

A EVOLUÇÃO DA FÍSICA E A SUA RELAÇÃO COM O
ARCABOUÇO CONCEITUAL DO INTELLECTO OCIDENTALMARCELO AFFONSO MONTEIRO¹

Rua Interlagos, 64 - Jacarepaguá

21321 Rio de Janeiro, RJ

RESUMO

O presente trabalho objetiva analisar a evolução dos paradigmas da Física, desde a Mecânica Newtoniana até a Física Contemporânea, com seus dois pilares fundamentais: a teoria da relatividade e a teoria quântica. A teoria da relatividade é compreendida como uma superação da Mecânica Newtoniana, que, ao abandonar a premissa da absolutização do tempo e da massa, contidas nesta última, inaugura uma nova leitura do Universo. A teoria quântica (entendida como a interpretação dos fenômenos quânticos dada pela Escola de Copenhague) é compreendida como uma ruptura ainda mais radical, colocando em xeque o pressuposto metafísico que embasa toda a ortodoxia da Ciência, qual seja a concepção de ser o comportamento do Universo regido por leis regulares e imutáveis.

Nos Principia Mathematica Philosophiae Naturalis (Londres, 6 de julho de 1686), Newton formulou um conjunto axiomático de absoluta consistência interna, um sistema fechado no qual cada conceito admitia um simbolismo matemático, sendo as inter-relações entre os diferentes conceitos univocamente representadas por equações matemáticas envolvendo seus respectivos simbolismos. Todo o sistema era admitido como uma representação que seria intrínseca à Natureza em sua totalidade, independentemente, portanto, de um dado espaço ou de um dado instante de tempo. Desta forma, o sistema newtoniano foi admitido como acabado: durante dois séculos, a grande preocupação dos físicos foi estendê-lo a domínios experimentais cada vez mais amplos.

A aplicação dos conceitos newtonianos à teoria do calor, com o estabelecimento da chamada Mecânica Estatística, trouxe um conceito externo ao edifício newtoniano. A Mecânica Estatística, criada por Maxwell, Boltzmann e Gibbs, tinha como ponto de partida a

¹ Especialista em Políticas Públicas e Gestão Governamental, Secretária Nacional do Trabalho, Ministério do Trabalho e da Previdência Social.

aplicação de métodos estatísticos para a determinação da distribuição de probabilidades referente aos movimentos das partículas de sistemas macroscópicos, ignorando os movimentos individuais de cada partícula. Determinaram-se, assim, a partir das leis de Newton, propriedades estatísticas dos sistemas de partículas, tais como a sua distribuição de velocidades ou o tempo médio entre colisões, obtendo-se as leis termodinâmicas sob a forma de leis relativas à distribuição dos movimentos das partículas. No decurso da descoberta destas leis, os físicos conceberam uma variável macroscópica — a entropia — que representava a medida quantitativa do nível de desorganização de um sistema físico. De acordo com um corolário da segunda lei da Termodinâmica — a desigualdade de Clausius —, a entropia sempre aumenta num sistema físico fechado. Apesar de ser um conceito estatístico, a entropia se insere numa interpretação determinista do Universo — as leis da Termodinâmica foram descobertas por físicos ligados ao determinismo, a partir de pressupostos deterministas. Entretanto, este conceito representa um avanço em relação ao sistema newtoniano. Ocorre que a segunda lei da Termodinâmica não pode ser deduzida apenas a partir das leis clássicas do movimento, o que parece contradizer o próprio objetivo da Mecânica Estatística, que consistia em deduzir as leis da Termodinâmica a partir das leis de Newton.

Através da descrição microscópica de um sistema físico em termos do movimento individual de suas partículas, a partir das leis de Newton, não poderia haver distinção entre passado e futuro. Em termos microscópicos, o tempo pode ter qualquer dos sentidos. Contudo, a lei do aumento da entropia direciona o tempo, impondo-lhe um sentido capaz de distinguir entre passado e futuro. Em outras palavras, as leis microscópicas — como a aplicação das leis de Newton

aos movimentos individuais das partículas de um sistema — são in-
variantes em relação à reversão do tempo, enquanto que as leis ma-
croscópicas — como a lei do aumento da entropia — não o são. As-
sim, é matematicamente impossível deduzir a segunda lei da Termodinâ-
mica, que estabelece o conceito de entropia, a partir das leis de
Newton.

O conceito de entropia introduz uma diferença qualitativa en-
tre o mundo microscópico e o mundo macroscópico, invalidando a filo-
sofia do reducionismo material. Segundo esta, o mundo ao redor dos
seres humanos comportaria vários níveis de organização, sendo que a
estrutura de cada nível poderia ser compreendida a partir das intera-
ções verificadas no nível antecedente. No nível mais baixo, estariam
as partículas subatômicas, a partir das quais se poderia compreender
as propriedades químicas dos átomos e moléculas. O comportamento das
moléculas explicaria o das células e, a partir do comportamento des-
tas, poder-se-ia determinar o comportamento dos seres humanos indivi-
duais. Este comportamento, por sua vez, determinaria a ordem social
e as instituições, as quais explicariam finalmente os acontecimentos
históricos. Assim, de acordo com a filosofia do reducionismo materi-
al, a História seria, em princípio, redutível às interações subatômi-
cas.

A dicotomia entre o conceito de entropia e o reducionismo
material é, em realidade, uma dicotomia resultante das limitações do
intelecto humano: se desejamos compreender um sistema macroscópico
a partir de seus componentes microscópicos, o que fazemos é tomar va-
lores médios relativos ao comportamento destes componentes (partícu-
las). De fato, este é o procedimento da Mecânica Estatística. Contu-

do, tal imposição intelectual — trabalhar com médias, ao invés de trabalhar com os movimentos individuais de todas as partículas — apaga uma imensa quantidade de informação e é esta perda de informação, que ocorre necessariamente quando se trabalha com valores médios, que acarreta o aumento da entropia e torna o processo de compreensão do sistema macroscópico qualitativamente diferente do processo de compreensão do sistema microscópico que o constitui. Em outras palavras, só se poderia determinar precisamente o comportamento de um sistema macroscópico a partir das partículas que o constituem, se se pudesse conhecer com precisão todas as interações que ocorrem entre estas partículas (no caso das partículas subatômicas, a teoria quântica acena, como se verá adiante, com a total impossibilidade de se efetuar tal coisa). Não sendo possível conhecer completamente tais interações, resta apenas a possibilidade de compreender o sistema macroscópico a partir de uma análise estatística do comportamento de suas partículas, recaindo-se na descrição termodinâmica do sistema, na qual desponta o conceito de entropia e a irreversibilidade do tempo.

O conceito de entropia, poder-se-ia dizer, é uma necessidade do pensamento ocidental. A cultura ocidental, com o seu conteúdo individualista, não poderia conceber a morte de um ser humano como um movimento casual de átomos e moléculas, mas apenas como uma transformação irreversível de um conjunto particularíssimo de moléculas intitulado corpo humano. O conceito de entropia permite ainda que se atribua um caráter místico — embora sob a sombra da Ciência — a este conjunto, caráter que emana da admiração provocada pelo seu altíssimo conteúdo anti-entrópico. A entropia permite, portanto, diferenciar marcadamente o conjunto de átomos e moléculas intitulado corpo

humano de todos os outros conjuntos de átomos e moléculas existentes no Universo, o que atende às necessidades da cultura ocidental.

Outra questão delicada para o sistema newtoniano surgiu a partir dos trabalhos de Faraday e Maxwell sobre o campo eletromagnético. Enquanto Newton tomava a força gravitacional como pressuposto, Faraday e Maxwell faziam dos próprios campos de força seu objeto de estudo, procurando estabelecer equações de movimento para os campos e não para os corpos sobre os quais estes atuam.

Com Maxwell, os campos de força tornaram-se conceitos com um grau de realidade comparável aos dos corpos no sistema de Newton, o que gerou grande polêmica entre os físicos, dispostos a tudo para salvaguardar a segurança intelectual que o sistema newtoniano, concebido para açambarcar sem omissões ou exceções todo o Universo, lhes dava. A solução encontrada foi tomar as equações de Maxwell para o campo eletromagnético como referentes à deformação de um meio elástico hipotético denominado éter, denominação atribuída de modo a sugerir a existência de um meio tão leve e rarefeito que poderia penetrar nos corpos, sendo impossível de ser visto ou sentido. Desta forma, os físicos preferiram criar um conceito irreal, já concebido para, em princípio, não poder ser refutado experimentalmente (a refutação experimental do conceito, no entanto, acabaria ocorrendo) a suportar a angústia e o caos intelectual que adviriam de se encontrarem lacunas no sistema newtoniano (que, afinal de contas, forneceu aos físicos, durante dois séculos, uma couraça intelectual resistente a todos os novos dados experimentais obtidos por eles durante este período).

Tomar as equações de Maxwell como referentes ao éter envol-

via, contudo, um problema: sendo a velocidade da luz através do éter um elemento central nessas equações (o próprio Maxwell não teve a audácia de postular que um campo eletromagnético não necessitaria de um meio material para se propagar, preferindo, como os demais físicos, a interpretação do éter), tais equações referiam-se a um sistema particular de referência, o sistema do éter. Contudo, de acordo com este raciocínio, os observadores que estivessem em movimento relativamente a este sistema perceberiam efeitos diferentes. Portanto, as leis da Eletrodinâmica somente seriam percebidas da mesma forma por observadores que estivessem em repouso em relação ao éter. Assim, o conceito de éter, criado exatamente para evitar um paradoxo em relação ao sistema newtoniano — paradoxo que seria representado pela existência de campos independentemente de meios materiais — gerava um outro: por que as leis da Mecânica Newtoniana independiam do movimento relativo uniforme entre os observadores, enquanto que as leis da Eletrodinâmica dependiam de estar ou não o observador em repouso em relação ao éter?

Os físicos realizaram experiências para tentar medir a velocidade do éter. A mais famosa delas foi a de Michelson-Morley (1881), que partia de um pressuposto simples: se a luz se move através do éter com velocidade constante, conforme as equações de Maxwell sugerem, então um raio de luz enviado na direção do movimento da Terra e em seguida refletido de volta ao ponto de partida deverá chegar mais tarde do que um raio sob as mesmas condições que percorrer a mesma distância movendo-se perpendicularmente ao movimento da Terra. Contudo, por mais que a experiência fosse repetida e embora a aparelhagem de Michelson e Morley pudesse medir um movimento em relação

ao éter de até mesmo alguns quilômetros por segundo, nenhuma diferença foi encontrada nos tempos de chegada dos raios de luz.

Aos poucos, os físicos perceberam que nenhuma experiência era capaz de demonstrar o movimento da Terra através do éter. Na última década do século XIX, o holandês Lorentz e o irlandês Fitzgerald sugeriram independentemente que o movimento através do éter deveria encolher as réguas e retardar a velocidade dos relógios na medida exata para que o movimento não pudesse ser determinado. Contudo, de acordo com este raciocínio, como assinalou o francês Poincaré, o éter, caso existisse, jamais poderia ser detectado. Não sendo possível resolver o problema da existência ou não do éter, pareceu razoável aos físicos considerar somente os movimentos relativos, ao invés dos absolutos.

Lorentz e Poincaré fizeram a última tentativa desesperada de salvar o conceito de éter e evitar assim uma dolorosa revisão do sistema newtoniano. Isto, contudo, tornou-se inevitável a partir do famoso artigo de Einstein de 1905, enunciando a teoria da relatividade restrita.

A teoria da relatividade restrita, a qual torna sem sentido o conceito de éter, tem dois postulados básicos. O primeiro postulado afirma que não é possível detectar um movimento uniforme absoluto, ou seja, que a idéia de movimento uniforme só faz sentido com relação a um referencial. O segundo postulado afirma a constância absoluta da velocidade da luz, cujo valor independe do referencial.

A partir dos dois postulados básicos da teoria da relati
vidade restrita, Einstein deduziu matematicamente numerosas conse
quências completamente à margem do sistema newtoniano. Destas, as
mais importantes são:

(1) Contração do comprimento: ao medir o comprimento de um objeto em movimento uniforme em relação a ele, um observador encontra um valor menor do que o que seria obtido caso o objeto estivesse em repouso em relação a ele. O efeito é tão mais pronunciado quanto mais próxi
ma da velocidade da luz estiver a velocidade relativa entre o objeto medido e o observador. À medida que esta velocidade se aproxima da velocidade da luz, as dimensões do objeto que estiverem na direção do movimento relativo objeto/observador tendem, aos olhos do observador, a se anular.

(2) Dilatação do tempo: ao observar um relógio em movimento uniforme relativamente a ele, um observador conclui que tal relógio move-se mais lentamente do que o seu próprio. À medida que a velocidade rela
tiva se aproxima da velocidade da luz, o tempo marcado pelo relógio em movimento tende, segundo as conclusões do observador, a parar. Ao contrário da contração do comprimento, o conceito de dilatação do tempo tem um caráter absoluto. Imagine-se um astronauta cuja nave deixe a Terra a uma velocidade próxima à da luz. Todos os corpos ce
lestes serão vistos por ele como linhas praticamente sem dimensões, em função da contração do comprimento. Contudo, caso a nave desacele
re, as formas destes corpos celestes parecer-lhe-ão cada vez mais próximas daquelas exibidas nos livros de Astronomia. Portanto, todas as consequências da contração do comprimento são revertidas quando cessa o movimento relativo com velocidade próxima à da luz. O mesmo

não se dá com a dilatação do tempo. Ocorre que, caso o astronauta regresso à Terra depois de viajar anos (medidos segundo os relógios da nave) movendo-se em relação à Terra com uma velocidade próxima à da luz, verificará ter envelhecido muito menos do que as pessoas na Terra. Talvez descubra que seu filho agora aparenta ser seu pai e assim por diante. Em outras palavras, a dilatação do tempo tem consequências absolutas e não apenas relativas. Isto é um aparente paradoxo, já que, aos olhos do astronauta, enquanto viajava, em relação à Terra, a uma velocidade próxima à da luz, o tempo na Terra parecia-lhe praticamente parado em relação ao seu (às pessoas da Terra, ao contrário, parecia que o tempo na nave havia praticamente parado em relação ao tempo da Terra). A chave do enigma é o movimento acelerado correspondente à aceleração da nave até uma velocidade relativa à Terra próxima à velocidade da luz; na primeira parte da viagem, e correspondente à desaceleração a partir desta velocidade, quando do regresso da nave à Terra. Estas acelerações e desacelerações não são experimentadas pelas pessoas que ficaram na Terra. São elas que introduzem a diferença de envelhecimento entre o astronauta e os que ficaram na Terra, diferença esta que contrariaria, não fosse pela existência das referidas acelerações e desacelerações, a idéia intuitiva de que, no espaço, o movimento da nave é apenas relativo ao da Terra, não devendo existir, portanto, nenhuma assimetria absoluta entre eles. O conceito de dilatação do tempo é, de longe, a implicação da teoria da relatividade restrita mais vulgarizada na cultura de massas ocidental, em função da sua ampla utilização na literatura e no cinema de ficção científica.

(3) Correção do conceito galileano de velocidade relativa: se dois

corpos dotados de movimento retilíneo uniforme se movem segundo uma mesma reta, em sentidos opostos, sua velocidade relativa não é a soma de suas velocidades tomadas em relação a um mesmo referencial, mas menor, e tão menor quanto maior for a razão entre o produto de suas velocidades (medidas em relação ao mesmo referencial) e o quadrado da velocidade da luz. Assim, se dois corpos movem-se, aproximando-se em linha reta, com velocidades, medidas num dado referencial, de 200.000 km/s, sua velocidade relativa, medida neste referencial, não é de 400.000 km/s (maior, portanto, que a velocidade da luz, a qual apresenta o mesmo valor independentemente do referencial em que é medida, de acordo com o primeiro postulada da relatividade restrita), mas de apenas 277.000 km/s.

(4) Aumento da massa: ao adaptar a segunda lei de Newton para satisfazer a teoria da relatividade restrita, Einstein verificou que a massa de um corpo é afetada por seu movimento: a massa de um corpo em movimento, analisada por um observador "estacionário", é maior do que sua massa em repouso (ou seja, a massa que ele teria caso estivesse estacionário em relação ao observador). Se fosse possível acelerar um corpo material à velocidade da luz (segundo a própria teoria da relatividade restrita, não o é), sua massa tornar-se-ia infinita.

(5) Equivalência entre massa e energia: esta é provavelmente a consequência mais espetacular da teoria da relatividade restrita, segundo a qual massa e energia são intercambiáveis segundo a famosa fórmula $E = mc^2$. Ruía assim a distinção secular feita pelos físicos, entre eles Newton, entre massa e energia, bem como a independência dos seus respectivos princípios de conservação. Além disto, estava abert

ta a porta das investigações a respeito da liberação maciça de energia a partir de pequenas perdas de massa, como ocorre nas bombas atômicas (observe-se, contudo, que aqui a liberação de energia não decorre da transformação de partículas elementares em energia — isto não ocorre e, se ocorresse, implicaria uma liberação de energia ainda maior do que a que de fato ocorre — mas da repulsão eletrostática entre as duas partes do núcleo fragmentado; contudo, como as energias de ligações das partículas estão presentes na massa de um núcleo, é lícito falar que a desintegração deste está relacionada, embora de maneira indireta — podendo-se, no entanto, descrever o processo através da relação $E = mc^2$ —, a uma ligeira perda de massa no processo como um todo), bem como das investigações acerca da criação de partículas subatômicas a partir de energia, fenômeno comum em aceleradores de partículas.

(6) A velocidade da luz como limite: segundo a teoria da relatividade restrita, nenhuma ação ou informação no Universo pode se propagar a uma velocidade superior à da luz. Alguns físicos, no entanto, consideram a hipótese da existência de partículas — denominadas táquions —, com valores finitos de massa e energia, que sempre viajariam a uma velocidade superior à da luz. Contudo, sua desaceleração em direção à velocidade da luz implicaria fazer com que suas massas tendessem ao infinito. Desta forma, os táquions não poderiam ser desacelerados até a velocidade da luz.

O ponto fundamental é que, de acordo com a relatividade restrita, nenhuma informação no Universo pode ser transmitida a uma velocidade superior à da luz (os táquions, caso existam, não ferem esta regra, pois, de acordo com as hipóteses a seu respeito, não transmi

tem informações). Caso esta condição não se verificasse, seria possível saber a ocorrência de um evento antes que ele ocorresse e então evitar a sua ocorrência. Em outras palavras, seria possível realizar um dos maiores clichês da ficção científica — voltar ao passado.

Numa colocação mais ampla, caso fosse possível comunicar informação a uma velocidade superior à da luz, ruiria a lei da causalidade, segundo a qual a causa deve preceder o efeito, lei esta que é um dos pilares metafísicos (emanados da Filosofia ocidental) da Ciência.

A teoria da relatividade restrita trata dos movimentos uniformes. Para tratar dos movimentos não uniformes e dos fenômenos gravitacionais, Einstein elaborou a sua contribuição mais genial ao pensamento científico: a teoria da relatividade geral.

A pedra fundamental da teoria foi lançada em 1907, quando Einstein enunciou seu princípio da equivalência, o primeiro postulado da teoria da relatividade geral: é impossível distinguir os efeitos da gravidade dos do movimento não uniforme. Ou seja, dentro de uma nave espacial viajando em movimento acelerado e a uma grande distância de qualquer corpo celeste, os tripulantes percebem a aceleração da nave como uma força a comprimi-los contra o chão. Em outras palavras, os tripulantes têm a sensação de estarem submetidos a uma força gravitacional. Duas pedras de massas diferentes que fossem largadas dentro da nave acelerada cairiam em direção ao chão simultaneamente — como ocorreria na Terra (quando as pedras fossem largadas, elas deixariam de ser aceleradas pela nave, entrando em movimento uniforme; contudo, o chão da nave se aceleraria em direção a elas até atingi-las). Contudo, caso os motores da nave fossem desligados e cessasse a aceleração,

os tripulantes experimentariam uma ausência de gravidade.

A formulação das leis que relacionam medidas de tempo e espaço realizadas por dois observadores em movimento relativo não uniforme levou Einstein à utilização da geometria de Riemann — a geometria do espaço curvo. Veio então a conclusão surpreendente: o espaço do Universo é não-euclidiano; não é plano. Sua geometria é descrita pela geometria riemanniana, a geometria dos espaços curvos. (1)

A relação da curvatura do espaço com a gravidade e os movimentos não uniformes evidencia-se ao se definir uma linha reta como sendo a trajetória de um raio de luz. Como este possui energia, segue-se da equivalência entre massa e energia da relatividade restrita que ele possui de fato uma massa, sendo assim afetado pela gravidade. Portanto, um feixe de luz que passar próximo de um planeta encurvar-se-á na direção deste. Seríamos tentados a dizer que o encurvamento da trajetória dos raios de luz, sob o efeito da força que denominamos "gravidade", implica que tal trajetória deixa de ser uma linha reta. Percebeu Einstein, contudo, que a gravidade, assim como o éter, é um conceito sem significado físico. Não há nenhuma "força gravitacional". O que ocorre, de fato, é que a massa de um planeta — como, de resto, qualquer massa — encurva o espaço ao seu redor, alterando-lhe a geometria. A luz move-se sempre em linha reta — contudo, uma linha reta definida num espaço curvo. Portanto, a gravidade é pura geometria, uma geometria determinada pela distribuição de massas do Universo. Esta é a idéia central da teoria da relatividade geral.

A curvatura do espaço, ou, com maior precisão, a curvatura do espaço-tempo, provocada por uma distribuição de massas, é calcula-

da, dentro da teoria da relatividade geral, por meio das equações de campo, enquanto que as trajetórias dos raios de luz ou das partículas materiais no espaço-tempo curvos são obtidas através das equações geodésicas, as quais determinam as trajetórias geodésicas, que representam o percurso mais curto num espaço-tempo curvo.

A teoria da relatividade geral foi comprovada através de três testes clássicos: a descrição correta da órbita de Mercúrio (há uma discrepância entre o comportamento orbital deste planeta e o previsto pela teoria de Newton), a curvatura da luz das estrelas provocada pela massa do Sol (esta curvatura, observada durante o eclipse de 29 de maio de 1919 por uma equipe chefiada por Arthur Eddington, determinou a aceitação internacional da teoria da relatividade geral) e o desvio gravitacional para o vermelho (uma das consequências do princípio da equivalência é que a luz que se move através de um campo gravitacional é desviada para o vermelho), medido em 1925 na luz proveniente da companheira de Sirius. Observe-se que o desvio gravitacional para o vermelho pode ser considerado como um efeito gravitacional de dilatação do tempo — os relógios funcionam tão mais lentamente quanto mais forte for o campo gravitacional a que estiverem submetidos. Desta forma, uma pessoa envelhece mais lentamente quando submetida a um campo gravitacional do que na sua ausência.

As consequências da teoria da relatividade geral são diferenciadamente marcadas das da gravitação de Newton para corpos celestes de grande densidade. É através desta teoria que se pode entender o colapso gravitacional — a formação dos buracos negros a partir de um processo de contração de estrelas de grande densidade, como as estre

las de nêutrons, processo que resulta no total esmagamento da matêria, que atinge uma densidade infinita e desaparece do Universo conhecido. O processo é tornado irreversível a partir do momento em que a velocidade de escape da estrela supera a velocidade da luz (portanto, a estrela deixa de emitir luz), o que corresponde a uma contração da estrela a um raio inferior ao chamado raio de Schwarzschild (o raio no qual a velocidade de escape de uma massa celeste é igual à velocidade da luz; no caso de um corpo com a massa do Sol, este raio é pouco inferior a 3 km).

Foi utilizando a teoria da relatividade geral que o físico soviético Alexander Friedmann demonstrou que o Universo, tomado como um gás de galáxias, não poderia ser estático: o gás de galáxias deveria se expandir ou se contrair. Se sua densidade fosse inferior a um dado valor crítico, o Universo seria aberto e sua expansão prosseguiria eternamente. Se a densidade, ao contrário, superasse este valor crítico, o Universo seria fechado e viria eventualmente a se contrair. Einstein, apegado à idéia de um Universo estático e eterno, chegou, de modo a contradizer Friedmann, a alterar suas equações da relatividade geral, acrescentando um "termo cosmológico" que admitia uma solução estática. Contudo, sete anos depois da previsão de Friedmann, feita em 1922, o astrônomo americano Edwin Hubble, a partir de um estudo detalhado das galáxias distantes, comprovou que o Universo estava em expansão.

A teoria da relatividade geral, tal como a da relatividade restrita, mantém-se dentro da concepção, tão cara a Einstein, de ser o Universo regido por leis regulares e imutáveis⁽²⁾. Deste modo, o determinismo continuava a imperar na Física. Contudo, foi o pró

prio Einstein quem deu um dos primeiros passos na direção da teoria quântica, que ministrou um rude golpe na idéia do determinismo, expulsando-a do mundo subatômico.

O edifício da Física Clássica começou a ruir com Planck, a partir de seus estudos sobre a radiação térmica (emissão de radiação provocada por excitação térmica), estudos que resultaram na lei de Planck da radiação térmica. Esta lei, que surgiu do fato de Planck estar mais preocupado com o átomo radiante do que com a radiação em si, tem como interpretação (e Planck o percebeu) o fato do primeiro (o assim chamado oscilador), quando excitado termicamente, só emitir radiação na forma de quanta com energias discretas. Esta interpretação constituía um tremendo impacto com relação ao que se conhecia na Física Clássica, totalmente fundamentada numa visão dos fenômenos físicos como contínuos. Neste ponto, cumpre lembrar Spengler⁽³⁾, que mostrou como a Matemática e a Física na cultura ocidental estão ligadas, desde Leibnitz e Newton, à idéia de infinito, sendo o mundo físico concebido como traduzível para a linguagem matemática (essencialmente ocidental) das funções contínuas. Planck acenava com a angustiante possibilidade de existência de um fenômeno físico essencialmente descontínuo. Ele designou o elemento mínimo de descontinuidade por um número h , mais tarde dito "constante de Planck". Planck, que publicou sua hipótese quântica em 1900, passou, como cientista conservador que era, o resto de sua vida tentando reconciliar sua descoberta com a idéia de um mundo físico contínuo. Contudo, mais tarde ficaria evidente que a constante de Planck — o quantum de ação de Planck — é uma constante universal da Natureza. Assim, todos os fenômenos físicos são discretos, embora, nos casos em que se

lida com objetos ou processos em escala dimensional grande o suficiente para que se possa tomar a constante de Planck como infinitamente pequena, seja possível utilizar, com boa aproximação, um modelo não quântico e contínuo.

Em 1905, ao analisar o efeito fotoelétrico (emissão de elétrons por metais sob ação da luz), Einstein, utilizando a hipótese de Planck, fez a suposição revolucionária de que a própria luz estava quantizada em partículas. A hipótese de Einstein implicava que a luz, até então considerada exclusivamente como um fenômeno ondulatório, poderia também ser concebida como um conjunto de pequenos pacotes energéticos, os quanta de luz (mais tarde denominados fótons), cujos conteúdos energéticos obedeciam a uma distribuição discreta. Utilizando seu conceito de quanta de luz, Einstein deduziu uma equação para descrever o efeito fotoelétrico.

Os físicos, apegados ao modelo eletromagnético da luz, recusaram-se por quase duas décadas a aceitar a quantização da luz. Em 1915, Milikan comprovou experimentalmente a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico. Contudo, os físicos, entre os quais o próprio Milikan, continuaram refutando o pressuposto conceitual desta equação. A confirmação experimental da existência do fóton veio somente em 1923-24, quando, supondo que a luz consiste de pequenas partículas com energia e momento bem definidos, o americano Compton e o holandês Debye fizeram, independentemente, previsões teóricas sobre a colisão de um fóton com um elétron. Compton realizou as experiências, que acabaram confirmando as suposições baseadas na existência dos fótons. Einstein acabou recebendo o Prêmio Nobel pela idéia do quantum de luz e não pela teoria da relatividade.

As idéias de Planck e Einstein vieram somar-se a descobertas anteriores referentes aos processos atômicos (1895 - Roentgen descobre os raios X; 1896 - Becquerel descobre a radioatividade; 1897 - J.J. Thomson descobre o elétron). Uma descoberta particularmente importante para a futura teoria quântica foi a de que, em certas circunstâncias, os átomos emitem riscas espectrais de luz.

Em 1911, a partir de experiências sobre a interação dos raios alfa com a matéria, Rutherford tornou público o seu modelo atômico: o átomo seria composto de um núcleo central com carga positiva, correspondendo a quase toda a sua massa, e de elétrons em órbita ao redor deste núcleo. Ruía assim a idéia de que o átomo era o último elemento da constituição da matéria, não apresentando estrutura interna.

O modelo atômico de Rutherford era um modelo planetário. Contudo, as premissas básicas desse modelo, analisadas à luz da Física Clássica, indicavam que os átomos deveriam ser muito mais instáveis do que se observava experimentalmente.

Bohr solucionou o problema aplicando a hipótese quântica à estrutura atômica. Ele supôs que a quantização da energia proposta por Planck implicava que apenas algumas órbitas seriam permitidas aos elétrons. A estabilidade dos átomos seria explicada pela existência de uma órbita mínima abaixo da qual os elétrons não poderiam estar. Passando o elétron de uma órbita mais elevada para uma mais baixa, ele perderia energia, emitindo luz. Como somente certas órbitas seriam permitidas, a energia — e portanto, o comprimento de onda da luz emitida, equivalente ao desnível energético entre as órbitas —, estaria quantizada. Assim, o modelo de Bohr explicava as riscas es

pectrais dos átomos. Bohr utilizou seu modelo para calcular o espectro de emissão do hidrogênio, obtendo um resultado que concordava com o observado experimentalmente.

Os físicos fizeram uma tentativa desesperada de compreender a estrutura atômica dentro da teoria clássica do eletromagnetismo, evitando recorrer aos quanta de luz. Em 1924, Bohr, Kramers e Slater escreveram um artigo nesta linha, propondo a invalidade das leis de conservação do momento e da energia no nível atômico. Contudo, as experiências de Compton provaram não apenas a existência dos quanta de luz como a validade das leis de conservação para processos atômicos individuais. Bohr logo aceitou estas idéias.

Em 1920, Bohr havia criado em Copenhague o Instituto Niels Bohr, instituição fundamental para a teoria quântica. Nele estudou Werner Heisenberg, que lançou um dos conceitos básicos desta teoria quântica, propondo, em 1925, uma representação matricial para as transições energéticas atômicas. Ainda em 1925, Max Born (de quem Heisenberg era então assistente) e seu aluno Jordan publicaram um artigo contendo uma extensão dos conceitos de Heisenberg (o próprio Heisenberg desconhecia o conceito de matriz; foi Born quem identificou, nos quadros de números propostos pelo primeiro para representar os processos atômicos, a matemática das matrizes). No mesmo ano, Paul Dirac, a partir do trabalho de Heisenberg, escreveu um artigo que formulava a nova Mecânica Matricial, apresentando-a como uma teoria dinâmica completa, podendo assim substituir a Mecânica Clássica.

A Mecânica Matricial, ou Mecânica Quântica, como ficou mais

conhecida, descrevia variáveis físicas, tais como a posição e o momento de uma partícula, não como números simples, mas como matrizes, não verificando, portanto, as leis comutativas da Mecânica Clássica. O problema era que a Mecânica Quântica fornecia uma descrição matemática consistente para os processos atômicos, mas não permitia obter para eles um modelo conceitual.

Wolfgang Pauli aplicou a Mecânica Quântica ao problema do espectro do hidrogênio, obtendo o mesmo resultado de Bohr e comprovando o poder descritivo da matemática das matrizes no mundo atômico. Muitos físicos, contudo, não se conformaram com a ausência de uma explicação conceitual para os fenômenos atômicos. Surgiu assim uma teoria atômica alternativa, a Mecânica Ondulatória.

Em 1923, o francês Luis de Broglie publicou dois artigos apresentando a idéia de que o elétron poderia às vezes comportar-se como uma onda, apesar de ser claramente uma partícula (tal como a luz, claramente uma onda, podia por vezes comportar-se como partícula). Ele chegou a deduzir o comprimento de onda do elétron.

O austríaco Erwin Schrödinger, a partir das idéias de de Broglie, chegou a uma equação que a forma de onda associada ao elétron deveria satisfazer para descrever o átomo de hidrogênio. Novamente, foi encontrado o resultado de Bohr. O artigo de Schrödinger assinalou o início da Mecânica Ondulatória.

Verificou-se que a equação de Schrödinger podia ser aplicada a qualquer problema quântico. Também se verificou experimentalmente que, conforme havia previsto de Broglie, os elétrons podiam originar fenômenos de difração. Schrödinger propôs uma interpretação para

estes fatos: o elétron não seria uma partícula, mas uma onda de matéria. Assim, o conceito de partícula seria apenas uma representação aproximada: todos os objetos quânticos e, de resto, toda a Natureza, seriam fenômenos ondulatórios.

Max Born deu uma interpretação diferente para a equação de Schrödinger. Esta interpretação, marco na teoria quântica e na história da Física, configura o fim do determinismo presente na Física Clássica: Born, em artigo publicado em junho de 1926, interpretou a função de onda de de Broglie-Schrödinger como permitindo determinar apenas a probabilidade de encontrar o elétron em qualquer ponto do espaço. O elétron seria sempre uma partícula real e as ondas de matéria de Schrödinger seriam, na verdade, ondas de probabilidade, ou seja, apenas uma descrição estatística do comportamento das partículas quânticas. As probabilidades quânticas poderiam propagar-se através do espaço, mudando de ponto para ponto. A evolução no tempo e no espaço destas probabilidades seriam descritas pela equação de Schrödinger. Assim, poder-se-ia prever o comportamento futuro das probabilidades quânticas, mas nunca de eventos individuais.

O indeterminismo — o mundo físico regido pelo acaso, pelas probabilidades — contido na formulação de Born rompia com uma estrutura de pensamento que remontava ao nascimento da Física. Este indeterminismo seria pertinente à Natureza, não estando vinculado a limitações de ordem técnica. Assim, muitos físicos famosos, encabeçados por Einstein, rejeitaram a proposição de Born.

Dirac fez a conexão entre as formulações de Heisenberg e Schrödinger, ao demonstrar, a partir de sua teoria das transformações, que as Mecânicas Matricial e Ondulatória eram, de fato, comple

tamente equivalentes.

Foram Bohr e Heisenberg que deram à teoria quântica a sua interpretação final em 1927. Esta interpretação ficou conhecida como a interpretação de Copenhague e se baseia em dois princípios: o princípio da indeterminação de Heisenberg e o princípio da complementaridade de Bohr. Cumpre observar que há outras interpretações para os fenômenos quânticos, nas quais o determinismo e a objetividade, pilares da Física Clássica, não são colocados em xeque ou o são de forma menos contundente. Contudo, apesar de todas as críticas que tem recebido, a interpretação da Escola de Copenhague se mantém até hoje como a mais aceita entre os físicos quânticos. O presente trabalho, ao mencionar a teoria quântica, referir-se-á única e exclusivamente à interpretação da Escola de Copenhague, embora esta não seja a única leitura existente para os fenômenos quânticos.

O princípio da indeterminação de Heisenberg foi matematicamente deduzido por ele a partir da teoria quântica. Ele afirma que não se pode medir, simultaneamente, a posição e o momento de uma partícula quântica com elevada precisão. Sendo p o momento da partícula e q a sua posição, tem-se:

$$(\Delta q) \times (\Delta p) \geq h,$$

onde

Δq - dispersão dos valores de q relativos a uma série de medições;

Δp - dispersão dos valores de p relativos a uma série de medições;

h - constante de Planck.

O princípio da indeterminação de Heisenberg reflete a interação microscópica do instrumento de medida com as partículas quânticas. Esta interação simplesmente não pode ser evitada. Ela, porém, diminui a medida que aumentam as dimensões do objeto estudado, tornando-se desprezível para objetos macroscópicos. No caso das partículas subatômicas, esta interação está muito longe de ser desprezível, implicando que a realidade quântica é alterada pelo observador (ou seja, pelo seu instrumento de medida).

Os físicos verificaram que as relações de indeterminação de Heisenberg implicam o indeterminismo de Born: se não é possível de terminar simultaneamente, com precisão, a posição e o momento de uma partícula quântica, a sua "trajetória" futura torna-se também indeterminada; o máximo que se pode fazer é estabelecer uma descrição estatística ou probabilística do seu movimento futuro (de fato, o conceito de trajetória não tem sentido na teoria quântica).

O ato de observar os fenômenos quânticos os altera, em função da interação microscópica com o instrumento de medida, interação que não pode ser evitada, independentemente do grau de sofisticação técnica do instrumento. De fato, o mundo quântico parece ajustar-se ao experimentador: pode-se construir um aparelho de medida para medir com grande precisão a posição do elétron. O resultado será uma posição espacial muito bem definida, levando à conclusão de que o elétron é uma partícula. Contudo, também se pode construir uma aparelhagem para medir o comprimento de onda do elétron, obtendo-se um resultado compatível com a idéia de ser o elétron uma onda. No entanto, caso se queira construir uma aparelhagem para medir simultaneamente a posição e o momento do elétron, com grande precisão, verifi-

car-se-ã ser impossível fazê-lo: os arranjos experimentais necessãrios a estas duas medições são mutuamente excludentes. Esta situaçãõ ã descrita por Bohr no seu princõpio da complementaridade: o conheci-mento de uma propriedade de uma partõcula quãntica exclui o conheci-mento da propriedade que lhe ã complementar (assim, posiçãõ e momen-to serão propriedades complementares, bem como comportamento corpus-cular e comportamento ondulatõrio).

Os princõpios da indeterminaçãõ e da complementaridade são a base da interpretaçãõ de Copenhagen dos fenõmenos quãnticos, acei-ta atã hoje. Desta interpretaçãõ, surgem dois pontos crõticos. Em primeiro lugar, a realidade quãntica ã estatõstica e não exata. As-sim, as medições devem ser realizadas vãrias vezes, porque medidas individuais precisas não tãem significado. Em segundo lugar, as pro-priedades de uma partõcula quãntica são tãem sentido quando referidas ao dispositivo experimental utilizado. Quando este ã alterado, alte-ran-se tãem as propriedades observadas. Assim, de um lado a inter-pretaçãõ de Copenhagen rejeita o determinismo, substituindo-o por uma realidade estatõstica; de outro, ela rejeita a objetividade, afir-mando que o ato de observar altera o que estã sendo observado. As-sim, ruõa todo o edifõcio secular da Fõsica Clãssica.

De acordo com a teoria quãntica, não existe qualquer possi-bilidade de se visualizar conceitualmente qualquer fenõmeno quãnti-co. Os fenõmenos quãnticos em si, desvinculados do instrumento de me-dida, não tãem sentido. Não existe a menor possibilidade de conhecê-los algum dia. Sõ se pode conhecer (mesmo assim probabilisticamente) o comportamento das partõculas quãnticas quando estas estão sujeitas a alguma interaçãõ com o instrumento de medida. Assim, imaginar

trajetória descrita por um elétron ou saber se ele é de fato uma onda ou uma partícula são questões sem sentido para a teoria quântica, segundo a interpretação de Copenhagen (neste aspecto, a interpretação de Copenhagen representa um avanço em relação à concepção de Max Born, que afirmava ser o elétron, de fato, uma partícula). O elétron se comporta como partícula em certas condições experimentais, como onda em outras. Não se pode visualizá-lo conceitualmente. A fantasia da pessoa do tamanho de um átomo e do que ela veria nestas circunstâncias não tem qualquer significado físico.

Assim, segundo a teoria quântica, a natureza real do elétron permanecerá para sempre incognoscível para a mente humana. Contudo, e este foi o motivo da querela de Einstein com os físicos quânticos, Bohr em particular, o elétron, como de resto qualquer outra partícula quântica — a palavra "partícula" aparecendo aqui desvinculada do seu conceito físico —, é, de fato, alguma coisa. A esta questão, responde a teoria quântica afirmando que, infelizmente, esta "alguma coisa" está além dos limites do conhecimento humano. É claro que sempre se poderia pensar num instrumento de medida ideal que não interagisse com as partículas atômicas. Contudo, tal instrumento não poderia ser constituído, ele próprio, por partículas atômicas (pois o sendo, a não interação tornar-se-ia automaticamente impossível), o que implica, obviamente, que ele não pode e jamais poderá ser construído.

Mesmo admitindo que a realidade quântica observada é diferente da realidade em si, surge um outro problema: fixando-se um determinado aparelho de medida, aceitando-se que isto implica interação e, portanto, alteração dos processos atômicos, os fatos observa-

dos ainda assim não podem ser previamente determinados. Como já foi dito anteriormente, não se pode afirmar se o elétron é uma partícula ou uma onda. Contudo, pode-se construir um aparelho de medida que, em função de um determinado tipo de interação com o elétron, sempre revele para este um comportamento, por exemplo, corpuscular. Ocorre que, ainda assim, tal comportamento só poderá ser descrito de forma probabilística. Assim, além de se saber que uma medição individual referir-se-á a um fenômeno diferente do que se verificaria caso não existisse a interação com o instrumento de medida, ainda existe a angústia de se saber que, mesmo para um instrumento de medida bem determinado, não é possível prever o resultado de uma medição individual, só se podendo falar em termos de resultados mais prováveis ou menos prováveis.

Das duas rupturas — com a objetividade e com o determinismo —, a primeira é ainda mais angustiante que a segunda, na medida em que ela acena com o fato de que os fenômenos quânticos observados são diferentes dos fenômenos quânticos que ocorreriam na ausência da observação, sendo que estes jamais poderão ser conhecidos. Trata-se, portanto, de uma incognoscibilidade total. A segunda ruptura — ou seja, o fato de que os fenômenos quânticos observados (já se levando em conta, portanto, a interação com o aparelho de medida) não podem ser previamente determinados, mas apenas descritos de forma probabilística —, reflete uma incognoscibilidade parcial, já que uma descrição probabilística é, ainda assim, um tipo de informação.

Há uma experiência conceitual proposta pelo físico americano Richard Feynman que ilustra bem esta argumentação. Dispara-se um canhão de elétrons (um filamento de tungstênio) contra uma fina cha

pa metálica provida de duas fendas. Atrás da chapa, coloca-se um conjunto de detectores de elêtrons (que detectam o elêtron como partícula). Tapando-se o furo 1, os elêtrons se comportam como se todos eles atravessassem o furo 2. Tapando-se o furo 2, ocorre o inverso. Contudo, mantendo-se abertos os dois furos, forma-se uma figura de interferência entre as duas distribuições anteriores, como se alguns elêtrons passassem simultaneamente pelos furos 1 e 2 (o que seria impossível para uma partícula, dentro do conceito de partícula da Física Clássica). Bem, o que ocorre realmente? O elêtron, sendo partícula, divide-se em dois e cada uma das partes passa por um dos furos? O elêtron, sendo partícula, transforma-se numa onda, atravessa os dois furos nesta condição e, chegando ao alvo, volta a se reagrupar como partícula? Segundo a teoria quântica, estas indagações não fazem qualquer sentido. Este é o terreno da total incognoscibilidade: não existe nenhum meio de se saber o que realmente acontece (pode-se, é claro, tratar o elêtron como uma onda de probabilidade, dentro da concepção de Born, e dizer que a experiência revela a interferência de duas ondas de probabilidades; isto, contudo, representa, apenas, uma descrição matemática do processo; não é possível dizer o que de fato ocorre, em nível subatômico, com os elêtrons que se aproximam da chapa metálica). Esta incognoscibilidade total é marcadamente mais dramática do que saber que, utilizando-se um aparelho de medida bem determinado, destinado a medir o nível de energia de um átomo, não se pode prever o resultado de uma medição individual, só se podendo afirmar que a obtenção, nesta medição, de um resultado X está associada a uma probabilidade x, a obtenção de um resultado Y a uma probabilidade y e assim por diante.

A teoria quântica fundamentou as teorias da ligação química (a qual é a base de toda a Química, denotando que a teoria quântica é o elo de ligação entre a Física e a Química), da matéria no estado sólido, dos metais, da condutibilidade elétrica e da magnetização. Além disto, ela constitui, ao lado das já descritas teorias da relatividade restrita e geral, o alicerce de toda a Física contemporânea, a qual é, por sua vez, o alicerce da Ciência. Porém, acima de todas estas coisas, paira o fato de que ela encerra a angustiante consciência da limitação do intelecto humano, o doloroso contato com o fenômeno incognoscível, a amarga noção de que existe uma parte da realidade física que não pode ser acessada sem ser modificada e que, assim sendo, permanecerá para sempre além dos limites da imaginação humana.

N O T A S

- (1) A idéia, contudo, é anterior a Einstein. Em DOSTOIEVSKI, Fiódor. Os Irmãos Karamázovi. Trad. Natália Nunes e Oscar Mendes. São Paulo, Abril Cultural, 2ª ed., 1971, p. 177, o personagem Ivã Fiódorovitch, o jovem intelectual russo do final do século XIX seduzido pela cultura ocidental, afirma: "Entretanto, encontram-se, encontram-se ainda geometras e filósofos, mesmo eminentes, para duvidar de que todo o Universo e até mesmo todos os mundos tenham sido criados somente de acordo com os princípios de Euclides. Ousam mesmo supor que duas paralelas que, de acordo com as leis de Euclides, jamais se poderão encontrar na Terra, possam encontrar-se, em alguma parte, no infinito."
- (2) A Ciência ortodoxa, mesmo sem admiti-lo, repousa sobre o postulado, impossível de ser provado, de que o Universo é regido por leis imutáveis e regulares, leis estas que permitiriam conceber qualquer fenômeno físico dentro de um esquema causa-efeito bem determinado. Em ECO, Umberto. O Nome da Rosa. Trad. Aurora F. Bernardini e Homero F. de Andrade. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 9ª ed., 1983, p. 241, o personagem central, numa de suas divagações filosóficas, exprime a sua dúvida com relação à validade de tal pressuposto metafísico: "Como posso descobrir a ligação universal que torna ordenadas as coisas se não posso mover

um dedo sem criar uma infinidade de novos entes, uma vez que com tal movimento mudam todas as relações de posição entre o meu dedo e todos os demais objetos? As relações são os modos pelos quais a minha mente percebe a relação entre entes singulares, mas qual é a garantia de que esse modo seja universal e estável? De fato, a dúvida de Frei Guilherme de Baskerville — o extraordinário personagem de Umberto Eco — o coloca muito próximo dos conceitos de realidade criada pelo observador e de indeterminismo da teoria quântica.

(3) Ver bibliografia.

BIBLIOGRAFIA

- ABRAMZUCK, André Ambrósio. O Mito da Ciência Moderna. São Paulo, Cortez, 1981.
- ALVES, Rubem. Filosofia da Ciência: introdução ao jogo e suas regras. São Paulo, Brasiliense, 1981.
- ASIMOV, Isaac. O Colapso do Universo. Trad. Donaldson Garschagen. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 5ª ed., 1982.
- BATESON, Gregory. Mente e Natureza: a unidade necessária. Trad. Cláudia Gerpe. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1986.
- BUNGE, Mário. Filosofia da Física. Trad. Rui Pacheco. Lisboa, Edições 70, 1973.
- BURTT, Edwin Arthur. As Bases Metafísicas da Ciência Moderna. Trad. José Viegas Filho e Orlando Araújo Henriques. Brasília, Universidade de Brasília, 1983.
- CAPRA, Fritjof. The Tao of Physics. Berkeley, Shambhala, 1975.

- CAPRA, Fritjof. The Turning Point. London. Fontana Paperbacks, 1983.
- HEISENBERG, Werner. Física e Filosofia. Trad. Jorge Leal Ferreira. Brasília. Universidade de Brasília, 1981.
- HEISENBERG, Werner. Physics and Beyonds. Transl. Arnold Tomerans. New York. Harper & Row, 1973.
- HEISENBERG, Werner. The Physicists Conception of Nature. Transl. Arno Tomerans. London. Hutchinson, 1958.
- HERRERA, Amílcar. A Grande Jornada. Trad. Doraci Ferreira Gonçalves. Rio de Janeiro. Paz e Terra, 1982.
- KOYRÉ, Alexandre. Do Mundo Fechado ao Universo Infinito. Trad. Donaldson Garschagen. Rio de Janeiro. Forense-Universitária, 2ª ed., 1986.
- KOYRÉ, Alexandre. Estudos de História do Pensamento Científico. Trad. Márcia Ramalho. Rio de Janeiro. Forense-Universitária; Brasília, Universidade de Brasília, 1982.
- MUNITZ, Milton. Space, Time and Creation. Gleocoe. The Free Press, 1957.

- NICOLSON, Jain. Gravidade, Buracos Negros e o Universo. Trad. Sérgio Augusto Teixeira. Rio de Janeiro. Francisco Alves, 1983.
- PAGELS, Heinz. O Código Cósmico. Trad. Jorge C. Buescu. Lisboa. Gradiva, 1982.
- PRIGOGINE, Ilya; STENGERS, Isabelle. A Nova Aliança. Trad. Miguel Faria e Maria Joaquina Machado Trincheira. Brasília. Universidade de Brasília, 1984.
- SPENGLER, Oswald. A Decadência do Ocidente. Condens. Helmut Werner. Trad. Herbert Caro. Rio de Janeiro. Zahar, 2ª ed., 1973, pp. 65-92 e 222-61.
- TAYLOR, F. Sherwood. An Illustrated History of Science. London. Heinemann, 1955.