

# Os Últimos Cem Anos da Física

## Um rápido sobrevôo

CMG (RM-1) Paulo Roberto Gotaç

### A Física Clássica

Durante os últimos anos do século XIX, a Física vivia dias de glória: a Mecânica, a partir de Isaac Newton (1642-1727) e após 200 anos de sofisticação analítica e refinamentos, modelava com absoluto sucesso os fenômenos do dia-a-dia, além de prever com incrível exatidão os movimentos de corpos celestes, pelo menos os observáveis através dos instrumentos disponíveis à época; o Eletromagnetismo, como resultado das investigações de Michael Faraday (1791-1867), codificadas e ampliadas por James Clerk Maxwell (1831-1879), descrevia o comportamento dos campos Elétrico e Magnético e previa a propagação de suas oscilações, fato demonstrado experimentalmente em 1885, mediante o trabalho de Heinrich Hertz (1857-1894); a Termodinâmica, impulsionada inicialmente pelas demandas da revolução industrial, explicava o funcionamento das máquinas térmicas e, através do seu desenvolvimento conceitual, ligado a nomes como o do próprio Maxwell e Ludwig Boltzmann (1844-1906), dentre outros, estendia seu escopo para fenômenos bem além dos teares e locomotivas a vapor, tornando-se um campo de conhecimento de incrível generalidade e abrangência, a partir de deduções envolvendo grandezas como a Energia Interna (palatável para as exigências intuitivas) e a estranha Entropia.

Todo este quadro, devidamente quantificado e formalizado pelo Cálculo Infinitesimal e Integral, constituiu o que hoje se designa por Física Clássica. Seu sucesso, nos anos 90 (século XIX) era tal que, acreditava-se, todos os fenômenos possuíam explicação dentro de suas regras e as novas descobertas eram potencialmente previstas por manipulações convenientes de suas equações básicas. Sua influência era tão forte que inspirou a denominação de "Mecanicismo" a uma escola filosófica que possuía como base princípios causais análogos aos das leis da Física. Alguém até afirmou: "A Física morreu".

### A Relatividade

Mas, apesar do céu de brigadeiro, nuvens ameaçadoras começavam a despontar no horizonte. Sob o ponto de vista conceitual, determinadas inconsistências começaram a ser apontadas, sugerindo uma revisão profunda nos critérios de medidas de parâmetros do espaço e do tempo. Por outro lado, o desenvolvimento de novos processos e técnicas instrumentais (espectroscopia, por exemplo), possibilitou a verificação de que alguns resultados experimentais apresentavam discrepâncias sérias com o que previam os cânones da Física Clássica. Afinal, para que uma teoria física mereça o nome de teoria, ela deve ser capaz, não só de confirmar dados já obtidos, como também de prever outros, provenientes de experimentos ainda não efetuados. A confirmação experimental é sentença final para a sua homologação. E de onde vieram tais inconsistências? Exatamente de duas das fundações básicas do esquema clássico: O Eletromagnetismo e a Termodinâmica.

As equações que descrevem o comportamento do campo eletromagnético modificam sua forma, dependendo do referencial absoluto (inercial) adotado, se a abordagem for clássica, ao contrário das equações da Mecânica, cujas formas são mantidas, como Galileu já sabia. Tal constatação levou os teóricos da época a postularem a existência de um meio particular (o éter) para a propagação das ondas eletromagnéticas, resultado direto da síntese daquelas equações e cuja evidência experimental havia sido verificada por Hertz, conforme já mencionado. A tal meio, portanto, estaria conectado o referencial absoluto adequado à descrição do comportamento daquele campo e, sendo assim, um pouco artificialmente, é verdade, a Física Clássica continuaria bem na foto. Os esforços experimentais da época foram então dirigidos no sentido de detectar o movimento da Terra em relação a este meio. Sendo considerada satisfatória a precisão dos experimentos, realizados sob a liderança de Albert Michelson

(1831-1852), formado por Annapolis, a comunidade científica da época reagiu com perplexidade ao resultado negativo de que nada se detectou.

O impasse perdurou até a apresentação, por Albert Einstein (1879-1955), em 1905, da Teoria da Relatividade Restrita que, através das conseqüências lógicas de dois postulados, eliminou a necessidade de existência do éter e, ao mesmo, manteve a forma das equações básicas do Eletromagnetismo. Tal conquista, no entanto, exigia que as acariciadas leis da Mecânica fossem modificadas. Por exemplo: o tempo não seria mais absoluto mas dependeria do estado de movimento de quem o estivesse medindo, a simultaneidade também seria relativa, os comprimentos seriam contraídos no sentido do movimento, a velocidade da luz exerceria o papel de velocidade limite para a propagação de sinais e interações, e massa e energia se equivaleriam. Embora, para velocidades pequenas em relação à de propagação da luz no vácuo, as leis clássicas fossem recuperadas, tratava-se de um passo revolucionário e, como conseqüência, a Relatividade não teve aceitação imediata por parte da comunidade científica. Todavia, após algumas décadas de experimentos conclusivos, de confirmações dos seus aspectos básicos (alguns trágicos, outros em aplicações importantes para o desenvolvimento da humanidade), considera-se a Relatividade, no estágio de conhecimento atual, um fato da natureza. Em 1916, Einstein alargou o escopo de sua teoria, de modo a incluir efeitos gravitacionais, e apresentou a Teoria da Relatividade Generalizada, cujos aspectos principais nos furtamos de apresentar neste pequeno texto, dada sua complexidade.

## A Hipótese Quântica – A Mecânica Quântica

Em outra região da física teórica, no entanto, outro impasse, este mais dramático, estava começando a surgir.

Quando um corpo é colocado num ambiente mantido a uma temperatura constante, passa a haver, entre este ambiente e o corpo, uma interação de energia térmica (que é uma forma de energia eletromagnética) até ser atingido o equilíbrio termodinâmico. O problema que se apresentava aos físicos teóricos do final do século XIX consistia em explicar a aparência experimental do espectro de frequência (quanto de energia há nas várias frequências de radiação eletromagnética) característico de cada temperatura de equilíbrio – a chamada radiação do corpo negro. Considerações

clássicas de natureza estatístico-termodinâmicas, associadas a avaliações de energia eletromagnética radiante e comportamentos moleculares da matéria desembocaram em enorme fracasso na tentativa de obter aquela explicação. A incrível conclusão a que se chegou era a de que a quantidade de energia para todas as frequências “explodia” para o infinito, sendo mais grave a discrepância nas altas frequências.

A situação, que colocava em crise os próprios pilares da Física Clássica levou, em 1900, Max Planck (1858-1947) a formular sua ousada hipótese quântica segundo a qual, em termos bem resumidos, a interação de energia entre a radiação e a matéria se processava por meio de “pacotinhos” energéticos discretos, os “quanta”. Iniciava-se a revolução quântica cujo desenvolvimento conceitual, ao contrário da Relatividade, foi vertiginoso, elucidando fenômenos até então inacessíveis à descrição clássica, vindo culminar, ao final de aproximadamente trinta anos, através da criação da Mecânica Quântica (M.Q.), em uma formulação coerente, que vigora até os dias de hoje, para a explicação da maioria dos fenômenos atômicos e nucleares. Seus principais arquitetos são, dentre outros, o próprio Einstein, que, ironicamente, mais tarde, se tornou um dos mais ardentes críticos da M.Q., Niels Bohr (1885-1962), Werner Heisenberg (1901-1984), Erwin Schrödinger (1887-1961), P.A.M. Dirac (1902-1984) e Max Born (1882-1970).

A Relatividade e a M.Q. constituem as duas vertentes do que hoje se convencionou designar por “Física Moderna”.

Apesar de seu sofisticado formalismo matemático, portador de uma linguagem nova e demasiadamente abstrata, com conteúdo probabilístico fundamental, a M.Q. foi responsável, através dos aperfeiçoamentos tecnológicos que se seguiram, pela maior introdução de processos e recursos colocados à disposição da civilização, num espaço de tempo incrivelmente curto para a escala de tempo da história da Humanidade. As células fotoelétricas, a eletrônica do estado sólido, o laser, os computadores, os equipamentos digitais, os reatores nucleares não existiriam se as bases da M.Q. não tivessem sido criadas. Hoje, o envolvimento com todo este mar tecnológico, com profundas implicações comportamentais, é de tal ordem que, raramente, o fio condutor da M.Q. é lembrado.

Embora constitua um corpo teórico fechado há algum tempo, as regras da M.Q., talvez devido à alucinante rapidez com que foram sendo criadas, praticamente a cada novo desafio, se assemelham a um

imenso receituário, muito bem sucedido na preparação dos produtos. Tal situação levou, nas últimas décadas, os físicos teóricos a se dedicarem ao problema da sua interpretação. Ou seja: O que a M.Q. está tentando dizer? Será que o que disse até agora é só um pedaço da história? Será que ela é completa, conforme questionou Einstein em 1935, em celebrado trabalho? Será que o mundo é probabilístico?

Será que ela é não-local (o resultado de um experimento está "amarrado" com um outro que lhe seja correlacionado, de tal forma que se comunicam e se influenciam instantaneamente, qualquer que seja a distância entre eles - um sacrilégio segundo os cânones da Relatividade)? Parece que sim, conforme indicam as mais sofisticadas experiências na área, o que é intrigante para a escala clássica (a do dia-a-dia e do "senso comum"): afinal, ninguém acha plausível que a medida de temperatura realizada na metade de uma barra de ferro, no Rio de Janeiro, influencie a temperatura medida em Tóquio na segunda metade da barra.

Afinal, o que é o elétron, uma partícula ou uma onda? O que é a luz, uma onda ou uma partícula? Estas indagações básicas, dentre inúmeras outras, formam o núcleo da atual discussão interpretativa, que, aliás, não constava da agenda de alguns de seus criadores. Como dizia Bohr, numa revelação eminentemente positivista: "É errado supor-se que o propósito básico da Física é descobrir como é a natureza. A Física consiste no que se diz sobre a natureza". Mas, em se tratando de M.Q., cada novo passo revela fatos surpreendentes, como foi desde o início de sua criação. Assim, é exatamente este esforço de interpretação que está abrindo perspectivas para aplicações revolucionárias a serem concretizadas num futuro próximo, como, dentre outras, a construção dos incrivelmente velozes computadores quânticos. Mas este tópico, ainda de fronteira, juntamente com os importantes problemas ligados à interpretação, constituem assunto para um texto mais circunstanciado.

**Parabéns, Guarda-Marinha.  
No Clube Naval será mantida  
a integração permanente da  
sua turma.**

