesse sido tão gentil para comigo de muitas formas, mostrou nenhuma preocupação com o futuro da minha esposa caso algo me acontecesse. Tudo o que pôde dizer foi que também não tinha certeza sobre o que aconteceria à sua esposa numa situação semelhante. Assim, disse-lhes em Viena que queria voltar, mas que esperaria até as coisas se normalizarem. Expliquei que, por causa dos nazis, fui forçado a interromper o meu trabalho duas vezes e recomeçar noutra parte; uma terceira vez certamente o terminaria de vez.

Olhando para trás, vejo que a minha decisão foi correta. A pobre Áustria havia sido violada e era um lugar triste para viver naqueles dias. O meu pedido às autoridades austríacas para uma pensão para a minha esposa, como forma de reparação, foi em vão, apesar de parecerem dispostos a compensar. A pobreza era demasiado grande então (e ainda é hoje, em 1960, aliás) para fazer concessões a certos indivíduos e negá-las a quase todos os outros. Assim, passei mais dez anos em Dublin, o que acabou por ser de grande valor para mim. Escrevi vários livros curtos em inglês (publicados pela Cambridge University Press) e continuei os meus estudos sobre a teoria geral “assimétrica” da gravitação, que parece decepcionante. E por último, mas não menos importante, houve as duas operações bem-sucedidas em 1948 e 1949 por Mr Werner, que removeram as cataratas de ambos os meus olhos. Quando chegou o momento, a Áustria generosamente restituiu-me à minha posição anterior. Também recebi uma nova nomeação para a Universidade de Viena (status extra), embora à minha idade pudesse apenas esperar dois anos e meio no cargo. Devo tudo isso principalmente ao meu amigo Hans Thirring e ao Ministro da Educação, Dr Drimmel. Ao mesmo tempo, o meu colega Robracher impulsionou com sucesso a nova lei para o estatuto de Professor Emérito e assim também apoiou a minha causa.

É aqui que termina o meu resumo cronológico. Espero acrescentar algumas ideias ou detalhes aqui e ali que não sejam demasiado aborrecidos. Devo abster-me de traçar um retrato completo da minha vida, pois não sou bom a contar histórias; além disso, teria de omitir uma parte substancial deste retrato, ou seja, aquela relativa às minhas relações com mulheres. Em primeiro lugar, isso certamente geraria fofocas; em segundo lugar, dificilmente

seria interessante para outros; e por último, não creio que alguém possa ou deva ser suficientemente sincero nessas questões.

Este resumo foi escrito no início deste ano. Dá-me agora prazer lê-lo ocasionalmente. Mas decidi não continuar – não faria sentido.

E.S.
Novembro de 1960

O QUE É A VIDA?

CAPÍTULO 1

¹ Esta afirmação pode parecer um pouco demasiado geral. A discussão terá de ser adiada para o final deste livro, pp. 83-84.

² Este ponto de vista foi enfatizado em dois trabalhos muito inspiradores de F. G. Donnan, *Scientia*, XXIV, n.º 78 (1918), 10 (“La science physico-chimique décrit-elle d’une façon adéquate les phénomènes biologiques?”); *Smithsonian Report* de 1929, p. 309 (“The mystery of life”).

³ Não encontraria, claro, exatamente 100 (mesmo que esse fosse o resultado exato do cálculo). Poderia encontrar 88 ou 95 ou 107 ou 112, mas muito improvavelmente tão poucos como 50 ou tantos como 150. Espera-se um “desvio” ou “flutuação” da ordem da raiz quadrada de 100, ou seja, 10. O estatístico exprime isto dizendo que encontraria 100 ± 10 . Esta observação pode ser ignorada por agora, mas será retomada mais adiante, servindo de exemplo da lei estatística Vn.

⁴ Segundo as concepções atuais, um átomo não possui um limite nítido, de modo que o “tamanho” de um átomo não é uma noção muito bem definida. Mas podemos identificá-lo (ou, se preferir, substituí-lo) pela distância entre os seus centros num sólido ou num líquido — não, claro, no estado gasoso, onde essa distância é, em condições normais de pressão e temperatura, aproximadamente dez vezes maior.

⁵ Escolhe-se um gás, porque é mais simples do que um sólido ou um líquido; o facto de a magnetização ser, neste caso, extremamente fraca não prejudicará as considerações teóricas.

⁶ Ou seja: a concentração num dado ponto aumenta (ou diminui) a uma taxa temporal proporcional ao excesso (ou deficiência) comparativo de concentração no seu ambiente infinitesimal. A lei da condução do calor tem, aliás, exatamente a mesma forma, bastando substituir “concentração” por “temperatura”.

CAPÍTULO 2

¹ A palavra significa “a substância que adquire cor”, ou seja, num determinado processo de coloração usado em técnicas de microscopia.

² A ontogénese é o desenvolvimento do indivíduo ao longo da sua vida, em contraste com a filogénese, o desenvolvimento das espécies ao longo de períodos geológicos.

³ Muito aproximadamente, cem ou mil biliões (britânicos).

⁴ Muito aproximadamente, cem ou mil biliões (britânicos).

⁵ O biólogo perdoar-me-á por desconsiderar, neste breve resumo, o caso excecional dos mosaicos.

⁶ De qualquer modo, toda a mulher. Para evitar prolixidade, excluí deste resumo a esfera altamente interessante da determinação do sexo e das propriedades ligadas ao sexo (como, por exemplo, a chamada daltonismo).

CAPÍTULO 3

¹ Foi dada ampla discussão à questão de saber se a seleção natural é auxiliada (se não mesmo substituída) por uma marcada inclinação das mutações a ocorrerem numa direção útil ou favorável. A minha opinião pessoal sobre isto não tem relevância; mas é necessário declarar que a eventualidade de ‘mutações dirigidas’ foi desconsiderada em tudo o que se segue. Além disso, não me é possível tratar aqui da interação entre genes interruptores e poligenes, por mais importante que ela seja para o mecanismo real da seleção e da evolução.

² Um limite inferior, porque estes outros processos escapam à medição da ionização, mas podem ser eficazes na produção de mutações.

³ *Nachr. a. d. Biologie d. Ges. d. Wiss. Göttingen*, 1(1935), 189.

CAPÍTULO 4

¹ Adoto a versão que é habitualmente apresentada em exposições de carácter popular e que basta para o nosso propósito atual. Mas faço-o com a má consciência de quem perpetua um erro conveniente. A verdadeira história é muito mais complicada, pois inclui a ocasional indeterminação quanto ao estado em que o sistema se encontra.

² *Zeitschrift Physik, Chemie (A)*, Haber-Band (1928), p. 439.

³ k é uma constante numericamente conhecida, chamada constante de Boltzmann; $3/2kT$ é a energia cinética média de um átomo de gás à temperatura T .

⁴ Modelos, nos quais C, H e O eram representados por bolas de madeira preta, branca e vermelha, respetivamente, foram exibidos na palestra. Não os reproduzi aqui, porque a sua semelhança com as moléculas reais não é significativamente maior do que a da Fig. 11.

CAPÍTULO 5

¹ Por conveniência, continuarei a chamá-la de transição isomérica, embora fosse absurdo excluir a possibilidade de qualquer troca com o meio envolvente.

² O facto de ser altamente flexível não é uma objecção; um fio fino de cobre também o é.

CAPÍTULO 6

¹ Afirmar isto em completa generalidade acerca das “leis da física” é talvez passível de contestação. A questão será discutida no capítulo 7.

MENTE E MATÉRIA

CAPÍTULO 1

¹ O material deste capítulo foi transmitido pela primeira vez como uma série de três palestras no Serviço Europeu da B.B.C., em setembro de 1950, e posteriormente incluído em *O Que É A Vida?* e outros ensaios (Anchor Book A 88, Doubleday and Co., New York).

² *Evolução: Uma Síntese Moderna* (Evolution: A Modern Synthesis, George Allen and Unwin, 1942).

CAPÍTULO 3

¹ Cambridge University Press, 1954.

² *Eranos Jahrbuch* (1946), p. 398.

³ *The Nature of the Physical World* (Cambridge University Press, 1928), Introdução.

⁴ Cambridge University Press, 1940.

⁵ *Ver Science and Humanism* (Cambridge University Press, 1951), p. 49.

CAPÍTULO 4

¹ *Eranos Jahrbuch*, 1946.

² Chatto and Windus, 1946.

³ *Man on his Nature*, 1st edn (1940), p. 73.

⁴ É desta forma que é produzida no cinema a fusão das imagens sucessivas.

⁵ *Man on his Nature*, pp. 273-5.

⁶ *Man on his Nature*, p. 2 18.

⁷ *Man on his Nature*, p. 232.