



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 quadrados 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.

Apêndice 1

Lei de Stefan; Lei de Wien

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,

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

Dalí 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 piston 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).

Apêndice 2

Planck: a busca da fórmula de radiação do corpo negro

Primeiramente, Planck estabeleceu a relação entre a densidade de radiação e a energia média $\langle E \rangle$ dos osciladores que formam as paredes do corpo negro. Pela termodinâmica, ele obteve

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \langle E \rangle \quad (1)$$

Ele também considerou a entropia média de um oscilador e demonstrou que obedece à equação

$$dS = \frac{d\langle E \rangle}{T} \quad (2)$$

Se quisermos manter para $u(\nu, T)$ a expressão apresentada por Wien

$$u(\nu, T) = A\nu^3 \exp(-\beta\nu/T) \quad (3)$$

que parecia ser fundamentada experimentalmente, podemos escrever, usando as equações (1), (2) e (3):

$$\frac{dS}{d\langle E \rangle} = \frac{1}{T} = -\frac{1}{\beta\nu} \log \frac{8\pi\langle E \rangle}{Ac^3\nu} \quad (4)$$

e fazendo a segunda derivada

$$\frac{d^2S}{d\langle E \rangle^2} = -\frac{1}{\beta\nu\langle E \rangle} \quad (5)$$

Obtemos esses resultados solucionando a equação (3) para $1/T$ e usando as equações (1) e (2).

Por outro lado, se quisermos manter a fórmula de Rayleigh-Jeans, temos $\langle E \rangle = kT$ e

$$\frac{dS}{d\langle E \rangle} = \frac{1}{T} = \frac{k}{\langle E \rangle} \quad (6)$$

$$\frac{d^2S}{d\langle E \rangle^2} = -\frac{k}{\langle E \rangle^2} \quad (7)$$

A experiência demonstrou que nenhuma das duas fórmulas estava correta, mas que cada uma representava casos limites. Assim, falta-nos uma interpolação tal que $\langle E \rangle \gg k\beta\nu$ coincida com a equação (7) e $\langle E \rangle \ll k\beta\nu$ coincida com a equação (5). Então é tentador utilizarmos para $d^2S/d\langle E \rangle^2$ a fórmula de interpolação que tem valores limites adequados.

$$\frac{d^2S}{d\langle E \rangle^2} = \frac{-1}{\beta\nu\langle E \rangle + \langle E \rangle^2/k} \quad (8)$$

Supondo-se que esta fórmula esteja correta, a integração em $d\langle E \rangle$ dá

$$\frac{dS}{d\langle E \rangle} = -\frac{1}{\beta\nu} \log \frac{k\beta\langle E \rangle}{1 + k\beta\langle E \rangle} = \frac{1}{T} \quad (9)$$

onde usamos a condição limite tal que para $T \rightarrow \infty$ $\langle E \rangle$ também tende ao infinito. Agora podemos resolver a equação 9 para $\langle E \rangle$ e, inserindo o resultado na equação (1) e chamando $h/k = \beta$ obter:

$$\langle E \rangle = \frac{k\beta\nu}{e^{\beta\nu/T} - 1} \quad (10)$$

que, inserido na equação (1), dá

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (11)$$

Apêndice 3

Einstein: argumentação heurística para postular a existência dos *quanta* de luz

Defina-se uma densidade de entropia $\varphi(\nu, T)d\nu$ para radiação de corpo negro semelhante à densidade de energia $u(\nu, T)d\nu$. Por meio da termodinâmica, pode-se demonstrar que

$$\frac{d\varphi(\nu, T)}{du(\nu, T)} = \frac{1}{T} \quad (1)$$

Pressupondo-se a fórmula de radiação de Wien

$$u(\nu, T) = A\nu^3 e^{-h\nu/kT} \quad (2)$$

e solucionando $1/T$, acha-se

$$\frac{1}{T} = -\frac{k}{h\nu} \log \frac{u}{A\nu^3} = \frac{d\varphi}{du} \quad (3)$$

e integrando

$$\varphi(u, \nu) = -\frac{ku}{h\nu} \left[\log \frac{u}{A\nu^3} - 1 \right]$$

Essas observações correspondem aos raciocínios de Planck (Ap. 2) e já eram conhecidas antes de Einstein. Consideremos agora uma mudança de volume de um corpo negro, deixando constante a energia total. Isso exige que $u(\nu, T)V = U(\nu, T)$ continuem constantes. A entropia do intervalo de frequência $d\nu$ é

$$dS = \varphi(\nu, T)Vd\nu = -\frac{kU}{h\nu} \left[\log \frac{U}{AV\nu^3} - 1 \right] d\nu \quad (4)$$

Para uma mudança de volume finito, mantendo U constante, temos:

$$d(S - S_0) = \frac{kU}{h\nu} \log \frac{V}{V_0} d\nu \quad (5)$$

Para um gás monatômico perfeito de n átomos, a termodinâmica fornece para a mudança de entropia em virtude de uma expansão a energia

$$S - S_0 = nk \log \frac{V}{V_0} \quad (6)$$

Esta última fórmula é facilmente relacionada à expressão de Boltzman

$$S = k \log W$$

porque, para um átomo, a probabilidade de estar em um volume parcial V de V_0 é V/V_0 . Para n átomos independentes, temos $(V/V_0)^n$, da qual deriva imediatamente a equação (6)

As equações (5) e (6) se tomam a mesma pressupondo-se que

$$U d\nu = nb\nu$$

Isso significa que a energia no intervalo de frequência $d\nu$ é subdividida em n quanta de magnitude $\epsilon = h\nu$.

Apêndice 4

Movimento browniano

Uma partícula de massa m e raio a flutua em um líquido à temperatura T . As moléculas do líquido impelem a partícula ora para a esquerda, ora para a direita. A partícula é suficientemente grande para ter, em média, seu movimento amortecido pela viscosidade do líquido. O movimento da partícula é essencialmente um passeio à deriva, com passos para a direita tão prováveis quanto os para a esquerda.

Chamando $\langle x^2 \rangle$ de média do quadrado do deslocamento após N passos de comprimento λ , de acordo com conceitos estatísticos elementares, tem-se

$$\langle x^2 \rangle = \lambda^2 N \quad (1)$$

Se a velocidade média da partícula for v , o número de passos no tempo t será

$$N = vt/\lambda \quad (2)$$

A velocidade v pode ser obtida pela equipartição da energia, o que significa que

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT \quad (3)$$

O comprimento λ pode ser calculado pressupondo-se que a força de viscosidade, atuando em um comprimento λ , faça um trabalho igual à energia cinética da partícula. Se a partícula tomasse uma direção após o deslocamento λ , teria perdido sua velocidade e poderia voltar-se. A lei de Stokes dá, para a força de viscosidade, a expressão

$$F = 6\pi a \eta v$$

onde η é o coeficiente de viscosidade do líquido. Segue-se que

$$6\pi a \eta \lambda = \frac{3}{2}kT \quad \text{or} \quad \lambda = \frac{kT}{4\pi a \eta}$$

Usando esta expressão e as equações (1), (2), (3), tem-se, *grosso modo*,

$$\langle x^2 \rangle = \frac{kT}{4\pi a\eta} t$$

O cálculo de Einstein dá:

$$\langle x^2 \rangle = \frac{kT}{3\pi a\eta} t$$

Apêndice 5

Flutuações de energia do corpo negro segundo Einstein

Consideremos um sistema isolado de energia E e dividamo-lo em duas partes. Elas têm energia E_1 e E_2 com $E_1 + E_2 = E$ e, da mesma forma, as entropias $S_1 + S_2 = S$. Quando tudo está em equilíbrio, as mesmas quantidades são indicadas por $E_1^0, E_2^0, S_1^0, S_2^0$. Definimos $E_1 - E_1^0 = \epsilon = E_2^0 - E_2$. Também admitimos que a parte 1 é pequena comparada com a parte 2 do sistema.

Desenvolvemos a entropia em uma série de potências em ϵ

$$S = S_1 + S_2 = S_1^0 + S_2^0 + \left(\frac{\partial S_1}{\partial E_1} - \frac{\partial S_2}{\partial E_2} \right) \epsilon + \left(\frac{\partial^2 S_1}{\partial E_1^2} + \frac{\partial^2 S_2}{\partial E_2^2} \right) \epsilon^2 + \dots$$

Em condições de equilíbrio, a entropia é máxima e o coeficiente de ϵ desaparece. Essa condição significa que

$$\frac{\partial S_1}{\partial E_1} = \frac{\partial S_2}{\partial E_2} = \text{const.} = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{T_2}$$

e, pela definição da temperatura $\left(\frac{\partial S}{\partial E} = \frac{1}{T} \right)$ segue-se que as duas partes estão à mesma temperatura.

O termo seguinte em ϵ^2 fornece

$$\Delta S_1 = S_1 - S_1^0 = \frac{\partial^2 S}{\partial E_1^2} \epsilon^2 = \frac{d}{dE_1} \frac{1}{T_1} \epsilon^2 = - \frac{1}{T^2} \frac{dT}{dE_1} \epsilon^2 = - \frac{\epsilon^2}{T^2 C_{r,1}}$$

Usamos aqui o fato de que a parte 2 é muito grande em comparação com a parte 1 e assim tem uma capacidade de calor muito maior. Além disso, por definição, $dE_1/dT_1 = 1/C_{r,1}$ onde $C_{r,1}$ é a capacidade de calor da parte 1. Ao final, suprimimos o índice 1 porque é supérfluo.

A relação de Boltzmann entre entropia e probabilidade dá a probabilidade para uma flutuação de energia de magnitude ϵ :

$$W(\epsilon) = e^{-\Delta S/k} = e^{-\epsilon^2/kT^2 C_r}$$

e para $\langle \varepsilon^2 \rangle$ achamos:

$$\langle \varepsilon^2 \rangle = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \varepsilon^2 W(\varepsilon) d\varepsilon}{\int_{-\infty}^{\infty} W(\varepsilon) d\varepsilon}$$

As integrais são padronizadas e, calculando-as, achamos:

$$\langle \varepsilon^2 \rangle = kT^2 C_v \quad (1)$$

Este resultado será encontrado nos trabalhos de Einstein de 1903. Análogamente aplicamos a radiação do corpo negro. A energia E em um volume V e intervalo de frequência $\Delta\nu$ é dada pela fórmula de Planck. Calculamos a capacidade de calor C_v fazendo a derivada com relação a T e inserimos o resultado na equação (1) obtendo

$$\langle \varepsilon^2 \rangle = V \Delta\nu \left(u(\nu, T) h\nu + \frac{c^2 h^2 \nu^2(\nu, T)}{8\pi\nu^2} \right)$$

O primeiro termo $V \Delta\nu u(\nu, T) h\nu$ é a energia total E no volume V e no intervalo de frequência $\Delta\nu$ multiplicando por $h\nu$. Se a energia for dividida em n quanta de energia $h\nu$, haverá $E/h\nu = n$ quanta no volume e a flutuação do quadrado da energia será $\langle \varepsilon^2 \rangle = n(h\nu)^2$. Essa expressão reflete a visão corpuscular extremada e é a flutuação obtida no limite de validade da aproximação da lei de Wien. O segundo termo é o resultado da interferência de ondas que se obtém no limite de validade da aproximação da lei de Rayleigh-Jeans. A lei de Planck dá exatamente a fórmula completa com ambos os termos.

Apêndice 6

Calor específico dos sólidos segundo Einstein

A lei de Dulong e Petit é facilmente explicada pressupondo-se que cada mol de um elemento sólido contém A (número de Avogadro) osciladores harmônicos. A equiparação da energia atribui a cada oscilador a energia cinética $\frac{1}{2}kT$, e uma quantidade igual de energia vem da energia potencial, igual, em média, à energia cinética, no caso do oscilador harmônico. Assim, o total de energia em um mol é

$$E = 3kAT = 3RT$$

e o calor molar é $dE/dT = 3R$.

Se os osciladores são quantizados, a energia cinética média por grau de liberdade é

$$E = \frac{kT \sum_{n=0}^{\infty} n x e^{-n x}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-n x}} = kT \frac{x}{e^x - 1}$$

onde $x = h\nu/kT$. Esta fórmula já foi mostrada no Apêndice 2, equação (10). O calor molar de um sólido então será

$$C = \frac{dE}{dT} = 3R \frac{x^2 e^x}{(e^x - 1)^2}$$

Esta fórmula confere com a experiência, mas precisa de importante desenvolvimento, sobretudo porque a frequência ν deve ser substituída por todo um espectro de frequências.

Deve aperfeiçoar uma aproximação muito melhor que leva em consideração tal espectro.

A e B de Einstein

Tomemos um sistema com dois estados quânticos, r e s , em um campo de radiação de densidade $u(\nu, T)$. O número de sistemas no estado s é n_s e no estado r é n_r . Boltzmann tinha descoberto muito antes que, em equilíbrio térmico, a proporção n_s/n_r é dada por

$$\frac{n_s}{n_r} = e^{-\frac{E_s - E_r}{kT}}$$

Esta é uma lei fundamental de mecânica estatística, chamada lei de Boltzmann.

Um sistema no estado s tem, por unidade de tempo, a probabilidade A de cair espontaneamente para o estado r , e por unidade de tempo (proporcional à densidade de radiação), a probabilidade $B u(\nu, T)$ de subir para o estado r por radiação. Da mesma forma, um sistema no estado r tem, por unidade de tempo, a probabilidade $C u(\nu, T)$ de ser levado pela radiação para o estado s . A energia $E_s - E_r$, dividida por h dá a frequência da radiação emitida e absorvida pela transição, segundo o conceito dos *quanta* de luz. Essa é também a frequência para a qual devemos calcular $u(\nu, T)$. Em equilíbrio, precisamos ter o mesmo número de transições por unidade de tempo em ambos os sentidos e, por conseguinte:

$$n_r C u(\nu, T) = n_s [A + B u(\nu, T)]$$

Combinando a lei de Boltzmann com a condição de equilíbrio, achamos:

$$\exp[-(E_s - E_r)/kT] (A + B u(\nu, T)) = C u(\nu, T)$$

Para T tendendo ao infinito, $u(\nu, T)$ se torna muito grande, $A \ll B u(\nu, T)$, $\exp[-(E_s - E_r)/kT] = 1$, assim, devemos ter $B = C$, e: resolvemos $u(\nu, T)$, obtemos:

$$u(\nu, T) = \frac{A/B}{e^{(E_s - E_r)/kT} - 1}$$

Da lei da termodinâmica de Wien $u(\nu, T) = \nu^3 f(\nu/T)$, válida para qualquer sistema, devemos concluir que $E_s - E_r$ é proporcional a ν e A/B a ν^3 . Temos,

portanto, uma notável justificação para a relação $E_e - E_r = h\nu$. Para $h\nu \ll kT$ a expressão para μ tende à aproximação $\mu = AkT/Bh\nu$ e isso deve coincidir com a fórmula de Rayleigh-Jeans $\mu = 8\pi\nu^2 kT/c^3$. Essa exigência dá $A/B = 8\pi h\nu^3/c^3$. Assim, temos uma derivação completa da lei de Planck. Por outro lado, se tomarmos como base a lei de Planck, temos uma derivação do valor de A/B . Essa proporção também pode ser calculada, em exemplos específicos, pela mecânica quântica.

Apêndice 8

J. J. Thomson: método da parábola para achar e/m de íons

Feixes de íons produzidos com as técnicas de J. J. Thomson continham íons de velocidades extremamente diferentes. Era necessário um método que tornasse possível usá-los para a determinação de e/m sem perder muita intensidade.

Thomson usou deflexões perpendiculares por meio de um campo elétrico e magnético. Suponhamos que os íons se movem na direção z com a velocidade v e estão sujeitos a um campo elétrico E e a um campo magnético B , ambos na direção x . A força de Lorentz, atuando sobre o íon é

$$F = eE + \frac{e}{c} B \times v \quad (1)$$

e em componentes, para nosso caso,

$$F_x = eE \quad F_y = \frac{e}{c} Bv \quad (2)$$

as correspondentes acelerações $F/m = a$ e as deflexões em um plano perpendicular ao eixo z são:

$$x = \frac{eE}{m} \frac{t^2}{2} = \frac{eE}{m} \cdot \frac{A}{2v^2} \quad (3)$$

$$y = \frac{eBv}{mc} \frac{t^2}{2} = \frac{eB}{mc} \cdot \frac{A'}{2v} \quad (4)$$

Aqui, A e A' são constantes que dependem da geometria do aparelho. A partir das equações (3) e (4), temos

$$y^2 = \frac{e}{m} \frac{B^2 A'^2}{2Ec^2 A} x = kx$$

Assim, os íons caem em uma parábola, a despeito da velocidade; a velocidade determina que ponto da parábola eles atingem. Cada valor de e/m dá origem a sua própria parábola.

O átomo de hidrogênio de Bohr

Consideremos um átomo formado por um centro de massa infinita e carga positiva e atraindo eletrostaticamente um elétron. As órbitas serão elipses keplerianas com o núcleo (a massa infinita) em um foco. Por uma questão de simplificação consideramos apenas órbitas circulares. Chame-mos a massa e a velocidade do elétron de m e v , sua velocidade angular de ω , e a distância do núcleo de r . Equilibrando a força centrífuga e a atração de Coulomb, temos

$$\frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r = \frac{e^2}{r^2} \quad (1)$$

Se a massa nuclear é finita, prevalecem as mesmas equações, substituindo-se m por $Mm/(M+m)$ (massa reduzida), e se o núcleo tem uma carga Ze , como em íons hidrogênicos, substituímos um dos e por Ze . Daqui em diante, m é a massa reduzida.

O zero da energia do sistema corresponde, por convenção, ao elétron em repouso a uma distância infinita do núcleo. Com essa convenção, a energia de uma órbita é

$$E = \frac{mv^2}{2} - \frac{Ze^2}{r} = - \left(\frac{Z^2 e^4 m \omega^2}{8} \right)^{1/3} \quad (2)$$

A equação (2) dá

$$\frac{|E^3|}{\omega^2} = \frac{Z^2 e^4 m}{8} = \text{constante} \quad (3)$$

A energia radiada em um salto quântico de uma órbita rotulada 1, para uma outra órbita rotulada 2, é dada, segundo o postulado de Bohr, por

$$\nu = \frac{E_1 - E_2}{h} \quad (4)$$

A estrutura da fórmula de Balmer

$$\nu = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (5)$$

sugere que R/n^2 é uma expressão de E/h para órbitas específicas. Para n grande, correspondendo a grandes órbitas, e para o salto mínimo de n (por uma unidade), a fórmula de Balmer deve dar uma frequência que tende ao valor clássico, isto é, a $\omega/2\pi$.

A fórmula de Balmer dá para ν , aproximadamente,

$$\nu = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{(n+1)^2} \right) = \frac{2R}{n^3}$$

ω é dado pela equação (3) e combinando as duas expressões, e substituindo $|E|$ por hR/n^2

$$2\pi\nu = \frac{4\pi R}{n^3} = \left(\frac{8E^3}{Z^2 e^4 m} \right)^{1/2} = \left(\frac{8R^3 h^3}{n^6 Z^2 e^4 m} \right)^{1/2} \quad (6)$$

Equacionando o segundo e o último termos, temos:

$$R = 2\pi m Z^2 e^4 / h^3 \quad (7)$$

Do valor de R obtemos a partir da equação (5)

$$E = -\frac{Rb}{n^2} = \frac{2\pi^2 m Z^2 e^4}{h^3 n^2} \quad (8)$$

Os valores negativos de E pertencem aos estados ligados. Todos os valores de energia positiva, que classicamente pertencem a órbitas hiperbólicas, são permitidos. Formam um espectro contínuo.

Os raios das órbitas permitidas são

$$r_n = \frac{b^2 n^2}{4\pi^2 m Z e^2} \quad (9)$$

A velocidade nas órbitas é $2\pi e^2 Z / hn$ e o momentum angular, conforme computado, a partir das equações (9) e (6) é

$$l = \frac{nb}{2\pi} \quad (10)$$

O valor inteiro do momentum angular em unidades de $h/2\pi$ é característico das órbitas permitidas e pode ser usado como condição de quantização.

Sinopse de mecânica quântica

Damos aqui um resumo do esquema conceitual da mecânica quântica. É evidente que nossa exposição é incompleta e não tem a pretensão de ensinar mecânica quântica. O leitor que desejar uma apresentação elementar, porém mais completa, deverá recorrer a um dos muitos manuais disponíveis. F. Mandl, *Quantum Mechanics* (Londres: Butterworths, 1957) é uma obra resumida e clara.

Consideremos um sistema com um grau de liberdade, de coordenada q , e chamemos de A, B , etc., variáveis dinâmicas, tais como coordenada, momentum, energia. Meçamos, imediatamente, uma após a outra, as três magnitudes A, B e A , mantendo os valores a' e b' para as duas primeiras. Para a terceira, pode ocorrer que uma segunda medição de A dê necessariamente o resultado a' . Então chamamos A e B de observáveis compatíveis. Quando tivermos feito medições suficientes em um sistema, de modo que qualquer outra medição seja ou incompatível com as precedentes ou dê um resultado calculável com certeza em função das medições precedentes, teremos realizado uma observação completa do sistema. Uma observação completa define o "estado" de um sistema.

A cada estado de um sistema está associado um $\psi(q, t)$ que muda com o tempo segundo a equação de Schrödinger

$$H_{op}(p, q) \psi(q, t) = \frac{h}{2\pi i} \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (1)$$

onde $H_{op}(p, q)$ é o operador de Hamilton obtido a partir da expressão da energia como função de q e seu momentum conjugado p , substituindo p pelo operador $(h/2\pi i)(\partial/\partial q)$. Por exemplo, no caso de um oscilador harmônico, em uma dimensão, a energia potencial é $\frac{1}{2}kx^2$ e a energia cinética é $\frac{1}{2}p^2/m$. Inserindo na equação (1), temos

$$H(p, x) \psi(x, t) = \left(-\frac{h^2}{8\pi^2 m} \frac{d^2}{dx^2} + \frac{1}{2} kx^2 \right) \psi(x, t) = \frac{h}{2\pi i} \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} \quad (2)$$

É evidente que dado o $\psi(q, 0)$ inicial, pode-se achar o $\psi(x, t)$ em qualquer ocasião integrando a equação (1).

1. O resultado da medição do observável físico $G(q,p)$ é um dos autovalores da equação

$$G_{op}(p,q)\varphi_n(q) = g'_n\varphi_n(q) \quad (3)$$

Como caso particular, tem-se para a energia

$$H(p,q)\psi_n(q) = E_n\psi_n(q) \quad (4)$$

que é a equação de Schrödinger. Se, como exemplo, tivermos medido a energia de um oscilador e achado o valor E_n correspondente ao valor próprio de $\psi_n(x)$, então saberemos que o $\psi(x)$ associado ao estado de nosso oscilador é $\psi_n(x)$, especificamente E_n is $(3+\frac{1}{2})h\nu$, com $\nu = (1/2\pi)\sqrt{k/m}$.

2. O estado de um sistema é definido por seu $\psi(q,0)$ conforme estipulado acima. O $\psi(q,0)$ pode ser desenvolvido em uma série de auto funções de $G(q,p)$ pelo processo de Fourier, obtendo-se

$$\psi(q) = \sum a_n\varphi_n(q) \quad (5)$$

3. Se medirmos G no estado ψ a probabilidade de achar o valor próprio g'_n is $|a_n|^2$.

O mesmo esquema pode ser expresso de forma diferente; um sistema é descrito por um vetor complexo de comprimento unitário em um espaço abstrato chamado *espaço de Hilbert*. Esse espaço pode ter um número infinito de dimensões. Os vetores de estado movem-se no espaço de Hilbert de acordo com uma lei determinista, dada por uma generalização da equação de Schrödinger (em essência, a equação (1)). Quando queremos saber a magnitude de certas quantidades físicas, precisamos introduzir eixos no espaço de Hilbert. Os eixos dependem do tipo de observáveis em que estivermos interessados. Os possíveis valores dos observáveis classificam os eixos, e o módulo quadrado da projeção do vetor de estado sobre um determinado eixo é a probabilidade de achar-se aquele valor específico da observável. Pode ocorrer que essa probabilidade seja um.

A medição de uma magnitude física, em geral, altera o vetor de estado e assim introduz uma descontinuidade em sua evolução. No caso mais simples, quando o estado é definido apenas por uma observação, suponhamos que em um estado ψ medimos G com o resultado g'_n ; então, após a medição, o estado já não é ψ e sim φ_n .

A teoria da medição na mecânica quântica tem dado origem a longas discussões que ainda não se exauriram de todo.

Bibliografia

Para dicionários e obras de interesse geral, vide *Modern Men of Science* (N. York: McGraw-Hill, 1968) e C.C. Gillispie, ed., *Dictionary of Scientific Biography*, 14 vols. (N. York: Scribners, 1970-1976). Muitas academias, inclusive a Royal Society of London e a National Academy of Sciences, Washington, D.C., publicam séries de notas biográficas sobre seus membros já falecidos. *Nobel Lectures in Physics* (N. York: Elsevier, 1967) e *Les Prix Nobel* (Estocolmo: Norstedt & Söner, 1902-) contém conferências e biografias dos laureados. B. Maglich, ed., *Adventures in Experimental Physics* (Princeton: N. J.: World Science Education, 1972-) contém relatos sobre importantes descobertas feitas pelos próprios descobridores. H. A. Boorse e L. Motz, eds., *The World of the Atom* (N. York: Basic Books, 1966) é uma antologia com generosas notas biográficas. Trata-se de excelente fonte para muitas das mais importantes obras originais tratadas neste livro. M. Jammer, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics* (N. York: McGraw-Hill, 1966) é uma excelente descrição geral do desenvolvimento da teoria quântica. E. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity* (N. York: Harper & Bros., 1960) é uma obra erudita bastante útil para o estudo de aspectos matemáticos e inclui períodos anteriores ao século XIX.

Capítulo I: Introdução

Para uma história geral interessante, vide B. Tuchman, *The Proud Tower: A Portrait of the World Before the War, 1890-1914* (N. York: MacMillan, 1966), que apresenta uma visão pessoal da Europa no final do século XIX.

Sobre algumas das grandes personalidades do mundo científico, vide R. T. Glazebrook, *James Clerk Maxwell and Modern Physics* (Londres: Cassel, 1901); S.P. Thompson, *Life of Lord Kelvin* (Londres: MacMillan, 1910); C.W.F. Everitt, *James Clerk Maxwell: Physicist and Natural Philosopher* (N. York: Scribner, 1975); L. Königsberger, *H. von Helmholtz* (F.A. Welby, trad.) (N. York: Dover, 1956); J. Hertz, *Heinrich Hertz* (Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, 1927); J.W. Gibbs, "R.J.E. Clausius" em *Proceedings American Academy* 16, 458 (1889); O. Glasser, *Dr. W. C. Röntgen* (Berlim: Springer, 1959) (Segunda edição: Springfield Illinois, C. C. Thomas, 1972); E. Broda, *Ludwig Boltzmann Mensch, Physiker, Philosoph* (Viena: F. Deuticke, 1955); Lorde Rayleigh, *The Life of J. J. Thomson*, O. M. (Cambridge: Cambridge University Press, 1943); R. J. Strutt, Quarto Barão Rayleigh, *Life of J. W. Strutt, Third Baron Rayleigh*, O.M.F.R.S.

Madison, Wisc.: University of Wisconsin Press, 1968); G. L. De Haas-Lorentz, ed., *H. A. Lorentz - Impression of His Life and Work* (Amsterdã: North-Holland, 1957); J.J. Thomson, *Recollections and Reflections* (Londres: G. Bell and Sons, 1936). G.P. Thomson, *J.J. Thomson and the Cavendish Laboratory in His Day* (Londres: Nelson, 1967); R.A. Millikan, *The Electron* (Chicago: The University of Chicago Press, 1963); R. Vallery-Radot, *The Life of Pasteur* (Garden City, N.Y.: Garden City Publishing Company, 1937); R. Willstaetter, *From My Life* (N. York: W.A. Benjamin, 1965).

D.L. Anderson, *The Discovery of the Electron* (N. York: Van Nostrand Reinhold, 1964) é um resumo elementar de muitos assuntos tratados neste capítulo. A base financeira e econômica da física é analisada em P. Forman, J.L. Heilbron e S. Weart, *Physics circa 1900 - Personnel Funding and Productivity of the Academic Establishment*, em *Historical Studies in the Physical Sciences*, vol. 5 (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1975).

Capítulo II: H. Becquerel, os Curie e a descoberta da radioatividade

Para Becquerel, vide *Comité du Patronage du Cinquantenaire de la Découverte de la Radioactivité* (Paris: École Polytechnique, 1946).

Para as obras dos Curie: P. Curie, *Oeuvres de Pierre Curie* (Paris: Gauthier-Villars, 1908); I. Joliot-Curie, ed., *Oeuvres de Marie Skłodowska Curie* (Varsóvia: Panstwowe Wydawnictwo Naukowe, 1954).

Para biografias dos Curie, vide M. Curie, *Pierre Curie* (Paris: Payot, 1924; tradução inglesa, N. York: Dover, 1963); Eve Curie, *Madame Curie* (N. York: Doubleday, 1949); A. Langevin, *Paul Langevin, mon père; l'homme et l'oeuvre* (Paris: Editeurs Français Réunis, 1971).

Pode-se encontrar uma história geral da descoberta da radioatividade em A. Romer, ed., *The Discovery of Radioactivity and Transformation* (N. York: Dover, 1960).

Capítulo III: Rutherford no novo mundo A transmutação dos elementos

A fonte básica deste capítulo é E. Rutherford, *The Collected Papers of Lord Rutherford of Nelson, under the Scientific Direction of Sir James Chadwick* (N. York: Interscience, 1962-1965): vol. 1, *New Zealand-Cambridge-Montreal*; vol. 2, *Manchester*; vol. 3, *The Cavendish Laboratory*. A coletânea também contém artigos históricos. A biografia oficial de Rutherford é A.S. Eve, *Rutherford* (Cambridge: Cambridge University Press, 1939). Vide também L. Badash, ed., *Rutherford and Boltwood Letters on Radioactivity* (New Haven: Yale University Press, 1969) e O. Hahn, *Vom Radiothor zur Uranspaltung: eine wissenschaftliche Selbstbiographie* (Braunschweig: F. Vieweg, 1962).

Capítulo IV: Planck, apesar de tudo, um revolucionário: a idéia da quantização

Para termodinâmica, vide L.P. Wheeler, J.W. Gibbs: *The History of a Great Mind* (New Haven: Yale University Press, 1951).

Fonte básica para este capítulo é M. Planck, *Physikalische Abhandlungen und Vorträge* 3 vols. (Braunschweig: Vieweg, 1958). O volume 3 contém artigos históricos.

Para a história do estudo do corpo negro, vide H. Kangro, *Early History of Planck's Radiation Law* (N. York: Crane Russak, 1976); A. Hermann, *Genesis of Quantum Theory* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1971); T.J. Kuhn, *BlackBody Theory and the Quantum Discontinuity 1894-1912* (Oxford: Clarendon Press, 1978).

Para os Conselhos Solvay, vide M. de Broglie, *Les Premiers Congrès de Physique Solvay* (Paris: A. Michel, 1951).

Capítulo V: Einstein — novas maneiras de pensar: espaço, tempo, relatividade e quanta

As obras de Einstein ainda não foram inteiramente coligidas. Um volume que trata incompletamente da relatividade é A. Einstein, H. A. Lorentz, H. Minkowski e H. Weyl, *The Principle of Relativity, A. Collection of Original Memoirs on the Special and General Theory of Relativity with Notes by A. Sommerfeld* (N. York: Dover, 1952).

Nenhuma das inúmeras biografias existentes pode ser considerada definitiva. Entre as melhores, estão B. Hoffmann e H. Dukas, *Albert Einstein, Creator and Rebel* (N. York: Viking Press, 1972); C. Selig, ed., *Helle Zeit, dunkle Zeit - In memoriam A. Einstein* (Zurique: Europa, 1976); R. W. Clark, *Einstein: The Life and Times* (N. York: World Publishing Co., 1971). Bastante interessante é o resumo autobiográfico, P. A. Schilpp, ed., *Albert Einstein, Philosopher-Scientist* (La Salle, Ill.: The Open Court, 1949).

Para o papel desempenhado por Einstein na teoria quântica, vide A. Pais, "Einstein and the Quantum Theory", em *Reviews of Modern Physics* 51, 861 (1979).

A troca de correspondência com Sommerfeld, Born e Besso é muito informativa. Vide A. Hermann, ed., *Albert Einstein-Arnold Sommerfeld Briefwechsel* (Basileia: Schwabe, 1968), A. Einstein, *The Born-Einstein Letters* (N. York: Waller & Co., 1971); A. Einstein, A. Einstein and Michele Besso *Correspondence 1903-1955* (Paris: P. Speziali, 1972).

Um excelente estudo sobre Ehrenfest lança luz sobre uma importante personalidade do círculo de Einstein: M.J. Klein, *Paul Ehrenfest* (Amsterdã: North Holland, 1970).

Para Michelson, vide D. Michelson Livingston, *The Master of Light: A Biography of A.A. Michelson* (N. York: Scribners, 1973).

Capítulo VI: sir Ernest e lorde Rutherford of Nelson

Fundamental para o período Manchester é *The Collected Papers of Lord Rutherford*, vol. 2 (N. York: Interscience, 1962-1965). Vide também J.B. Birks, ed., *Rutherford at Manchester* (Londres: Benjamin, 1962), que também contém reedições das obras de Rutherford, Bohr, Moselev e outros.

3. Vide também Sir M. Oliphant, *Rutherford, Recollections of Cambridge Days* (Amsterdã: Elsevier, 1972) e P.L. Kapitza, "Recollections of Lord Rutherford", *Nature* 210, 780 (1966).

Capítulo VII: Bohr e os modelos atômicos

Os primeiros volumes das obras de Bohr já foram publicados: L. Rosenfeld, ed., *N. Bohr, Collected Works* (Amsterdã: North Holland, 1972).

Um documento bastante importante, escrito por alguém que o conheceu bem de perto e que revela muitos aspectos da complexa personalidade de Bohr, é S. Rozental, ed., *Niels Bohr, His Life and Works as Seen by His Friends and Colleagues* (Amsterdã: North Holland, 1967).

Para raios X, vide P.P. Ewald, ed., *50 years of X-ray Diffraction* (Utrecht: Oosthoek, 1962); W.L. Bragg, *The Development of X-ray Analysis* (N. York: Hafner, 1975); G.M. Carol, *William Henry Bragg, Man and Scientist* (Cambridge: Cambridge University Press, 1978); S.K. Allison, "A.H. Compton, a biographical memoir", em *The National Academy of Sciences of the United States, Biographical Memoirs* 38, 81 (1965).

Para Moseley, vide J. Heilbron, *H.G.J. Moseley: The Life and Letters of an English Physicist, 1887-1915* (Berkeley: University of California Press, 1974).

Um dos melhores entre os muitos artigos dedicados a Sommerfeld é "Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld, 1868-1951", em M. Born, *Ausgewählte Abhandlungen* (Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 1963).

Para o spin do elétron, vide R. Kronig, "The turning point", em M. Fierz e V.F. Weisskopf, eds., *Theoretical Physics in the Twentieth Century, A Memorial Volume to Wolfgang Pauli* (N. York: Interscience, 1960); S.A. Goudsmit, "Pauli and nuclear spin", em *Physics Today* 14, (junho, 1961); S.A. Goudsmit, "It might as well be spin", e G.E. Uhlenbeck, "Personal reminiscences", em *Physics Today* 29 (junho de 1976).

F. Hund, *Geschichte der Quantentheorie* (Mannheim: Bibliographisches Institut, 1967), apresenta uma história do modelo e sua construção, escrita por um dos participantes.

Para Otto Stern, vide E. Segrè, "Otto Stern. A biographical memoir", em *The National Academy of Sciences of the United States, Biographical Memoirs* 43, 215 (1973).

Para Pauli, vide, antes de tudo, R. Kronig e V.F. Weisskopf, eds., *Collected Scientific Papers by W. Pauli* (N. York: Wiley Interscience, 1964); também M. Fierz e V.F. Weisskopf, eds., *Theoretical Physics in the Twentieth Century*.

Capítulo VIII: finalmente uma verdadeira mecânica quântica

Além de M. Jammer, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics* (N. York: McGraw-Hill, 1966), vide B.L. Van der Waerden, ed., *Sources of Quantum Mechanics* (N. York: Dover, 1968).

Para de Broglie, vide *Louis de Broglie, Physicien et Penseur* (Paris: Albin Michel, 1953).

Para Heisenberg, vide seu relato autobiográfico: W. Heisenberg, *Physics and Beyond; Encounters and Conversations* (N. York: Harper & Row, 1971) e também D. Irving, *The Virus House* (Londres: Kimber, 1967).

Para Pauli, vide a bibliografia do Capítulo 7.

Para Dirac, vide P.A.M. Dirac, "Recollections of an exciting era", em *History of 20th Century Physics, Proceedings of International School of Physics, Course 57* (N. York: Academic Press, 1977).

Para Born, vide M. Born, *Ausgewählte Abhandlungen* (Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 1963) e M. Born, *My Life: Recollections of a Nobel Laureate* (N. York: Scribner, 1975).

Alguns dos livros clássicos que resumem a obra científica dos fundadores da mecânica quântica são W. Heisenberg, *Physical Principles of the Quantum Theory* (N. York: Dover, 1930); W. Pauli, "Die allgemeinen Prinzipien der Wellenmechanik", em Geiger e Scheel, eds., *Handbuch der Physik*, vol. 24/1 (Berlim: Springer, 1933); P.A.M. Dirac, *The Principles of Quantum Mechanics* (Oxford: Clarendon Press, 1930); P. Jordan, *Anschauliche Quantentheorie, Eine Einführung in die Moderne Auffassung der Quantenerscheinungen*, (Berlim: Springer, 1936); E. Schrödinger, *Collected Papers on Wave Mechanics* (Londres: Blackie and Son, 1928).

As discussões epistemológicas entre Bohr e Einstein são reproduzidas em N. Bohr, "Discussions with Einstein on epistemological problems in atomic physics", em P.A. Schilpp, ed., *Albert Einstein, Philosopher-Scientist* (La Salle III: The Open Court, 1949). Podem encontrar-se trechos na correspondência Born-Einstein citada na bibliografia do Capítulo V.

S. Rozental, ed., *Niels Bohr, His Life and Works as Seen by His Friends and Colleagues* (Amsterdã: North Holland, 1967) contém descrições feitas por Heisenberg, Pauli e outros sobre a história e o "espírito" de Copenhague. Vide também: K. Przibram, *Briefe zur Wellenmechanik* (Viena: Springer, 1963) para as reações de Schrödinger. T.S. Kuhn, J.L. Heilbron, P.L. Forman e L. Allen, *Sources for History of Quantum Physics* (Filadélfia: The American Philosophical Society, 1967) é uma obra de referência indispensável para um estudo mais profundo. Uma tradução em inglês do Fausto de Copenhague pode ser encontrada em G. Gamow, *Thirty Years that Shook Physics* (N. York: Doubleday, 1966).

Capítulo IX: o maravilhoso ano de 1932: nêutron, deutério e outras descobertas

O.M. Corbino, "I nuovi compiti della fisica sperimentale", em *Atti della Società Italiana per il Progresso delle Scienze* 18, 1157 (1929) (tradução em *Minerva*, 9, 528, (1971)).

Para a descoberta do nêutron, vide F. e I. Joliot-Curie, *Oeuvres scientifiques complètes* (Paris: Presses universitaires de France, 1961); J. Chadwick, "Possible existence of a neutron", *Nature* 129, 312 (1932); J. Chadwick, "Some Personal Notes on the search for the neutron". Ithaca, N.Y. *Proceedings of the X International Congress of History of Science* (1962) (Paris: Hermann, 1964).

Para um histórico do Instituto de Tecnologia da Califórnia, onde C.D. Anderson sempre trabalhou, vide R.A. Millikan, *Autobiography* (Englewood

Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1950); C.D. Anderson, "The Positive Electron", *Physical Review* 43, 491 (1933).

Para Majorana, vide E. Amaldi, "Ettore Majorana, man and scientist", em A. Zichichi ed., *Strong and Weak Interactions* (N. York: Academic Press, 1966).

As atas do sétimo Conselho Solvay estão publicadas em *Comptes rendus du 7e Conseil de Physique Solvay* (Paris: Gauthier-Villars, 1934). Esses documentos apresentam uma descrição exata do estágio em que se encontrava a física nuclear em outubro de 1933.

Para o deutério, vide H.C. Urey, F.G. Brickwedde e G.M. Murphy, "A hydrogen isotope of mass 2 and its concentration", *Physical Review* 40, 1 (1932).

Capítulo X: Enrico Fermi e a energia nuclear

Para Fermi, vide, acima de tudo, E. Segrè, ed., *The Collected Papers of Enrico Fermi* (Chicago: University of Chicago Press, 1962), que também contém amplas informações histórico-biográficas, Laura Fermi, *Atoms in the Family* (Chicago: University of Chicago Press, 1954). E. Segrè, *Enrico Fermi: Physicist* (Chicago: University of Chicago Press, 1970); "Memorial Symposium in honor of E. Fermi at the Washington Meeting of the American Physical Society, April 29, 1955", *Reviews of Modern Physics* 27, 253 (1955).

Sobre a descoberta da fissão, vide O. Hahn, *Vom Radiothor zur Uranspaltung: eine wissenschaftliche Selbstbiographie* (Braunschweig: F. Vieweg, 1962); O. Frisch, "The interest is focussing on the atomic nucleus", em S. Rozental, ed., *Niels Bohr, His Life and Works as Seen, by His Friends and Colleagues* (Amsterdã: North Holland, 1957); O. Frisch, *What Little I Remember* (Cambridge: Cambridge University Press, 1979).

Sobre Rasetti, vide T. Nason, "A Man for all sciences", em *The Johns Hopkins Magazine* 17-4, 12 (1966).

Sobre Szilard, vide G. W. Szilard e K. R. Winsor, eds., "Reminiscences of Leo Szilard", em *Perspectives in American History*, vol. 2 (Cambridge, Mass.: Harvard University 1968) e L. Szilard, *His Version of the Facts* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1978).

Sobre os elementos artificiais, vide E. Segrè, *I nuovi elementi chimici. Chimica nucleare alle alte energie* (Roma: Accademia Nazionale dei Lincei, 1953). Uma visão geral da física nuclear na década de trinta é apresentada em *Nuclear Physics in Retrospect* R. H. Stuewer, ed. (Mineápolis: University of Minnesota Press, 1979).

Sobre o desenvolvimento da energia atômica e da bomba atômica, há uma copiosa literatura, mas nem sempre de confiança. Entre as melhores fontes estão: H. D. Smyth, *Atomic Energy for Military Purposes* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1945); R. G. Hewlett e O. E. Anderson, Jr., *The New World, 1943-1946* (University Park: The Pennsylvania University Press, 1962); D. Irving, *The Virus House* (Londres: Kimber, 1967); E. Bagge, K. Diebner, K. Jay, *Von der Uranspaltung bis Calder Hall* (Hamburgo: Rowohlt, 1957); S. A. Goudsmit, *Alsos* (N. York: Henry Schuman, 1947); M. Gowing, *Britain and Atomic Energy* (Londres: St. Martin's Press, 1974); N. I. Golovin, I.

V. Kurchatov, *A Socialist-Realist Biography of the Soviet Nuclear Scientist* (Bloomington, Ind.: Selbstverlag Press, 1968); A. K. Smith, *A Peril and A Hope* (Chicago: University of Chicago Press, 1965).

Sobre J. Robert Oppenheimer vários autores deixaram voar a imaginação. Uma das melhores fontes, *In the Matter of J. R. Oppenheimer, Transcripts of a Hearing before the Personnel Security Board, Washington, April 12, 1954, through May 6, 1954* (Washington, D. C., Government Printing Office, 1954), exige que se tenham importantes conhecimentos básicos antes de consultá-lo com proveito. Entre os livros que devem ser consultados: P. Michelmoro, *The Swift Years - The R. Oppenheimer Story* (N. York: Dodd, Mead, 1969); D. Royal, *The Story of J. Robert Oppenheimer* (N. York: St. Martin's Press, 1969); H. York, *The Advisors: Oppenheimer, Teller, and the Superbomb* (São Francisco: W. H. Freeman and Company, 1976) apresenta uma esclarecedora descrição das lutas políticas relacionadas com a bomba de hidrogênio.

Vide também J. S. Dupré e S. A. Lakoff, *Science and the Nation* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall, 1962). S. M. Ulam, "Thermonuclear devices", em R. E. Marshak, ed. *Perspectives in Modern Physics* (N. York: Interscience, 1966).

Sobre a importante personalidade de John von Neumann, vide S. M. Ulam, H. W. Kuhn, A. W. Tucker e C. E. Shannon "John von Neumann, 1903-1957", em *Perspectives in American History*, vol. 2 (Cambridge, Mass.: Harvard University, 1968).

Capítulo XI: E. O. Lawrence e os aceleradores de partículas

Uma resumida história da criogenia até 1935 pode ser encontrada em M. Ruhemann e B. Ruhemann, *Low Temperature Physics* (Londres: Cambridge University Press, 1937); vide também K. Mendelssohn, *Quest for Absolute Zero* (N. York: McGraw-Hill, 1966).

Uma boa síntese histórica sobre aceleradores é apresentada em E. M. McMillan, "Particle accelerators", em E. Segrè, ed., *Experimental Nuclear Physics* vol. 3 (N. York: John Wiley and Sons, 1959); e em M. S. Livingston, *Particle Accelerators: a Brief History* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1969).

Para E. O. Lawrence, vide L. W. Alvarez, "Ernest Orlando Lawrence. A Biographical Memoir", em *The National Academy of Sciences of the United States, Biographical Memoirs* 41, 251 (1970); H. York, *The Advisors: Oppenheimer, Teller, and the Superbomb* (São Francisco: W. H. Freeman and Company, 1976).

Para a história do CERN: M. Conversi, ed., *Evolution of Particle Physics. A Volume Dedicated to Edoardo Amaldi on his Sixtieth Birthday* (Londres: Academic Press, 1970); E. Amaldi, "First International Collaboration between Western European Countries", em *Proceedings of International School of Physics, Course 57* (N. York: Academic Press, 1977).

Capítulo XII: Além do núcleo

Para a introdução da física ocidental no Japão, vide K. Koizumi, "The emergence of Japan's first physicists: 1868-1900", em *Historical Studies in the Physical Sciences* 6, 3 (1975).

Para Yukawa, vide H. Yukawa e K. Chihiro, "Birth of the meson theory", em *American Journal of Physics* 18, 154 (1950).

Sobre Occhialini, vide *Simposio in onore di Giuseppe Occhialini per il XX anniversario del suo ritorno in Italia. Seminario Matematico e Fisico di Milano* (Pavia: Editrice Succ. Fusi, 1969).

A descoberta da não-conservação da paridade é descrita por C. S. Wu e outros em *Adventures in Experimental Physics* 3, 93 (1974). Para a reação de Pauli, vide R. Kronig e V. F. Weisskopf, eds., *Collected Scientific Papers by W. Pauli* (N. York: Wiley Interscience, 1964).

C.N. Yang, *Elementary Particles, a Short History of Some Discoveries in Atomic Physics* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1962) é uma introdução elementar à física das partículas.

A interessante história das Conferências de Rochester é apresentada em R. E. Marshak, "The Rochester Conferences", *Bulletin of Atomic Scientists* (junho de 1970).

Podem-se encontrar artigos que reproduzem as opiniões de alguns físicos japoneses em S. Sakata, *Scientific Works* (Tóquio: Publication Committee of Scientific Papers of Prof. S. Sakata, 1977). Para uma opinião mais geralmente aceita, vide Y. Ne'eman, "Concrete versus abstract theoretical models", em Y. Elkana, ed., *The Interaction between Science and Philosophy* (Atlantic Highlands, N. J.: Humanities Press, 1974).

Para as duas espécies de neutrinos, vide L. Ledermann e outros, "Discovery of two kinds of neutrinos", em *Adventures in Experimental Physics* 1, 81 (1972).

Capítulo XIII: Novos ramos do velho tronco

A história de algumas das mais recentes descobertas pode ser lida em *Les Prix Nobel* (Estocolmo: Norstedt & Söner, 1902).

Para parte da história da moderna eletrodinâmica quântica, vide R. P. Feynman, "The development of the space-time view of quantum electrodynamics", em *Les Prix Nobel en 1965* (Estocolmo: Norstedt & Söner, 1966) e F. Dyson, *Disturbing the Universe: A Life in Science* (N. York: Harper and Row, 1979).

Para masers e lasers, vide A. L. Schawlow, "From maser to laser", em R. Kursunoglu e A. Perlmutter, eds., *Impact of Basic Research on Technology* (N. York: Plenum Press, 1973).

Para física nuclear, vide C. Weiner, ed., *Exploring the History of Nuclear Physics* (N. York: American Institute of Physics, 1972); R. H. Stuewer, ed., *Nuclear Physics in Retrospect* (Mineápolis: University of Minnesota Press, 1979); H. D. Jensen, "The history of the theory of the atomic nucleus", *Science* 147, 419 (1965); M. Goepfert-Mayer, "The shell model", em *Les Prix Nobel en 1963* (Estocolmo: Norstedt & Söner, 1964); E. Segrè, "Artificial Radioactivity and the completion of the periodic system", *The Scientific Monthly* 57, 12 (1943); G. T. Seaborg e E. Segrè, "The Transuranium elements", *Nature* 159, 863 (1947); G. T. Seaborg ed., *Transuranium Elements* (Stroudsburg: Perma, Dowder, Hutchinson & Ross, 1978).

Para o efeito Mössbauer, vide a introdução a H. Frauenfelder, *The Mössbauer Effect* (N. York: Benjamin 1962).

Para os efeitos quânticos macroscópicos, vide C. J. Gorter, "Superconductivity until 1940 in Leiden and as seen from there", em *Reviews of Modern Physics* 36, 3 (1964); K. Mendelsohn, *Quest for Absolute Zero* (N. York: McGraw-Hill, 1966); P. W. Anderson, "How Josephson discovered his effect", *Physics Today* (novembro de 1970); P. W. Anderson, J. M. Rowell, S. Shapiro e D. Lauderberg, "Observation of Josephson's effect and measurement of h/e ", *Adventures in Experimental Physics* 3, 45 (1973).

Para transistor, vide W. Brattain e outros, "Discovery of the transistor effect" *Adventures in Experimental Physics* 5, 1 (1976).

Uma explicação quase popular das recentes descobertas na área de astronomia pode ser lida em S. Weinberg, *The First Three Minutes* (N. York: Basic Books, 1977). Um resumo biográfico de H. Bethe é apresentado por J. Bernstein em *The New Yorker*, 3, 10 e 17 de dezembro de 1979.

Uma visão geral da física contemporânea e suas áreas de pesquisa por um grupo de competentes observadores é de A. D. Bromley, *Physics in Perspective* (Washington, D. C.: The National Academy of Sciences, 1972). As opiniões contidas no livro, contudo, não são compartilhadas universalmente.

Para biologia molecular, vide o personalíssimo J. D. Watson, *The Double Helix* (N. York: Atheneum, 1968); R. Olby, "Francis Crick, DNA and the central dogma", *Daedalus* 939 (1970).

Capítulo XIV: Conclusões

Qualquer conversa entre físicos, especialmente entre aqueles de uma geração mais velha, invariavelmente recai sobre os temas deste capítulo. Os jovens tentam refutá-los com os fatos, assim justificando – mesmo que delas não tenham conhecimento – as palavras de Einstein:

"Se você quiser aprender com os físicos teóricos a respeito dos métodos que eles usam, aconselho-o a seguir esse princípio estritamente: não ouça o que dizem; preste atenção ao que fazem". [Einstein em *Mein Weltbild* (Amsterdã: Querido, 1934).]

Outra citação de Einstein:

"O teórico das ciências não deve ser invejado. Pois a natureza ou, mais precisamente, o experimento, é um juiz inexorável e não muito complacente do trabalho teórico. Ele diz "sim" a uma teoria. Nos casos mais favoráveis, diz "talvez" e na maioria dos casos simplesmente diz "não"... Provavelmente toda teoria algum dia experimentará o seu "não" – a maior parte delas, logo após serem concebidas". (11 de novembro de 1922, de um álbum de recordações de Kammerlingh Onnes; cit. em *Albert Einstein: O Lado Humano*, Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1984, p. 19.)

Índice Onomástico

A

Abeison, P., 213
Adler, E., 123
Albert, Príncipe Consorte, 49
Allison, S. K., 224
Alvarez, L. W., 234, 269
Amagat, E. H., 42
Araldi, E., 116, 206
Arnidei, A., 203
Ampère, A. M., 8
Anderson, C. D., 194, 220, 252, 265
Anderson, H. L., 217
Anderson, P. W., 287
Appell, P., 33
Appleton, E., 223
Arago, F. L. D., 28
Arrhenius, S. A., 7
Aston, F. W., 15, 112, 116, 118
Avogadro, A., 6-7

B

Back, E., 142
Backus, J., 236
Balmer, J., 125, 320
Bardeen, J., 286-7
Barkla, C. G., 15
Barkla, W., 111, 115
Bateman, H., 105
Bauer, E., 198
Becker, H., 183
Becquerel, A. C., 27-8
Becquerel, E., 28
Becquerel, H., 27-8, 35, 42, 47, 51, 55
Becquerel, J., 27
Bémont, G., 38
Bethe, H. A., 219, 252, 279, 285, 288

Bismarck, O., 3
Bjerrum, N., 125
Blackett, P. M. S., 47, 114, 116, 118, 195-6, 198
Bloch, F., 177, 285
Boggild, I. K., 212
Bohr, A., 151-2, 282
Bohr, C., 123
Bohr, H., 123
Bohr, M., 133-4
Bohr, N., 47, 102, 111, 122, 149, 153, 159-60, 170-1, 173-4, 179, 197-8, 222, 275, 279, 292, 319
Boltwood, R. B., 58, 111
Boltzmann, L., 6, 9, 22, 64-5, 69, 72, 76, 164
Born, M., 148, 150, 160, 174, 206
Bose, S. N., 101
Bothe, W., 181, 198, 203
Bradbury, N., 239
Bragg, W. H., 50, 108, 136
Bragg, W. L., 50, 136, 174, 279
Brasch, A., 229
Brattain, W. H., 287
Breit, G. A., 223, 229
Brickwedde, F. C., 190
Briggs, L., 215
Brillouin, L., 94, 132, 174
Brobeck, W., 217, 234
Brode, R. B., 252
Brodie, B. C., 7
Broglie, L. de, 102, 153, 174, 198
Broglie, M. de, 94, 153-4, 198
Brown, H., 239
Brown, R., 91, 309
Buckley, O. E., 239
Bunsen, R., 4
Bush, V., 215
Buder, C. C., 257

C

Cabrera, B., 198
 Carnot, S. N. L., 8, 64
 Cauchy, A. L., 28
 Chadwick, J., 47, 113-4, 116, 118, 181, 187, 197-8, 222
 Chamberlain, O., 219, 261, 265
 Chaplin, C., 101
 Chevalier, M., 186
 Chew, G., 279
 Christenson, J. H., 267
 Christiansen, C., 124
 Christoffel, B., 97
 Christofilos, N., 240
 Churchill, W., 137, 151
 Cini, M., 279
 Clausius, R. J., 19, 64-5, 71
 Cockcroft, J. D., 47, 116, 118, 198, 230
 Compton, A. H., 101, 149, 174, 215
 Conant, J. B., 215, 239
 Condon, E. V., 149, 177, 190
 Conversi, M., 252
 Cooksey, D. C., 234
 Cooper, L., 286
 Corbino, O. M., 179, 204
 Corson, D., 159, 236
 Coryell, C., 139
 Coster, D., 138, 147
 Cosyns, M., 198
 Cotton, A., 43
 Courant, E. D., 240
 Courant, R., 164
 Cox, J., 52
 Cox, R. T., 267
 Crane, H. R., 229
 Crick, F., 290
 Cronin, J. W., 267
 Crookes, W., 5, 12, 22, 55
 Curie, E., 33
 Curie, Eve, 41
 Curie, I., 34, 41
 Curie, J., 34-5
 Curie, M., 1, 31, 94, 174, 181, 197-8, 202
 Curie, P., 28, 33, 293
 Curie, Os, 30, 47, 51, 59
 Cuvier, G., 28

D

da Costa Andrade, A. N., 22
 D'Agostinho, O., 207

D'Annunzio, G., 10
 Dante, 293
 Darwin, C., 10
 Darwin, G. C., 105
 Davisson, C. J., 156-7
 Debierna, A., 39, 43
 Debussy, C., 10
 Debye, P., 93, 132, 145, 164, 174, 198, 313
 De Donder, T., 174, 198
 Dicke, R. H., 97
 Dirac, P. A. M., 134, 148, 162, 174, 194, 198, 261, 276, 279, 295
 Dreyfus, A., 10
 Drubridge, L. A., 239
 Dulong, P. L., 92-3, 313
 Dunning, J. R., 213, 217
 Dunoyer, L., 142
 Dyson, F. J., 278-9

E

Eckart, C., 168
 Edison, T. A., 232, 292
 Edlefsen, N. E., 233
 Ehrenfest, P., 91, 96, 100, 133, 149, 174, 206
 Einstein, A., 44, 65, 75, 78, 81, 94, 127, 135, 150, 159, 164, 172, 174, 213, 275, 280, 286, 289, 292, 295, 302, 307, 311, 313, 315
 Eisenhower, D. D., 218
 Elizabeth (Rainha da Bélgica), 94
 Ellis, C. D., 114, 116, 118, 182, 198
 Elsasser, W., 156
 Eötvös, R. von, 96-7
 Estermann, I., 198
 Euler, H., 135
 Eve, A. S., 120
 Ewald, P., 135

F

Faraday, M., 2, 6, 8, 11, 13, 81, 298
 Feld, B. T., 217
 Fermi, A., 203
 Fermi, E., 148, 166, 179, 198, 203, 213, 239, 250, 261, 270
 Feynmann, R. P., 277-8, 285
 Fischer, E., 59
 Fitch, V. L., 267
 Fitzgerald, G. F., 87

Flerov, G. N., 222, 284
 Foster, J., 239
 Fourier, J., 28
 Fowler, P., 254
 Fowler, R. H., 45, 174
 Fowler, W. B., 260
 Fraenkel, J., 150
 France, A., 10
 Franck, J., 131, 141
 Franklin, R., 291
 Fresnel, A., 28
 Friedman, A. M., 265
 Friedrich, W., 23, 136
 Frisch, O. R., 198, 210

G

Galileo, 2, 63, 81, 87, 302
 Gamow, G., 134, 177, 198
 Ganot, A., 4, 28
 Gardner, E., 257
 Garwin, R. L., 265
 Gattis, I. de, 203
 Gauss, C. F., 9
 Geiger, H., 47, 105-6, 110, 113, 184
 Gell-Mann, M., 259-60, 270, 279
 Gerlach, W., 131, 141
 Germer, L. H., 157
 Ghiorso, A., 284
 Gibbs, J. W., 6, 65, 68, 71, 83
 Glaser, D. A., 194, 268-9
 Glashow, S., 271
 Goethe, J. W., 159
 Goldberger, M. L., 279
 Goldhaber, M., 47, 135
 Goldschmidt, O., 94
 Goldstein, E., 12
 Gorter, C. J., 279
 Goudsmit, S. A., 144, 159, 276
 Gouy, G., 43
 Grossmann, M., 82
 Groves, L. R., 215, 222-3, 240
 Gurney, R. W., 177
 Guye, C. E., 174

H

Haas, A., 125
 Haber, F., 23, 100
 Hahn, O., 47, 57-8, 111, 139-40, 208
 Hamilton, W. R., 155

Hansen, H. M., 125
 Harding, W., 45
 Hardy, T., 10
 Hasenoechl, F., 94, 164
 Haüy, R. J., 135
 Haxel, P., 282
 Heisenberg, W., 134-5, 148, 157, 169, 172, 174, 189-90, 198, 206, 265, 279
 Heitler, W., 135, 177, 279
 Helmholtz, H. von, 8-9, 64, 71-2, 181
 Henriot, E., 174, 198
 Herrera, J., 198
 Hertz, G., 131, 141
 Hertz, H., 8, 12, 71, 141, 292
 Herzen, E., 174, 198
 Herzen, T., 94
 Hess, V. F., 192
 Hevesy, G. de, 47, 111, 133, 138, 147
 Hilbert, D., 164
 Hitler, A., 10, 78, 146, 150, 213, 221
 Hittorf, J. W., 11, 22
 Hostelet, L., 94
 Hückel, W., 168
 Hund, F., 135
 Hurwitz, A., 81
 Huygens, C., 84

I

Ikeda, M., 270
 Iliopoulos, T., 271
 Inoue, T., 252
 Ioffe, A., 150, 198, 222
 Ivanenko, D., 189

J

Jackson, J. D., 299
 Jacobsen, J. C., 135
 Jacobsen, J. C. (Carlsberg Breweries), 133
 James, R. A., 284
 Jeans, J. H., 68, 94, 132
 Jensen, H. D., 135, 282
 Johnson, L., 218
 Joliot, F., 41, 181
 Joliot-Curie, I. *vs* Curie, I.
 Joliot-Curie, Os, 184, 198, 202, 235
 Jordan, P., 160, 200
 Josephson, B., 287
 Joyce, J., 270
 Jung, C. G., 159

K

Kallen, G., 279
 Kamerlingh Onnes, H., 13, 94, 227-8, 285
 Kapitzka, P., 116, 118, 120, 222, 286
 Kay, W., 105, 113
 Kelvin, Lorde (W. Thomson), 8, 10, 12, 22, 41, 60, 64
 Kennedy, J. F., 218
 Kennedy, J. W., 214, 217
 Kerst, D., 231, 241
 Kikuchi, S., 249
 Kinoshita, S., 253
 Kirchhoff, G. R., 11, 69, 71-2
 Kleeman, R. D., 108
 Klein, F., 145
 Klein, O., 134, 200, 249, 279
 Knipping, P., 23, 136
 Knudsen, M., 174
 Knudsen, W., 94
 Kohlhoester, W., 184
 Kohlrausch, F., 22
 Kopfermann, H., 135
 Kossel, W., 146
 Kovalski, J., 33
 Kramers, H. A., 134, 160, 174, 198
 Kreisler, F., 100
 Kronig, R., 144
 Kundt, A., 19
 Kunsman, C. H., 156
 Kurchatov, I. V., 222
 Kurlbaum, F., 71, 74
 Kusch, P., 276

L

Laborde, A., 59
 Landenburg, R., 118, 135
 Lagrange, J. L., 63
 Lamb, W. E., 276
 Landau, L. D., 134, 150, 285-6, 289
 Landé, A., 143
 Lange, F., 229
 Langevin, P., 43, 94, 157, 174, 198
 Langmuir, I., 143, 174
 Lattes, C. M. G., 256
 Laue, M. von, 23, 132, 136
 Lauritsen, C. C., 229
 Lawrence, E. O., 192, 198, 215, 231, 295
 Lea, D., 115
 Lederman, L. M., 265, 273
 Lee, T. D., 201, 224, 263-4

Lenard, P., 9, 22
 Levi-Civita, T., 97
 Lewis, G. N., 191
 Liebermann, M., 100
 Liebknecht, K., 100
 Lindemann, T., 94
 Lippmann, G., 33, 36
 Livingston, M. S., 192, 233-4, 240
 Lodge, O., 132
 London, F., 177, 285
 London, H., 285
 Lorentz, H. A., 9, 13, 87-8, 94, 96, 100, 132-3, 142, 174
 Lummer, O., 68
 Luxemburgo, R., 100
 Lyman, T., 126

M

Macdonald, Sir W., 52, 54
 Mach, E., 7
 Mackenzie, K., 139
 Maiani, L., 271
 Majorana, E., 189, 206
 Mandelstam, S., 279
 Mandl, F., 321
 Marckwald, W., 111
 Marconi, G., 51, 223, 292
 Maric, M., 82
 Marsden, E., 47, 108, 110, 113
 Marshak, R., 252
 Marshall, L., 217
 Maxwell, J. C., 6, 8, 15, 64-5, 81, 114
 Mayer, M., 282
 Mayer, R., 64
 McMahon, Marechal, 120
 McMillan, E., 213, 234, 240, 265
 Meissner, W., 285
 Meitner, L., 58, 135, 139, 198, 208
 Meloney, W. B., 44
 Mendeleev, D. I., 59, 270
 Meredith, G., 10
 Meyer, S., 106, 113
 Michelangelo, 1-2
 Michelson, A. A., 86, 136, 193
 Millikan, R. A., 19, 45, 149, 193, 204
 Minkowski, H., 81, 88
 Moller, C., 135, 279
 Mondrian, P., 301
 Monge, G., 28
 Morley, E. W., 86
 Moseley, H. G. J., 47, 111, 115, 137

Mössbauer, R., 284
 Mott, N., 134, 198
 Mottelson, B., 282
 Moyer, B., 257
 Mueller, H., 70
 Muirhead, G., 256
 Murphree, E. V., 215
 Murphy, G. M., 190
 Mussolini, B., 10, 224

N

Nagaoka, H., 108, 248
 Nakano, T., 259
 Nambu, Y., 279
 Napoleão I, 28
 Napoleão III, 10, 120
 Neddermeyer, S. H., 194, 220, 252
 Ne'eman, Y., 260, 270
 Nernst, H. W., 92-4, 97
 Neumann, J. von, 222, 224
 Newton, I., 1, 63, 78, 81, 302
 Newton, M., 50, 52
 Nicholson, J. W., 125
 Nier, A. O., 213
 Nietzsche, F., 10
 Nishijima, K., 259
 Nishina, Y., 134, 150, 249
 Noddack, I., 138, 210

O

Occhialini, G., 196, 253
 Ochsenfeld, R., 285
 Ogawa, S., 270
 Ohnuki, Y., 270
 Oliphant, M., 47, 116, 120
 Oppenheimer, J. R., 134, 149, 151, 217-8, 237, 276, 279, 289
 Ostwald, W., 7
 Owens, R. B., 53

P

Paderewski, I., 33
 Pais, A., 279
 Pancini, E., 252
 Paneth, F. A., 111
 Paschen, F., 126, 142
 Pasteur, L., 3, 8

Pauli, W., 134, 144, 147-8, 158, 174, 197-8, 206, 295
 Pauling, L., 177
 Peierls, R. E., 195, 198, 279, 285
 Percy, M., 138
 Perkins, D., 255
 Perl, M. L., 273
 Perrier, C., 139
 Perrin, F., 197-8, 279
 Perrin, J., 12, 17, 43, 94
 Persico, E., 179, 203
 Petit, A. T., 92, 313
 Picasso, P., 176, 185, 300
 Piccard, A., 174, 198
 Piccioni, O., 252
 Pitarelli, G., 204
 Placzek, G., 135
 Planck, M., 7-8, 65, 68, 70, 83, 89, 135, 174, 179, 305
 Plesch, J., 100
 Plücker, J., 11
 Poincaré, H., 9, 22, 27, 87, 94
 Poisson, S. D., 28, 163
 Pontecorvo, B., 207
 Powell, C. F., 253
 Prigogine, I., 279
 Pringsheim, E., 68

R

Rabi, I. I., 142, 239, 265, 277
 Rainwater, J., 282
 Raman, V., 284
 Ramsay, W., 8, 57, 106
 Rantzau, Graf B., 100
 Raphael, Sanzio, 81
 Rasetti, F., 204, 206, 252
 Ratcliffe, J. A., 118
 Rathenau, W., 100
 Rayleigh, Lorde, 8, 10, 15, 68, 75, 114, 132, 154
 Retherford, R. C., 276
 Ricci-Curbastro, G., 97
 Richardson, O. W., 15, 130, 174, 198
 Richter, B., 272
 Riemann, B., 97
 Rochester, G. D., 257
 Rodin, A., 43
 Röntgen, W. C., 19, 27, 51, 97
 Roosevelt, F. D., 151, 213
 Rosenblum, M. S., 198
 Rosenfeld, L., 135, 198, 279

Rosseland, S., 134
 Rossi, B., 184, 195
 Rowe, H., 239
 Rowell, J., 287
 Rowland, H. A., 136
 Royds, T., 106
 Ruark, A. E., 191
 Rubens, H., 68, 71, 74, 92, 94
 Ruhmkorff, H. D., 4
 Rutherford, E., 15, 40, 47, 94, 105, 120,
 124, 132, 135, 181, 198, 275, 295, 298

S

Sakata, S., 252, 270
 Salam, A., 270, 279, 294
 Salisbury, W., 236
 Schnabel, A., 100
 Schrödinger, E., 157, 164, 174, 198
 Schuster, A., 105
 Schwinger, J., 279
 Seaborg, G. T., 214, 217, 284
 Segrè, Elfriede, 219, 281
 Segrè, E., 41, 116, 135, 139, 206, 211, 219,
 250, 261, 265
 Shakespeare, W., 1-2, 120
 Shaw, G. B., 10
 Shockley, W., 287
 Shrieffer, J. R., 286
 Shutt, R. F., 260
 Siemens, W. von, 9
 Sklodowska, B., 31
 Sklodowska, H., 31
 Sklodowska, M. *ver* Curie, M.
 Sklodowski, J., 31
 Slater, J. C., 134, 149
 Slevogt, M., 100
 Smith, C. S., 217, 239
 Snyder, H., 240
 Soddy, F., 47, 54, 57, 111-12
 Solvay, E., 94
 Sommerfeld, A., 92, 94, 132, 134, 145,
 149, 276
 Spencer, H., 10
 Stahl, E., 198
 Stark, J., 146
 Staub, E., 219
 Staub, H., 219
 Stefan, J., 69, 303
 Stern, O., 67, 92, 131-2, 135, 141, 191, 198
 Stevenson, M. L., 252
 Stokes, G., 22

Stoner, E. C., 147
 Stoney, G. J., 13
 Strassmann, F., 59, 208
 Street, J. C., 252
 Strutt, R. J., 15
 Suess, E., 38
 Suess, H., 282
 Szilard, L., 213

T

Tanikawa, Y., 252
 Taylor, G. I., 15
 Telegdi, V., 265
 Teller, E., 213, 238-9
 Thomas, H. L., 145
 Thompson, S. G., 284
 Thomson, G. P., 15, 50, 157
 Thomson, J. J., 7-9, 12, 15, 44, 50-1, 108,
 112, 114, 116, 118, 124, 140, 232, 292,
 317
 Thomson, W. *ver* Kelvin, Lorde
 Thorndike, A. M., 260
 Thornton, R. L., 217, 234
 Ting, S. C. C., 271
 Tomonaga, S., 249, 277-8
 Townes, C. H., 281
 Truman, H., 220, 239
 Turlay, R., 267
 Tuve, M. A., 223, 229

U

Uhlenbeck, G. E., 144, 159, 276
 Ulam, S., 239
 Urbain, G., 43, 138, 147
 Urey, H., 134, 190, 215, 217, 224

V

Van de Graafe, R. J., 229
 van den Broek, A., 110-11
 van der Waals, J. D., 227
 van Gogh, V., 10
 van Hove, L., 279
 Veksler, V. I., 240
 Verachaffelt, J. E., 174, 198
 Villard, P. V., 51
 Vitória (Rainha), 2, 49
 Volmer, M., 191
 Volta, A., 2

W

Wahl, A. C., 214
 Waller, C., 254
 Walton, E. T. S., 47, 116, 198, 230
 Warburg, O., 22, 94
 Watson, J. D., 290
 Wattenberg, A., 217
 Wedgwood, T., 69
 Weinberg, A., 217
 Weinberg, S., 273-4, 297
 Weinrich, M., 265
 Weiskopff, V., 131, 213, 219
 Weizsäcker, C. von, 135
 Wells, H. G., 10
 Wentzel, G., 279
 Whightman, A. S., 279
 White, H., 167
 Whittemore, W. L., 260
 Wick, G. C., 135, 250, 278-9
 Wideroe, R., 232
 Wiedemann, G. H., 12
 Wiegand, C., 41, 219, 261
 Wien, W., 68-9, 73-4, 83, 92, 94, 97, 303
 Wigner, E., 34, 190, 200, 213, 217, 279
 Wilde, O., 10
 Wilhelm II, 3, 9

Wilkins, M. H. F., 291
 Willstätter, R., 23
 Wilson, C. T. R., 15, 19, 116, 118, 174, 267
 Wilson, R. R., 234
 Wood, R. W., 78
 Wu, C. S., 263
 Wu, Ta-You, 264
 Wynn-Williams, C. E., 47, 116

Y

Yang, C. N., 201, 224, 263-4, 270, 285
 York, H. F., 239
 Ypsilantis, T., 261
 Yuan, L., 264
 Yukawa, H., 207, 247, 279

Z

Zeeman, P., 11, 13-14, 96, 149, 275
 Zehnder, L., 23
 Zincke, T., 57
 Zinn, W., 217
 Zola, E., 10
 Zweig, G., 260, 270