

[Examinai vossa progênie:

Não fostes feitos para viver como selvagens,

Mas para buscar a virtude e o conhecimento.]

(Entretanto, a busca empreendida por Ulisses levou-o, e a seus companheiros, à catástrofe.)

O ponto de vista otimista e talvez panglossiano é que, com o tempo, as pessoas conseguirão aplicar seus poderes racionais à tomada de decisões. Não posso dizer que seja muito esperançoso com respeito a opinião tão otimista, sobretudo porque talvez não haja tempo suficiente para mudança de atitudes mentais.

Que devemos fazer? E, acima de tudo, o que devem fazer os cientistas? Devemos tentar sempre lembrar o público das seqüências de certas ações, o que seria feito com honestidade e integridade.

Estou consciente de que, infelizmente, a objetividade nesses assuntos é enganosa e que a política, a economia e o comportamento social não recebem o mesmo tipo de tratamento recebido pela ciência. A complexidade dos problemas, a impossibilidade de tratá-los isoladamente, a natureza dos dados envolvidos, qualitativamente diferentes daqueles examinados nas ciências físicas, infinitamente mais simples, são apenas alguns dos obstáculos às aplicações de métodos científicos a problemas sociais humanos.

Embora o cientista tenha o conhecimento especializado de sua disciplina, em outros assuntos ele é vítima das mesmas forças obscuras, à semelhança de qualquer outro homem. Seu treinamento e sua educação podem ajudá-lo a superar alguns de seus impulsos irracionais, mas a idéia de que o cientista, objetivo e frio, está acima do resto da humanidade é falaciosa. Tal fato deve ser reconhecido pelos cientistas e pelo público em geral. Os cientistas não são sacerdotes de uma religião mágica.

O dever de informar seu semelhante é essencial, mas a responsabilidade pelo uso de suas descobertas não pode honestamente ser lançada sobre o cientista. Ele não tem o poder de determinar que uso se fará de suas descobertas e não se pode separar poder e responsabilidade. Além do mais, praticamente todas as descobertas podem ser aplicadas a uma diversidade de propósitos, alguns dos quais nos parecem bons, mas outros nos parecem maus. Tal fato é conhecido desde os primórdios da civilização — um símbolo desse dilema é o uso do aço na fabricação de espadas ou arados. Nos tempos atuais, a penicilina e o DDT têm sido louvados como dádivas para a humanidade, mas o uso indiscriminado dos dois produtos pode ter seqüências indiretamente nocivas. A energia nuclear pode ser de grande valia para a humanidade ou pode significar sua destruição. A escolha não está nas mãos dos cientistas.

Capítulo XIV

Conclusões

Gostaria de terminar este livro com algumas conclusões de ordem geral. Primeiro, a de que nosso estudo não propicia nenhum retrato fiel do que é um físico. O que há nele é uma grande variedade de personagens, o que não é surpreendente se considerarmos a ampla diversidade de contribuições necessárias ao progresso da física. Como casos extremos, podemos pensar em E. O. Lawrence e P. A. M. Dirac: uma comparação, nesse caso, revela personalidades contrastantes, mas fundamentais para o avanço da física. Duas grandes estrelas — Rutherford e Einstein — teriam dificuldade em levar adiante uma discussão científica séria entre si. Seus interesses, cultura e imaginação científica diferiam enormemente. Teria sido difícil fazer com que Rutherford sentisse a importância da invariância das equações de Maxwell, face à transformação de Lorentz, ou despertar o interesse de Einstein pelos detalhes técnicos necessários para especificar a desintegração nuclear.

Se quisermos salientar traços comuns a físicos importantes, acharemos uma grande ansiedade e capacidade de trabalho, perseverança, otimismo e imaginação científica. Mas essas são as qualidades necessárias ao sucesso em praticamente todas as profissões, do atleta ao poeta, do banqueiro ao general. Qualidades intelectuais como capacidade de análise e imaginação teórica são excepcionais em algumas pessoas, mas relativamente discretas em outras que, não obstante, atingiram o ápice. Alguns físicos são universalistas, outros são especialistas. Um homem como H. A. Lorentz teria sido eminente em qualquer atividade, inclusive como diplomata ou comerciante. Mas o que teria feito um Pauli a não ser física teórica? A conclusão é que todos os caminhos *podem* levar a Roma e não que todos os caminhos *levam* a Roma.

Embora o acaso tenha seu papel nas descobertas científicas, há muitos casos de descobertas simultâneas para que se atribua a ele boa parte da responsabilidade. Ao contrário: o momento histórico do trabalho é mais importante. Há períodos férteis e períodos estéreis. Além do mais, parece haver uma certa lógica interna no desenvolvimento de uma disciplina científica e o culto da personalidade não deve ser levado a extremos. Tenhamos em mente, por exemplo, a descoberta de três modalidades de mecânica quântica. Considerando bem as coisas, temos a ligeira impressão de que, mesmo que um dos maiores físicos não tivesse nascido, cinquenta anos mais tarde, apesar de tudo, a física teria atingido o mesmo nível.

Tendências Futuras

Voltemos agora ao estágio atual da física. Em primeiro lugar, precisamos estabelecer uma diferença entre a física e suas aplicações. Do ponto de vista econômico e social, as aplicações podem ser muito mais importantes do que a física pura, mas o que me interessa neste ponto é a física como exploração de fenômenos naturais, o que compreende a descrição, classificação e inter-relação de diferentes fenômenos e sua síntese em teorias mais ou menos abrangentes.

A meu ver, a física das partículas é a única área onde existe o maior número de problemas intelectuais não-solucionados. Alguns deles têm quase cem anos e a tendência dos físicos é esquecê-los pelo fato de não haver nenhum indício, por mais leve que seja, de uma solução. Por exemplo, ninguém sabe por que a carga elétrica é sempre um múltiplo inteiro da do elétron. Aqui a expressão *por que* deve ser entendida como a conexão de um fato com outro fato. A "razão" é muito simplesmente um argumento lógico ou matemático que mostra que, se a é a verdade, b é consequência. A quantização da carga elétrica ainda não foi relacionada a qualquer outro fato experimental; nesse sentido, trata-se de um dado empírico primário.

Outros problemas básicos para a física das partículas elementares, de formulação simples, e que, no entanto, não têm solução conhecida, são as conservações dos núcleons e dos léptons. A conservação dos núcleons simplesmente significa que, em um sistema fechado ou no universo, a soma do número de prótons e de nêutrons é constante. No cálculo, os antiprótons e os antinêutrons, evidentemente, devem ser contados com o sinal menos. A conservação dos núcleons é bem-fundamentada porque se sabe ser a vida média dos prótons superior a 10^{22} anos, isto é, 10^{12} vezes a idade do universo. Mas a fonte dessa enorme estabilidade dos prótons, que está na base da conservação dos núcleons, permanece desconhecida. Um princípio de conservação similar, também de origem desconhecida, se refere aos léptons. Além do mais, os elétrons e os múons têm neutrinos correspondentes. Os dois tipos de neutrinos são diferentes porque um neutrino muônico colidindo com um nêutron pode produzir um múon e um próton, mas não um elétron e um próton, embora um neutrino eletrônico, colidindo com um nêutron, possa produzir um elétron e um próton, mas não um múon e um próton. Qual a diferença entre um neutrino muônico e um neutrino eletrônico? Tanto os elétrons quanto os múons parecem ser exatamente descritos pela equação de Dirac, salvo quanto à massa que entra como parâmetro na equação. Por que a natureza teria escolhido fazer duas partículas que diferem apenas na massa e que, sob outros aspectos, são idênticas? Todos os exemplos acima se referem a fatos inexplicados ou não-relacionados. Há pouco tempo, descobriu-se um terceiro lépton, τ . Será apenas o começo de uma série finita (ou infinita) de léptons?

Exemplos contrastantes de fenômenos relacionados ou "explicados" são a conservação do *momentum* ou *momentum* angular. É possível demonstrar que se trata de consequências matemáticas da isotropia e da homogeneidade do espaço e, nesse sentido, uma coisa explica a outra. Grande progresso é conseguido quando descobrimos relações profundas que são gratificantes

do ponto de vista estético e ajudam a reduzir o número de "postulados" independentes. Usei a palavra *postulados* entre aspas em virtude de seu significado em física, diferente daquele geralmente usado em matemática, onde é uma premissa especial de uma seqüência de raciocínio e, em boa parte, arbitrária. Em física, *postulado* significa essencialmente um fato experimental que tem sido observado muitas vezes sem exceção. Os postulados matemáticos são muito mais arbitrários e são, essencialmente, criação da mente humana. Os postulados físicos baseiam-se na observação e extrapolação e, subordinadamente, critérios estéticos. Pode-se aperfeiçoar uma geometria não-euclidiana, e mesmo várias delas, mas uma física que não se vincule à experimentação não seria física.

As experiências, entretanto, são quase sempre imprecisas e afetadas por erros; daí, ao interpretá-las, haver sempre um processo de abstração e de idealização. Os físicos tradicionalmente aprenderam como prosseguir e se acostumaram a usar aproximações sucessivas e limitar o campo de aplicabilidade de suas teorias. O exemplo mais famoso é a mecânica newtoniana e seus progressos, a relatividade e a mecânica quântica. Quaisquer que sejam os "postulados" da física, não criam eles dúvidas terríveis nas mentes da maior parte dos físicos praticantes. Isso não significa que um físico experimentalista ignore os problemas epistemológicos de sua ciência, nem que o teórico mais crítico interrompa seus cálculos em função de dúvidas epistemológicas. As pessoas têm aprendido a conviver com tais problemas e dúvidas; mesmo Bohr, por brincadeira, dizia que o oposto de uma verdade superficial é inverdade, mas o oposto de uma verdade profunda também é verdadeiro...

Mas voltemos aos mistérios simples da física das partículas. Há alguns incícios de respostas e algumas tentativas de sínteses importantes de diversas teorias. A mais abrangente foi começada por Steven Weinberg e Abdus Salam, cada um por si, em 1967-1968 (Fig. 12.12). Os dois tentaram unificar as interações fracas e eletromagnéticas. Cem anos atrás, a grandiosa síntese maxwelliana finalmente tinha conseguido unificar eletricidade e magnetismo; a tentativa atual podia ser considerada à mesma luz. Até agora, ao que tudo indica, as experiências se enquadram na teoria e novas descobertas de correntes neutras fracas e de *quarks* com *charm* devem ser consideradas prova do êxito desse enfoque. Algumas constatações importantes serão possíveis a energias mais elevadas do que as disponíveis atualmente: deve haver algumas partículas chamadas bósons intermediários que são análogas aos *quanta* de luz, na medida em que devem ser os *quanta* das interações fracas. Confiar-se que sejam muito pesadas e, portanto, só podem ser obtidas a alta energia. A descoberta de tais partículas seria uma forte corroboração dessa tendência de idéias.

Em outros ramos da física, também há problemas muito interessantes de importância mais prática do que a de partículas elementares, mas podemos acreditar, com toda a confiança, que a solução desses problemas está implicitamente contida na equação de Schrödinger. Naturalmente está ali contida no mesmo sentido em que blocos de mármore contêm todas as estátuas, e o problema é apenas retirar o excesso de material. O soneto de

Michelangelo que expressa esse conceito não tinha o objetivo de fazer troça, mas de manifestar uma verdade filosófica.

Também há problemas de técnica teórica fundamental relacionados a sistemas de muitos corpos e que exigem soluções. Tais soluções ampliariam enormemente nosso entendimento dos líquidos, da matéria nuclear e similares, e talvez, para nossa surpresa, poderiam conduzir-nos à física das partículas. São importantes, mas eu não esperaria das teorias de muitos corpos as espantosas revelações que já obtivemos com a física das partículas — um novo tipo de força ou a não-conservação da paridade. Mas pode ser que eu esteja errado. A meu ver, a possibilidade de descoberta intelectual aponta para a física das partículas. Trata-se de uma opinião subjetiva e, visto que poderia ter consequências sérias para a política científica, desejo ressaltar que essa opinião não é unânime.

No campo da física das partículas, que necessariamente implica altas energias, os custos e as complicações experimentais têm aumentado de modo alarmante. Em conseqüência, cada vez menos experiências podem ser realizadas, ao mesmo tempo em que duram cada vez mais. Quando as experiências são baratas, os físicos de imaginação podem desenvolver suas idéias e levar a cabo muitas experiências. O grande Faraday relacionou mais de 10.000 experiências em seus livros de anotações. Em física de alta energia, quando uma experiência custa milhões de dólares, dura cinco anos e exige dezenas de especialistas, só é possível realizarem-se umas poucas. Os especialistas inevitavelmente enfrentam problemas de essências diferentes. Sempre há comissões para decidir o que se deve fazer e é difícil confiar na imaginação de um comitê, que tem menos espírito de aventura e deseja ter certeza razoável de que a experiência terá algum resultado tangível. Assim, os físicos são levados a realizar experiências seguras que são óbvias e que têm interesse em virtude da região peculiar de energia na qual são realizadas, embora sejam relativamente simplórias. Certa vez, comparei tais experiências com uma batalha moderna entre vasos de guerra nos quais o alcance das armas dos encouraçados podia ser decisivo; na época de Lord Nelson, em contraste, o almirante tinha de ter intuições táticas e quase sobrenaturais. Mas as "experiências de encouraçados" têm proporcionado algumas grandes surpresas e têm comprovado serem vitais para o progresso.

Se o tipo de informações experimentais desejadas é relativamente óbvio, as dificuldades para obtê-las são basicamente de caráter técnico; assim, os físicos devem dedicar a maior parte de seus esforços ao aperfeiçoamento de instrumentos e técnicas, mesmo programas de análise dos resultados por computador. Uma vez aperfeiçoado um instrumento, ele é usado para realizar todas as experiências para as quais serve. Tudo isso tem lógica e em geral conduz a resultados importantes, mas exige físicos um tanto diferentes dos físicos tradicionais.

Com um trocadilho de gosto duvidoso, eu diria que já não basta ser um Rutherford: é preciso que se seja um Ruther-Ford, ou seja, o físico precisa ter pelo menos algumas das qualidades de um industrial e de um negociante. Antigamente, muitos físicos eram levados a atuar na área das ciências em virtude de certa fleuma ou timidez no campo de relações humanas e de maior atração pelas coisas (os Curie são um exemplo). Hoje em dia, o

interesse pelas pessoas pode ser um requisito básico para o autodesenvolvimento (por exemplo, E. O. Lawrence). Nada disso é inteiramente novo, mas o papel do pesquisador isolado, como um Faraday ou um Röntgen, parece fadado a desaparecer.

Há uma outra tendência que se espalha por todas as ciências, inclusive a física: a especialização. Tanto a bibliografia física quanto o número de físicos têm-se multiplicado enormemente, o que resulta em especialização cada vez maior. Trata-se de um mal inevitável, mas que devemos aceitar. Aqueles que testemunharam uma física menor, mais simples e mais unificada podem sentir certa nostalgia, mas a tendência é irreversível.

Essa tendência é ilustrada por uma comparação entre a Figura 3.5, que representa os primeiros estudos de Rutherford da desintegração e do espalhamento nuclear, e a Figura 11.11, que representa o laboratório Fermi. As experiências feitas com o auxílio das duas instalações, em princípio, são as mesmas. Além do mais, esse problema não se limita apenas às experiências, conforme demonstra um exemplo curioso relatado por J. D. Jackson, ao comparar uma fórmula moderna (Figura 14.1-b) com a fórmula de Rutherford conforme publicada no *Philosophical Magazine* de 1911 (Figura 14.1-a). A primeira é típica do trabalho hodierno, embora a segunda seja mais famosa.

Essa complicação crescente pode até mesmo determinar os limites da física. Até agora, descobrimos camadas sucessivas em uma escala decrescente de volume e em uma escala crescente de energia: átomos, núcleons, partículas subnucleares como pions, *quarks*, etc. É concebível que os *quarks* possam propiciar uma teoria autoconsistente e fechada, mas não posso omitir a suspeita dissimulada de que a cadeia talvez não se interrompa aqui. E, caso isso seja verdade, serão necessários mais esforços e mais dinheiro para a próxima etapa e o processo pode diluir-se a tal ponto que sempre nos deixará com um fim sem solução. O limite então será o total de esforços que as pessoas possam ou desejem dedicar à busca, sem qualquer garantia de que chegarão a um final.

$$y = \frac{Qdm}{2\pi r^2 \sin \phi \cdot d\phi} = \frac{nb^2 \cdot Q \cdot \cos \phi^2 \cdot \phi / E}{16r^2} \dots (5)$$

(a)

Figura 14.1. (a) "Desejo agradecer ao Senhor W. Kay pela ajuda prestada na computação e em todo o trabalho experimental." (Professor Ernest Rutherford, abril de 1919.) (b) "Desejamos agradecer ao Professor J. Steinberger, que participou do projeto e da parte inicial dessa experiência, e aos Professores W. Paul, P. Preiswerk e K. Faissner pelo apoio e estímulo. Reconhecemos a ajuda do Senhor J. Daub e do Dr. P. Zanella, que tornaram possível a medição dos eventos no Luciole. O Dr. L. Caneschi ajudou no decorrer da experiência. O aparelho de detecção foi construído com a ajuda dos Senhores F. Blythe, K. Bussmann, J. M. Fillot e G. Maratori. Finalmente, gostaríamos de agradecer ao Dr. G. Petrucci, ao staff do CPS e especialmente ao Dr. L. Hoffmann pelo estabelecimento e operação do feixe de prótons lentos ejetados." (A. Bohm, P. Darriulat, C. Grosso, V. Kafarev, K. Kleinknecht, H. K. Lynch, C. Rubbia, H. Ticho e K. Tittel, 30 de maio de 1968.)

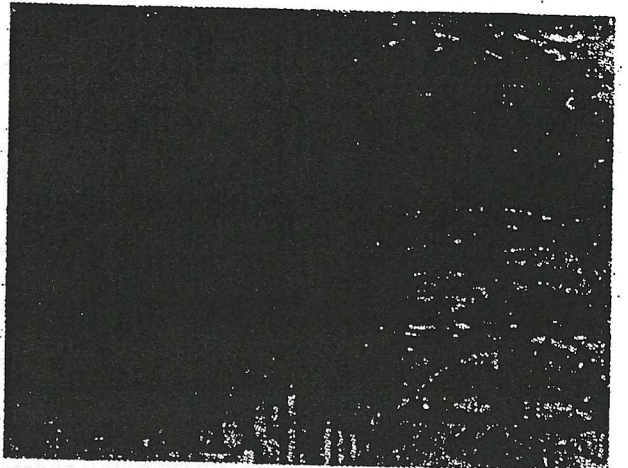
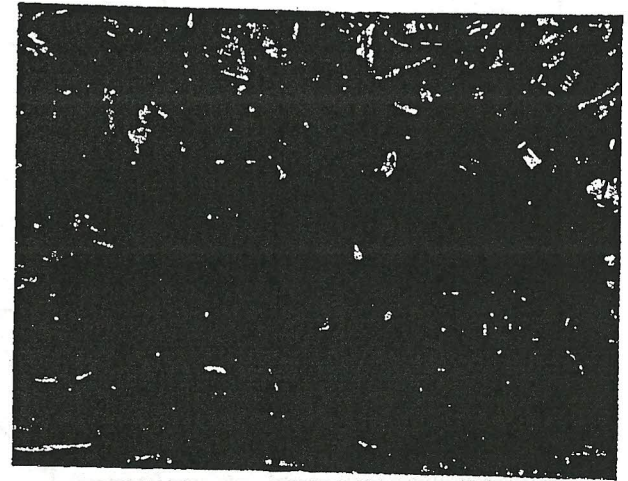
Encerrarei com a observação de que a tendência à abstração e à eliminação da experiência sensorial imediata não se limita à física; ao contrário, parece quase uma característica do pensamento e da arte de nossos dias (Figura 14.2). Na época dos Curie os pintores descreviam a realidade, embora a realidade já seja notavelmente deformada na alma do artista. Picasso pintava mulheres com dois rostos, embora um não fosse corpuscular e o outro ondulatório. Atualmente temos pinturas totalmente abstratas e, em física, fórmulas de significado profundo, mas não imediato.

As Entranhas da Física

Não posso fugir à sensação de que a física se assemelha a um organismo vivo em sua estrutura e evolução. Na base dessa analogia está a complexidade do sistema científico. Vamos examinar apenas a física, por uma questão de limitação. A experiência e a teoria são seus componentes fundamentais e há um inter-relacionamento constante entre ambas. Mas a experiência exige instrumentos e técnicas do lado material, e metas e idéias do lado intelectual. As necessidades técnicas criam o relacionamento com a tecnologia que, por sua vez, é constantemente enriquecida pelas ciências. A necessidade de metas cria o relacionamento com a teoria. A teoria, por sua vez, sem um tema básico e uma constatação contínua de sua veracidade, propiciada pela experimentação, não pode sobreviver como esforço profícuo. Além disso, a teoria também precisa de seus instrumentos específicos - a matemática, e a matemática durante muito tempo inspirou-se na física, embora de quando

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{1}{4\pi(m^2)^2} \left[\frac{|\sin\theta_s|^2 (1 + \cos 2\varphi_s) |t - (Y+m)^2|^{-1} |\gamma_1|^2 |(t/s_0)^{2(\alpha-1)} \alpha^2 + (1 - \cos 2\varphi_s)}{|\Gamma(\alpha+1) \sin \frac{1}{2}\pi\alpha|^2} \right. \\ \times |\sin\theta_s|^2 (t - m^2)^2 |t - (m - Y)^2| \left(\frac{\alpha^2 |t|^{-1} |\gamma_1|^2 |(t/s_0)^{2(\alpha-1)} + \alpha^2 |t|^{-1} |\gamma_1|^2 |(t/s_0)^{2(\alpha-1)}}{|\Gamma(\alpha+1) \sin \frac{1}{2}\pi\alpha|^2} \right) \frac{\alpha^2 |t|^{-1} |\gamma_1|^2 |(t/s_0)^{2(\alpha-1)}}{|\Gamma(\alpha+1) \cos \frac{1}{2}\pi\alpha|^2} \\ + \frac{\alpha^2 |t|^{-1} |\gamma_1|^2 |(t/s_0)^{2(\alpha-1)}}{|\Gamma(\alpha+1) \sin \frac{1}{2}\pi\alpha|^2} + \frac{2\alpha\alpha_Y \sin \frac{1}{2}\pi(\alpha - \alpha_Y) \gamma_1 \gamma_1^* |(t/s_0)^{\alpha + \alpha_Y - 1}}{|\Gamma(\alpha+1) \sin \frac{1}{2}\pi\alpha|^2} \\ + \frac{2\alpha\alpha_Y \gamma_1 \gamma_1^* \cos \frac{1}{2}\pi(\alpha - \alpha_Y) (t/s_0)^{\alpha + \alpha_Y - 1}}{|\Gamma(\alpha+1) \Gamma(\alpha+1) \sin \frac{1}{2}\pi\alpha \cos \frac{1}{2}\pi\alpha_Y|} + (1 + \cos^2\theta_s - \cos 2\varphi_s \sin^2\theta_s) \\ \times \frac{\alpha^2 |t - (m+Y)^2|^{-1} |\gamma_1|^2 |(t/s_0)^{2(\alpha-1)}}{|\Gamma(\alpha+1) \sin \frac{1}{2}\pi\alpha|^2} + (1 + \cos^2\theta_s + \cos 2\varphi_s \sin^2\theta_s) (t - m^2)^2 \\ \times |t - (m - Y)^2| \left(\frac{\gamma_1 \gamma_1^* |(t/s_0)^{2(\alpha-1)} \alpha^2 |t|^{-2} + \alpha^2 |\gamma_1 \gamma_1^*|^2 |(t/s_0)^{2(\alpha-1)} + \alpha^2 |\gamma_1 \gamma_1^*|^2 |(t/s_0)^{2(\alpha-1)}}{|\Gamma(\alpha+1) \sin \frac{1}{2}\pi\alpha|^2} + 2 \sin^2\varphi \right) \\ \times (\alpha - \alpha_Y) |t|^{-1} \frac{\gamma_1 \gamma_1^* |(t/s_0)^{\alpha + \alpha_Y - 1}}{|\Gamma(\alpha+1) \Gamma(\alpha+1) \sin \frac{1}{2}\pi\alpha \cos \frac{1}{2}\pi\alpha_Y|} + \frac{2 \cos \frac{1}{2}\pi(\alpha - \alpha_Y) \gamma_1 \gamma_1^* |(t/s_0)^{\alpha + \alpha_Y - 1}}{|\Gamma(\alpha+1) \Gamma(\alpha+1) \sin \frac{1}{2}\pi\alpha \cos \frac{1}{2}\pi\alpha_Y|} + 4 \cos\theta_s (t - m^2)^2 \\ \times [(t - (m+Y)^2) |t - (m - Y)^2|^{-1} |\gamma_1 \gamma_1^*|^2 (t/s_0)^{2(\alpha-1)} \alpha^2 \left(\frac{\Gamma^{-1} \gamma_1 \gamma_1^* \alpha \cos \frac{1}{2}\pi(\alpha - \alpha_Y) (t/s_0)^{-1}}{|\sin \frac{1}{2}\pi\alpha \Gamma(\alpha+1) \Gamma(\alpha+1) \sin \frac{1}{2}\pi\alpha|} \right. \\ \left. + \frac{\Gamma^{-1} \sin \frac{1}{2}\pi(\alpha - \alpha_Y) \alpha \gamma_1 \gamma_1^* |(t/s_0)^{\alpha-1}}{|\Gamma(\alpha+1) \Gamma(\alpha+1) \sin \frac{1}{2}\pi\alpha \cos \frac{1}{2}\pi\alpha_Y|} + \frac{\Gamma^{-1} \alpha \gamma_1 \gamma_1^* \cos \frac{1}{2}\pi(\alpha - \alpha_Y) (t/s_0)^{\alpha-1}}{|\Gamma(\alpha+1) \Gamma(\alpha+1) \sin \frac{1}{2}\pi\alpha \sin \frac{1}{2}\pi\alpha_Y|} \right)] \quad (75)$$

(b)



(b)

Figura 14.2. Uma tendência à abstração nas artes assemelha-se à que parece predominar no desenvolvimento da física no século XX. (a) *Arvore Cinzenta*, de P. Mondrian (1872-1944), na qual a forma da árvore é facilmente identificável, embora não se trate de um desenho figurativo. (b) *Madeira em Flor*, de Mondrian, datada de 1912. A forma da árvore já desapareceu, dando lugar a um amontoado de curvas geométricas que, não obstante, parecem lembrar a forma anterior. (Coleção Haags Gemeentemuseum, Haia, Países Baixos.)

em vez teorias matemáticas abstratas criadas sem qualquer vínculo com aplicações, surpreendentemente, tenham achado aplicação na física. Nesse quadro, devemos encaixar também a descoberta resultante do acaso, que desempenha um papel semelhante ao da mutação em biologia. Surgem aí novas tendências que podem evoluir para capítulos inteiramente novos da ciência. Estes, por sua vez, têm de estar relacionados com a parte existente do organismo e, assim, induzem a modificações no organismo.

Lei de Stefan; Lei de Wien

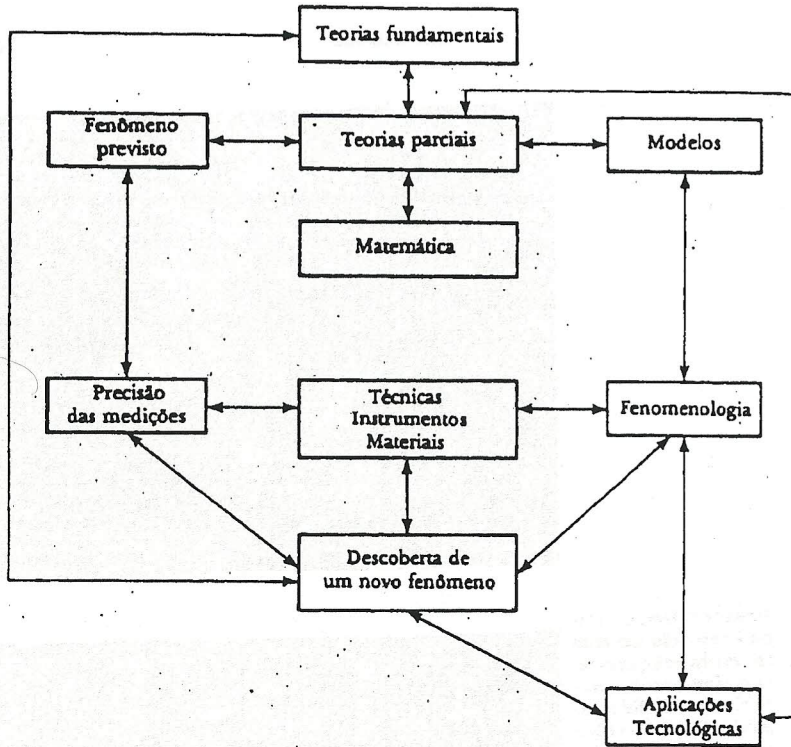


Figura 14.3. As diferentes partes que formam a "física" lembram em sua interdependência os órgãos de um ser vivo. Mostram um sistema muito complexo de atividades inter-relacionadas, e evoluem com o passar do tempo.

Tentei representar simbolicamente alguns aspectos desses inter-relacionamentos na Figura 14.3. Cada um dos quadros me faz pensar em um órgão de um ser vivo, cuja amputação poderia aleijar ou matar todo o organismo. As conexões a meu ver seriam a reação de um órgão sobre o outro. Mas chega de fantasias. Poderíamos fundamentar cada quadrado e cada conexão com exemplos retirados de fatos reais e este livro poderia fornecer um grande número deles.

Em razão da complexidade desse esquema, não é de espantar que tais tipos diferentes de pessoas possam contribuir poderosamente para o desenvolvimento da física. Cada interação é melhor realizada por uma certa personalidade e, assim, há a possibilidade de trabalho profícuo para todos os tipos de gente.

A semelhança com um ser vivo também abrange a evolução. Não apenas o tema básico, mas também a filosofia da física mudam com o passar do tempo e há todos os motivos para pensar-se que continuarão a mudar, mesmo a um nível profundo. Não acredito que Galileu, Newton e Einstein tenham sido os últimos de sua espécie.

A lei de Stefan $u(T) = aT^4$ deriva simplesmente da termodinâmica e da relação $p = u(T)/3$ entre $u(T)$ e a pressão de radiação p . Essa relação é uma consequência das equações de Maxwell para o campo eletromagnético.

O primeiro princípio da termodinâmica dá

$$dQ = dU + p dV$$

onde $U = u(T)V$ é o total de energia interna da radiação, V o volume, e Q o calor fornecido.

O segundo princípio afirma que $dS = dQ/T$ é uma diferencial exata. Segue-se da combinação do primeiro e do segundo princípio que $dS = [u dV + V du + (u/3)dV]/T$ é uma diferencial total em T e V . Assim,

$$\frac{\partial^2 S}{\partial T \partial V} = \frac{1}{T} \frac{d u(T)}{dT} = \frac{4}{3} \frac{d(u/T)}{dT}$$

Dai obtemos a um só tempo $du/dT = 4u/T$ ou

$$u(T) = aT^4$$

Wien, com um argumento termodinâmico detalhado, no qual examinou a compressão da radiação do corpo negro por um pistão móvel refletido perfeitamente, obteve

$$u(\nu, T) = \nu^3 f(\nu/T)$$

A lei de Stefan deriva da lei de Wien por integração em $d\nu$. Tomando a derivada de $u(\nu, T)$ com relação a ν e achando onde ela é zero, obtemos a frequência em que $u(\nu, T)$ é máxima para uma temperatura determinada. Usando a lei de Wien, achamos $3f(\nu/T) = (\nu/T) f'(\nu/T)$; o máximo corresponde a um certo valor numérico de ν/T . Ou, se escolhermos λ e T como variáveis e calcularmos $u(\lambda, T) d\lambda$, da mesma forma acharemos um valor de λT . Essa propriedade, às vezes, é chamada de lei de deslocamento. Usando a expressão de Planck para $u(\nu, T)$, acharemos numericamente $\nu_m/T = 5.88 \times 10^{10}$ (ν em ciclos/s, T em graus K).