

A FÍSICA MODERNA E UMA NOVA VISÃO DE MUNDO¹

Francisco Caruso²

I. Heranças definitivas

Atualmente, quando se fala em Física Moderna, a grande maioria dos alunos associa esta expressão à Física Quântica ou à Relatividade; alguns poucos a relacionam ao trabalho de Galileu. Entretanto, é óbvio que sempre houve, desde seu surgimento na Grécia Antiga, e sempre haverá uma "Física Moderna". É a História que depura o vasto conhecimento produzido na fronteira da Física, na fronteira da Ciência, apagando, de certa forma, as verdadeiras dinâmicas e dimensões da investigação científica e suas inter-relações com outros saberes. Uma quantidade enorme de temas, que um dia ocuparam algumas das mentes mais brilhantes de uma época, e outra quantidade igualmente grande de caminhos equivocados trilhados acaba indo para a "lata de lixo" da História. Pode-se observar isto, por exemplo, examinando a importante obra de referência de Ludovico Geymonat (1908-1991), *Storia del Pensiero Filosofico e Scientifico*, publicada em 9 volumes, dos quais o primeiro é dedicado à Antiguidade e à Idade Média, enquanto os 3 últimos tratam apenas do século XX. Muito provavelmente, daqui a alguns séculos a proporção em uma obra análoga não será mais a mesma. Entretanto, a consciência deste fato não só não impede como, na realidade, nos impele a trazer para a discussão aqui alguns dos grandes momentos da Física Moderna, compreendidos como aqueles que, além de mudarem o rumo da Física, contribuíram indiscutivelmente para a mudança do homem, de seu olhar sobre a Natureza e de seu modo de pensar e representar o Mundo, alcançando, portanto, um grande impacto na sociedade. Basicamente, os momentos que abordaremos neste texto, respeitada a limitação de espaço, são: A Filosofia Grega, o Renascimento Italiano, o Mecanicismo Newtoniano e a virada do século XIX para o século XX, período no qual se formam as bases do que normalmente se chama hoje de Física Moderna.

Talvez poucos períodos possam ser considerados tão férteis quanto aquele compreendido entre os séculos VI e IV a.C. Detalhar a riqueza da contribuição dos gregos antigos à compreensão racional da Natureza (*Physis*) nos desviaria em muito de nosso objetivo e requereria muito mais tempo e espaço do que dispomos. Escolhemos, portanto, apenas ressaltar algumas heranças que estão profundamente imbricadas no método científico contemporâneo.

Podemos destacar, inicialmente, a tentativa de explicar a Natureza, não recorrendo a *mitos*, mas com base na *razão*. Como disse Popper uma vez, *a Ciência deve começar com os mitos e com a revisão crítica dos mitos*. Delineia-se, a partir daí, a primeira Cosmologia (*Weltanschauung*) científica. O início da construção desse novo modo de ver o Mundo, com a filosofia de Tales de Mileto, é marcado por uma busca de simplicidade e de economia, que posteriormente guiará muitos físicos e filósofos. De fato, Tales postula ser a *água* a substância primordial, da qual tudo deriva; um *único princípio*, uma única substância.

¹ Palestra apresentada no II ENCONTRO ESTADUAL DE ENSINO DE FÍSICA - RS, Porto Alegre, Instituto de Física, UFRGS, em 13 de setembro de 2007.

² Físico do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas e do Instituto de Física da UERJ.
Email: francisco.caruso@gmail.com

Outro aspecto recorrente neste rico período é o ideal grego de que há um "todo ordenado", um *Cosmos*, um Mundo (em latim), ao qual se opõe o Caos. Intrinsecamente, tal convicção privilegia a *Ordem*, o que requer uma capacidade intelectual de reconhecimento do que é igual, uma busca de regularidades, enfim, uma busca por identificar e compreender as *Simetrias* da Natureza. Este ideal permeia hoje a essência das teorias elementares das interações fundamentais. E nada melhor do que a Matemática como instrumento desta busca. Neste sentido, devemos destacar outras duas contribuições fundamentais da Filosofia Grega.

A primeira, deve-se à Escola Pitagórica. O filósofo inglês Bertrand Russell considera Pitágoras um dos homens mais importantes que já existiram. Num tom irônico que lhe é peculiar, Russell afirma que a *influência das matemáticas sobre a filosofia, em parte devida a ele [Pitágoras], tem sido, desde então, tão profunda quanto funesta*. Atribui-se aos pitagóricos uma cosmovisão segundo a qual *as coisas são iguais aos números*. Tal projeto filosófico para descreve a Natureza esbarra em um problema, relacionado à própria teoria dos números. Devemos lembrar que, para os pitagóricos, os números eram apenas os números racionais. E como enfrentar o problema dos incomensuráveis? Por exemplo, a diagonal de um quadrado de lado unitário vale $\sqrt{2}$, que é um número *irracional*. Portanto, há um objeto ao qual não se corresponde um *número*. A solução a este impasse foi dada por Platão, quem afirmou que a essência das coisas não são os *números*, mas as *formas geométricas*. Dá-se, assim, a primeira tentativa bem sucedida de Geometrização da Física. Outras vieram com Galileu, Newton e Einstein, só para citar algumas das mais importantes.

Gostaríamos de ressaltar que essa valorização da Geometria não é, na verdade, um fato isolado. A Arquitetura e a Arte gregas estavam impregnadas de valores geométricos. Para citar apenas um exemplo, podemos destacar o papel da razão áurea de Euclides na composição de prédios, monumentos e esculturas. A adoção da escrita alfabética pela filosofia grega e o espaço geometrizado de Platão não são fenômenos isolados. O programa platônico de valorizar a Ciência (*episthémé*) e de combater a opinião (*dóxa*) leva, simultaneamente, à sedimentação do pensamento geométrico (o mundo das formas) e à crítica severa da cultura oral, representada pelos Sofistas e pelos Poetas. Não se trata aqui de um ataque pessoal, mas de uma forma consciente de combater aquilo que de alguma forma relacionava-se com uma cosmovisão não científica, dominada pela mitologia. Enquanto Platão dá início à *valorização da Geometria*, Aristóteles contribui para a *formalização da Lógica*; ambos foram processos que contribuíram decisivamente para a universalização das letras, bem como para a difusão da Filosofia Grega.

II. Do céu dourado ao céu azul

A partir do primeiro século da era cristã, a oposição entre cristianismo e paganismo deixa de ser uma questão pontual. O cristianismo nasce como uma nova *Weltanschauung*, que transcende o culto, a vida moral e a espiritualidade, dando origem ao que se pode denominar de *estado mental religioso*, o qual será a forma dominante de pensamento no Ocidente ainda por muitos séculos. Este novo estado mental tudo permeia: a Filosofia, a Ciência e a Metafísica. Mas é nesta Europa Medieval que o céu vai voltar a ser azul e vai ser possível que alguém aponte uma luneta para ele.

O dourado é a cor consagrada do céu medieval, marca da pintura bizantina, que simboliza o quão rico é este lugar para uma cultura essencialmente teocêntrica. Durante séculos, Bizâncio foi um centro onde se fundiram as correntes culturais de toda a região mediterrânea e do Oriente Médio, tendo influenciado o desenvolvimento da cultura e da arte em diversos povos da Europa e da Ásia. O uso em abundância do dourado está, em parte, associado à riqueza material do ouro. Por um lado, corrobora a ostentação da Igreja naquela época; por outro, o céu - a morada de Deus e o lugar sagrado onde todas as almas boas

desfrutariam da vida eterna - deve ser o que há de mais valioso a ser almejado pelos homens de bem. Portanto, este céu estilizado, dourado, casa da vida eterna, é um céu a ser admirado, a ser contemplado, a ser respeitado. Os quadros "A Entrada em Jerusalém", de Duccio di Buoninsegna (1255-1319), provavelmente o mais influente artista de Siena do seu tempo, e "O chamamento dos Apóstolos Pedro e André", ambos de c. 1308-1311, são exemplos de uma pintura emblemática na qual se destaca o céu completamente dourado. Seu contemporâneo Giotto di Bondone (1266-1337) será o primeiro a pintar o céu de azul, sob inspiração franciscana, como veremos a seguir, refletindo uma nova compreensão da Natureza e do próprio homem que começa, então, a ser construída.

Podemos dizer que esse céu dourado faz parte do imaginário medieval cristão, caracterizado, como já foi dito, por um estado mental religioso. O Livro, ou a Bíblia, neste período, é o símbolo por excelência da relação entre homem e Deus na *Weltanschauung* cristã. Só aos poucos, a partir de São Francisco, é que dois livros - e não apenas um - vão ser apontados como capazes de levar a Deus: A *Sagrada Escritura* e o *Livro da Natureza*. Esta "nova via" está predestinada a dar novo impulso à Arte e à Ciência. De fato, São Francisco lança um novo olhar sobre a Natureza, buscando, na simplicidade e na harmonia das coisas, a beleza suprema da obra divina. Como afirma Walter Nigg,

Francisco enxergou a realidade verdadeira da criação, que nós só conseguimos captar por meio de comparações. Sentimos em todas as suas palavras a imagem viva de Deus nas coisas. O comportamento de Francisco diante das criaturas mudas era um verdadeiro retorno ao paraíso (...).

O homem de Assis é quem vai pregar para os pássaros, como retrata a famosa pintura de Giotto "São Francisco pregando para os pássaros", na qual o céu ao fundo é azul, e vai ver, em todas as criaturas e coisas do Mundo, a mão do Criador. Este ato é um ato de amor, um ato integrador: todas as criaturas são expressões da vontade de Deus. Mas é também um ato libertador, que aponta para uma limitação do próprio estado mental essencialmente religioso que dominava inclusive as Ciências e as Artes.

Como enfatiza o historiador Jaques Le Goff,

há um domínio em que se considera que a influência de São Francisco, de sua sensibilidade, de sua devoção tenha sido decisiva e tenha levado o Ocidente aos caminhos novos do modernismo: a Arte.

Não por acaso Giotto é considerado o elo de ligação entre as pinturas medieval bizantina e a renascentista. Introdutor do espaço tridimensional e da perspectiva na pintura, ele é fiel a um compromisso com os ideais franciscanos, que refletem uma nova visão mais humanista do Mundo e mais realista das coisas.

Dentre estes novos ideais franciscanos está o fato de que contemplar a beleza do mundo passa ser um modo alternativo (e não menos digno) de se chegar a Deus. Assim, São Francisco dá os primeiros passos para uma nova humanização do Mundo, admitindo que o homem deve se integrar à Natureza, sem se afastar de Deus, preservando-a e admirando-a na sua plenitude. Isso sem falar da conhecida crítica de Francisco à ostentação e ao luxo da Igreja, que de certa forma remetem ao céu dourado.

A exemplo do que em última análise propõe São Francisco, a possibilidade de ver, como bem disse uma vez o lingüista e escritor italiano Niccolò Tommaseo (1802-1874), o *Mundo quase como comentário à divindade* foi algo logo adotado por Dante Alighieri (1265-1321), na *Divina Comédia*. De fato, em um verso muito bonito do *Paraíso*, ele propõe uma metáfora para o Livro da Natureza que, com a força do amor e de Deus lhe permite perceber e admirar a essência divina.

Esse legado franciscano vai longe. É freqüente encontrarmos franciscanos que se dedicaram a estudos científicos. Podemos citar, por exemplo, Roger Bacon (1214-1294) que, por volta de 1240, ingressou para a Ordem Franciscana, onde, sob influência de Robert Grosseteste (1168-1253), dedicou-se a estudos nos quais introduziu a observação da natureza e a experimentação como fundamentos do conhecimento natural. Na verdade ele foi além de seu tutor, afirmando que o método científico depende de observação, da experimentação, da elaboração de hipóteses e da necessidade de verificação independente. Também o nominalismo de William de Ockham (1280-1349) - famoso pelo papel de destaque dado a um ideal de simplicidade em sua filosofia - tem raízes franciscanas. Os nominalistas vão tender a considerar apenas a *causa efficiens* de Aristóteles como a única causa necessária e não se pode negar que este será, mais tarde, o fulcro da Mecânica desenvolvida pelo grande Isaac Newton (1643-1727), conforme será discutido na Seção III.

No que se refere a esta compreensão embrionária de um novo método científico, é ela que, em última análise, irá libertar de vez a Ciência, e em particular a Astronomia, de todo um conjunto de atitudes cerceadoras, impostas pela representação sistemática do céu dourado. Assim, há autores que consideram Nicolau Copérnico (1473-1543) um divisor de águas. Alexander Koyré, importante historiador da Ciência, por exemplo, afirma que

O ano de 1543, ano da publicação do "De Revolutionibus Orbium Coelestium" e o da morte do autor, Nicolau Copérnico, marca uma data importante na história do pensamento humano. Estamos tentados a considerar essa data como significando 'o fim da idade média e o começo dos tempos modernos', porque, mais que a conquista de Constantinopla pelos turcos ou a descoberta da América por Cristóvão Colombo, ela simboliza o fim de um mundo e o começo de outro.

No frontispício do livro, Copérnico reproduz a mesma frase que Platão teria mandado escrever na porta de sua Academia, ou seja, *Proibida a entrada de quem ignora Geometria*. Assim, Copérnico faz questão de tornar público, na abertura de sua importante obra, que a Geometria é o caminho capaz de revelar os mistérios dos céus. Também em Kepler a descrição dos céus será baseada na Geometria: inicialmente, lançando mão dos cinco poliedros regulares de Platão e, em seguida, estabelecendo as órbitas elípticas dos planetas, a partir das quais chegou às famosas três leis de Kepler.

A experimentação e a Matemática, em especial a Geometria, são os ingredientes que ainda estão por ser incorporados de forma definitiva ao método científico pelo gênio de Galileu Galilei (1564-1642). Mas antes do físico pisano, já Leonardo da Vinci (1452-1519) via na experimentação um instrumento de honestidade intelectual, como expressa com muita clareza na passagem:

Meu propósito é resolver um problema [científico] em conformidade com a experiência (...) e devemos consultar a experiência em uma certa variedade de casos e circunstâncias, até podermos extrair deles uma regra geral que esteja contida nos mesmos (...). Elas nos conduzem a ulteriores investigações da natureza e a criações da arte. Impede-nos de iludirmos a nós mesmos, ou a outros, ao acenarmos com resultados que não possam ser obtidos.

Galileu condiz esta opinião de Leonardo ao afirmar, em seu famoso Diálogo, de 1632, que

(...) nas ciências naturais, cujas conclusões são verdadeiras e

necessárias e não têm qualquer relação com o arbítrio humano, é preciso precaver-se para não se colocar em defesa do falso (...).

Mais tarde, Galileu, assim como Dante, refere-se ao Livro da Natureza, no seu *Il Saggiatore*, afirmando ser ele escrito na linguagem matemática, como podemos ver da citação:

O grandíssimo livro [da Natureza] está escrito em língua matemática e os caracteres são os triângulos, círculos e outras figuras geométricas (...) sem as quais se estará vagueando em vão por um obscuro labirinto.

No "novo mundo" da Ciência, que começou a se delinear com Copérnico, Galileu foi o primeiro astrônomo a utilizar o telescópio em toda a sua potencialidade, o que o levou a observar as crateras da Lua e os satélites de Júpiter.

Em suma, o que procuramos destacar nesta seção é que uma cultura que pinta o céu de dourado é incapaz de produzir a revolução copernicana, ou de descobrir as imperfeições da Lua, como fez Galileu. Só o céu azul pode ser escrutinado com uma luneta (ou, mais tarde, com um telescópio), tornando-se objeto de um olhar investigativo, questionador, lugar de estudos empíricos. A Arte, nesse particular, antecedeu a Ciência, como vimos, a partir das visões revolucionárias de São Francisco de Assis e de Giotto, seguido por tantos outros como Piero de la Francesca, Masaccio e o próprio Rafael Sanzio (1483-1520). Este último, no seu famoso quadro "A Escola de Atenas", pintado entre 1509 e 1510, dispôs figuras de sábios de diferentes épocas como se fossem colegas de uma mesma academia, em um quadro fortemente marcado pela geometria, e coloca a si próprio em meio ao grupo que está estudando Geometria com Euclides.

III. O determinismo mecanicista

Talvez Newton (1642-1727) tenha sido o último bruxo, e, certamente, o maior físico de todos os tempos, apoiado em ombros de gigantes. Destacamos suas contribuições para: a *reunificação da Física*, que havia sido perdida a partir do momento que a descrição dos céus passa a ser feita de acordo com Copérnico, com um sistema heliocêntrico, contrapondo-se ao sistema geocêntrico defendido por Aristóteles, enquanto a física sub-lunar continuava sendo a aristotélica; a *teoria da Gravitação Universal*; um novo conceito de *espaço absoluto*, que, segundo Koyré, é uma realidade que Newton aceita sem hesitar uma vez que ele pode apoiá-lo e fundamentá-lo em Deus; e, por último, mas não menos importante, o desenvolvimento do *Determinismo Mecanicista*.

Newton deu um significado mais amplo ao princípio da relatividade de Galileu. Se as leis da Mecânica são válidas em um dado referencial, então são igualmente válidas em qualquer referencial que se mova uniformemente em relação ao primeiro. Este princípio de absoluta equivalência entre dois sistemas de referência que se movem relativamente implica o abandono de qualquer possibilidade de movimento absoluto. Sua famosa primeira lei pode ainda ser enunciada afirmando-se que não há um experimento envolvendo a Mecânica que nos possibilite distinguir o repouso do movimento retilíneo uniforme. Como diria nosso saudoso César Lattes (1924-2005), *vá aprender suas lições na Natureza, pois toda teoria é provisória, mas o resultado empírico, não!*

Em geral, podemos afirmar que Newton e os newtonianos buscam determinar as forças que geram as mudanças de estado dos movimentos. É a valorização da *causa efficiens*. Esquemáticamente, podemos dizer que essa busca, originada em Descartes (1596-1650), ganha corpo em Newton, é formalizada por Leonhard Euler (1707-1783) e culmina com Laplace (1749-1827). Durante essa evolução, vai se

afirmando a idéia de um determinismo absoluto, de cunho mecanicista. Nas palavras de Laplace:

Nós devemos considerar o estado presente do Universo como efeito de seu estado anterior, e causa do que se deve seguir. Uma Inteligência que, por um dado instante, conhecesse todas as forças de que a natureza é animada e a situação respectiva dos seres que a compõem, se fosse suficientemente vasta para submeter esses dados ao cálculo, abraçaria na mesma fórmula os movimentos dos maiores corpos do Universo e os do átomo mais leve: nada seria incerto para ela e o futuro, como o passado, estaria presente aos seus olhos.

A Física newtoniana se vale de (e acaba moldando) um observador que se pretende capaz de poder observar o mundo de fora, quase como um deus. Portanto, não é demais afirmar que a teoria mecânica de Newton levou a uma *Weltanschauung* Mecanicista, de grande influência até o final do século XIX e capaz de transcender a Física. Suas idéias irão influenciar o jovem Kant, a Filosofia e todo o programa de investigação científica da Química do século XIX, dedicado a medir os pesos atômicos dos elementos químicos. Lavoisier (1743-1794) e tantos outros tiveram influências de Newton e não é difícil entender tal programa depois do sucesso da lei da Gravitação Universal, que cunhou um *status* diferenciado para a força peso. Foi graças a esse programa sistemático, de inspiração newtoniana, que os químicos puderam "arrumar a casa" e dirimir muitas dúvidas sobre os valores dos pesos atômicos, sem o que certamente Mendeleiev (1834-1907) não poderia ter chegado à sua Tabela Periódica.

Construindo sua Física em torno do *espaço absoluto*, Newton consegue finalmente conciliar uma teoria do espaço com Deus, coisa que nenhuma teoria precedente havia alcançado. Deus não é mais a causa do movimento, que passa a ser atribuída ao conceito de *força*. Segundo Newton, Deus atua como um artífice da ordem, uma espécie de relojoeiro que de tanto em tanto acerta o grande relógio que é o Mundo, símbolo e metáfora dessa nova *Weltanschauung*.

O trabalho de Newton restabeleceu a confiança na Ciência e na Razão, e abriu caminho para o Iluminismo e para o Enciclopedismo, por um lado, e indiretamente, para a reforma universitária de Humbolt, para o ideal de independência dos três poderes e o subsequente desenvolvimento dos autômatas.

IV. A Física Moderna e os novos paradigmas

As Geometrias não-euclidianas, estudadas e estabelecidas ao longo do século XIX, tiveram grande impacto na Física e na Arte do século seguinte. De fato, do ponto de vista do seu instrumental teórico, o desenvolvimento da Teoria da Relatividade dependeu crucialmente do desenvolvimento destas geometrias, importante legado do século XIX. A influência dessa conquista da Matemática transcende a Física e teve também enorme influência nas Artes, em especial no Cubismo. Basta lembrar dos quadros de George Braque (1882-1963), "Menina com Violão", de 1913, e o "Violino e Uvas", pintado em 1912 por Pablo Picasso (1881-1973), para termos uma clara idéia do processo de desconstrução cubista do espaço euclidiano. Há registros de que Picasso, por exemplo, estava familiarizado com as novas geometrias. Já no quadro "Nu descendo a Escada nº 1", Marcel Duchamp (1887-1968) busca uma representação do *espaço-tempo* na pintura. Voltaremos a este ponto logo a seguir, quando falarmos de Einstein.

No caso da pintura européia, ideais renascentistas e o uso da perspectiva impregnavam de tal maneira as representações artísticas do Mundo, que vários pintores acabaram buscando se abrir a influências de outras culturas, como a japonesa e a africana. Sobre a primeira, podemos citar o exemplo de Vicent van Gogh (1853-1890), em "Retrato do Pai Tanguy", no qual aparecem várias imagens de

origem oriental ao fundo. O próprio Picasso e também Paul Klee (1879-1940) recorreram à arte africana como fonte de inspiração para alguns trabalhos. Infelizmente, não podemos nos alongar mais neste ponto. Contudo, antes de voltarmos para a Física, gostaríamos apenas de ressaltar que, paralelamente a esta busca de novos caminhos usando geometrias não-euclidianas ou ingredientes de outras culturas, é digna de nota a contribuição do pintor Piet Mondrian (1872-1944), que levou o ideal geométrico às últimas conseqüências, pregando o afastamento do artista da natureza. Em particular, este pintor holandês estava convencido de que cabia ao artista buscar nas formas mutáveis da natureza aquelas que são puras e permanentes; as *formas geométricas*. Tanto neste sentido, como na vontade partilhada de físicos e pintores de destruir as concepções clássicas de espaço, que se verifica neste período da passagem do século XIX para as duas primeiras décadas do século XX, Arte e Ciência voltam a se encontrar. E é aí que chegamos à terceira Geometrização da Física levada a bom termo por Albert Einstein (1879-1955).

A teoria físico-matemática da Relatividade, elaborada por Einstein, em 1905, mudou o rumo da Física Moderna. Abrindo um parêntesis, é preciso não confundir *relatividade* com *relativismo*, entendido como a não aceitação de princípios absolutos em qualquer campo do saber e do agir. É preciso que fique claro que, em última análise, a Teoria da Relatividade busca *expressões invariantes das leis físicas* e, portanto, independentes de condições subjetivas. Vejamos, esquematicamente, algumas de suas contribuições:

- forja (junto com a Mecânica Quântica) um novo observador que se afasta significativamente daquele privilegiado do mecanicismo de Newton e de Laplace;
- muda o desenvolvimento da Física no século XX e abre caminho para um desenvolvimento tecnológico espetacular;
- introduz profundas modificações em conceitos basilares como os de *espaço, tempo, massa e energia*.
- cria um conceito totalmente novo para a Física: o *espaço-tempo*;
- contribui para o desenvolvimento de uma nova teoria da Gravitação e de uma Cosmologia científica.

Surge, a partir daí, uma nova *Weltanschauung* baseada na Teoria da Relatividade Restrita de Einstein. Partindo de uma profunda revisão do conceito de *simultaneidade* e escolhendo o Eletromagnetismo de Maxwell como novo paradigma de teoria física, o conceito de éter é abandonado. O tempo deixa de ser algo que flui eternamente da mesma forma e passa a depender do estado de movimento do observador. É o fim do longo reinado do *tempo absoluto*. O tempo não é mais imutável.

Com o surgimento da Mecânica Quântica, novos desdobramentos espetaculares da Relatividade ainda estão para ser conhecidos: tratam-se da revisão do conceito de *vácuo*, feita por Dirac (1902-1984), e da criação do conceito de *anti-matéria*.

A Mecânica Quântica acabou sendo a solução para uma das *duas nuvens* que Lord Kelvin (1824-1907) via no céu da Física Clássica na passagem do século XIX para o XX. A dissipação da outra veio com a Relatividade. Ninguém podia imaginar, nem mesmo quem com tanta perspicácia vislumbrou o problema, que a dissipação destas duas pequenas nuvens traria uma revolução tão grande e tão espetacular para a Física do século XX. Foram introduzidas, como conseqüência, duas novas constantes fundamentais: a constante de Planck e a velocidade da luz no vácuo.

Com sua origem no estudo das radiações emitidas pelos corpos negros, o marco original da Mecânica Quântica não está relacionado a um tema central da Física do século XIX. Esses estudos tinham mais um interesse tecnológico do que científico, em um primeiro momento, ligado à siderurgia. Max Planck (1858-1947) faz, na verdade, um ajuste aos dados disponíveis na época sobre o espectro de emissão de um corpo negro. No entanto, como bem destaca o historiador da Ciência Max Jammer, *nunca na história da Física houve uma interpolação matemática tão imperceptível com tão amplas conseqüências físicas e filosóficas*. Nas mãos de Einstein, a hipótese de Planck é utilizada para mostrar que a luz pode se comportar como um gás de fótons e para explicar o efeito fotoelétrico.

Outras duas descobertas importantíssimas haviam sido feitas poucos anos antes: a descoberta do elétron e a dos raios X. A completa compreensão de ambas dependeria ainda do desenvolvimento da Mecânica Quântica, para o qual contribuíram Niels Bohr (1885-1962), Louis de Broglie (1892-1897), Erwin Schrödinger (1887-1961), Werner Heisenberg (1901-1976), Max Born (1882-1970) entre outros. Para uma discussão detalhada das origens desta teoria sugerimos a leitura do livro *Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos*.

Aqui é importante destacar que o estudo das descargas em gases, durante o final do século XIX, foi um dos capítulos mais marcantes da Física. Foi a partir dele que se descobriram o elétron e os raios X. O debate científico em torno deste tema teve o mérito inicial de colocar na ordem do dia a discussão acerca da natureza da luz. Ambas foram descobertas que tiveram, historicamente, um papel essencial na compreensão da estrutura da matéria e da Física Atômica.

O elétron põe em evidência, depois de 25 séculos, o fato de que o átomo não é indivisível, como acreditavam os gregos e os químicos. Por outro lado, dos estudos de raios catódicos vão aparecer as primeiras válvulas e os primeiros diodos, marcos de uma nova era que estava para se inaugurar no século XX, a *Eletrônica*, a qual viria a mudar qualitativamente a tecnologia deste século.

Já os raios X, descobertos por Wilhelm Röntgen (1845-1923), foram muito importantes no estudo da cristalografia, a partir dos estudos de William Henry Bragg (1862-1942) e William Lawrence Bragg (1890-1971) e na própria compreensão das regularidades atômicas, como ficou evidenciado pelo trabalho sistemático de Henry Moseley (1887-1915). Assim como o elétron, os raios X tiveram enorme impacto sobre a sociedade, a partir de suas aplicações na área médica e, posteriormente, na indústria.

Abriu-se, assim, todo um novo campo de estudos sobre o microcosmo, que culminou por nos mostrar que o determinismo mecanicista não mais funcionava. Revelou-se com clareza o limite de aplicabilidade da Mecânica newtoniana. Aquele observador privilegiado para o qual o tempo apenas fluía absoluto já não existia. Com a Mecânica Quântica, este observador perde também sua capacidade de prever deterministicamente o futuro e o passado como imaginou Laplace. O novo observador, esse novo homem fruto das mudanças de paradigma da Ciência no século XX sequer pode observar um sistema microscópico sem interferir nele, muitas vezes podendo até destruí-lo. Esse novo observador é irremediavelmente mais limitado. A ele não resta que falar de probabilidades, embora estas sejam conhecidas de forma determinista a partir da famosa equação de Schrödinger.

No período das três primeiras décadas do século XX, no qual se construiu a Mecânica Quântica, presenciou-se ainda o surgimento do surrealismo, da psicanálise e de grandes revoluções no Mundo. Houve uma ruptura definitiva com o mundo ordenado cartesiano. Foi um período extremamente fértil, que, sem dúvidas, obrigou o homem a mudar seu modo de olhar para a natureza e para si mesmo.

Por mais difícil que possam nos parecer os dias de hoje, com toda a dificuldade de se fazer Ciência no Brasil, podemos nos augurar, com otimismo, como o fez nosso querido Leite Lopes (1918-2006) em algum dia próximo do final de 2005, que, *um dia, esse clima de desconfiança e de desestímulo vai desaparecer*. Enquanto isto, é nossa obrigação, como professores, intelectuais e formadores de jovens cientistas perseverar mostrando com entusiasmo que a Física

Moderna continuará apontando novas direções para as quais os homens de bem poderão olhar, conhecer melhor o mundo que o cerca e se conhecer melhor, respeitando e tentando melhorar a sociedade em que vive.

Agradecimento

O autor gostaria de agradecer à Comissão Organizadora do II Encontro Regional de Ensino de Física do Rio Grande do Sul, Prof^a. Eliane Angela Veit, Prof. Marco Antonio Moreira e Prof. Ives Solano Araújo, pelo convite, pelo apoio, pela oportunidade de participar do Encontro e pelo estímulo e paciência, sem os quais este texto não teria sido escrito.

Referências Bibliográficas

-Alexander Koyré: *La Révolution Astronomique*. Paris: Hermann (1961), p. 15.

Francisco Caruso & Roberto Moreira Xavier de Araújo: "Dal volumen al libro, dal codex allo schermo: saggio sulle interrelazioni tra i supporti della Scrittura e le concezioni fisico-filosofiche dello spazio nella storia della cultura occidentale", *Dialoghi: Rivista di Studi Italici* 1, p. 135-158 (1997).

Francisco Caruso & Roberto Moreira Xavier: "A Física e a Geometrização do Mundo: Construindo uma Cosmologia Científica" in Jenner Barreto Bastos Filho; Nádia Fernanda Maia de Amorim; Vinicius Nobre Lages (Orgs.): *Cultura e Desenvolvimento: A Sustentabilidade Cultural em Questão*. Recife: EDUFPE, p. 85-106 (1999).

Francisco Caruso & Roberto Moreira Xavier: "Novos espaços na Arte e na Ciência", *Ciência Hoje na Escola*, volume 7. Rio de Janeiro: SBPC, p. 71-76 (1999).

Francisco Caruso & Vitor Oguri: *Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos*. Rio de Janeiro: Elsevier/Campus (2006).

Francisco Caruso: "Do céu dourado ao azul: uma importante mudança no imaginário medieval", publicado na revista eletrônica *Facção Científica*, de junho de 2007, http://www.faccaocientifica.org/index.php?option=com_content&task=view&id=141&Itemid=74 (acesso em 10.12.2007).

Jaques le Goff: *São Francisco de Assis*. Rio de Janeiro: Editora Record (2001).

Walter Nigg: *O Homem de Assis: Francisco e seu Mundo*. Petrópolis: Vozes (1975).