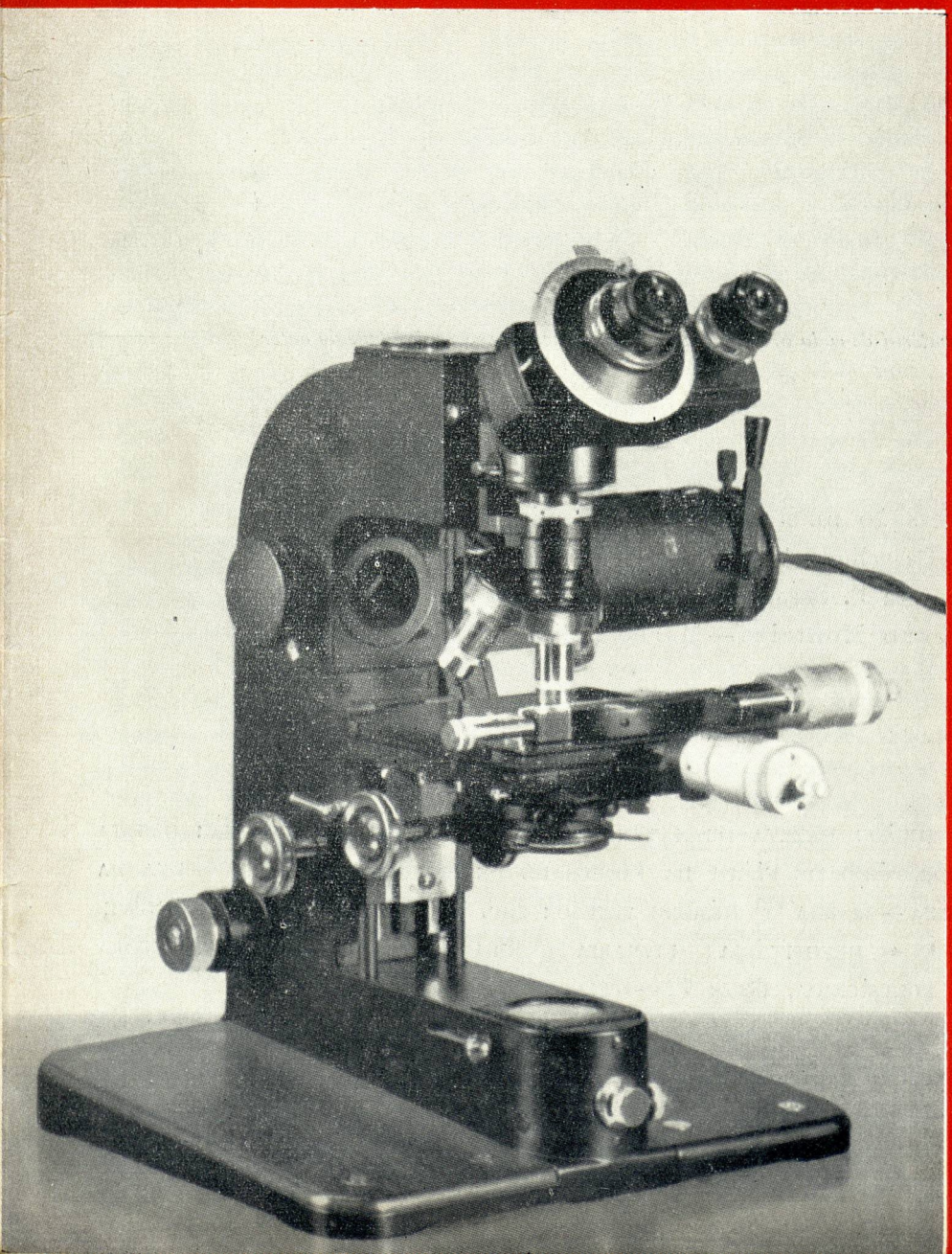
GAZETA DE FISICA

REVISTA DOS ESTUDANTES DE FÍSICA
E DOS FÍSICOS E TÉCNICO-FÍSICOS PORTUGUESES



VOL. III, FASC. 8
JANEIRO, 1960

Microscópio para leitura de placas nucleares

(Ver pág. 231)

VOL. III

FASC. 8

JANEIRO—1960

GAZETA DE FÍSICA

PUBLICAÇÃO DESTINADA AOS ESTUDANTES DE FÍSICA E AOS FÍSICOS E TÉCNICO-FÍSICOS PORTUGUESES • VOLUMES PUBLICADOS:
VOL. I — 1946 a 1948 — IX FASCÍCULOS — 288 PÁGINAS
VOL. II — 1948 a 1953 — X FASCÍCULOS — 280 PÁGINAS

SUMÁRIO

A matéria de cada artigo é tratada sob a inteira responsabilidade do autor

COMISSÃO DE REDACÇÃO: J. Xavier de Brito — Rómulo de Carvalho — Armando Gibert — Lídia Salgueiro — Maria Augusta P. Fernández — José V. Gomes Ferreira — Ramiro Líbano Monteiro — Maria Helena Sampaio Carepa

★

PROPRIEDADE E EDIÇÃO: GAZETA DE MATEMÁTICA, L.DA * CORRESPONDÊNCIA: GAZETA DE FÍSICA — LABORATÓRIO DE FÍSICA DA FACULDADE DE CIÊNCIAS DE LISBOA — RUA DA ESCOLA POLITÉCNICA — LISBOA * NÚMERO AVULSO: ESC. 12$50 * ASSINATURA: 4 NÚMEROS ESC. 40$00 * DEPOSITÁRIA: LIVRARIA ESCOLAR EDITORA — RUA DA ESCOLA POLITÉCNICA, 68 a 72 — TELEFONE 664040 — LISBOA

TIPOGRAFIA DA ATLÂNTIDA — RUA FERNANDES TOMÁS, 46 — COIMBRA

GAZETA DE FÍSICA

Fundador: ARMANDO GIBERT

Vol. III, Fasc. 8 Janeiro de 1960

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 dize-las, o que gostosamente faço, pedindo antecipadamente perdão a V. Ex.as 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-Gynnasium 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 «Wissenschaftiche 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 àvidamente, 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 duma 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 consideràvelmente 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 êrros nos cálculos feitos na lousa e nós tinhamos 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 construida 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 Gottingen, um neto deste foi o criador do Código Civil Alemão (Deutsches Burgerliches 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, incorrutíveis, devotados ao serviço da Igreja e do Estado, tem de ser lembrada se se quiser compreender o carácter de Max Planck e as raizes 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 sugere 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 «predileção» 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. Indubitàvelmente, 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 provàvelmente 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 Hauptzatz 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.ª 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 — Grundiss 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 «Uber 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 electrólitica 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 mantem a uma temperatura fixa. Se a parede interna do orifício for razoàvelmente 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 analizada 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 teòricamente 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.ª 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.ª lei) o poder emissivo E do corpo negro varia proporcionalmente à 5.ª potência desta temperatura (2.ª 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 λT 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.ª potência do com-

primento de onda é unicamente função do produto λT.

As leis de Wien constituem o máximo que se pode obter a partir dos princípios fundamentais da Termodinâmica. Para determinar a forma da função φ 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 λT. 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 λT. 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 conhecimento 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 λT.

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 ν 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 «Uber die Elementarquanta der Materie und der Elektricitat» 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 granulo 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 transcendentes. 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 «granulos 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 $u = \dfrac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$ 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 quantico 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, simultâneamente, 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 Harmónium in natürlicher Stimmuug nach dem Systen 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 — Uber die Natur des weissen Lichtes.
1903 — Metalloptik und Maxwellsch Theorie.
1903 — Zur elektro-magnetischen Theorie der selektiven Absorption in isotropen Nichtleitern.
1903 — Uber die optischen Eigenschaften der Metalle für lange Wellen.
1904 — Uber 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 prèviamente 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 contradição. 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 necessàriamente 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 β à luz da teoria da relatividade 1906-1907 — «Die Kaufmannschen Messungen der Ablenkbarkeit der β — Strahlen in ihrer Bedeutung für die Dynamik der Elektronen». 1907 — «Nachtrag zu der Bespreehung der Kaufmannschen Ablenkumgsoessungen.

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-Universitat.

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 do calor, uma separação da mecânica e da termodinâmica é impossível. Planck desenvolve uma teoria combinada, baseada na invariancia relativística do princípio da menor acção e obtem 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 atómica. 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, Hernst 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 Germânia 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 classicar 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 herois 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 mágua, 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 sùbitamente, 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 simultâneamente 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 Quantenhypotese.
1915 — Über Quantenwirkungen in der Electrodynamik.
1915 — Die Quantenhypothese für Molekeln mit méhreren Freiheitsgraden.
1916 — Bemerkung zur quanten theoretischen Deutung der Rubens-Hettnerschen Spektralmessung.
1917 — Zur Theorie des Rotationsspektrums.
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 — Einfuhrung in die allgemeine Mechanik.

Acabada a 1.ª 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 Dissoziationswarme des Wassertoffs nach dem Bohr-Debyschen 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 arbitrária de velocidades — Uberdie freie Energie von Gasmolekulen mit beliebiger Geschwindigkeeitsverteilung.

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 discontínuos, 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 Weltbilt 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 acessório 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 convicente; são desse trabalho as seguintes palavras que resumem a sna 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 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 científico. 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 quanta de Planck desenvolveu-se além de toda a espectativa 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 descuidamente 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, consequentemente, 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 quantica, 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 constituido por átomos que obedecem a leis físicas, é uma objecção que não resiste a uma análise mais apurada. Acreditamos no 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 fiz 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. — Aí 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. Sòmente deste modo pode sentir-se protegido dos perigos previstos e imprevistos, 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 eatá enraizada no sentimento de cada um mas o seu significado transcende o individual».

Já em 1954, numa conferência que fiz 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 universalmeute 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, nnnca encontrámos entre a ciência e a religião qnalquer 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, encontramo-la no facto — desde que seja considerado dum modo fundamental é 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».

Simplesmente 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 Mench 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 Blumenstraenschen 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 ata-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 possuia 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 Gesellchaft». 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 Blatter, sob o título «Mein Besuch ben 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». À 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, inclusivé 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 oiro 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 repartição 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.ª 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 sèriamente 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.º 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.º 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 pòstumamente 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 favoràvelmente 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.

Detecção de partículas com emulsões nucleares

O emprego da placa fotográfica como detector em física nuclear é bastante antigo; foi recorrendo à placa fotográfica que H. Becquerel descobriu a radiactividade, observando o enegrecimento produzido pelas radiações provenientes de sais de urânio.

Posteriormente, várias tentativas se realizaram no sentido de registar trajectórias de partículas em emulsões fotográficas; no entanto, os primeiros resultados francamente animadores só foram obtidos em 1925, em Viena, por M. Blau e Wambacher, que conseguiram detectar trajectórias de protões.

Admitia-se, geralmente, que a placa nuclear era um bom detector do ponto de vista qualitativo, mas não quantitativo, isto é, não permitia medições rigorosas das energias das partículas; com este fim, usavam-se de preferência a espectrografia magnética, a câmara de Wilson, etc.

Esta situação mudou radicalmente quando Powell e a sua escola iniciaram, em 1939, um estudo sistemático da placa nuclear como detector de partículas. Powell começou por mostrar que usando uma disposição conveniente para leitura de placas (microscópio especialmente adaptado para esse fim), os erros cometidos pelo observador ficam consideràvelmente diminuídos; a energia de uma partícula pode conhecer-se com suficiente rigor desde que se meça com cuidado o seu percurso na emulsão. A escola de Powell, numa série de publicações de real valor, conseguiu impor a técnica das emulsões nucleares como um bom meio de trabalho, quer no domínio da física nuclear, quer no da radiação cósmica.

Do ponto de vista económico, a vantagem deste método sobre outro qualquer usado nestes estudos é bastante apreciável, podendo mesmo afirmar-se que a única despesa que comporta é a da compra do microscópio.

A escolha dum tipo determinado de placa nuclear depende evidentemente do género de investigação que se pretende realizar, visto não haver uma placa que seja igualmente sensível a todas as partículas existentes na natureza. As casas Ilford e Kodak, principais produtores de placas nucleares, fabricam os diferentes tipos indicados no quadro seguinte.

PARTÍCULAS REGISTADAS	ILFORD	KODAK	SENSIBILIDADE
Fragmentos provenientes da fissão	D_1	NTC	Fraca
Protões e partículas α	E_1	$NT1A$	Média
Protões e mesões	C_2	NTB	Grande
Electrões . . . Partículas α . . Mesões . . . . Protões	G_5	$NT2A$ $NTB3$ $NT4$	Muito grande

Os diferentes tipos de placas, que acabamos de enunciar, permitem a detecção de partículas num domínio bastante vasto de energias. No entanto, para que o registo da trajectória de uma partícula se possa distinguir do velado natural da placa nuclear, é preciso que seja constituído no mínimo por 3 ou 4 grãos; este facto impõe uma limitação no domínio das baixas energias à detecção de partículas por este método.

Partículas α	0,8	MeV
Protões	0,2	MeV
Electrões	0,010	MeV

Neste primeiro artigo trataremos apenas da detecção de partículas α e de electrões (em especial electrões de conversão interna)

com emulsões nucleares; posteriormente tornaremos extensivo este estudo a outras partículas, protões, deutões, mesões.....

*

* *

No estudo de esquemas de desintegração de emissores α impressiona-se a placa nuclear, quase exclusivamente, por impregnação, que consiste na introdução do corpo radiactivo na placa, mergulhando-a numa solução de um dos seus sais. A maneira de realizar esta operação reveste grande importância, pois deve assegurar-se que a substância radiactiva penetre uniformemente em toda a emulsão, o que se consegue empregando uma solução neutra ou ligeiramente ácida ($pH - 6 - 7$).

O tempo de impregnação é variável, mas em geral, não excede 1 hora.

Após a impregnação, a placa nuclear fica exposta durante certo tempo, para que a substância radiactiva nela introduzida se desintegre. O tempo de exposição é extraordinàriamente variável com a substância empregada e com o género de estudo a efectuar. Assim, por exemplo, suponhamos que se impregna uma placa nuclear com ${}_{88}Ra^{226}$. O ${}_{88}Ra^{226}$ dá origem ao ${}_{82}RaG^{206}$ de acordo com o seguinte esquema:

$$
\begin{aligned}
&{}_{88}Ra^{226} \xrightarrow{\alpha} {}_{86}Rn^{222} \xrightarrow{\alpha} {}_{84}RaA^{218} \xrightarrow{\alpha} {}_{82}RaB^{214} \xrightarrow{\beta} \\
&\xrightarrow{\beta} {}_{83}RaC^{214} \begin{cases} \xrightarrow{\beta} {}_{84}RaC'^{214} \xrightarrow{\alpha} \\ \xrightarrow{\alpha} {}_{81}RaC''^{210} \xrightarrow{\beta} \end{cases} {}_{82}RaD^{210} \xrightarrow{\beta} {}_{83}RaE^{210} \xrightarrow{\beta} \\
&\xrightarrow{\beta} {}_{84}RaF^{210} \xrightarrow{\alpha} {}_{82}RaG^{206}
\end{aligned}
$$

Nestas condições, o tempo de exposição é, evidentemente, diferente consoante se pretende estudar as partículas α do Ra^{226} ou as estrelas de 5 ramos correspondentes à desintegração sucessiva deste isótopo e dos seus descendentes; esses tempos calculam-se recorrendo às leis do declínio radiactivo e são, em geral, compreendidos entre algumas horas e poucas semanas (1 a 3). No entanto, quando, por qualquer motivo, os tempos de exposição são da ordem do mês ou mais, é necessário tomar precauções para evitar o «fading», fenómeno que consiste no desaparecimento progressivo da imagem latente no decurso do tempo. Para atenuar os efeitos do «fading», a experiência revelou que é conveniente manter as placas, durante a exposição, numa atmosfera em que a temperatura é vizinha de $0^0\,C$ e cuja humidade relativa é da ordem de 40 %.

A revelação de placas nucleares é operação bastante importante e de que depende sempre o bom êxito de um trabalho; devido à sua espessura, a técnica a usar difere consideràvelmente dos processos de revelação de placas sensíveis a radiações luminosas. Há que atender em primeiro lugar a que não se estabeleça um gradiente de revelação entre a superfície e as camadas mais profundas da placa, isto é, a emulsão deve apresentar-se uniformemente revelada em toda a profundidade, pois de contrário as medições vêm sèriamente afectadas.

A constituição do banho revelador varia bastante com o tipo e espessura da placa utilizada; para placas Ilford $G_5 - 200\,\mu$, de que nos ocuparemos exclusivamente neste artigo, um revelador com a constituição seguinte dá em geral bons resultados.

Solução A

Sulfito de sódio (crist.) . . .	25 g
Elon	3 g
Água.	1000 cm³

Solução B

Carbonato de sódio (anidro) . .	50 g
Bicarbonato de sódio (anidro) .	50 g
Água.	1000 cm³

O processo de revelação de emulsões nucleares consta de dois estágios a tem-

peraturas diferentes. Inicialmente, mergulha-se a placa durante 30 a 45 minutos no banho revelador, constituído pela mistura em partes iguais das soluções A e B, a temperatura vizinha da do gelo fundente; a placa fica completamente embebida de revelador, mas não se efectua o processo de revelação. Em seguida, eleva-se a temperatura até $21^0 C$, realizando-se então a revelação da placa durante 30 minutos.

Para fazer cessar ràpidamente a acção do revelador, a placa é introduzida cerca de 30 minutos num soluto a 5 % de bisulfito de sódio; alguns laboratórios usam de preferência ácido acético a 2 %.

A fixação das placas realiza-se mergulhando-as em hiposulfito de sódio em solução aquosa a 50 % durante 24 h a 36 h, sendo depois cuidadosamente lavadas com água e postas a secar.

O estudo de uma placa nuclear, isto é, a identificação das partículas que a impressionaram e a medição das suas energias, faz-se recorrendo a microscópios especialmente adaptados para esse fim.

Na capa desta revista reproduz-se uma fotografia do microscópio M 4005, produzido por Cooke, Troughton e Simms, pertencente ao Centro de Estudos de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa e adquirido com um subsídio especial concedido pela Fundação Calouste Gulbenkian. Trata-se de um microscópio binocular em que a platina tem movimento em duas direcções ortogonais, comandado por dois parafusos microméticos, permitindo leituras com a precisão de $1\,\mu$. O parafuso dos pequenos deslocamentos é também graduado. O uso do sistema binocular e de filtros convenientes, reduz grandemente o cansaço do observador.

A amplificação de 1200 é, em geral, a usual em trabalhos de medição de energias de partículas α e β; pode, no entanto, recorrer-se a amplificações superiores (até 1800) consoante o género de investigação a realizar.

* * *

Trataremos agora, em pormenor, da detecção de partículas α e de electrões de conversão interna com placas nucleares.

A trajectória de uma partícula α numa emulsão nuclear é rectilínea, apresentando o aspecto de um traço negro contínuo, ligeiramente encurvado na parte final (fig. 1).

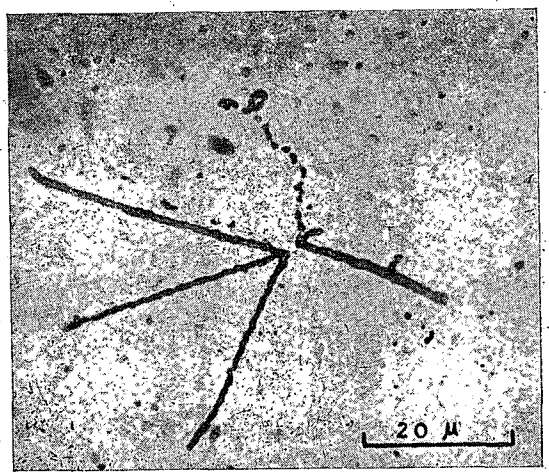


Fig. 1 — Estrela de 4 ramos proveniente da desintegração do Ac X. Vê-se nitidamente a trajectória dum electrão de conversão interna ligado à extremidade da trajectória de uma partícula α.

O conhecimento da energia de uma partícula α implica a medição rigorosa do seu percurso na emulsão. Como a trajectória da partícula tem uma orientação qualquer, a medição do seu percurso α_R faz-se recorrendo às projecções α_H e α_V (fig. 2) da tra-

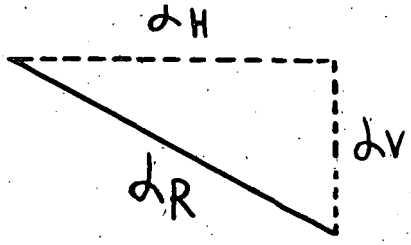


Fig. 2

jectória, numa região, suposta plana, do campo de observação do microscópio e na

direcção perpendicular a esse plano; se atendermos às reduzidas dimensões da trajectória da partícula, o erro que se comete considerando essa região como plana é desprezável. Na determinação de α_H usa-se uma ocular micrométrica, devidamente calibrada; α_V mede-se utilizando o parafuso dos pequenos deslocamentos do microscópio, havendo que atender à contracção da placa durante o processo de fixação.

A concentração em halogeneto de prata de uma emulsão nuclear é muito elevada e, portanto, a sua dissolução no fixador produz uma diminuição grande da espessura da emulsão; se designarmos por e_1 e e_2 as espessuras, respectivamente, durante a exposição e após o processo de fixação, chama-se coeficiente de contracção (shrinkage factor) à grandeza

$$\frac{e_2}{e_1}$$

Na medição de α_V há que ter em conta o coeficiente de contracção.

Conhecidos α_V e α_H, determina-se α_R a partir da expressão

$$\alpha_R = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$$

Recorrendo à curva percurso-energia para partículas α, já estabelecida para as placas consideradas, deduz-se imediatamente a energia da partícula desde que se conheça o seu percurso α_R.

O registo da trajectória de um electrão numa emulsão nuclear apresenta-se descontínuo e é constituído por um conjunto de grãos tomando as formas mais variadas (fig. 1); a identificação da trajectória de um electrão é, por isso, operação delicada e por vezes bastante difícil.

A análise microscópica de uma placa nuclear revela sempre a existência de trajectórias de electrões de origem cósmica, vulgarmente designados por «electrões de fundo», o que constitui uma dificuldade, por vezes grande, no estudo de emissores β. O problema reveste maior simplicidade no caso de electrões de conversão interna de emissores α, visto que as trajectórias do electrão e da partícula α têm origem comum.

Alguns autores propõem métodos de rejuvenescimento das placas, isto é, procuram libertá-las do registo das trajectórias dos electrões de fundo; ultimamente parece provado que tais tratamentos diminuem bastante a sensibilidade da emulsão. É preferível usar sempre placas recentes e fazer em cada caso, um estudo cuidadoso do problema em questão, procurando expurgar das medições todos os electrões de fundo.

Pelas razões apontadas conclui-se que, para os emissores α, o rejuvenescimento das placas é absolutamente dispensável não sendo mesmo de aconselhar.

A determinação da energia de um electrão implica o conhecimento do seu percurso na placa. Alguns autores medem directamente na emulsão esta grandeza ou então, a sua projecção no campo (suposto plano) de observação do microscópio; neste último caso, determinam o percurso multiplicando essa projecção por um coeficiente que a experiência lhes sugeriu. Outros investigadores preferem contar o número de grãos que formam a trajectória de um electrão, obtendo o seu percurso mediante uma curva de calibração — número de grãos-percurso — que realizam com a própria placa em estudo. A experiência tem-nos mostrado ser mais rigoroso este último processo, dado que a medição do percurso de electrões em placas nucleares é operação eivada de muitos erros, devido à configuração das suas trajectórias; essa medição só pode efectuar-se com suficiente rigor numa pequena percentagem de electrões, que se utilizam no traçado da curva de calibração que acabámos de referir.

Conhecido o percurso de um electrão, a determinação da sua energia faz-se recorrendo à curva de calibração percurso-energia já estabelecida para as placas consideradas e abrangendo um domínio de energia bastante vasto.

*

* *

Apontámos a traços gerais os processos de detecção e determinação da energía de partículas α e de electrões, com emulsões nucleares.

O conhecimento dos espectros α e de conversão interna dum dado isótopo radiactivo contribui para o estabelecimento do seu esquema de desintegração; é este um dos problemas fundamentais da física nuclear.

JOSÉ GOMES FERREIRA

1.º Assistente da F. C. L.
Bolseiro do I. A. C.

Salomon Rosenblum

(Biografia e obra científica)

Para termos uma imagem adequada da personalidade do Doutor Salomon Rosenblum, como investigador, convirá referir as multímodas condições e os diferentes ambientes em que, como tal, viveu.

Indicaremos pois a seguir, ainda que resumidamente, a sua actividade científica em cada um dos centros de investigação onde trabalhou: Lund (1920-22), Paris (1922-41), New York e Princeton (1941-44), Londres e Bristol (1944-46) e Paris (1946-59).

Lund (1920-22)

O estágio de S. Rosenblum no Laboratório de Física da Universidade de Lund (director: Prof. Manne Siegbahn) marca o princípio da sua carreira científica.

A sua ida para a Suécia, a fim de realizar estudos científicos, havia-lhe sido sugerida pelo seu amigo Erik Hulthén (1), então assistente do professor Manne Siegbahn.

Nessa época, o objectivo principal das investigações realizadas no laboratório de Lund era o estudo dos raios X característicos. Entre as técnicas aí utilizadas, figuravam as de espectrografia cristalina dos raios X, alta tensão, magnetismo e vácuo. S. Rosenblum realizou aí trabalhos práticos destinados a ajudar a formação dos futuros físicos experimentais.

O laboratório era frequentado por estudantes de várias nacionalidades, num clima de convívio muito favorável ao desenvolvimento da compreensão e cooperação internacional (1).

Devido a várias dificuldades no prosseguimento dos seus estudos na Suécia, S. Rosenblum projectou ir trabalhar no «*Kaiser Wilhelm Institut*», (2) situado em Dahlem (arredores de Berlim), onde se apresentou munido de uma carta de apresentação do Prof. M. Siegbahn. O seu pedido de admissão foi, porém, rejeitado

(1) O Prof. E. Hulthén é actualmente um conhecido físico que faz parte do quadro docente da Universidade de Estocolmo.

(1) Cf. os artigos dos Profs. E. Hulthén e J. Tandberg no livro de homenagem a «Manne Siegbahn (1886 $\frac{3}{12}$ 1951)». Uppsala 1951, p 1 — 8 e 9 — 12, respectivamente.

(2) Era um dos bons centros de investigação da época e possuía uma excelente organização. Nele trabalhavam Otto Hahn e Lise Meitner. Rosenblum lamentava por vezes o facto de não ter podido estagiar nele nessa época pois estava convencido de que a sua formação científica teria beneficiado com isso. Note-se, todavia, que não mostrava qualquer ressentimento contra o nacionalismo estreito manifestado pelos cientistas alemães responsáveis da recusa do seu pedido de admissão.

sob o pretexto do número limitado de lugares de investigador e atendendo à sua qualidade de estrangeiro.

Por isso se dirigiu para Paris, onde seria admitido como investigador no «*Laboratoire Curie*».

Paris (1922-41)

No «*Laboratoire Curie*» (então dirigido por M.me P. Curie), S. Rosenblum principiou por trabalhar em espectrografia β, de colaboração com o jugoeslavo Dragolioub K. Yovanovitch e o francês Jean d'Espine. Este último cientista realizaria um estudo comparativo dos métodos de desvio magnético directo e de focalização semi-circular aplicados à espectrografia β do *Ra* $(B+C)$, *Ra E*, *Ms Th II* e *Th* $(B+C)$ (1).

Rosenblum familiarizou-se assim com os «métodos do desvio directo e de focalização» e verificou, em particular, que «se o aparelho de focalização favorece os grupos de velocidade homogénea, condensando-os sobre a placa fotográfica em uma risca relativamente intensa, o aparelho de desvio directo será vantajoso na condensação dos grupos de riscas ou de bandas contínuas, em uma região de pequenas dimensões da referida placa» [cf. loc. cit. p. 20-21].

Com a conclusão da tese de Irène Curie, sua mãe, a Prof. M.me P. Curie, sugere, em 1934, a Rosenblum o estudo do retardamento das partículas α (emitidas pelos rádioelementos naturais), ao atravessarem folhas metálicas finas.

Graças ao trabalho de Rutherford e seus colaboradores (experiências do desvio eléctrico e magnético, formação de hélio em recipientes herméticamente fechados contendo corpos radioactivos emissores da radiação α) sabia-se que os raios α eram constituidos por núcleos de átomos de hélio. As experiências realizadas por numerosos investigadores aplicando vários métodos (ionização, observação na câmara de Wilson, desvio magnético directo) ao estudo dos raios α, conduziu a admitir que as partículas α emitidas por cada radioelemento eram monocinéticas. Os mesmos métodos permitiram verificar a validade da relação (proposta por Geiger e Nuttall) entre o período de desintegração de um radioelemento emissor α e o alcance das partículas α (por ele emitidas) em um determinado meio absorvente.

Admitia-se então que cada radioelemento possuía um período de desintegração característico e havia-se verificado a existência de uma relação definida entre o alcance dos raios α em determinado meio (em geral o ar a P. T. N.) e a sua energia (ou velocidade) inicial.

Parecia portanto natural admitir-se — de acordo com os factos experimentais já conhecidos e a validade suposta da lei de Geiger-Nuttall — que as particulas α emitidas por cada radioelemento eram monocinéticas (1).

Obtiveram-se, porém, outros resultados cuja interpretação parecia contraditória com alguns desses factos experimentais Assim, em 1916, Rutherford e Wood descobriram que o *Th* $(C+C')$ emitia grupos de raios α de energia muito superior (se bem que com uma probabilidade de emissão muito mais reduzida) à do grupo principal de raios α atribuído anteriormente a este radioelemento. Posteriormente, Rutherford descobriria a emissão de um grupo análogo (que designou como o precedente de «longo alcance») pelo *RaC*. Estes casos pareciam, portanto, constituir excepções à regra de Geiger e

(1) Cf. «*Contribution à l'étude des rayons β par la méthode des spectres magnétiques*» Thèse. Paris 1925; in «*Annales de Physique*» Xème série, *16*, 1931, p. 5.

(1) Acerca dos trabalhos de investigação sobre os raios α realizados no primeiro quartel deste século — principalmente na Alemanha, Inglaterra e França, — consultar os tratados clássicos de Radioactividade: Meyer e Schweidler: *Radioaktivität* — Berlin, 2.ª ed. (1927); Rutherford, Chadwick e Ellis, *Radiations from Radioactive Substances* — Cambridge (1930) e M.me P. Curie: *Radioactivité*, — Paris (2.ª ed. 1935).

Nuttall. Além disso, havia outras indicações duvidosas de desvios relativamente a esta regra: anomalias na curva de Bragg do *AcC* apontadas por M.elle Blanquies, descoberta (feita, em 1914, por Meyer, Hess e Paneth, utilizando um método de ionização aperfeiçoado) de dois alcances diferentes dos raios α emitidos pelo *Rd Ac*. Tais anomalias foram interpretadas por esses investigadores pela possível presença, nas suas fontes radioactivas, de novos radioelementos emissores α. Assim procuravam salvaguardar a validade da lei de Geiger-Nuttall. Assinale-se, porém, que estes resultados não foram confirmados nas análises posteriores feitas respectivamente por Marsden e Perkins, por um lado, Geiger, Stetter e Rona, por outro (1).

O estado dos conhecimentos sobre o problema da homogeneidade das velocidades iniciais dos raios α, na época em que Rosenblum principiou a estudar essa radiação, é descrito em pormenor e de um modo significativo nas conclusões do estudo da radiação α emitida pelo polónio 210, feito por M.elle I. Curie com o método do desvio magnético directo:

«*Seria muito de desejar obter uma precisão muito superior sobre a homogeneidade das velocidades dos raios* α».

«Poder-se-ia atingir provàvelmente a precisão de 1,5 ou 2‰ (em vez de 3‰ obtido neste trabalho) repetindo-se a experiência com uma fonte radioactiva de actividade específica duas ou três vezes superior, o que é certamente possível ainda que difícil de obter.

[As fontes pontuais destinadas ao estudo do alcance das partículas α tinham uma actividade específica desta ordem de grandeza].

Deve ser, porém, extremamente difícil atingir a precisão de 1‰».

«De facto, achamo-nos limitados por todos os dados do problema:

1.º A constância do campo magnético (produzido por um electro-imã criando um campo de indução de cerca de 10.000 gauss) verifica-se aqui a 1‰.

2.º A incerteza na largura da risca não desviada resultante dos raios α atravessarem em parte o bisel (da fenda de definição); esta incerteza é da ordem de grandeza de 0,5‰ do desvio.

3.º A influência dos raios oblíquos (relativamente ao plano das peças polares) devido à variação do campo magnético ao longo de uma linha paralela à direcção das fendas — a importância deste efeito é desconhecida mas é provável que não seja muito inferior a 1‰;

4.º A actividade específica realizada em camadas infinitamente finas».

«Não se pode portanto esperar verificar a homogeneidade dos raios α com a precisão de 1‰ sem introduzir modificações profundas na aparelhagem e no método de medida» [cf. M.elle Irène Curie, «*Recherches sur les rayons* α *du polonium. Oscillation de parcours, vitesse d'émission, pouvoir ionisant*» Thèse, in-*Annales de Physique*, III, 1925, pág. 299].

No seu estudo sobre o retardamento das partículas α através de folhas metálicas finas, S. Rosenblum utilizou igualmente o método do desvio directo. O seu espectrógrafo possuía, porém, um poder de resolução superior ao de I. Curie. Principiou por determinar as razões das velocidades iniciais dos grupos de raios α do *Th C* *Th C'* e *Po*.

No decorrer deste estudo, notou que a largura de uma risca α não é uma grandeza perfeitamente definida. Viu que ela dependia da duração da pose, obtendo clichés em que a risca α do *Th C'* era mais larga do que a risca correspondente do *Th C*, quando na realidade esta última, devido aos raios α mais lentos, e por consequência mais desviados, devia ser geomètricamente mais larga (1).

Embora fosse possível explicar esta diferença pela variação do enegrecimento fotográfico com o número de partículas α que atingissem o filme em um determinado intervalo de tempo (diferente para o *Th C* e *Th C'*), não ficava excluída a hipótese de ela corresponder a uma estrutura complexa

(1) Cf. S. Rosenblum, «*Origine des rayons gamma. Structure fine du spectre magnétique des rayons* α». *Paris 1932.*

(1) S. Rosenblum, «*Recherches experimentales sur le passage des rayons* α *à travers la matière*», Thèse, Paris 1928, in «*Annales de Physique*» *10* (1928), 422].

do espectro de velocidades de cada um destes radioelementos. Este estudo não lhe permitiu portanto tirar uma conclusão definitiva àcerca do problema da homogeneidade das velocidades dos raios α.

O método do desvio magnético (directo) permitiu-lhe, no entanto, estudar o retardamento das partículas α através de folhas metálicas finas com uma precisão muito superior à dos estudos análogos precedentes. A análise dos resultados experimentais obtidos com mais de uma dúzia de metais e ligas metálicas diferentes, feita pelo método de Flamm e Schumann, permitiu-lhe controlar a teoria do retardamento de N. Bohr (1).

Apesar do sucesso do método do desvio magnético (directo) no estudo do retardamento das partículas α, Rosenblum possuía nítido conhecimento, (pela experiência pessoal e pelos trabalhos de outros investigadores, nomeadamente de I. Curie) das suas limitações e insuficiências para a resolução definitiva do problema crucial da homogeneidade das velocidades de emissão dos raios α.

Não ignorava também (graças à prática adquirida nos estudos de espectroscopia β, feitos de colaboração com J. d'Espine e D. Yovanovitch) as vantagens do método de focalização magnética semi-circular sobre o método do desvio directo (cf. acima). Parecia-lhe, portanto, necessário aplicar o método de focalização semi-circular à espectroscopia α em uma tentativa de analisar as velocidades das partículas α emitidas por um determinado radioelemento com um poder resolvente superior ao dado pelo método do desvio magnético directo. A aplicação do método de focalização semi-circular à espectroscopia α exigia, porém, campos magnéticos intensos e homogéneos em domínios mais extensos do que os campos usuais utilizados na aplicação deste método à espectroscopia β (devido à quantidade de movimento inicial das partículas α ser muito superior à dos electrões emitidos pelos radioelementos). A possibilidade de aplicação deste método à espectroscopia α estava portanto dependente da existência de um instrumento capaz de criar um campo magnético que satisfizesse essas condições.

Um tal instrumento não existia então no «*Laboratoire Curie*». Felizmente vários cientistas franceses se interessavam desde há muito tempo, por diversas razões (em particular, para o desenvolvimento das investigações em magneto-ótica), na construção de aparelhos aptos a criar campos magnéticos intensos e homogéneos em domínios extensos. Entre os projectos feitos em França, antes de 1914, figuravam os dos Profs. Aimé Cotton, P. Weiss e Picard. Nenhum deles, porém, chegou a realizar-se devido à eclosão da primeira Grande Guerra (1).

Depois da Guerra, o Prof. A. Cotton, de colaboração com o Eng.º G. Mabboux, delineou o projecto de um grande electro-íman cuja realização foi subsidiada pela Academia das Ciências de Paris e instalado, em 1928, em Bellevue (arredores de Paris) (2).

---

(1) Importa acentuar que alguns destes resultados descritos em pormenor na sua tese de doutoramento (cf. *loc cit.*) — são ainda hoje utilizados em muitos estudos de Física Nuclear (nomeadamente no domínio das reacções nucleares), cerca de 30 anos depois de terem sido obtidos.

As investigações sobre a radiação α realizadas no *Laboratoire Curie* por I. Curie e S. Rosenblum foram prosseguidas e serviram de tema de tese de doutoramento respectivamente a R. Naidu [«*Étude des courbes d'ionisation des rayons* α» cf. *Annales de Physique* I, 1934, 72] e G. Mano [«*Recherches sur l'absorption des rayons* α», cf. *Annales de Physique* I, 1934, 407] As teses destes quatro investigadores interpenetram-se e completam-se mùtuamente.

(1) Aqui se tem um exemplo de como um conflito pode atrasar a realização de um programa de investigação.

(2) Uma descrição muito interessante e extremamente instrutiva das origens, características e possi-

A curiosidade de Rosenblum em investigar a radiação α pelo método da focalização semi-circular, utilizando as peças polares do electro-íman de Bellevue não foi inútil: logo no primeiro ensaio com a radiação α emitida por uma fonte de depósito activo do tório transportada do «*Laboratoire Curie*», conseguiu pôr em evidência, no filme fotográfico, o que ninguém antes dele havia conseguido ver claramente em centenas, se não milhares de experiências, com o método do desvio directo — o desdobramento da risca α emitida pelo *Th C* em várias riscas.

Estava descoberta a *estrutura fina do espectro magnético* da radiação α.

Apesar de algumas indicações da existência de uma estrutura complexa no espectro α do *Th C* (em particular, no estudo precedente de Meitner e Freitag do alcance das partículas α emitidas pelo depósito activo do tório, observadas na câmara de Wilson) a descoberta da estrutura fina surpreendeu completamente os físicos nucleares mais reputados da época: M.me P. Curie, E. Rutherford, O. Hahn, entre outros. Para M.me P. Curie, a explicação da descoberta estava nas vantagens do método de focalização semi-circular sobre o método do desvio directo (1). E. Rutherford e seus colaboradores, embora reconhecessem que este novo método de ataque do problema da homogeneidade dos raios α tinha muito interesse e importância (2) julgavam que a estrutura fina da radiação α só existia nos radioelementos com um número atómico ímpar [como o *Th C* ($_{83}Bi^{212}$)]. Por sua vez, O. Hahn, inicialmente céptico, rendeu-se à evidência dos factos experimentais descobertos por Rosenblum (1).

Esta descoberta levantava dois problemas diferentes, mas intimamente ligados: por um lado, era necessário interpretá-la à luz das concepções que se admitiam da estrutura nuclear; por outro, impunha-se analisar em condições análogas todas as emissões α para decidir se o fenómeno da estrutura fina era comum a todos os emissores α ou não.

Para melhor se compreender o primeiro objectivo, talvez convenha dar uma ideia dos conhecimentos na época sobre a estrutura nuclear.

Em 1929-30, supunha-se que os constituintes nucleares fundamentais eram o protão e o electrão negativo [o neutrão só viria a descobrir-se em 1932]. Todavia, devido à emissão de partículas α pelos núcleos radioactivos naturais, admitia-se a existência no interior dos núcleos pesados de partículas α formadas pela fusão de quatro protões e dois electrões negativos. Além disso conheciam-se dois factos extremamente importantes: primo) a determinação precisa das massas atómicas conduzira à conclusão de que os constituintes nucleares têm uma energia de ligação dada pela aplicação do princípio da equivalência da massa e energia, de Einstein, às diferenças de massas das partículas livres e ligadas; secundo) a explicação contraditória dada pela Mecânica Clássica das experiências de difusão das partículas α pelos núcleos e das leis das transmutações dos radioelementos naturais havia levado, simultânea e independentemente, em 1928, Gamow, Gurney e Condon a aplicar a Mecânica Quân-

---

bilidades deste instrumento, feita pelos autores do seu projecto, é dada in «*Recherches et Inventions*» — (*revue mensuelle de l'Office National des Recherches Scientifiques et Industrielles et des Inventions du Ministère de l'Instruction Publique*) — Déc. 1928, n.º 172, 454-524.

(1) «Calcula-se que o poder separador obtido pelo método de focalização semi-circular aplicado à análise do espectro magnético dos raios α seja cerca de 100 vezes superior ao obtido pela aplicação do método directo» [cf. «*Radioactivité*», p. 226]

(2) «*Radiations from Radioactive Substances*» p. 47.

(1) Cf. o artigo de Rosenblum, «*Spectres magnétiques des particules alpha*» in «*Beiträge zur Physik und Chemie des 20 Jahrhunderts*» volume de homenagem ao 80.º aniversário de *Lise Meitner*, *Otto Hahn* e *Max von Laue*, Braunschweig, 1959, 7-22.

tica ao núcleo atómico, para tentar resolver essa dificuldade.

A aplicação à descrição da desintegração α de uma teoria tão recente e frutuosa na descrição dos fenómenos atómicos aumentou muito o interesse do seu estudo experimental. Esse interesse tinha porém outras origens que analisamos brevemente a seguir.

Em 1922, Ellis sugerira a possível existência de um princípio de combinação das frequências dos raios γ análogo ao princípio de combinação de Rydberg-Ritz dos espectros atómicos de riscas. Por analogia com a teoria quântica de Bohr, Ellis admitira que um núcleo só pode existir em vários estados quantificados entre os quais há transições electromagnéticas correspondendo à emissão ou absorção da radiação γ. Ignorava-se, porém, a maneira como eram excitados os vários estados quantificados de um determinado núcleo. Desconhecia-se se uma determinada transmutação nuclear — a desintegração α, por exemplo — deixava o núcleo residual sempre no mesmo estado quantificado ou se poderia deixá-lo em vários estados com diversas probabilidades relativas de transição a cada um deles.

A resposta a esta questão foi dada pela descoberta da estrutura fina da radiação α. Com efeito, essa descoberta mostrava que um determinado núcleo instável relativamente à desintegração α pode emitir partículas α com energias cinéticas diferentes. As energias de desintegração correspondentes (iguais à soma das energias cinéticas iniciais da partícula α e do núcleo de recuo) são iguais às diferenças de energia dos estados quantificados dos núcleos inicial e residual entre os quais há a transição. Simultâneamente, explicou-se a origem das partículas α de «longo alcance». Viu-se que correspondiam a uma desintegração do núcleo inicial no *estado excitado*, deixando o núcleo residual no estado fundamental (1).

(1) A estrutura fina corresponde a transições entre o nível fundamental do núcleo inicial e os níveis fundamental e excitados do núcleo residual.

A descoberta da estrutura fina veio, portanto, esclarecer a relação entre as radiações α e γ, confirmando ao mesmo tempo a existência de estados nucleares quantificados (1).

O segundo problema levantado pela descoberta da estrutura fina do espectro dos raios α do *Th C* — isto é, a sua extensão a outros radioelementos — marca o início de uma nova fase no desenvolvimento da espectroscopia nuclear.

As relações $\beta - \gamma$ (radioactividade β), $p - \gamma$, $n - \gamma$, $d - \gamma$, ..., (reacções nucleares) são muito mais difíceis de analisar com rigor do que as relações $\alpha - \gamma$ (devido à maior complexidade do processo ou a dificuldades de natureza experimental) — o que mostra o grande interesse do estudo das relações $\alpha - \gamma$. Daí resultou que quase toda a actividade científica do Dr. S. Rosenblum, ulterior à descoberta da estrutura fina, foi consagrada ao estudo deste fenómeno e da sua relação com a radiação γ.

Os seus estudos sobre a espectroscopia α podem classificar-se segundo duas categorias: aperfeiçoamento das técnicas e investigação da estrutura fina.

As técnicas utilizadas na espectrografia magnética da radiação α são de natureza variada: magnetismo, construção mecânica, vácuo, fontes radioactivas e detectores de partículas.

Se bem que a descoberta da estrutura fina tivesse sido feita com o campo magnético produzido em um electro-íman, cedo se reconheceu a vantagem de utilizar no seu estudo o campo produzido por ímans-permanentes. É o que transparece no artigo já citado de Cotton e Mabboux (2).

(1) Para maior desenvolvimento destas questões, consultar o tratado de Rutherford, Chadwick e Ellis e a monografia de Rosenblum sobre origem dos raios γ.

(2) Eis uma passagem: «Não basta que os campos magnéticos obtidos sejam intensos e extensos. O campo deve, frequentemente, variar o menos possível no espaço e no tempo: deve ser uniforme em uma extensão suficiente e permanecer constante durante a

Por esses motivos, S. Rosenblum, de colaboração com M. Guillot, projectou construir um grande íman permanente destinado ao estudo da radiação α emitida pelos radioelementos, com uma vida média longa e exigindo, portanto, a realização de longas poses. A primeira *maquette* do instrumento projectado foi construída em 1936, no *Laboratório Curie*. A necessidade, porém, de utilizar elevadas intensidades de corrente eléctrica para a magnetização e desmagnetização do íman levou-os a escolher, como centro de ensaios, o *Laboratório do Grande Electro-Íman*, em Bellevue. Aí, de colaboração com B. Tsaï e a ajuda de M. M. Aimé Cotton e M. Guillot, — S. Rosenblum concluiu o projecto definitivo, que principiou a ser realizado em 1937.

Devido à eclosão da guerra, a sua construção foi retardada e o instrumento só viria a ser concluído após a libertação da França (1).

Para a realização dos projectos de construção mecânica dos instrumentos utilizados nas suas investigações e sua execução, Rosenblum beneficiou da experiência do Dr. F. Holweck e da habilidade dos mecânicos da oficina do *Laboratório Curie*.

O mesmo se pode dizer a propósito das técnicas de vácuo, para cujo desenvolvimento F. Holwerk deu uma grande contribuição.

O estudo dos detectores da radiação α era ainda um problema que interessava S. Rosenblum. Embora ele utilizasse, em quase todos os seus estudos da radiação α, filmes ou placas fotográficas, foi durante este período que concebeu e realizou um novo tipo de detector da radiação α: o *contador de faíscas*.

A principal dificuldade nos estudos de espectroscopia α — uma vez que se disponha de um espectrógrafo com um poder de resolução suficiente — estava e está na preparação das fontes radioactivas. A este respeito, S. Rosenblum beneficiou não só das poderosas fontes radioactivas acumuladas e purificadas no decorrer de um trabalho persistente e árduo dos esposos Curie e seus colaboradores mas também dos conhecimentos e da experiência dos radioquímicos formados na escola de M.me P. Curie: A. Debierne, Irène Curie, M. Guillot, Melle M. Perey e outros.

Durante este período (1923-41), Rosenblum, descobriu ou estudou paralelamente numerosas estruturas finas da radiação α emitida pelos radioelementos naturais (1).

Na mesma época iniciou o estudo pormenorizado da relação $\alpha - \gamma$, de colaboração com o Prof. M. Valadares, estudo que desenvolveriam mais tarde (2).

Em consequência destes estudos confirmou-se experimentalmente a teoria quântica da desintegração α que serviu de ponto de partida para a elaboração de uma teoria quântica do núcleo atómico.

*

* *

A descoberta da estrutura fina põe em relevo dois aspectos importantes da investigação científica: a utilidade de construir instrumentos científicos cada vez mais aper-

realização das experiências. O aparelho que o produz deverá, na maior parte dos casos, funcionar sem um consumo excessivo de energia eléctrica. É quási sempre necessário, antes de obter resultados interessantes, multiplicar os ensaios infrutuosos e, em certos casos, torna-se indispensável fazer longas poses fotográficas. Um aparelho que exija para cada experiência uma despesa de vários milhares de francos (1928) arriscar-se-ia a não ser utilizado. Enfim, o aparelho deve ser robusto e de fácil manobra. Ele prestará, como dizia P. Weiss, tantos mais serviços quanto melhor se tiver evitado o escolho que consiste em tornar a produção do campo uma operação delicada e absorvente das faculdades do operador» (cf. *loc. cit* p. 460).

(1) Aqui temos mais um exemplo do atraso provocado pelas guerras sobre o desenvolvimento de certos ramos da investigação pura.

(1) Trabalhos feitos de colaboração com M.me P. Curie e outros investigadores.

(2) Cf. as listas das suas publicações científicas dadas a seguir.

feiçoados, permitindo explorar domínios mais extensos; as vantagens da cooperação científica entre laboratórios de natureza diferente (1).

A própria descoberta da estrutura fina resultou de um progresso considerável na produção de um campo magnético.

A importância da cooperação científica entre laboratórios de natureza diferente é, neste caso, igualmente demonstrada: se era necessário dispor-se de um campo magnético com uma intensidade e extensão análoga à do campo criado pelo *Grande Electro-Iman de Bellevue*, não menos indispensável era possuir a técnica e os recursos do *Laboratório Curie* para a preparação das fontes radioactivas.

Assinale-se, enfim, as vantagens da relativa proximidade dos dois laboratórios — distantes cêrca de duas léguas. Sem essa vizinhança, talvez a experiência não se tivesse realizado. Com efeito, foi a facilidade dos meios de transporte entre eles que a tornou possível (2).

Pode-se imaginar que, se o *Laboratório do Electro-Iman* distasse umas centenas de quilómetros do *Laboratório Curie*, já o caso não teria sido tão simples na época (dado o decrescimento relativamente rápido da actividade das fontes radioactivas de depósito activo do tório activadas à saturação — período do $Th\,B = 10{,}6$ h, — e o tempo gasto no seu transporte de um laboratório ao outro).

Este exemplo mostra bem a vantagem de concentrar em um dado local ou região os laboratórios susceptíveis de colaborar estreitamente na realização das suas investigações. Note-se, aliás, que a proximidade, sendo uma condição necessária ou favorável à cooperação científica, não é suficiente, pois nela intervêm necessàriamente os factores humanos e pessoais, que nem sempre são os mais fáceis de resolver.

Somos, enfim, conduzidos a fazer umas breves referências ao ambiente e condições de trabalho no *Laboratório Curie*.

O laboratório foi dirigido por M.me P. Curie até ao seu desaparecimento, em 1935. O Doutor S. Rosenblum recordava com admiração o aspecto de M.me Curie que mais o impressionava: «a sua profunda convicção de que tudo era possível no campo da Ciência», crença que lhe dava uma grande força para prosseguir no trabalho científico apesar de todas as adversidades: dificuldades materiais ou deficiências físicas. O seu lema era: «querer é poder». Para um jovem investigador, tal exemplo constituía um grande estímulo.

Outro aspecto atraente e educativo do laboratório era a presença, nele, durante períodos mais ou menos longos, de investigadores das nacionalidades mais diversas: belgas, franceses, holandeses, ingleses, italianos, jugoeslavos, polacos, portugueses (os Doutores Mário da Silva, Manuel Valadares, Branca Marques e Marques da Silva), romenos, russos, suiços, etc.. Criavam-se assim relações de amizade que favoreciam o desenvolvimento da cooperação internacional na Ciência. Não menos importante era o contacto íntimo que existia no laboratório entre os físicos teóricos e experimentais. Entre os físicos teóricos que mais estreitamente colaboraram com o laboratório, contava-se P. Langevin (antigo assistente de P. Curie), e A. Proca (que iniciou a carreira científica como investigador experimental no *Laboratório Curie*).

---

(1) Um exemplo do primeiro facto transparece na afirmação ousada mas perfeitamente justa do Prof. Jean Perrin, feita em 19 de Abril de 1907, em uma reunião da «*Société de Physique*»:

> «É necessário realizar cem mil gauss em um volume notável, aguardando que se possa mais tarde dispôr de um milhão de gauss, mesmo que para tanto se tenha que gastar o custo de um couraçado». [cf. artigo citado de Cotton e Mabboux, p. 461].

(2) O Doutor S. Rosenblum recordava com bonomia o facto de ter no bolso nesse momento ùnicamente o dinheiro suficiente para pagar a viagem de ida e volta de Paris a Bellevue.

Acerca dos métodos e condições de trabalho no laboratório durante este período, pode dizer-se o seguinte: o trabalho científico realizava-se aí, em geral, individualmente. Era ainda a fase artesanal da investigação científica.

Se a actividade científica era pouco remuneradora financeiramente e ao mesmo tempo oferecia poucas garantias de estabilidade aos que a ela se entregavam, tinha, em contrapartida, o encanto de ser uma profissão apaixonante e autênticamente livre. Não havia horário de trabalho nem férias para os investigadores; mas isso não impedia que cada um trabalhasse o mais que pudesse pois todos estavam animados pela curiosidade científica e pelo desejo de atingir os resultados ambicionados o mais cedo possível.

No final deste período o laboratório estava em uma fase crucial do desenvolvimento da Radioactividade e da Física Nuclear. Acabara de se descobrir a fissão nuclear e a possibilidade de realizar reacções nucleares em cadeia — quando eclodiu a segunda Grande Guerra conduzindo a breve termo à ocupação da França pelos nazis. Era o princípio do êxodo de uma grande parte dos cientistas que nele trabalhavam e cuja vida era posta em perigo pela presença do ocupante.

O abandono do solo da França impôs-se a Rosenblum.

(Conclui no próximo número)

J. SANT'ANA DIONÍSIO
(*Attaché de recherches* do C. N. R. S.)

C. T. R. Wilson, C. H., F. R. S., Nobel Laureate

By the death of C. T. R. Wilson at the age of 90, the last link has been broken with the remarkable group of physicists working in the Cavendish Laboratory, Cambridge at the turn of the century.

«C. T. R.», as he was universally known, was the son of a sheep farmer in the Pentland Hils near Edinburgh. He originally intended to become a doctor but his interest was diverted to physics when he went to Cambridge University. Throughout his long life, he loved to wander among the Scottish mountains and it is not surprising that the whole course of his scientific work developed out of experiences on mountains. The ideas that led to the creation of the cloud chamber were conceived in 1894 on the summit of the highest British mountain, Ben Nevis, as he watched the brilliantly coloured rings of the Brocken Spectre round his shadow, cast on cloud or fog. On his return to the Cavendish Laboratory, he began experiments designed to investigate the optics of the Brocken Spectre. The cloud necessary to reproduce the phenomenon in the laboratory he produced by expanding moist air in a closed vessel. He was immediately led away from his original intention by the accidental discovery that even when all normal condensation nuclei had been removed, he could still produce some droplets provided the expansion was sufficiently great. Soon he had shown conclusively that the condensation nuclei were ions.

Even in their early days, he had begun to consider the possibility of making the ions visible in the positions they occupied immediately after their production and so revealing the tracks of ionizing particles like α and β rays. But it was only after years of experimental work, performed with the highest experimental skill and most remarkable patience that he eventually produced in 1911 that instrument of surpassing elegance, the cloud chamber. His

early cloud chamber photographs are as fine as any produced today and are of great historical significance, for the Wilson cloud chamber was to play a vital part in the development of nuclear and cosmic ray physics.

The discovery in the early condensation experiments that ions were continuously produced in the air even in the absence of any obvious ionizing agency led C. T. R. into another field of research, atmospheric electricity. He devised a series of electrometers to measure the surface density of the earth's charge in fair and disturbed weather and the electric field and field changes in thunderstorms. We owe to him much of our knowledge of the interchange of electricity between the earth and the atmosphere and the explanation of the fact that the electric charge on the earth remains negative and practically constant.

Actually it was an experience in a thunderstorm on the summit of another Scottish mountain in 1895 that drew his attention to the magnitude of the changes in the electric field, that he was later to study so effectively.

After he retired from the Jacksonian Chair in Natural Philosophy at Cambridge in 1934, he returned to Scotland and eventually came to live in a cottage in the hills near his birthplace. He remained very active both mentally and physically. Only three years ago, he published a long paper on thunderstorms in the Proceedings of the Royal Society. Until last year, he continued to make quite difficult climbs in the mountains and took part regularly in meteorological flights with students from Edinburgh University.

C. T. R. was the most gentle, modest and serene of men and inspired in all who knew him a deep and lasting affection.

Department of Natural Philosophy
da Univ. de Edimburgo

BARRAL

Jayme Alves Barata, L.da

Material geral de Laboratório • Aparelhagem científica • Electro-química • Química industrial • Instalações de laboratórios de ensino • Indicadores • Reagentes • Estufas • Aparelhos de pH

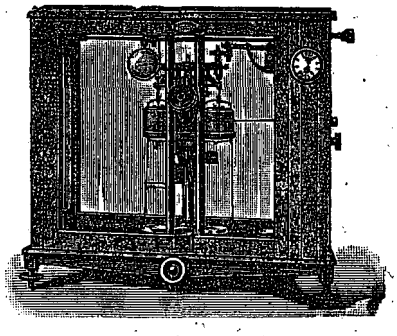
PRODUTOS QUÍMICOS
PARA TODOS OS FINS

Rua Aurea, 124, 1.º—LISBOA

PIMENTEL & CASQUILHO, L.DA

INSTRUMENTOS DE PRECISÃO

MICROSCÓPIOS, MONO E BINOCULARES, BALANÇAS DE PRECISÃO E ANALÍTICAS, CAIXAS DE PESOS, LUPAS, TERMÓMETROS, DENSÍMETROS, CONTA-SEGUNDOS, ETC.



MATERIAL DE VIDRO, PORCELANA E QUARTZO

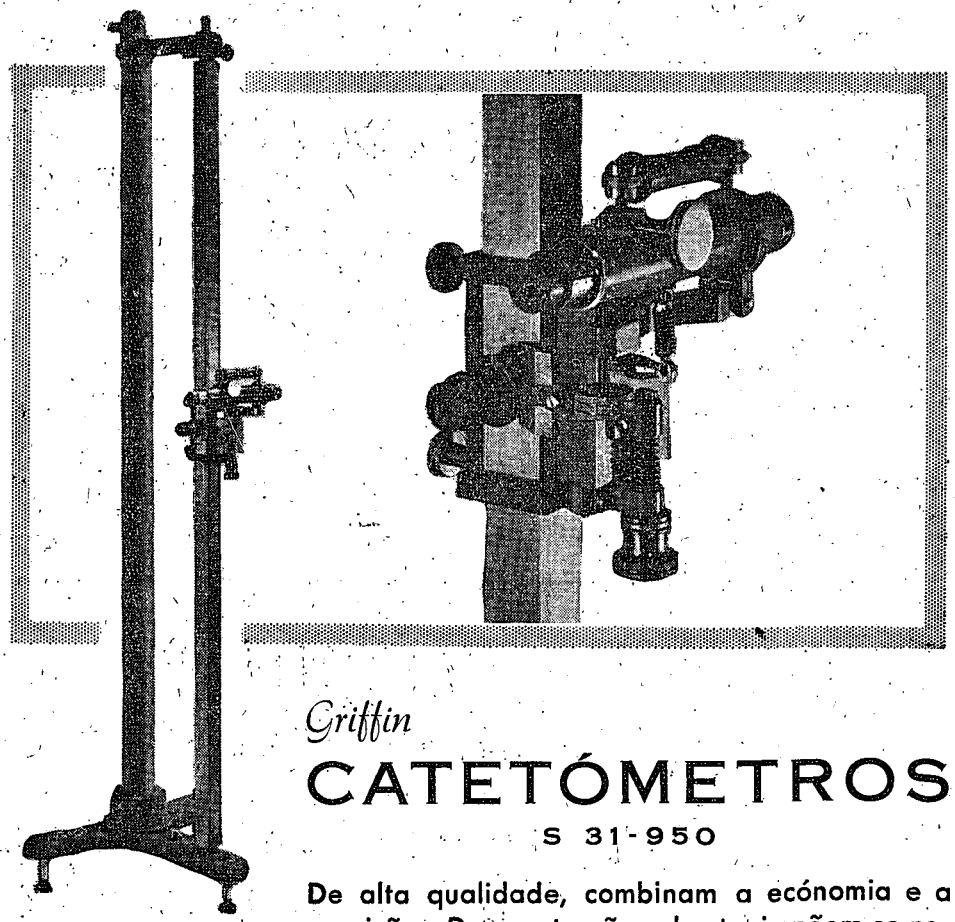
RUA DAS PORTAS DE SANTO ANTÃO, 75

LISBOA

TELEF.: 24314 • TELEG.: TECNA

Anunciar na «Gazeta de Física» é contribuir para a sua prosperidade

ESPECIALISTAS em projectos e construção de instrumentos de precisão para medidas ópticas



Griffin

CATETÓMETROS

S 31-950

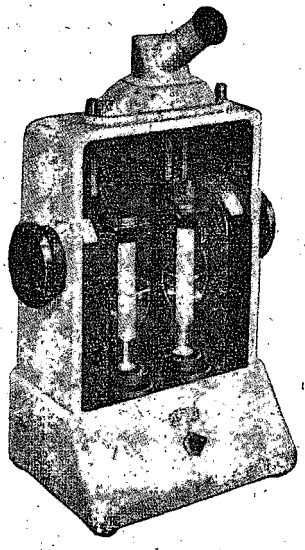
De alta qualidade, combinam a ecónomia e a precisão. De construção robusta, impõem-se nos diversos campos de aplicação

- ★ Nónios de 0,01 ou 0,02 mm
- ★ Escalas de 50 cm e 100 cm
- ★ Escalas de precisão divididas em 0,5 mm
- ★ Níveis sensíveis a 10″
- ★ Para uso vertical e horizontal
- ★ Telescópios com cremalheira e carreto

The Laboratory Furnishers

Ealing Road, Alperton, Wembley, Middlesex, England

Agentes em Portugal:
Equipamentos de Laboratório, Lda.
Rua Pedro Nunes, 45-47 — LISBOA



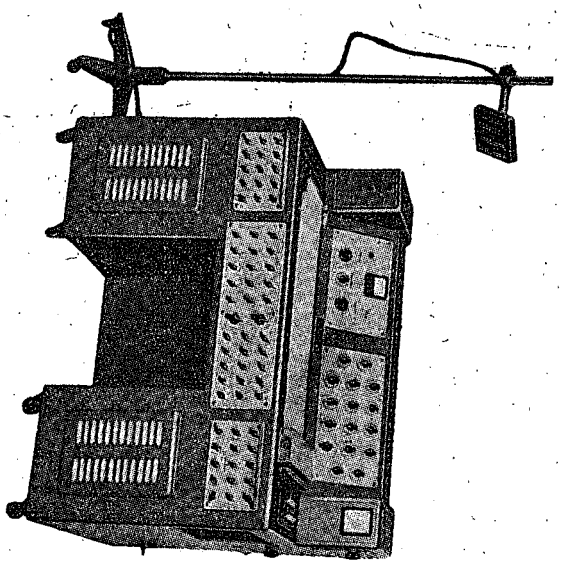
MATERIAL DE LABORATÓRIO:

- MICROSCÓPIOS
- MICRÓTOMOS
- BALANÇAS DE PRECISÃO
- BALANÇAS ANALÍTICAS
- MATERIAL DE VÁCUO
- RAIO X
- CRISTALOGRÁFICO
- ESPECTOGRAFIA
- MAGNETISMO
- RADIOACTIVIDADE
- MICROMANIPULAÇÃO, etc.

ELECTROENCEFALOGRAFO
REEGA-Alvar

APARELHOS DE ELECTRO-
-MEDICINA

E CIRURGIA



ALVES & C.ª (IRMÃOS)

LARGO DO CHIADO, 12-1.º

TELEFONES 27653 E 25362

LISBOA

HILGER WATTS LTD.

EDWAD'S HIGH VACUUM LTD.

BAIRD TATLOCK LTD.

APARELHOS PARA ANÁLISE ESPECTRAL
POLARÍMETROS — REFRACTÓMETROS — ESPECTROFOTÓMETROS, ETC.

TUDO PARA VÁCUO
BOMBAS E APARELHAGEM DIVERSA, UTILIZANDO O VÁCUO.

MATERIAL E APARELHAGEM DE LABORATÓRIOS PARA INVESTIGAÇÃO E INDÚSTRIA.

REPRESENTANTES **C. SANTOS LDA.**
DIVISÃO MARÍTIMA-INDUSTRIAL

Travessa da Glória, 19-3.° **LISBOA**

LIVRARIA ESCOLAR EDITORA

SEDE: Rua da Escola Politécnica, 70
TELEFONE 664040
SUCURSAL: Campo Grande, 111
TELEFONE 767406
LISBOA

Livros para o ensino universitário, liceal, técnico e primário. — Novidades literárias. — Rápido serviço de encomendas de livros. — Secção de papelaria. — Material de desenho, canetas e artigos de escritório.

DISCOTECA

REVUE D'OPTIQUE
THÉORIQUE ET INSTRUMENTAL

★

REVISTA CIENTÍFICO-TÉCNICA PUBLICANDO NUMEROSOS ARTIGOS ORIGINAIS E UMA REVISTA DE REVISTAS

Patrocinado pelo

INST. DE ÓPTICA TEÓRICA E APLICADA E PELO SINDICATO GERAL DE ÓPTICA E DOS INSTRUMENTOS DE PRECISÃO

★

Assinatura, 1 ano (12 números) 700 francos

Direcção e Administração

3 & 5, Boulevard Pasteur, Paris, (15e)

Um livro amigo e digno

DESAGRAVO DUM CRISTÃO PORTUGUÊS

Só com amor, Caridade e Graça terá Paz a Humanidade, sem a desgraça de luta de Classes e Raças pelo Mundo espalhadas

432 páginas e 6 gravuras
É de 45$00: pedidos ao Autor: 40$00

ARTUR SERÊJO

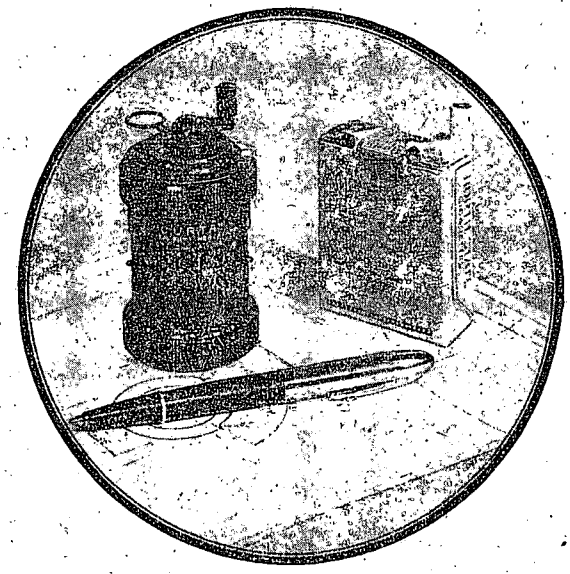
Rua Fernão de Magalhães, 29, 4.º-E
LISBOA — PORTUGAL

INSTITUTO NACIONAL DE GEOFISICA

REVISTA DE GEOFISICA

Dirijase la correspondencia a la Secretaría
Ríos Rosas, 9 — MADRID

OS MAIORES CÁLCULOS



NA MAIS PEQUENA MÁQUINA

* C/ GARANTIA DE FÁBRICA

CURTA

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS
NÚCLEON
EQUIPAMENTOS DE PRECISÃO, L.DA
Av. António Aug. Aguiar, 165
Telefs. 730104/5 — LISBOA

J. A. RIBEIRO & C. L.DA

RUA DO OURO, 222-226

LISBOA

//

Microscópios

Aparelhos de Laboratório

Vidraria de Laboratório

Procurar a

LIVRARIA SÁ DA COSTA

é encontrar o livro que se pretende

Rua Garret, 100 *LISBOA*

TEKTRONIX

Osciloscópio tipo 45

— Uma marca que é garantia de qualidade

— As melhores referências em Portugal

— Assistência técnica assegurada

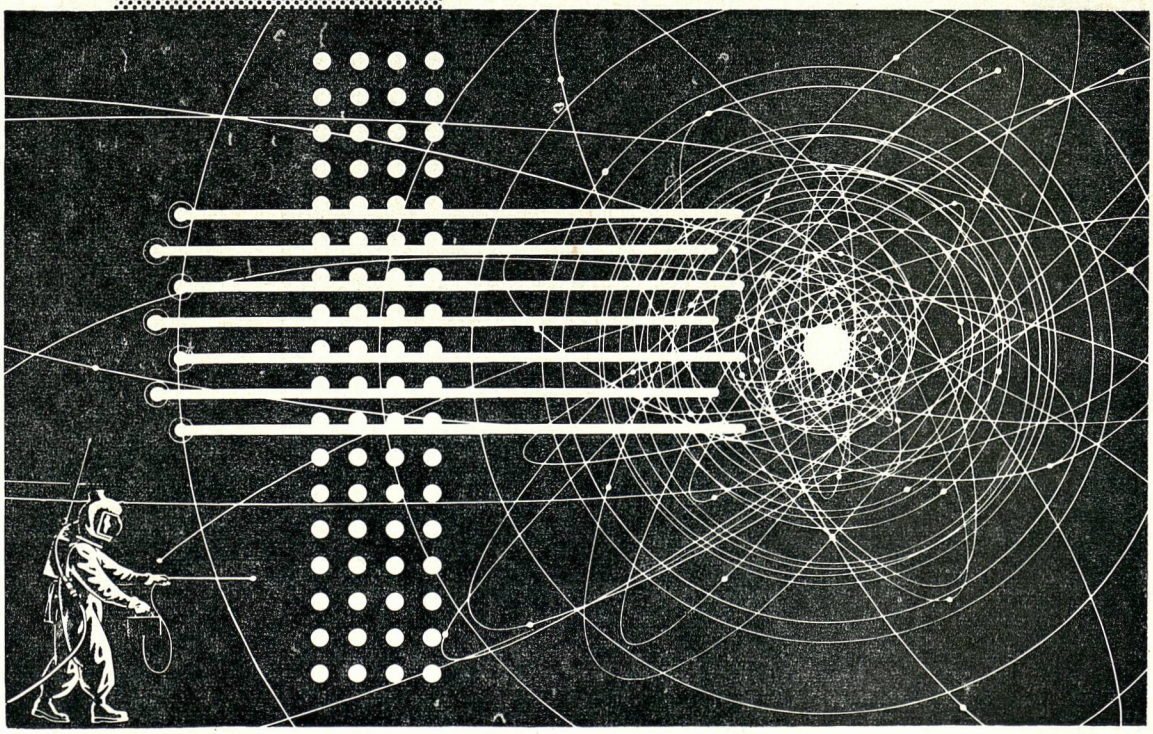
Representantes exclusivos:

Equipamentos de Laboratório, L.da

Rua Pedro Nunes, 47-1.º — LISBOA

Telef. 733436 — 733437

zona perigosa?



a Shell aceita o desafio

O aparecimento da energia nuclear veio trazer novas esperanças a um mundo esfomeado de energia. Contudo só métodos novos conseguem resolver problemas novos. Um deles era o da lubrificação dos novos mecanismos. Os lubrificantes tradicionais expostos por pouco tempo a radiações atómicas relativamente fracas perdiam todas as qualidades e então... a Shell após 4 anos de pesquisas e usando todo o seu potencial de investigação científica conseguiu produzir lubrificantes especiais capazes de suportar doses fortíssimas de radiações durante longos períodos. São os famosos Shell A P L única gama de lubrificantes, capazes de resistir com sucesso a radiações atómicas.

SHELL

NA VANGUARDA DOS LUBRIFICANTES