

P. A. M. DIRAC, 1902-1984

Com a morte de Dirac, ocorrida a 20 de Outubro de 1984, desaparece mais um dos grandes nomes da Física do século XX.

Licenciado em engenharia electrotécnica pela Universidade de Bristol, cidade onde nascera em 1902, Paul Adrien Maurice Dirac obtém depois um doutoramento em Física Teórica na Universidade de Cambridge (1926). Inicia, assim, uma actividade notável, que o leva à eleição como Fellow of the Royal Society (1930), a professor da Universidade de Cambridge (1932)



P. A. M. DIRAC, no início dos anos setenta.

e à cosagração do Prémio Nobel de Física partilhado com Schrödinger (1933).

O seu nome está ligado à equação de onda relativista, que «continha» o spin e momento magnético do electrão; ao conceito de anti-partícula, logo confirmado com a descoberta do positrão; à estatística de campos e partículas; a estudos de ondas de gravitação; à previsão de monopolos magnéticos; etc., etc. Sob outro aspecto, pode dizer-se que há décadas que a sua obra «Principles of Quantum Mechanics», publicada pela primeira vez em 1930, é leitura obrigatória de qualquer aspirante a físico teórico.

Os que conheceram de perto Dirac

não deixaram nunca de sublinhar, para além do rigor do seu raciocínio e argumentação, a sua modéstia e invulgares qualidades humanas, marcadas por uma grande simplicidade.

A Gazeta de Física presta uma homenagem singela à memória de Dirac, publicando a tradução () duma palestra proferida em 1971, por ocasião da entrega do prémio J. R. Oppenheimer.*

«Gostaria de vos falar, em termos gerais, do meu trabalho científico; penso que numa ocasião destas a minha exposição não deve ter carácter técnico. Orientarei a minha palestra de um modo diferente, procurando dar uma ideia do que sente um investigador quando se crê prestes a alcançar um resultado importante, que teria grande impacto no desenvolvimento da Física. Poder-se-ia imaginar que um bom investigador avaliaria a situação com toda a calma, numa atitude lógica, desenvolvendo dum modo totalmente racional as ideias que lhe ocorressem.

A verdade é bem diferente. O investigador não passa de um ser humano e se tem grandes

esperanças tem também grandes receios. Assim, o caminho que percorre é fortemente perturbado, não sendo capaz de evitar que a sua atenção se afaste da via logicamente correcta.

Falarei principalmente da minha experiência pessoal; mas trocas de impressões com outros físicos, alguns muito eminentes, convencem-me que o que vou dizer é uma regra geral, aplicável a todos os investigadores dos fundamentos das teorias físicas. Estes são influenciados pelos seus receios por vezes de um modo determinante.

(*) Solicitada autorização a Gordon and Breach, Science Publishers, Inc.

Presumo que receios semelhantes existiram em outros casos para os quais não existem provas directas. Como exemplo, gostaria de citar, em especial, o caso de Lorentz. Qualquer pessoa que tenha estudado relatividade ter-se-á interrogado por que razão, tendo Lorentz obtido todas as equações básicas necessárias ao estabelecimento da relatividade do espaço e tempo, não conseguiu dar o último passo, obtendo a teoria da relatividade. Realizou todo o trabalho — todos os resultados matemáticos necessários — mas não conseguiu ir mais além; porquê? Suponho que foi impedido pelos seus receios, por um certo tipo de inibição. Teve verdadeiro medo de se aventurar por um caminho inteiramente novo, pondo em causa ideias aceites desde há séculos. Preferiu conservar-se no terreno sólido da sua matemática. Enquanto o fizesse a sua posição seria inatacável; indo mais além não sabia que críticas despertaria.

Foram necessários vários anos e a audácia de Einstein para dar o necessário passo em frente, afirmando a ligação entre espaço e tempo. O que hoje nos parece um pequeno passo em frente era algo de muito difícil naqueles dias. O que acabo de dizer é apenas uma conjectura, mas parece-me que não se deve afastar da verdade. Não encontro qualquer outra explicação para, tendo chegado tão perto de uma grande descoberta, falhar no último passo.

Consideremos agora o desenvolvimento da Mecânica Quântica, iniciado com uma ideia brilhante de Heisenberg. A sua ideia era construir uma teoria à custa de grandezas fornecidas pela experiência em vez de a desenvolver, como até então, a partir de um modelo do átomo em que interviam muitas grandezas não observáveis. Com esta ideia brilhante Heisenberg dava início, efectivamente, a uma nova «filosofia», segundo a qual a Física não deveria afastar-se dos dados experimentais, enveredando pelo uso de grandezas só muito remotamente associadas com a observação. Esta ideia foi maravilhosa e, ao considerar os diversos dados da experiência relativos a espectros atómicos, Heisenberg foi conduzido

a matrizes; foi assim levado a considerar que tais matrizes representavam grandezas físicas relativas ao átomo, tais como coordenadas ou quantidades de movimento. Em breve Heisenberg notou que as suas grandezas físicas não possuíam a propriedade comutativa da multiplicação, $A \times B \neq B \times A$.

Quando Heisenberg se deu conta ficou alarmado. Era uma situação estranha. Os físicos sempre tinham considerado que as variáveis por si usadas verificavam as leis habituais da álgebra. Era «inconcebível» que o resultado do produto de duas entidades físicas dependesse da ordem dos factores. Heisenberg ficou perturbado, receoso que houvesse algum erro de base na sua teoria: a bela ideia inicial teria de ser posta de parte.

Tendo recebido cópia do trabalho de Heisenberg um pouco antes da sua efectiva publicação e tendo-o estudado vi, ao cabo de uma ou duas semanas, que a não-comutatividade era, na realidade, o ponto essencial da nova teoria. Era, de facto, mais importante do que a ideia de construir a teoria à custa de grandezas estreitamente ligadas com os resultados experimentais. Fui assim levado a concentrar-me na ideia de não-comutatividade e a tentar ver como a dinâmica até então usada por todos nós teria de ser modificada para incorporar a não-comutatividade.

Nesta fase eu tinha uma vantagem sobre Heisenberg: não tinha os seus receios. Se a teoria de Heisenberg se desmoronasse isso não me afectaria na medida em que o atingiria a ele; não implicaria que *eu* teria de recomeçar desde o princípio.

Creio ser uma regra geral que o responsável por uma ideia nova não é a pessoa mais indicada para a desenvolver; os seus receios de que algo falhe são demasiado grandes, impedindo-o de abordar o assunto com a objectividade recomendável.

Eu tinha, assim, aquela vantagem sobre Heisenberg. Mas também tinha outras vantagens importantes. Na altura era um estudante pós-graduado, sem qualquer dever que não fosse fazer investigação. Tive a sorte de nascer na boa altura; alguns anos a mais ou a menos

e teria perdido a oportunidade. Mas tudo parecia jogar a meu favor.

Quanto ao problema de modificar a dinâmica clássica de modo a incorporar a não-comutatividade eu conhecia a teoria de Bohr-Sommerfeld — a teoria das órbitas atômicas — que se sabia ter uma ligação directa com uma formulação da Mecânica devida a Hamilton e conhecida havia perto de um século. Descobriu-se que a formulação de Hamilton era justamente a mais adequada para incorporar a não-comutatividade, não sendo difícil achar como conjugar estas duas ideias.

Trabalhava eu neste assunto de modo totalmente independente, após ter tido conhecimento da ideia inicial. Heisenberg colaborava com outras pessoas, em Göttingen, nomeadamente o seu Professor, Max Born, e um jovem estudante pós-graduado, Jordan; creio que estes o auxiliaram imenso a ultrapassar os seus receios. Como consequência, a escola de Göttingen também desenvolveu rapidamente as ideias básicas da Mecânica Quântica. Publicamos os nossos trabalhos de modo independente e quase simultaneamente. Examinando esses artigos iniciais notar-se-á uma apreciável diferença de estilo, pois no meu trabalho a ideia dominante era a não-comutatividade. Para a escola de Göttingen a ideia dominante era o uso de quantidades directamente relacionadas com os resultados experimentais, aparecendo a não-comutatividade como um resultado secundário. No entanto, apesar dos pontos de vista diferentes, não havia qualquer discrepância e obtinhamos, no essencial, os mesmos resultados.

Existia uma outra formulação da Mecânica Quântica, descoberta independentemente por Schrödinger. Este prosseguia segundo ideias diferentes, encontrando também as suas dificuldades. As suas ideias tinham como ponto de partida uma relação notável entre ondas e partículas, descoberta pouco tempo antes por de Broglie. A relação de de Broglie era de uma grande beleza matemática, estando de acordo com a teoria da relatividade. Era bem misteriosa; mas a sua beleza matemática levava a pensar que existiria uma relação essencial

entre as ondas e partículas do seu tratamento matemático.

A relação de de Broglie era aplicável apenas a electrões livres e Schrödinger encarou o problema de a modificar para a tornar aplicável a electrões num campo, nomeadamente aos electrões atômicos. Após algum trabalho, Schrödinger conseguiu obter uma equação, de grande simplicidade e beleza, que parecia correcta. No entanto era necessário aplicá-la para ver se, na prática, resultaria. Aplicou-a ao caso do electrão do átomo de hidrogénio e calculou o correspondente espectro; o resultado não concordava com os dados experimentais. Foi uma grande decepção para Schrödinger. Um investigador, prestes a alcançar algo, via concretizar-se os seus piores receios: uma teoria tão bela, tão promissora, mas que, na prática, não resultava!

O que fez Schrödinger? Ficou tristíssimo. Segundo me contou, abandonou o problema durante alguns meses. Depois, após ter recuperado um pouco da sua depressão, voltou ao trabalho e notou que se aplicasse as suas ideias com menor rigor, ignorando efeitos relativistas, a teoria passava a estar de acordo com a observação. Publicou então o seu estudo na forma menos rigorosa, conseguindo provar a sua concordância com a observação.

Estabeleceu, assim, uma formulação alternativa da Mecânica Quântica. Os investigadores interessados em breve descobriram a sua equivalência à formulação iniciada por Heisenberg. Tratava-se de dois aspectos da mesma teoria, a nossa actual Mecânica Quântica.

Na realidade foi um excesso de timidez que levou Schrödinger a abandonar a sua equação relativista, que não estava de acordo com as observações do espectro do hidrogénio. A equação foi redescoberta, pouco tempo depois, por Klein e Gordon, que a publicaram apesar do desacordo com a observação. O insucesso da equação inicial de Schrödinger resultava de não ter em consideração o *spin* do electrão, então desconhecido. Havia alguns indícios, ainda vagos, fornecidos pela experiência; provavelmente não eram conhecidos de Schrödinger.

Klein e Gordon publicaram a equação relativista que era, na realidade, a mesma

equação a que Schrödinger chegara anteriormente. A única contribuição de Klein e Gordon, sob este aspecto, foi terem a ousadia de não se deixarem perturbar pela falta de acordo com as observações. Assim a equação é conhecida como equação de Klein-Gordon, apesar de ter sido descoberta, um ou dois anos antes, por Schrödinger. A equação tem algum interesse na descrição de partículas sem *spin*, mas não é, de todo, aplicável ao electrão.

Assim começou a Mecânica Quântica. Possuíamos uma teoria matemática bem definida e as pessoas foram depois, gradualmente, levadas a encontrar a interpretação das equações. Tinha de ser uma interpretação estatística. Muita gente se lançou à tarefa; os problemas não eram, na realidade, muito difíceis, uma vez firmemente estabelecido o ponto de partida.

Só quando se considerava correcções de natureza relativista surgiam dificuldades sérias. Como afirmei, a equação de Schrödinger só era válida na aproximação não-relativista. Ao tentar usar a equação relativista de Klein e Gordon não só se obtinha desacordo com a experiência como se tinha, igualmente, desacordo com a interpretação lógica da equação. Aplicando as regras que tinham sido estabelecidas para a Mecânica Quântica parecia que a equação de Klein-Gordon conduzia a probabilidades negativas — um resultado obviamente absurdo.

Havia necessidade de modificar a equação de Klein-Gordon. Ponderei o problema durante algum tempo e acabei por imaginar outra equação que ultrapassava a dificuldade lógica das probabilidades negativas. Em breve vi que a nova equação continha correctamente o *spin* e o momento magnético do electrão; o que era excelente.

Surgiu então a pergunta, será que explica correctamente o espectro do hidrogénio? Fiz o correspondente cálculo, considerando as correcções relativistas apenas em primeira ordem, e obtive acordo com os resultados experimentais (no mesmo grau de aproximação). O que seria então natural fazer seria examinar ordens superiores e verificar se o

acordo com a experiência se mantinha. Mas não fiz tal; simplesmente porque tive medo. Receava que não houvesse acordo. Quiçá haveria que abandonar a ideia base se não houvesse acordo e eu simplesmente não conseguia enfrentar tal perspectiva. De modo que escrevi apressadamente um artigo contendo a aproximação de primeira ordem e mostrando que, pelo menos até essa ordem, havia acordo entre teoria e observação. Desse modo eu garantia um certo sucesso, embora limitado, algo independente do que o futuro pudesse trazer. Viria a ser Darwin quem preencheria a lacuna que eu deixara. É claro que Darwin podia abordar o assunto sem os meus receios. Realizados os cálculos e encontrado acordo, foi com grande alívio que recebi a notícia.

Se examinarem o meu primeiro artigo sobre este assunto (suponho que hoje em dia ninguém faz isso, salvo os que se dedicam à história da ciência) há algo que não deixarão de notar. Uma equação que escrevi contém a seguinte combinação de termos

$$w^2/c^2 + p_1^2 + p_2^2 + p_3^2$$

Qualquer pessoa minimamente informada dirá que algo está errado: deveria haver sinais menos nos vários *p*'s. Houve um erro de impressão, concluirão. Mas um erro tão evidente só uma pessoa muito descuidada o poderia deixar passar; e eu era muito cuidadoso com tais coisas, naqueles tempos.

A explicação é que não se trata de um erro de impressão; a forma da equação exprime, de novo, um receio. O trabalho foi feito nos anos vinte, quando as ideias da relatividade ainda eram recentes. Não tinham tido grande impacto no mundo científico até ao fim da primeira guerra mundial; nessa altura o impacto foi enorme. Toda a gente falava de relatividade, não apenas os cientistas mas também filósofos e jornalistas. Creio que nunca houve na história da ciência uma ocasião em que uma ideia tenha despertado o interesse do grande público como aconteceu com a relatividade naqueles tempos, marcados pelo alívio associado ao findar de uma guerra.

A ideia básica da relatividade era uma «simetria» entre espaço e tempo. Mas essa «simetria» não chega a ser uma simetria completa. Para a tornar perfeita é necessário mudar alguns sinais; isso pode conseguir-se introduzindo $i = \sqrt{-1}$ em certas grandezas físicas (sempre que se tem um quadrivector é necessário usar $\sqrt{-1}$ em algumas componentes). Quando se utiliza quantidades modificadas dessa maneira tem-se «simetria» completa entre espaço e tempo. Os primeiros relativistas estavam marcados por essa simetria entre espaço e tempo, que queriam manter patente a qualquer preço. Assim, usava-se frequentemente a notação envolvendo $\sqrt{-1}$ para obter «simetria» completa, resultando expressões como a referida. Era uma notação corrente; verifico, pelas minhas notas, que a usava constantemente. Era tão corrente que as pessoas não se davam ao trabalho de explicar; sempre que a usavam consideravam isso como subentendido. Podia ver-se, a partir dos sinais, se $\sqrt{-1}$ devia ou não ser associado às coordenadas, sem necessidade de gastar tempo a explicar. Assim o que hoje — quando não é sentida a necessidade de preservar a «simetria» do espaço e tempo — parece um erro de impressão, não era um erro mas uma consequência do modo como a relatividade se desenvolvera.

Como prosseguiu o desenvolvimento da teoria quântica? Dispunha-se de uma equação relativista que conduzia, no caso simples do átomo de hidrogénio, a um excelente acordo com a experiência. Mas não tardou muito que surgisse nova dificuldade: de acordo com a equação, o electrão teria estados de energia negativa. Claro está que isso se afigurava de todo impossível; e, por certo, nunca observado experimentalmente. Parecia que se resolvera uma dificuldade para cair noutra.

Acontece muitas vezes na evolução da ciência que, ao resolver uma dificuldade, se encontra de imediato nova dificuldade, a ponto de, à primeira vista, se poder pensar que não houve qualquer progresso. Mas houve, pois a nova dificuldade situa-se num plano mais recuado. Uma reflexão cuidadosa permite, em geral, ver

que a «nova» dificuldade sempre existira. Simplesmente estava, até então, encoberta por uma dificuldade mais grosseira; quando esta é resolvida, as pessoas passam a concentrar a atenção na «nova» dificuldade.

Quando surgiu a dificuldade dos estados de energia negativa tratava-se de um exemplo de dificuldade que não era verdadeiramente nova; sempre estivera presente. A dificuldade ocorre em qualquer teoria relativista, mesmo na teoria clássica de Lorentz. Porém isso não tinha qualquer importância pois um electrão não podia ter uma transição para um estado de energia negativa. Existia continuidade, que não permitia tais transições. Mas numa teoria quântica essas transições eram possíveis e a dificuldade não podia ser ignorada como anteriormente.

Descobri que não era, na verdade, muito difícil evitar a dificuldade. A solução foi sugerida pela teoria da valência em que é bem conhecida a ideia de electrões formarem «camadas» completas, sem qualquer contribuição para a valência. Tem-se contribuição de um electrão fora das camadas completas, bem como contribuição de uma camada incompleta ou seja uma lacuna numa camada completa.

Podia-se aplicar a mesma ideia aos estados de energia negativa, admitindo que todos esses estados estivessem normalmente ocupados, tal como as camadas completas de um átomo estão preenchidas. Assim, um electrão ordinário, de energia positiva, não poderia fazer uma transição para um estado de energia negativa. Contudo seria de esperar que, em certas condições, pudesse existir uma lacuna nos estados de energia negativa; sendo necessário achar uma interpretação para tais lacunas.

Vê-se imediatamente que uma tal lacuna se comportará como uma partícula, com carga e massa positiva. Quando me ocorreu esta ideia pareceu-me, desde o início, que existiria simetria entre lacunas e electrões, devendo as lacunas ter a mesma massa que os electrões. Como interpretar então as lacunas? Seriam partículas com carga positiva. As únicas partículas de carga positiva então conhecidas eram os prótons. Havia décadas que os físicos

vinham construindo a teoria da matéria à custa de electrões e protões, bastando-lhes duas e só duas partículas fundamentais. Os electrões tinham carga negativa, os protões carga positiva; era o suficiente. Rutherford avançara a conjectura que poderia existir uma terceira partícula, o neutrão. Mas era apenas uma conjectura, de que por vezes se falava mas que ninguém tomava muito a sério.

Nessa base — as únicas partículas na Natureza eram electrões e protões — parecia-me que as lacunas tinham de ser os protões. Mas isso era preocupante, pois os protões tem uma massa muito superior aos electrões. Como explicar tal diferença de massa?

Durante algum tempo esforcei-me por encontrar uma explicação. Esperava que talvez as forças de Coulomb entre os electrões pudessem conduzir a uma relação entre todos os electrões em estados de energia negativa, originando uma diferença de massa; se bem que não antevisse como isso podia acontecer. Mesmo assim, pensei que a ideia básica podia ter interesse, de modo que publiquei-a como uma teoria de electrões e protões, deixando por explicar como podiam os protões ter uma massa tão diferente dos electrões.

A ideia foi aproveitada por Herman Weyl. Ousadamente, afirmou que as lacunas tinham que ter uma massa igual à dos electrões. Acontece que Weyl era um matemático, estando muito longe de ser um físico. Apenas o interessavam as consequências matemáticas de uma ideia, deduzindo o que podia ser obtido a partir das várias simetrias. Ora esta abordagem matemática conduzia directamente à conclusão que lacunas e electrões tinham a mesma massa. Weyl publicou a conclusão sem quaisquer comentários quanto às implicações do ponto de vista físico. Provavelmente isso não o interessava de todo; o seu objectivo era unicamente ter coerência do ponto de vista matemático.

Nesta altura teve lugar uma contribuição de Oppenheimer. Aceitou a conclusão de Weyl de que lacunas tinham de ter massa igual à dos electrões e encarou de frente o facto de que as lacunas não eram observadas na prática.

Oppenheimer afirmava que havia alguma razão, que não compreendíamos, impeditiva da observação das lacunas. Concordava que as lacunas nada tinham a ver com protões, devendo haver alguma razão «misteriosa» para a sua não ocorrência na Natureza.

Na realidade, com esta sua hipótese, Oppenheimer ficara bem perto da verdade. A razão por que as lacunas não eram observadas era simplesmente por os experimentadores não as procurarem no local certo ou por, tendo-o feito, não terem reconhecido o que viam.

Recordo-me de, nesses tempos recuados, mesmo antes da teoria de electrões e protões, conversar com colegas que, no Cavendish Laboratory, observavam «rastos» de partículas em campos magnéticos; diziam eles que, por vezes, observavam um electrão que «entrava» na fonte (radioactiva). Consideravam tais ocorrências como casualidades. Ninguém pensava que valeria a pena examiná-las com mais atenção. A ideia de existir uma nova partícula emitida pela fonte, em vez de um electrão ordinário «entrando» na fonte, não se harmonizava com as atitudes mentais de então. Creio que ninguém tinha a mais remota ideia que tal pudesse acontecer. Tinham à sua frente comprovação experimental da existência das novas partículas de carga positiva e massa igual à do electrão, mas não conseguiam interpretar o que viam.

Foram necessários alguns anos de progresso na experimentação para ser possível comprovar a existência dos positrões. Blackett foi o primeiro a obter evidência concreta da existência do positrão, mas teve receio de publicar. Queria uma confirmação; tendo sido, na realidade, cauteloso em excesso. Viria a ser Anderson o primeiro a publicar resultados e a ser reconhecido como o descobridor do positrão.

Quando se recorda aqueles tempos, chama a atenção a relutância das pessoas em postular a existência de uma nova partícula; tanto os teóricos como os experimentadores. Só perante evidência directa e irrefutável as pessoas eram forçadas, contra-vontade, a postular uma

nova partícula. O clima mudou totalmente desde esses dias. Presentemente novas partículas são propostas ou postuladas constantemente, em grande número. Há hoje cem ou mais. As pessoas apressam-se a publicar argumentos a favor de uma nova partícula, quer provenham da experiência quer de uma ideia teórica mal-acabada.

Aceitar o positrão foi um primeiro passo bem difícil. Foi seguido de perto pela descoberta do neutrão, confirmando a previsão de Rutherford, feita anos antes; mais tarde foram descobertos o neutrino e vários mesões.

Foi nesses tempos recuados que as bases da Mecânica Quântica foram estabelecidas. Iniciou-se a construção de uma teoria que se revelou excelente para explicar todos os fenómenos atómicos desde que não digam respeito a distâncias muito pequenas ou a energias demasiado altas. Quando se avança nessas direcções encontra-se novas dificuldades, presentindo-se que faltam ainda as ideias básicas que permitirão ultrapassar tais dificuldades.

O trabalho realizado desde o estabelecimento daquelas ideias básicas foi certamente importante, mas deixou de ter o mesmo carácter «fundamental». Foram deduzidas consequências das ideias iniciais e examinados os limites da sua aplicabilidade. As dificuldades resultam de a interacção entre partículas e campos ser demasiado intensa para permitir o desenvolvimento de uma teoria satisfatória. Há necessidade de recorrer a diversos tipos de artifícios para desenvolver os cálculos; as teorias tornam-se, em maior ou menor grau, «mantas-de-retalhos», carecidas de bases sólidas.

Presentemente subsistem dificuldades fundamentais. Para lhes escapar seria necessário alguém como um novo Heisenberg. Os experimentadores continuam a progredir, acumulando dados e desafiando os físicos teóricos a construir teorias que os expliquem.

A minha contribuição pessoal desde aqueles tempos recuados tem sido pouco importante e creio que não é necessário descrever pormenores salvo mencionar que, após a descoberta

do positrão, fui levado a pensar numa nova partícula, o monopolo magnético. Subjacente a um tal monopolo há um tratamento matemático de grande beleza e ficaríamos bem felizes se se viesse a provar que na Natureza existem, de facto, monopolos. Contudo não tenho receios se os monopolos não forem encontrados. Se aquele esquema matemático não for aplicável à Natureza isso não terá qualquer importância, pois é um trabalho autónomo, que pode ser posto de lado sem atingir as ideias principais da teoria quântica.

É ao desafiar as ideias fundamentais que se tem a grande expectativa e os grandes receios de que algo não resulte; uma situação desse tipo não voltou a repetir-se. Poder-se-á chamar aos anos que se seguiram a 1925 a Idade de Ouro da Física — em que as nossas ideias básicas se desenvolviam com grande rapidez e as tarefas chegavam para todos. As limitações das ideias estabelecidas nessa Idade de Ouro tornam-se agora claras e aguardamos com esperança uma nova Idade de Ouro, iniciada por alguma ideia drasticamente nova e conduzindo, mais uma vez, a um período de rápido desenvolvimento, pleno de grandes esperanças e de receios».

Ao leitor interessado pode recomendar-se: P. A. M. Dirac, Theory of electrons and positrons, Nobel Lecture, December 12, 1933 (incluída em Nobel Lectures, Physics, 1922-41, Elsevier Pub. Co., 1965); P. A. M. Dirac, The Evolution of the Physicist's Picture of Nature, Scientific American 208 (5), 45-53, 1963 (incluído em Readings in the Physical Sciences and Technology, vol. 3, 801-810, W. H. Freeman and Co.); P. A. M. Dirac, Methods in Theoretical Physics, Second evening lecture in the series «From a Life of Physics» at the International Symposium on Contemporary Physics, Trieste, 1968 (Special Supplement of IAEA Bulletin, Vienna, 1969); «Aspects of Quantum Theory», editado por A. Salam e E. P. Wigner e dedicado aos 70 anos de Dirac (Cambridge University Press, 1973).

(J. M. ARAÚJO)