

## Max Planck

## Sua vida e sua obra

Circunstâncias várias impediram que no Porto fosse comemorado em Abril o centenário do nascimento de Max Planck. Quis a Sala Alemã recordar hoje a sua excelsa figura de sábio e de pensador e, não tendo sido possível conseguir a colaboração de pessoas, mais qualificadas do que eu, para vir aqui dizer algumas palavras sobre a sua vida e a sua obra, cabe-me a honra de ser eu a dizê-las, o que gostosamente faço, pedindo antecipadamente perdão a V. Ex.<sup>as</sup> por não ter feito mais e melhor.

Max Karl Ernest Ludwig von Planck, filho do Prof. de Direito, Julius Wilhelm von Planck, nasceu em Kiel em 23 de Abril de 1858.

Parece que a princípio pensou em estudar filologia — como foi o caso de Gauss — mas, aos 17 anos, após a sua graduação no Maximilian-Gymnasium e apesar do aviso de von Jolly que lhe dizia ser a Física um ramo de ciência em que quase ninguém estava interessado, resolveu dedicar-se à Física tendo tido como professores, em Munich, von Jolly e, em Berlim, Helmholtz e Kirchoff.

A sua autobiografia publicada poucos meses após a sua morte com o título no original alemão «Wissenschaftliche Selbstbiographie (1948)» começa por estas palavras:

«A decisão que tomei de dedicar-me à ciência foi uma consequência directa da

descoberta que nunca deixou de me encher de entusiasmo desde a minha juventude — a compreensão de que as leis do raciocínio humano coincidem com as leis que governam as consequências das impressões que recebemos do mundo acerca de nós; que, por conseguinte, o raciocínio puro pode habilitar o homem a alcançar um discernimento do mecanismo deste último. Nesta união é de primordial importância que o mundo exterior seja qualquer coisa independente do homem, qualquer coisa de absoluto, e a investigação das leis que se aplicam a este absoluto parece-me como a ocupação mais sublime na vida. Estes pontos de vista foram-me inculcados e favorecidos pela excelente instrução que recebi durante muitos anos, no Maximilian-Gymnasium em Munich, do meu professor de matemática, Hermann Muller, um homem de meia idade com um espírito penetrante e um grande sentido de humor, um mestre na arte de fazer os seus alunos visualizar e compreender o sentido das leis da física. A minha mente absorveu avidamente, como uma revelação, a primeira lei que reconheci possuir uma validade absoluta e universal, independentemente de toda a intervenção humana: O princípio da conservação da energia.

Nunca esquecerei a história que Muller contava do pedreiro que transportou com grande esforço um pesado bloco de pedra para o telhado dum casa. O trabalho que

ele assim realizou não foi perdido; conserva-se talvez por muitos anos, íntegro e latente no bloco de pedra, até ao dia em que talvez se desprenda e caia sobre a cabeça de algum transeunte.

Após a minha graduação do Maximilian-Gymnasium, frequentei a Universidade, primeiro em Munich durante 3 anos e depois em Berlim um outro ano.

Estudei física experimental e matemática; não havia então cursos de física teórica como agora. Em Munich frequentei as aulas do físico Ph. von Jolly e dos matemáticos Ludwig Seidel e Gustav Bauer. Aprendi muito com estes professores e ainda conservo deles uma respeitosa recordação. Mas foi só depois de ir para Berlim que os meus horizontes científicos se dilataram consideravelmente sob a orientação de Hermann von Helmholtz e Gustav Kirchoff, cujos discípulos tiveram a oportunidade de seguir as suas actividades de pioneiros, conhecidas e aguardadas em todo o mundo. Devo confessar que das lições destes homens não colhi um ganho perceptível. Era óbvio que Helmholtz nunca preparava as suas lições convenientemente. Falava vacilando e interrompendo o que estava a dizer para ler os dados necessários na sua pequena agenda; além disso repetidamente cometia erros nos cálculos feitos na lousa e nós tínhamos a impressão evidente de que lhe custava a aturar o curso, pelo menos, tanto quanto nós a ele. Consequentemente as suas aulas iam-se tornando cada vez mais desertas e por fim apanas compareciam três estudantes. Eu era um deles e o meu amigo, mais tarde astrónomo Rudolf Lehmann-Fillés era outro.

Kirchoff era precisamente o contrário. Dava-nos sempre uma lição cuidadosamente preparada, com cada frase bem construída e no lugar próprio. Nem uma palavra a mais, nem uma a menos. Mas soava aos nossos ouvidos como um texto decorado, seco e monótono. Nós admirávamo-lo mas não ao que dizia.

No artigo necrológico de Max Born,

publicado a pág. 161 do vol. 6 de «Obituary Notices of Fellows of the Royal Society», n.º 17, de Novembro de 1948, em que este põe em relevo as relações pessoais e a amizade que durante muitos anos o uniram a Max Planck e que lhe deixaram uma recordação inolvidável, Born fala-nos da família de Planck, uma velha família onde predominavam os homens de leis, os funcionários públicos e os literatos. Um dos seus antepassados fora ministro na Suábia e professor de teologia em Göttingen, um neto deste foi o criador do Código Civil Alemão (Deutsches Bürgerliches Gesetzbuch). Seu pai era um jurista distinto, tendo desempenhado um papel importante na administração da Universidade de Munich para onde foi em 1867, ao deixar o seu lugar de professor de Direito na Universidade de Kiel.

São de Max Born estas palavras: «Esta linhagem de homens excelentes e seguros, generosos, cheios de ideais, incorruptíveis, devotados ao serviço da Igreja e do Estado, tem de ser lembrada se se quiser compreender o carácter de Max Planck e as raízes do seu sucesso. O seu trabalho foi orientado por estas características, combinadas com uma sincera crença na simplicidade da natureza e uma confiança absoluta na razão lógica dos factos.

Terminados os seus estudos Planck doutorou-se em filosofia apenas com 21 anos na Universidade de Munich em 29-6-1879 tendo tido a classificação «Summa cum Laudo».

Os trabalhos de Clausius tinham-lhe causado uma profunda impressão pela clareza da linguagem e pelas suas lúcidas explicações. Pela primeira vez compreendeu a distinção entre os dois princípios fundamentais da termodinâmica. Não o satisfazendo a definição de irreversibilidade dada por Clausius, de que um processo é irreversível quando não pode realizar-se no sentido contrário, tal como acontece com a condução do calor, Planck sugeriu na sua dissertação que um processo seja considerado irreversível, ou como ele prefere dizer «natu-

ral» quando não pode ser anulado sem compensação. A entropia é a medida da «predefeição» da natureza por um estado final e cresce em todos os processos «naturais».

A sua dissertação «De secunda lege fundamentale doctrinae mechanicae caloris» não provocou grande entusiasmo, antes a indiferença de Helmholtz e as críticas de Kirchoff. É Planck que nos diz:

A impressão produzida pela minha dissertação sobre os físicos da época foi nula. Nenhum dos meus professores da Universidade sabia alguma coisa sobre o seu conteúdo, como pude verificar conversando com eles. Indubitavelmente, aceitaram-na como dissertação de doutoramento apenas por me conhecerem pelos meus trabalhos no laboratório de física e no seminário de matemática. Mas não encontrei interesse, e menos ainda aprovação, mesmo entre os próprios físicos que estavam mais directamente interessados na matéria. Helmholtz provavelmente não chegou sequer a ler o meu trabalho. Kirchoff expressamente desaprovou o seu conteúdo, com o argumento de que o conceito de entropia, cuja grandeza só pode ser medida por um processo reversível, não deve ser aplicado aos processos irreversíveis. Não fui melhor sucedido com Clausius; não respondeu às minhas cartas e não o encontrei em casa quando tentei falar-lhe pessoalmente em Bonn. Correspondi-me com Karl Neumann, de Leipzig, mas os resultados foram completamente infrutíferos.

Mas Planck não desanimou. Continuou trabalhando em Termodinâmica pura e nas suas aplicações a questões de física e de química tendo publicado de 1879 a 1892, 22 trabalhos, o primeiro dos quais «Über den Zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie» utilizou como dissertação inaugural para a admissão como «Privat Dozent» da Universidade de Munich que obteve em 1880. «Privat Dozent» é um leitor universitário que recebe gratificações mas não vencimento fixo. É ainda Planck que nos diz: «Enquanto leitor em Munich,

esperei alguns anos em vão por uma cadeira de professor. Evidentemente as minhas perspectivas de o conseguir eram insignificantes visto que a física teórica ainda não tinha sido reconhecida como uma disciplina especial. Tudo o mais me compelindo, cresceu em mim o desejo de alcançar, de alguma forma, uma reputação no campo da ciência. Guiado por este desejo, decidi apresentar um trabalho para concorrer ao prémio concedido em 1887 pela Faculdade de Filosofia de Göttingen. O assunto a discutir era «A natureza da energia». Após a conclusão do meu trabalho, na primavera de 1885, foi-me oferecido o lugar de professor extraordinário de física teórica na Universidade de Kiel. Esta oferta foi para mim como uma mensagem de libertação. O momento em que apresentei os meus cumprimentos ao Director Geral do Ministério Althoff, nos seus aposentos no Hotel Marienbad e em que me informou das condições dos meus honorários foi, e será sempre, um dos mais felizes da minha vida. Embora a vida em casa de meus pais fosse tão agradável e satisfatória quanto alguém pode desejar, a minha ânsia de independência conserva-se crescente dentro de mim e eu suspirava por uma casa própria. Sem dúvida, sou levado a suspeitar que este sorriso da fortuna foi, não apenas uma recompensa pelos meus méritos científicos mas o resultado do facto de Gustav Karsten, professor de física em Kiel, ser um íntimo amigo de meu pai.

Em 31 de Março de 1887, Max Planck casa em Kiel com Marie Merck, filha dum banqueiro de Munich, de quem teve 4 filhos Karl, Emma e Margarete (irmãs gémeas) e Erwin.

Em 1889, após o falecimento de Kirchoff, foi Planck transferido para a Universidade de Berlim como professor agregado. Em 1892 foi empossado na cátedra de Física matemática desta Universidade e nomeado Director do Instituto de Física Teórica.

Em 1897 publicou o livro «Vorlesungen über Thermodynamik», talvez o mais famoso

de todos quantos escreveu e que teve posteriormente sucessivas edições; a 10.<sup>a</sup> edição apareceu em 1954; esta obra foi traduzida, pela primeira vez, em inglês em 1903, em francês em 1913, tendo traduções noutras línguas como, por exemplo, em russo. Já anteriormente a esta tinha publicado em 1887 — *Das Prinzip der Erhaltung der Energie* e, em 1893 — *Grundriss der allgemeinen Thermochemie*, além de mais de 30 artigos, quase todos nos *Ann. Phys. Lpz* e no *Z. phys. Chem.*

O interesse de Planck pela Física, diz Max Born, nas págs. 181/188 do artigo já citado, teve sempre uma base filosófica, mencionadamente, a sua crença fundamental de que o espírito humano pode penetrar nos mistérios da natureza por pensamento puro, isto como consequência da harmonia existente entre as leis do espírito e as leis da natureza. Por conseguinte, sempre preferiu os métodos dedutivos, por vezes mesmo os axiomáticos. É o que obviamente se verifica nos seus trabalhos sobre termodinâmica. Visto que estava convencido do carácter geral e universal da lei do aumento da entropia procurou tirar desta o máximo proveito. Os equilíbrios caracterizam-se por máximos de entropia ou por extremos equivalentes de outros potenciais termodinâmicos. Estes princípios de máximos ou mínimos estão na base do seu trabalho, em contraste com os métodos usuais dos físico-químicos que preferem processos cíclicos especiais, fazendo apelo à intuição. Planck ignorava nessa altura que estes princípios tinham sido já descobertos e aplicados por Willard Gibbs e é natural que tenha sentido um certo desapontamento quando o soube.

No primeiro dos quatro trabalhos que publicou nos *Ann. Phys. Lpz* sob o título comum «*Über das Prinzip der Vermehrung der Entropie*», três em 1887 e um em 1891, Planck introduz os potenciais termodinâmicos e deduz as suas propriedades. Planck designa por função de Massieu o potencial termodinâmico a pressão constante, hoje

vulgarmente conhecido por entalpia livre ou potencial de Gibbs:  $G = U + pv - TS$ . O equilíbrio de diferentes fases é discutido e dado um apanhado geral da teoria do equilíbrio. Nos trabalhos seguintes procura estudá-lo em pormenor. Para obter resultados concretos precisa de escrever expressões explícitas dos potenciais termodinâmicos e, para isso, admite hipóteses simples e naturais como, por exemplo, a de que, numa solução diluída, o potencial termodinâmico é uma função linear da concentração.

Foi este um período em que o novo ramo de ciência, vulgarmente designado por Química física, produziu descobertas e teorias em abundância.

A lei da acção de massa foi estabelecida por Guldberg e Waage; as propriedades das soluções diluídas foram estudadas por Van't Hoff e as dos electrólitos por Arrhenius. Planck deduziu muitos desses resultados dos seus princípios, por vezes independentemente e mesmo antes dos químicos. Deu uma derivação termodinâmica da dissociação dos gases, da pressão osmótica e do abaixamento do ponto de congelação das soluções. Discutindo os valores observados do ponto de congelação de muitas soluções de sais, chegou à conclusão de que os sais em solução devem estar dissociados. Viu neste resultado uma base termodinâmica da teoria da dissociação electrólítica que Svante Arrhenius tinha desenvolvido na mesma altura, baseado numa grande soma de trabalho experimental. Arrhenius contudo regeitou o raciocínio termodinâmico de Planck porque supunha que o estado iónico era essencial para a sua hipótese. Planck insistiu dizendo que as leis termodinâmicas são igualmente aplicadas a partículas neutras ou carregadas — o que é certamente verdade; contudo a expressão actual das leis mostra a independência da carga, como o provaram as modernas investigações de Debye e Hückel.

Discípulo de Kirchoff, cujo principal mérito está, sem dúvida, no impulso que

deu ao estudo da energia radiante, compreende-se que Planck, se tenha dedicado especialmente a partir de 1896, a um exame atento, crítico e constante das bases termodinâmicas da radiação.

Os estudos de Planck continuam directamente os de Stefan, Boltzmann e Wien acerca das relações entre a temperatura absoluta dum corpo e a energia que emite. Quando uma radiação incide sobre uma superfície dum corpo, suficientemente opaco ou espesso para podermos admitir que não há transmissão através do próprio corpo; em geral, parte é absorvida e parte reenviada para o espaço por reflexão regular ou por difusão. Um espelho refletindo toda a energia luminosa que nele incide tem uma absorvidade nula. Pelo contrário, um corpo capaz de absorver todas as radiações que nele incidem tem uma absorvidade unidade e diz-se um corpo negro.

A origem da teoria dos quanta está no problema da análise da radiação integral ou radiação emitida por um corpo negro. O negro do fumo absorve perfeitamente todas as radiações visíveis que nele incidem e, por isso, parece negro à temperatura ordinária mas, para as radiações infravermelhas, de maior comprimento de onda, a absorvidade do negro de fumo é menor do que 1. Na prática obtem-se um corpo negro abrindo um pequeno orifício nas paredes duma cavidade que se mantém a uma temperatura fixa. Se a parede interna do orifício for razoavelmente absorvente, um feixe de radiações incidente, após um certo número de reflexões é quase completamente absorvido de tal modo que só uma fracção insignificante da energia incidente torna a sair pela abertura; do mesmo modo, se as paredes do recinto se mantem a uma temperatura adequada, os átomos das mesmas emitem radiação que é também reflectida, absorvida e reemitida, atingindo-se um estado estacionário ou de equilíbrio. Parte desta radiação em equilíbrio na cavidade emerge pelo orifício e pode ser analisada experimentalmente.

As propriedades do corpo negro tem um carácter universal, o que as torna muito importantes. Pode perguntar-se: a) como varia a densidade da energia emitida pelo corpo negro com a sua temperatura?; b) qual a distribuição espectral da radiação emitida pelo corpo negro?

O problema do corpo negro foi estudado por Kirchoff que, em 1860, enunciou a seguinte lei:

«O cociente do poder emissivo pela absorvidade para um dado comprimento de onda, é o mesmo para todos os corpos a uma dada temperatura e é igual ao poder emissivo do corpo negro a essa temperatura para esse comprimento de onda.»

Em 1879 Stefan deduziu experimentalmente uma lei mostrando como varia o poder emissivo total do corpo negro com a temperatura absoluta.

Boltzmann estudou teoricamente o problema em 1884 e a lei de Stefan-Boltzmann pode enunciar-se dizendo que: «o poder emissivo total do corpo negro é proporcional à 4.<sup>a</sup> potência da sua temperatura absoluta».

O modo como a energia radiada pelo corpo negro se distribui pelos diferentes comprimentos de onda foi estudado, a partir de 1893, por Wien que chegou às seguintes leis: «para radiações cujo *c. d. o. λ* varia na razão inversa da temperatura absoluta *T* (1.<sup>a</sup> lei) o poder emissivo *E* do corpo negro varia proporcionalmente à 5.<sup>a</sup> potência desta temperatura (2.<sup>a</sup> lei).

Estas leis foram verificadas experimentalmente, entre limites bastante afastados de temperatura, por Lummer e Pringsheim, nos anos de 1897 a 1900, a experiência confirmando a lei de Stefan, salvo para temperaturas muito baixas, e mostrando que, com a aproximação permitida pelos erros experimentais, os produtos  $\lambda T$  e  $E T^{-5}$  são constantes. É-se assim levado a concluir que  $E T^{-5} = f(\lambda T)$  ou ainda que  $E \lambda^5 = \varphi(\lambda T)$ , isto é, o produto do poder emissivo pela 5.<sup>a</sup> potência do com-

primento de onda é unicamente função do produto  $\lambda T$ .

As leis de Wien constituem o máximo que se pode obter a partir dos princípios fundamentais da Termodinâmica. Para determinar a forma da função  $\varphi$  torna-se necessário estabelecer hipóteses sobre o mecanismo da emissão.

A primeira tentativa neste sentido, foi feita por Wien em 1896 que, baseado em hipóteses razoáveis mas arbitrárias, deduziu uma lei da distribuição espectral da radiação do corpo negro que pode exprimir-se pela fórmula de Wien:

$$E\lambda^5 = \frac{c_1}{e^{c_2/\lambda T}}$$

Verificou-se porém que esta fórmula só dá valores concordantes com os experimentais para valores pequenos de  $\lambda T$ . Como deixa de ser válida para valores grandes, foi o assunto estudado por outros físicos, mencionadamente, Rayleigh em 1900 e Jeans em 1905 que, partindo do princípio da equipartição da energia, estabeleceram, por sua vez, a seguinte expressão matemática:  $E\lambda^5 = cT$ . Esta fórmula, ao invés da de Wien, só dá valores concordantes com os experimentais para valores grandes de  $\lambda T$ . Foi para explicar esta contradição, claramente assinalada por Lummer e Pringsheim e dada a impossibilidade das teorias clássicas darem uma solução aceitável ao problema da distribuição espectral da energia radiada pelo corpo negro que Max Planck foi levado a enunciar a sua teoria dos quanta que, generalizando à energia o conceito de descontinuidade, até então só admitido para a matéria, é considerada por muitos como o marco fundamental e inicial da Física Moderna. A teoria dos quanta de Planck e a teoria da relatividade de Einstein, são sem dúvida, as grandes revoluções científicas com que se iniciou o século xx. A fórmula a que Planck chegou, apenas 3 semanas depois de ter tomado conheci-

mento das medidas de Kurlbaum e Rubens, para grandes comprimentos de onda,

$$E\lambda^5 = \frac{c_1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T} - 1}}$$

reduz-se à fórmula de Wien, para valores pequenos, e à de Rayleigh, para valores grandes, do produto  $\lambda T$ .

Planck apresentou o seu trabalho à Sociedade Alemã de Física em 19 de Outubro de 1900 e Rubens, nessa mesma noite, verificou que a fórmula de Planck conduzia a valores perfeitamente concordantes com os resultados experimentais. Estes resultados foram publicados nos «Annalen der Physik, Série IV, vol. 4, págs. 553/63, no ano de 1901.

Ainda perante a Sociedade Alemã de Física apresentou em 14 de Dezembro de 1900 o seu trabalho «Sobre a distribuição da energia num espectro normal» em que faz a dedução teórica da sua fórmula e mostra que para chegar a uma expressão correcta da energia emitida por um corpo negro foi levado a estabelecer o postulado seguinte: «os únicos valores possíveis da energia duma vibração de frequência  $\nu$  são os múltiplos inteiros dum produto  $h\nu$ , sendo  $h$  uma constante universal».

Planck supõe em primeiro lugar que as paredes dum recinto evacuado, em equilíbrio térmico, são formadas por osciladores capazes de emitir ou absorver energia radiante de frequência igual à das suas oscilações. A hipótese revolucionária de Planck, pois classicamente nada há que proíba que um oscilador absorva ou emita uma quantidade qualquer, por pequena que seja, de energia radiante, consistiu em postular que os supostos osciladores ou ressoadores que constituem a matéria radiante, com frequências diferentes, não podem ter uma energia qualquer mas apenas valores discretos e bem determinados, os chamados quanta de energia.

Parece que Planck teve a plena consciência do valor da sua descoberta pois falando com a sua esposa e seu filho Erwin comparou-a às descobertas de Newton.

Max von Laue, ao fazer o elogio fúnebre de Max Planck na Albani Church de Göttingen em 7 de Outubro de 1947, considerou o dia 14 de Dezembro de 1900 como o dia do nascimento da teoria dos quanta e diz que tal acontecimento era suficiente para perpetuar o seu nome.

Uma exposição destes resultados fundamentais é feita no artigo «Über die Elementarquanta der Materie und der Elektrizität» publicado no mesmo número, já citado, dos «Annalen der Physik», a págs. 564-66.

A teoria dos quanta de Planck, comprovada pela experiência e pelas sua generalização a novos fenómenos não despertou grande interesse na altura em que foi apresentada, antes provou, por um lado, a oposição dos físicos, que não aceitavam de boa mente o atrevido conceito de grânulo de energia e, por outro lado, dos matemáticos que preferiam a imagem da continuidade. Com a sua fórmula, Planck resolveu o problema da repartição da energia no espectro do corpo negro mas, muito mais notável, e mais importante do que na teoria da radiação térmica, foi o resultado da aplicação da teoria dos quanta a outros ramos de física. Em óptica a teoria dos quanta teve repercussões transcendentais. O efeito fotó-eléctrico ou efeito Hertz-Halwachs, descoberto em 1887, e que físicos como Lenard e J. Thomson tinham procurado explicar, não tinha uma interpretação razoável dentro da teoria clássica das ondulações ou mesmo da teoria electromagnética da luz. Foi no intuito de explicar plausivelmente o efeito fotó-eléctrico que Einstein, em 1905, foi levado a admitir que a energia duma onda luminosa não se reparte uniformemente sobre toda a superfície de onda mas que, pelo contrário, se concentra sob a

forma de «grânulos de luz» ou fotões, o que levou a enunciar as leis do efeito fotó-eléctrico e a exprimi-las numa equação baseada na constante de Planck:

$$W = h(\nu - \nu_0)$$

Do ponto de vista da teoria um passo decisivo foi dado mais uma vez por Einstein em 1907 («Ann. Physik», vol. 22, pág. 180) quando aplicou a fórmula de Planck da energia média  $u$  dum sistema de osciladores  $u = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$  às vibrações

dos átomos dos sólidos monoatómicos, explicando, em particular, os desvios dos calores específicos dos sólidos em relação à lei de Dulong e Petit. A equação, a que Einstein chegou, prevê correctamente que o calor atómico se torna nulo no zero absoluto e deu lugar a uma grande investigação experimental, de que citarei apenas os trabalhos de Nernst e da sua escola, respeitantes aos calores específicos a baixas temperaturas. Mais tarde, em 1912, Debye atacou o problema duma forma diferente e com êxito, embora uma teoria mais completa fosse posteriormente desenvolvida por Max Born para os sólidos cristalinos.

Em Física Atómica o conceito quântico exerceu também uma influência decisiva sobre as noções relativas à constituição do átomo. O modelo imaginado por Rutherford, em contradição com o electromagnetismo clássico, pôde ser explicado e generalizado por Niels Bohr em 1913, mediante postulados baseados na teoria dos quanta. O aperfeiçoamento da teoria de Bohr feito por Sommerfeld em 1915 permitiu explicar algumas características espectroscópicas de difícil solução. Em 1922, o efeito Compton trouxe uma nova prova de realidade do fotão que impõe uma teoria corpuscular da luz, enquanto que outros fenómenos ópticos exigem a conservação da teoria ondulatória. Para conciliar esta situação surgi-

ram as teorias de Louis de Broglie (1924) e Schrodinger (1926) que conduziram à Mecânica ondulatória, e, simultaneamente, as teorias de Heisenberg (1925), Max Born, Jordan e Dirac (1929) que estão na base da Mecânica quântica.

No primeiro período da sua vida em Berlim, Planck suspendeu os seus trabalhos de termodinâmica para se dedicar a outra tarefa, grata ao seu temperamento musical. Um grande harmónio, com numerosas teclas, construído em gama pura por sugestão de Helmholtz, foi nessa altura entregue na Secção de Física. Planck aprendeu a tocar neste complexo instrumento e estudou o efeito da gama pura, comparando-o com o da gama temperada introduzida por Bach. Chegou a um resultado inesperado que publicou na memória «Ein neues Harmonium in natürlicher Stimmung nach dem System von C. Eitz», em 1893, concluindo que os nossos ouvidos preferem decididamente as escalas temperadas.

Foi por esta altura que se desenvolveu, sob o comando de Wilhelm Ostwald uma escola de «energéticos» que proclamavam ser o conceito de energia base suficiente para dele deduzir toda a física e química. Boltzmann insurgiu-se contra esta ideia e depressa estava envolvido numa áspera controvérsia com aquele grupo; Planck veio em seu auxílio num artigo publicado em 1896 «Gegen die neuere Energetik» Ann. Ph. Lpz. 57, 72-78, que revelou pela primeira vez os seus dotes de polemista.

Ostwald distinguia três diferentes tipos de energia, correspondendo às três dimensões do espaço: energia de distância, de superfície e de volume. Planck replicou que há casos em que a energia de volume, no sentido de Ostwald, não existe como, por exemplo, no caso dum gás perfeito em que a energia só depende da temperatura e de modo algum do volume. Outro ponto de controvérsia foi o fracasso da escola energética em compreender o segundo teorema de Clausius. Esta escola comparava

o fluxo da energia, dum nível térmico mais elevado para outro mais baixo, à queda dum peso, sem ter em conta a irreversibilidade do processo. Esta analogia superficial foi violentamente combatida por Planck. Embora o princípio da conservação da energia estivesse desde o início bem presente no seu espírito, reconheceu claramente que, sózinho, este princípio era uma base insuficiente para construir a mecânica e que um outro mais poderoso, tal como o da menor acção, se tornava necessário. No que respeita à termodinâmica Planck defendeu a distinção feita por Clausius entre processos reversíveis e irreversíveis.

Em 1902 Planck começou a interessar-se pela Óptica, em particular, pela teoria da dispersão de Drude na qual introduziu a radiação de amortecimento dos osciladores. Esses trabalhos foram publicados no período de 1902 a 1905, entre os quais citaremos:

- 1902 — «Zur elektromagnetischen Theorie der Dispersion in isotropen Nichtleitern.
- 1902 — Über die Natur des weissen Lichtes.
- 1903 — Metalloptik und Maxwellsche Theorie.
- 1903 — Zur elektro-magnetischen Theorie der selektiven Absorption in isotropen Nichtleitern.
- 1903 — Über die optischen Eigenschaften der Metalle für lange Wellen.
- 1904 — Über die Extinktion des Lichtes in einem optisch homogenen Medium von normaler Dispersion.

Planck calculou a extinção da luz num meio opticamente homogéneo de dispersão normal e comparou os resultados a que chegou com os da antiga teoria de Lord Rayleigh relativa à propagação da luz num meio previamente vazio em que se encontram dispersas numerosas partículas condutoras; encontrou a mesma lei para o coeficiente de extinção que Rayleigh, embora a



lei de dispersão seja completamente diferente nos dois modelos. As experiências feitas por Hagen e Rubens sobre as propriedades ópticas dos metais levaram Planck ao estudo teórico deste assunto, que trata no seu trabalho, publicado em 1905 — *Normale und anomale Dispersion in nichtleitenden Medien von variabler Dichte*.

Mas, sem dúvida, o assunto que mais prendeu a imaginação de Planck depois da teoria dos quanta foi a teoria da relatividade de Einstein. Na autobiografia científica de Planck há uma página notável em que explica como a sua procura do absoluto, principal razão de ser da sua actividade científica, é compatível com o seu interesse pelos princípios da relatividade. Diz Planck:

«Poder-se-á considerar isto uma contra-dição. Mas seria fundamentalmente erróneo encará-lo assim. Porque tudo o que é relativo pressupõe a existência de alguma coisa absoluta, e só tem sentido quando justaposto a qualquer coisa absoluta. A repetida frase «Tudo é relativo» é não só irreflectida como conduz a falsas interpretações. A teoria da relatividade, também se baseia em qualquer coisa de absoluto, mencionadamente, a matéria do contínuo espaço-tempo e é uma empresa particularmente estimulante descobrir o absoluto que precisamente dá um sentido a qualquer coisa relativa.

O ponto de partida deve ser necessariamente qualquer coisa relativa. Todas as nossas medidas são relativas. O material de que são feitos os nossos instrumentos varia de acordo com a sua origem geográfica; a sua construção depende da habilidade do inventor e do artista que o executou; a sua manipulação é contingente. A nossa tarefa consiste precisamente em encontrar no meio de todos estes dados e factores, o absoluto, o que é universalmente válido, o invariante, que neles se encontra escondido. Isto aplica se também à Teoria da Relatividade.

A velocidade da luz que na Física clássica tem apenas um significado relativo, torna-se, em relatividade, um invariante absoluto. A velocidade da luz está para a Teoria da Relatividade como o quantum elementar da acção para a Teoria dos Quanta; é o seu âmago. O princípio da menor acção, um princípio geral da Teoria clássica, é também um invariante em Teoria de relatividade.

Planck aplicou estas ideias a um ponto material e chegou à forma relativista das equações da mecânica, um pouco antes que Minkowski, no seu trabalho de 1906 — «Das Prinzip der Relativität und die Grundgleichungen der Mechanik». Discutiu as medidas de Kaufmann de deflecção dos raios  $\beta$  à luz da teoria da relatividade 1906-1907 — «Die Kaufmannschen Messungen der Ablenkbarkeit der  $\beta$ -Strahlen in ihrer Bedeutung für die Dynamik der Elektronen». 1907 — «Nachtrag zu der Besprechung der Kaufmannschen Ablenkungsmessungen».

Em 1907 Max Planck foi chamado a Viena para suceder a Boltzmann na cadeira de Física Matemática e posteriormente em 1909 aceitou fazer um curso de Física Teórica na Universidade de Columbia (Nova York) publicado em 1910 — *Acht Vorlesungen über theoretische Physik an der Columbia-Universität*.

Em 1908 publicou um longo trabalho sobre a dinâmica geral dos sistemas em movimento em que desenvolve a tese do seu discípulo Mosengeil, prematuramente falecido. Visto que a relatividade nos ensina que a massa é proporcional à energia e, como a energia dum corpo depende do seu conteúdo de calor, uma separação da mecânica e da termodinâmica é impossível. Planck desenvolve uma teoria combinada, baseada na invariância relativística do princípio da menor acção e obtém as leis de transformação para a energia, impulsão, entropia e temperatura; com a ajuda destas leis, obtém as expressões destas grandezas em função da velocidade a partir dos seus valores num sistema em repouso.

Este seu trabalho contém um parágrafo notável (§ 18.º) porque nele prevê a possibilidade de utilização da energia atômica. Após afirmar que é evidente que cada corpo contém, na sua massa de repouso, uma colossal quantidade de energia «latente» acrescenta: Embora a utilização dum tal processo «radical» pudesse parecer, há apenas uma década, extremamente improvável, é agora possível, após a descoberta dos rádio-elementos e das suas transmutações. De facto, a observação da produção contínua de calor pelas substâncias radioactivas é uma prova evidente de que a fonte deste calor não é nada mais do que a energia latente dos átomos.

Em 1909 Max Planck sofre o grande desgosto do falecimento de sua 1.ª mulher e 2 anos depois casa com a sobrinha dela, Marga von Hoesslin, filha do conhecido pintor George von Hoesslin, de quem teve um filho, Hermann.

A Academia da Prússia, principalmente por instigação de Planck, Hernt e Haber, criou uma cadeira especial para Einstein o que lhe permitiu prosseguir os seus trabalhos, livre do ensino e do trabalho de rotina. Então, durante muitos anos, Planck e Einstein se encontraram com intervalos regulares na Academia de Berlim, e uma amizade se desenvolveu entre eles que ultrapassou muito uma simples troca de ideias científicas. Contudo é difícil imaginar 2 homens que tivessem tomado atitudes mais diferentes em relação à vida: Einstein um cidadão mundial pouco ligado às pessoas que o rodeavam, independente do fundo emocional da sociedade em que viveu; Planck profundamente enraizado nas tradições da sua família e da sua nação, um patriota ardente, orgulhoso da grandeza da história germânica e conscientemente Prussiano na sua atitude. Apesar de tudo, estas diferenças pouco valiam comparadas com o que os 2 sábios tinham de comum — o interesse fascinante pelos segredos da natureza, convicções filosóficas semelhantes, e um profundo amor

pela música. Muitas vezes tocaram juntos música de câmara, Planck ao piano e Einstein tocando violino, ambos perfeitamente absorvidos e felizes. Planck foi um excelente pianista e podia tocar a pedido qualquer trecho de música clássica, muitas vezes de cor. Também gostava de improvisar sob um tema que lhe fosse dado, ou sobre canções populares da velha Alemanha de que muito gostava.

A colaboração de Planck e de Einstein fez de Berlim, nos anos que precederam a primeira grande guerra, o maior centro de física teórica do mundo. E Max Born diz-nos no seu trabalho que tenho estado a citar, que teve a felicidade de também ter sido chamado a Berlim. Planck desejou libertar-se duma parte das suas obrigações no ensino de rotina e persuadiu o Ministro Prussiano da Educação a criar uma nova cadeira (extraordinária) na Universidade de Berlim. Essa cadeira foi-me oferecida, diz Max Born, mas, ai de mim, no dia da mobilização, 2 de Agosto de 1914. Os 4 anos de guerra que se seguiram não me deixavam muito tempo livre para o ensino e a investigação pacífica, embora estivesse em Berlim por largos períodos e visse Einstein e Planck com frequência.

A partir de 1913-1914 Max Planck foi reitor da Universidade de Berlim. Em 1915 recebeu as insígnias da ordem «Pour le mérite» de que passou a ser o presidente em 1930 após a morte de Adolf Harnack. O período da guerra de 1914-1918 foi para Max Planck um período de dolorosas provações não só por a derrota da Alemanha afectar o seu patriotismo mas muito particularmente pelas perdas familiares que sofreu, nada menos do que a morte, que podemos classificar de trágica, de 3 dos 4 filhos do seu primeiro matrimónio.

O seu filho mais velho, Karl, foi morto em combate, em Thiaumont, perto de Verdun no ano de 1916. Dele e de tantos outros, mortos no campo da honra, disse

Planck: «Honra e paz a estes heróis que sem reservas nem lamentações deram a sua vida à Pátria tendo obtido o mais valioso prémio. Nós, os que sobrevivemos, podemos sentir-nos acabrunhados por um sentimento de inveja por não termos podido sacrificar os nossos ideais a um ideal mais alto».

As duas filhas gémeas, Emma e Margarete, casaram sucessivamente com o professor Ferdinand Fehling e ambas faleceram ao dar à luz o seu primeiro filho, a primeira em 1917 e a segunda em 1918. As crianças deixadas por suas filhas foram educadas em sua casa tendo cuidado delas, por vezes com sacrifício, e sempre com um sentido familiar muito agudo.

Apesar de todo este infortúnio e da sua má-gua, Planck continuou com os seus trabalhos científicos, tendo voltado a pensar na sua teoria dos quanta, que os trabalhos de Niels Bohr a que já fiz referência tinham, em 1913, posto súbitamente, e de novo, em foco no mundo da física. O método de quantificação de Bohr que tinha sido um êxito no caso do movimento dum único electrão, como poderia ser generalizado para um sistema com múltiplos electrões? O problema foi quase simultaneamente solucionado por Sommerfeld, Epstein e Planck nos anos de 1916 e 1917. Dos vinte trabalhos publicados no período de 1914-1918; citemos:

1914 — Eine veränderte Formulierung der Quantenhypothese.

1915 — Über Quantenwirkungen in der Electrodynamik.

1915 — Die Quantenhypothese für Molekeln mit mehreren Freiheitsgraden.

1916 — Bemerkung zur quanten theoretischen Deutung der Rubens-Hettner'schen Spektralmessung.

1917 — Zur Theorie des Rotationspektrums.

1917 — Über einen Satz der statistischen Dynamik und seine Erweiterung in der Quantentheorie.

1918 — Zur Quantelung des asymmetrischen Kreisels, além do livro, publicado em 1916 — Einführung in die allgemeine Mechanik.

A acabada a 1.<sup>a</sup> grande guerra, Berlim continuou sendo um grande centro de estudo da física teórica, pois aí se encontravam Planck, Einstein, von Laue aos quais, pouco depois, se juntou Schrodinger.

Em 1918, Hindenburgo concedeu-lhe a medalha da Águia do Reino Alemão. Só em 1919, quando já tinha mais de 60 anos, foi reconhecido universalmente o seu valor, sendo-lhe concedido o prémio Nobel da física.

— Dos trabalhos publicados em 1919 citemos:

— Die Dissoziationswärme des Wasserstoffs nach dem Bohr-Deby'schen Modellem que calcula o calor de dissociação da molécula do hidrogénio a partir do «modelo de anel» sugerido por Bohr e Debye.

Em 1922 tentou solucionar o paradoxo de Gibbs da mecânica estatística a partir duma determinação cuidadosa da energia livre das moléculas dum gás, com uma distribuição arbitraria de velocidades — Über die freie Energie von Gasmolekullen mit beliebiger Geschwindigkeitsverteilung.

Vários trabalhos publicados em 1923 e 1924 tratam das flutuações da energia radiada por um corpo negro.

Em 1926 é eleito membro da Royal Society de Londres.

Em 1928, por ter atingido o limite de idade, abandona o ensino, tendo sido substituído na cátedra por Schrodinger. O que ele esperava do seu sucessor é-nos revelado pelo discurso que proferiu, como secretário da Academia de Berlim, por ocasião da leitura inaugural feita por Schrodinger em 4 de Julho de 1929 — Antrittsrede des Herrn Schrodinger, Erwiderung der Sekretars Herrn Planck no qual Planck saúda a mecânica ondulatória por trazer uma solução à crise que ameaçava a física, mencionadamente a atitude de

cepticismo em relação à validade universal da lei da causalidade, terminando por estas palavras:

«Vós fostes o primeiro a mostrar como os processos espaço-temporais dum sistema atómico podem de facto ser completamente determinados, embora apenas na hipótese de considerar, não os movimentos das partículas mas o de ondas materiais; e como os, misteriosamente descontínuos, valores próprios da energia do sistema podem ser calculados com uma precisão absoluta pelas vossas equações diferenciais juntamente com condições fronteiras naturais, ainda que deixando por decidir a questão do significado físico dessas ondas».

Esta crise da causalidade ocupou muito o seu espírito como se verifica pelos numerosos trabalhos e conferências que fez sobre o assunto. Em 1929 a Royal Society concede a Planck a Medalha Copley. Nesse mesmo ano é publicado o seu livro — *Das Weltbild der neuen Physik* — e, em 1930, o seu curso de Física teórica, correspondendo a 5 semestres, que, tendo o título de — Introdução à Física Teórica, é constituído pelos 5 volumes seguintes: I-Mecânica racional; II-Mecânica dos corpos deformáveis; III-Teoria da Electricidade e do Magnetismo; IV-Teoria da luz e V-Teoria do calor.

Antes de me ocupar do aspecto filosófico da sua personalidade, não quero deixar de frisar o facto de Planck continuar a publicar trabalhos, apesar da sua idade avançada, principalmente sobre assuntos a que se tinha dedicado em novo, como os publicados, em 1930 e 1931, sobre soluções diluídas de electrólitos, em 1934, sobre o Princípio de Chatelier e Braun e, em 1935, sobre a produção de electricidade nos electrólitos. Mais dignos de nota, são talvez os trabalhos publicados em 1940 e 1941 sob o título — *Versuch einer Synthese zwischen Wellenmechanik und Korpuskularmechanik* — nos Anais de Física de Leipzig n.º 37,261/277; 38,272/273 e 40,491/492, quando já tinha mais de 80 anos de idade.

O número total dos seus trabalhos excede largamente as 2 centenas.

\*

\*

\*

É difícil classificar os trabalhos de Planck num dos sistemas filosóficos tradicionais; há contudo uma escola que ele enfaticamente e repetidamente rejeitou: o positivismo. A sua viva controvérsia com Ernst Mach é ainda hoje digna de ser lida. Planck iniciou-a com um artigo sobre «A unidade da descrição física do mundo» publicado em 1909 no *Physikalische Zeitschrift*. O volume seguinte deste periódico contém uma réplica fortemente irónica de Mach e um artigo final de Planck, não menos picante e agressivo. Mach defende a sua ideia de que toda a ciência se deve a um princípio de economia de pensamento, o qual só pode ser compreendido dentro da estrutura da teoria biológica de Darwin e proclama ter assim encontrado, para a ciência, uma base, livre de toda a metafísica. A principal objecção de Planck é que este princípio de economia é certamente metafísico. Entre eles existiam muitos outros pontos de discordância. Mach mostrava-se céptico acerca da existência dos átomos, considerava a teoria cinética de Boltzmann e o zero absoluto da temperatura como hipóteses não provadas e atacava o conceito newtoniano de rotação absoluta. Foi este último ponto o único em que tinha razão, antecipando-se, embora duma forma vaga, à teoria da relatividade generalizada de Einstein; nos restantes a intuição física de Planck foi confirmada pelos ulteriores progressos da física.

A propósito do positivismo diz Planck:

«Olhemos o ceu estrelado. Dá-nos uma imagem duma infinidade de pontos ou discos luminosos que, de modo mais ou menos mensurável, se movem no ceu e de cuja radiação também podemos medir a intensidade e a cor. Estas medidas, do ponto de vista do positivismo, são, não só, o fun-

damental, mas, de facto, as únicas coisas com conteúdo efectivo da astronomia e da astrofísica. O que pensemos para a compreensão dos dados das medidas são acessórios e pura invenção. Que digamos, com Ptolemeu, a Terra é o centro do mundo e o Sol e as estrelas movem-se à sua volta, ou, com Copérnico, a Terra é uma poeira minúscula e insignificante no Todo, que dá uma volta sobre si mesma todos os dias e uma vez por ano à volta do Sol, para o positivismo são apenas duas diferentes maneiras de formular as observações.

Em 1930 Planck renovou o seu ataque contra a escola anti-metafísica no seu trabalho «Positivismo e Mundo Real Exterior» em que apresenta os seus argumentos dum modo menos cáustico mas mais convincente; são desse trabalho as seguintes palavras que resumem a sua essência:

«A base dada à física pelo positivismo, embora bem fundada, é muito estreita e necessita ser alargada por meio dum ajuste adicional, cuja importância é esta: libertar a ciência tanto quanto possível das incidências produzidas pelas suas relações com as pessoas. E isto consegue-se por um passo fundamental em metafísica, não imposto pela lógica formal, mas pelo senso comum; mencionadamente por meio da hipótese de que as nossas experiências não formam o mundo físico, mas que apenas nos trazem mensagens dum outro mundo que está por traz delas e é independente delas; por outras palavras, que existe um mundo real exterior».

E mais tarde, em Maio de 1937, numa conferência que fez sobre «Religion und Naturwissenschaft» Planck volta a criticar a doutrina positivista afirmando:

«Estas opiniões (dos positivistas) não podem ser combatidas dum ponto de vista puramente lógico. E, contudo, um exame mais cuidadoso das mesmas revela que são inadequadas e improductivas porque prescindem duma circunstância que tem uma importância decisiva para o desenvolvimento e progresso do conhecimento cien-

tífico. Por muito que o Positivismo se queira ver a si mesmo como procedendo sem pressuposições, tem de partir duma premissa fundamental se não quer degenerar num solipsismo ininteligível. Esta premissa consiste em que qualquer medida física pode ser reproduzida de tal modo que o resultado é independente não só da personalidade do observador como também do lugar ou do tempo em que se efectua a medida, ou de qualquer outra circunstância acessória. Mas isto significa simplesmente que o factor decisivo para o resultado da medida está para além do observador e que, por consequência, as medidas põem problemas que implicam conexões causais reais operando independentemente do observador». E, mais adiante, referindo-se às constantes universais da Física diz: «A existência destas constantes é uma prova palpável da existência na natureza duma realidade independente das medidas feitas por um observador».

A mesma ideia ressalta de muitos dos seus artigos e conferências filosóficas, tendentes a mostrar que a ciência não é mais do que senso comum desenvolvido e aperfeiçoado.

Entretanto a teoria dos quânta de Planck desenvolveu-se além de toda a expectativa e passou a dominar toda a física moderna. Mais do que isso levantou problemas fundamentais tais como o do determinismo das leis físicas e o da objectividade da nossa descrição do mundo universal.

Causalidade e determinismo estricto, mesmo a hipótese dum mundo objectivo exterior independente de nós, tornaram-se problemáticos.

Como disse Léon Rosenfeld numa conferência feita no Brasil em 1953 sobre a «Filosofia da Física Atómica».

«A feição essencialmente nova nas bases conceituais da teoria quântica é usualmente expressa pelas muito discutidas e muito incompreendidas relações de incerteza. Em primeiro lugar, apresso-me a assegurar que não há nada incerto sobre a teoria quântica.

Esta teoria tem uma estrutura matemática tão rigorosa, consistente e bela como as teorias físicas que chamamos «clássicas». A expressão «relação de incerteza» é des-cuidadamente usada pelos físicos como uma pequena lembrança do aspecto estatístico das predições que podemos fazer sobre os átomos; mas ainda que estas predições tratem com probabilidades não lhes faltam exactidão e formam um sistema completo».

Planck discutiu estes problemas em numerosas publicações, mantendo sempre a essência dos seus princípios e tentando reconcilia-los com os factos físicos. Alguns desses artigos culminam com a consideração de paradoxos ligados com a concepção do livre arbítrio num mundo determinista. A solução de Planck é esta: «O determinismo é válido sem excepção, e podemos utilizá-lo para prever, não só acontecimentos na natureza inorgânica, mas até o comportamento de outros seres humanos — embora nunca o nosso próprio comportamento. E isto porque, pensando sobre as nossas possíveis decisões, influenciámo-las e, conseqüentemente, não as podemos prever. Portanto não existe contradição entre a crença no livre arbítrio e a causalidade rigorosa».

Planck procurou também ligar os problemas éticos ao problema da causalidade. Numa conferência que fez em Londres, em 17 de Junho de 1932, afirmou:

«À luz desta concepção aparece a impossibilidade efectiva de prever um acontecimento precisamente, quer do ponto de vista da física clássica, quer do ponto de vista da física quântica, como uma consequência natural da circunstância de ser o próprio homem, com os seus órgãos dos sentidos e aparelhos de medida, uma parte da natureza, submetido às suas leis e de que não pode sair, uma tal ligação não existindo para o espírito ideal.

A objecção, de que este espírito ideal é um produto do nosso pensamento e que o cérebro pensador, afinal também é constituído por átomos que obedecem a leis

físicas, é uma objecção que não resiste a uma análise mais apurada. Acreditamos na existência dum mundo exterior real embora ele escape a qualquer exploração directa. Também nada obsta a que se acredite na existência dum Espírito ideal, embora nunca se torne objecto duma investigação científica. Devemos evitar considerar este Espírito Ideal, semelhante a nós. A quem considerar o Espírito Ideal, senão como ilógico, pelo menos supérfluo e sem conteúdo, pode-se objectar que nem todas as proposições que se furtam a um fundamento lógico são sem valor científico e que um tal formalismo míope aniquila as fontes onde homens como Galileu, Kepler e Newton foram buscar o seu entusiasmo pela investigação científica. Para todos estes homens, consciente ou inconscientemente, a sua dedicação à Ciência foi consequência da sua Fé numa ordem racional no Mundo.

«O simples facto de, pelo menos em certa medida, sermos capazes de submeter os acontecimentos naturais ao nosso pensamento, seria um enigma incompreensível, se não fizesse pressentir uma harmonia entre o mundo exterior e o espírito humano. A mais completa harmonia e a mais firme causalidade culmina na admissão dum Espírito Ideal, que observa os movimentos das forças da natureza e os sucessos da vida espiritual do Homem, até ao mais ínfimo pormenor, no presente, passado e futuro».

«Não há contradição com o livre arbítrio porque este é da alçada da Consciência Humana. O conceito da liberdade do homem tem o único sentido dele interiormente se sentir livre e, se é assim, só ele o pode saber.

Não há contradição com o facto dos seus motivos de acção poderem ser aplicados completamente por um Espírito Ideal. Por isso as regras para a sua acção não pode o homem ir buscá-las às leis causais, mas à lei moral.»

É sempre difícil fazer uma ideia exacta dos verdadeiros sentimentos religiosos de

outrém. As afirmações dogmáticas que faz e que, na maioria das vezes, vai buscar a outros, podem muitas vezes estar em contradição com os seus actos e, até mesmo, com o mais íntimo do seu pensamento. Mas que Planck era fundamentalmente religioso, mais do que os vários artigos que escreveu sobre as relações entre a ciência e a fé, provam-no a conformidade com que se curvou perante Deus, suportando dignamente os golpes que sofreu na sua vida íntima e familiar, não só aqueles a que já fez referência, mas muito especialmente as vicissitudes que acompanharam os últimos anos da sua vida. No volume em língua inglesa, publicado em 1949, e que contém a sua autobiografia científica e alguns dos seus trabalhos, encontra-se uma tradução da conferência que fez em Maio de 1937 e que foi publicada pela 1.ª vez nesse mesmo ano, em alemão, com o título — Religion und Naturwissenschaft. — Ai se lêem as seguintes afirmações:

«A religião é o elo que liga o homem a Deus. Fundamenta-se numa humildade respeitosa ante um poder sobrenatural, ao qual todo o ser humano está sujeito o que controla as nossas dores e alegrias. Estar de acordo com este poder e gosar as suas boas graças é o empenho incessante e a meta final duma pessoa religiosa. Somente deste modo pode sentir-se protegido dos perigos previstos e imprevisos, que o ameaçam nesta vida terrena e gosar a mais pura de todas as felicidades, a paz interior do espírito e da alma que é assegurada apenas por uma firme união a Deus e por uma confiança incondicional na sua omnipotência e benevolência. Neste sentido a religião está enraizada no sentimento de cada um mas o seu significado transcende o individual».

Já em 1954, numa conferência que fez sobre «A Igreja e a Física contemporânea» tive a oportunidade de transcrever as seguintes opiniões de Planck: «As respostas que a ciência e a religião dão ao problema da existência e essência dum Poder Superior

que rege o mundo são, em certo grau, coincidentes. De modo algum, como temos visto, existe uma contradição de modo que pode pressentir-se, em primeiro lugar, que existe uma ordem racional do mundo, independente do homem, e, em segundo lugar, que a essência dessa ordem não pode aprender-se directamente. A religião utiliza aqui os seus símbolos próprios; as ciências exactas as medidas fundadas sobre as percepções dos sentidos. Nada nos impede pois de identificar o Deus da Religião e o Poder misterioso e universalmente activo que cria a ordem do mundo postulado pela ciência: identificá-lo numa concepção unitária que serve ao mesmo tempo para fomentar o nosso impulso de conhecimento cada vez mais amplo».

«Qualquer que seja a direcção e amplitude do nosso olhar, nunca encontramos entre a ciência e a religião qualquer contradição, antes mesmo, nos pontos mais decisivos, completa conformidade. A religião e a ciência não se excluem, como alguns hoje julgam ou temem, antes se condicionam e completam. Porém, prova mais imediata da compatibilidade da ciência e da religião, encontramos-la no facto — desde que seja considerado dum modo fundamental e crítico — de que os maiores investigadores da natureza, em todos os tempos, como Kepler, Newton, Leibnitz, foram penetrados de profunda religiosidade».

E Planck termina com as seguintes palavras:

«A religião e a ciência natural estão combatendo numa batalha comum, numa cruzada incessante e sem descanso, contra o cepticismo e contra o dogmatismo, contra a incredulidade e contra a superstição, e o brado de união nesta cruzada foi e será sempre: Por Deus e para Deus».

Simplemente o homem religioso e o sábio buscam Deus de modo diferente, como se lê no último capítulo do livro de Hans Hartmann — «Max Planck als Mensch und Denker», que trata de «Naturphilosophie, Ethik und Religion».

«O homem religioso tem aberto directamente o caminho para Deus. O sábio esforça-se, como o seu mais alto e eternamente inacessível objectivo; por aproximar-se, nas suas investigações inductivas, de Deus e da sua ordem. Se ambas, Religião e Ciência, precisam da crença em Deus, para aquela Deus está no princípio e para esta no final de todo o pensamento».

Indivíduo fundamentalmente simples, recto e modesto, Max Planck tratava com bondade e benevolência não só os parentes e os amigos como todos os que dele se acercavam. No esboço biográfico que serve de introdução ao livro de Planck — Para onde vai a Ciência? — publicado em Inglaterra em 1933, James Murphy escreveu o seguinte:

«Sommerfeld conta-nos uma história acerca de Planck que ilustra bem o modo modesto e altruista como estava sempre disposto a colaborar com os seus colegas. Sommerfeld tinha-se embrenhado numa investigação relacionada com o que é conhecido em Física Atómica por espaço de fase. Escreveu a Planck pedindo o seu auxílio e Planck imediatamente pôs à sua disposição os resultados da sua própria experiência no mesmo campo. Sommerfeld sentiu-se inspirado e enviou uns versos a Planck em que lhe dizia que estava apenas fazendo um humilde esforço para colher algumas, poucas, flores na grande e nova terra da física quântica que Planck tinha transformado duma região inculta e desconhecida em terra arável:

«Der sorgsam urbar macht das neue Land  
Dieweil ich hier und da ein Blumenstraens-  
chen fand».

A este belo cumprimento replicou Planck com uma quadra num estilo ainda mais gentil:

«Was Du gepflueckt, was ich gepflueckt  
Das wollen wir verbinden,  
Und weil sich eins zum andern schickt  
Den schoensten Kraus draus winden».

que traduzirei assim:

«As flores que colheste e eu colhi  
Devemos atá-las juntamente  
Formando assim uma bela grinalda  
P'ra enviarmos um ao outro de presente».

\* \* \*

Planck gosou de boa saúde até uma idade muito avançada. Isto deveu-se certamente à simplicidade e regularidade da sua vida e ao seu hábito de ter autênticos feriados. A maior parte das vezes passava as suas férias nos Alpes, demorando-se algumas semanas em aldeias isoladas da montanha, junto dos altos picos ou numa pequena propriedade que possuía perto de Tegernsee. Amava a montanha e era — como Enrico Fermi — um alpinista treinado e endurecido. Diz Max Born que o visitou uma vez em Trafoi, quando Planck tinha já mais de 60 anos e que este tinha precisamente regressado de subir ao Ortler, um cume com 3.600 metros.

\* \* \*

Foram inúmeras as provas de admiração e respeito que lhe foram dadas não só pelos seus compatriotas como por todo mundo.

Um grande número de escolas alemãs concederam-lhe o título de doutor «honoris causa» entre os quais os de engenharia e medicina; das universidades estrangeiras foram Cambridge, Londres e Atenas que o distinguiram dum modo análogo. Um grande número de sociedades científicas e academias nacionais e estrangeiras nomearam-no seu membro a fim de se assegurar da sua valiosa colaboração. Era membro de todas as Academias alemãs e austríacas (Berlim, Munich, Dresden, Gottingen e Vienna) e de muitas estrangeiras dos Estados Unidos, Dinamarca, Finlândia, Grécia,



Holanda, Hungria, Inglaterra, Escócia, Irlanda, Itália, Rússia, Suécia e Ucrânia.

A Sociedade de Física Alemã criou uma medalha com o seu nome, tendo sido ele o primeiro e Einstein o segundo a recebê-la.

\* \* \*

Em 1930, após o falecimento de Adolf Harnack, foi nomeado presidente da «Kaiser-Wilhelm Gesellschaft». Reconhecendo o perigo crescente que ameaçava a ciência na Alemanha e pensando que as relações internacionais científicas deveriam ficar o mais possível independentes da política e das suas inevitáveis oscilações já em 1930 esboçou uma tentativa nesse sentido. Quando, em 1933 muitos alemães impelidos por um nacionalismo exagerado se dedicavam a perigosos sonhos, Planck não teve medo de ir pessoalmente falar com Hitler — naturalmente em vão — para apresentar um protesto pela difamação e afastamento dos cientistas hebraicos.

A sua conversa com Hitler foi contada de diversas maneiras. Hans Hartmann no seu livro «Max Planck, als Mensch und Denker» refere-se à descrição feita por Planck em 6/5/47 no *Physikalische Blätter*, sob o título «Mein Besuch bei Adolf Hitler»:

«Na altura de «Tomada do poder» fui encarregado de me apresentar ao Führer na minha qualidade de presidente da Kaiser-Wilhelm Gesellschaft. Pensei aproveitar a oportunidade para apresentar um pedido a favor do meu colega judeu Fritz Haber. Hitler respondeu-me literalmente:

«Não tenho nada contra os judeus em si, mas são todos comunistas e contra estes é endereçada a minha luta». A minha observação de que há várias espécies de judeus a distinguir e, entre eles, das melhores e primeiras famílias cultas alemãs replicou: «Não é verdade. Os judeus colam-se uns aos outros. Competiria aos judeus estabelecer distinções. Não o fizeram e portanto devem ser tratados todos igualmente». Como lhe observasse que há judeus de grande valor

e úteis para a Alemanha pelo seu trabalho científico, desviou a conversa para assuntos gerais, acabando por declarar: «Diz-se que sofro por vezes de debilidade nervosa. É falso. Os meus nervos são de aço». Bateu com força nos joelhos, falou cada vez mais depressa e abanava-se com tanta fúria que só me restou calar-me e retirar-me».

Em 1934, apesar da oposição do Governo e contra a vontade do Ministro da Educação Nacional, organizou um festival comemorativo do falecido investigador Fritz Haber. Em 1935, proferiu na Rádio as seguintes palavras: «É uma verdade que se não pode negar, o facto da ciência ter um sentido universal». Recusou-se sempre a modificar a sua atitude para com Einstein. Por tudo isto foi cognominado «Judeu branco» e o Gauleiter Mutschmann falava dele chamando-lhe o «Judeu Planck».

Em 1937 deslocou-se à Escócia para receber um título honorário, sendo feito sócio honorário da Sociedade Real de Edimburgo.

Em 1938, sem a presença de quaisquer autoridades oficiais, realizou-se a festa do seu 80.º aniversário, tendo-lhe sido feita a oferta simbólica dum pequeno planeta a que foi dado o nome de «Planckiana».

Em 1944, durante um dos maiores raids aéreos sofridos por Berlim, a sua casa em Grunewald foi incendiada e destruída, tendo Planck perdido todos os seus haveres, inclusive a sua inestimável biblioteca.

Estava nessa ocasião com sua mulher, hóspedes do Dr. Carl Still, numa quinta nas margens do Elba, em Rogatz, perto de Magdeburgo.

Não pôde tomar parte no festival das suas bodas de ouro de membro da Academia berlinense científica, no qual Werner Heisenberg pronunciou o discurso de saudação.

Um dos mais duros golpes sofridos por Planck foi certamente o do dia 23 de Janeiro de 1945. O seu segundo filho, Erwin, o único sobrevivente dos 4 filhos do seu 1.º matrimónio, por causa da sua participação no atentado de 20 de Julho de 1944, contra Hitler, morreu enforcado

pelos Nazis, após 6 meses de prisão e apesar do seu ilustre Pai ter intercedido por ele.

Nos últimos dias da guerra, a quinta junto do Elba foi atacada por tropas americanas e alemãs. O ancião de 86 anos fugiu pelas estradas com uma fila de fugitivos. Na estrada salteadores levaram-lhe os últimos haveres. Simples, recto e temente a Deus, a sua fé foi posta à prova, perdendo, tal como Job, os filhos e os bens. Mas, ainda como Job, Planck suportou o seu destino com inquebrantável força de ânimo.

No inverno de 1945/46 pediu numa reparição de racionamento um cartão para comprar um sobretudo de inverno. Recusaram o seu pedido. Saiu, modesta e conformadamente, sem dizer quem era.

Após o final da 2.<sup>a</sup> grande guerra, Planck foi a Londres, a convite dos ingleses, tendo tomado parte no festival comemorativo de Newton, organizado pela Royal Society em 1946. Apesar de velho e alquebrado, não passando duma sombra do que fora, conservava inalterável o seu afável sorriso.

Viveu os últimos anos da sua vida em Gottingen mas empreendeu longas e maçadoras viagens para corresponder a convites feitos para a realização de conferências. Numa dessas ocasiões caiu seriamente doente em Bonn, mas, a despeito dos seus 88 anos, recuperou miraculosamente a saúde, após uma pneumonia dupla. Tudo fazia prever que atingisse o seu 90.<sup>o</sup> aniversário para o qual se estava preparando uma grande celebração. Mas o serviço noticioso alemão, na zona de ocupação britânica, anunciava em 4 de Outubro de 1947 que tinha falecido nessa manhã no Hospital de Gottingen o famoso físico e professor Max Planck. Por este motivo a festa do seu 90.<sup>o</sup> aniversário foi substituída por uma homenagem à sua memória em que tomaram parte numerosos representantes de institutos científicos alemães e estrangeiros, tendo o seu elogio fúnebre sido feito por Max von Laue.

Entre as muitas homenagens que lhe foram prestadas postumamente citemos o nome de «Max Planck Gesellschaft» dado

ao Kaiser-Wilhelm Gesellschaft de que era presidente honorário desde 1946.

Niels Bohr, o famoso físico-dinamarquês, descreve assim o significado da obra de Planck: «Raras vezes outra descoberta na história da ciência produziu tão extraordinários resultados como os que surgiram directamente da descoberta de Max Planck do quantum elementar de acção. Esta descoberta tem sido prolífica, num grau constantemente crescente de progressão, fornecendo meios para interpretar e harmonizar os resultados obtidos pelo estudo dos fenómenos atómicos; estudo que tem feito progressos maravilhosos nestes últimos anos. Mas a teoria dos quanta fez alguma coisa mais. Provocou uma revolução radical na interpretação científica dos fenómenos naturais. Esta revolução é uma consequência directa das teorias e conceitos originados pelo trabalho de pioneiro realizado por Planck ao estudar a radiação térmica. A descrição do universo baseada na física quântica deve considerar-se como uma generalização que é independente da física clássica, com a qual se pode comparar favoravelmente pela beleza da concepção e a harmonia interior da sua lógica».

E, para terminar, ouçamos o que diz James Murphy, sobre: O que significa o nome de Max Planck na história da Física?

«A resposta a esta pergunta pode dar-se apontando para a posição que um retrato de Max Planck ocuparia numa galeria de pintura ilustrando o desenvolvimento da ciência. Ao fim duma longa galeria encontra-se um cotovelo com um amplo espaço no ângulo das paredes. Neste espaço encontra-se o retrato de Max Planck, com uma mão despedindo-se agradecido dos clássicos que o antecedem e a outra apontando para a nova galeria, onde a tinta mal acabou de secar nos retratos nela suspensos — Einstein, Niels Bohr, Rutherford, Dirac, Eddington, Jeans, Millikan, Wilson, Compton, Heisenberg, Schrodinger, etc., etc..»

CARLOS BRAGA  
Prof. Catedrático da F. C. P.