

## The transition from classical physics to modern physics according to Thomas Kuhn

### A transição da Física Clássica para a Física Moderna segundo Thomas Kuhn

Francisco de Assis Lima de Sousa Junior<sup>1</sup>, Luiz Pinguelli Rosa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia,  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

<sup>2</sup>Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade  
Federal do Rio de Janeiro

fassis@metalmat.ufrj.br, lpr@adc.coppe.ufrj.br

Recebido: 4/12/2019

Aceito: 8/12/2019

Publicado: 13/12/2020

**Abstract.** *Thomas Kuhn, the philosopher of science, became prominent in the mid-twentieth century by advocating an epistemology based on the history of science. His best-known work, “The Structure of Scientific Revolutions” has had a major impact on the scientific community by supposing that science does not progress continually through the substitution of theories but does so through ruptures of paradigms. According to Kuhn, scientific development goes through a period of deepening (normal science) followed by a culminating crisis, the paradigm break (scientific revolution). This paper sought to show that the transition from Classical Physics to Modern Physics, where the Newtonian paradigm breaks down, clearly exemplifies Kuhn's theory.*

**Keywords:** *History of science. Kuhn's Theory. Classical physics. Modern physics.*

**Resumo.** *O filósofo da ciência Thomas Kuhn teve grande destaque em meados do século XX ao defender uma epistemologia baseada na História da Ciência. Sua mais conhecida obra “A estrutura das revoluções científicas” causou grande impacto na comunidade científica ao supor que a Ciência não progride continuamente através da substituição de teorias e sim por meio de rupturas de paradigmas. Segundo Kuhn, o desenvolvimento científico passa por um período de aprofundamento (ciência normal) e depois de crise culminando com a quebra de paradigma (revolução científica). Este trabalho procurou mostrar que a teoria de Kuhn pode ser claramente exemplificada pelo período de transição da Física Clássica para a Física Moderna onde ocorre o rompimento do paradigma newtoniano.*

**Palavras-chave:** *História da ciência. Teoria de Kuhn. Física clássica. Física moderna.*

## 1. Introdução

Muitos filósofos da ciência se preocuparam em tentar descrever como a ciência produz conhecimento e como ela se desenvolve. Desde a Grécia Antiga, as diversas correntes filosóficas que surgiram buscavam compreender como o homem adquire conhecimento e cria métodos para explicar a natureza (ROSA, 2005). Podemos citar entre essas correntes o Idealismo, o Empirismo, o Racionalismo, o Realismo e o Positivismo, que teve grande influência durante o século XIX sendo reformulado no início do século XX dando origem ao Neopositivismo (ROSA, 2005). Porém, em meados do século XX, um grupo de filósofos da ciência criticou duramente a doutrina positivista e os seus padrões rígidos do fazer científico. Dentre eles destacamos Karl Popper (1902 –1994), Paul Feyerabend (1924 –1994) e Thomas Kuhn (1922–1996), que se opuseram ao positivismo resgatando a importância da metafísica e a preocupação com a construção do conhecimento científico ao invés de privilegiar a lógica da produção científica (ROSA, 2006).

Para Popper, a ciência avança permanentemente por meio da substituição de teorias, onde uma melhor ou mais consistente toma o lugar da anterior. Assim, as teorias são sempre provisórias pois são postas à prova continuamente, isso é o que caracteriza uma teoria científica segundo Popper, o fato dela ser falseável e conseqüentemente refutável. Considera que as teorias se originam de conjecturas, negando assim o seu caráter dedutivo e indutivo (POPPER, 2011 apud. GALINDO DA COSTA; TONELO, 2012).

Feyerabend defendia o que batizou de anarquismo metodológico, uma espécie de vale-tudo científico. Dessa forma, criticou a uniformidade na ciência por deixá-la acrítica e os seus métodos imutáveis como um conjunto de regras bem definidas a serem seguidas pelos cientistas. Valoriza toda e qualquer teoria pois é capaz de aperfeiçoar o conhecimento mesmo considerada ultrapassada ou absurda (ROSA, 2006).

Já para Kuhn, a ciência avança por meio de rupturas de paradigmas que ocorrem de tempos em tempos. Ao intervalo de tempo em que os paradigmas norteiam a produção científica Kuhn chamou de ciência normal. Segundo Kuhn, após um período de crise devido ao surgimento de anomalias (fenômenos que contrariam as teorias), a ciência normal daria origem a uma revolução científica gerando como consequência a instauração de um novo paradigma, ou seja, uma nova forma de fazer ciência (KUHN, 2018).

Esses três nomes da filosofia científica têm em comum o fato de utilizar a História da Ciência como base para as suas teorias (GALINDO DA COSTA; TONELO, 2012). Mas a Teoria de Kuhn possivelmente foi a que causou maior impacto sendo debatida até os dias de hoje. Podemos observar em seu livro “A estrutura das Revoluções Científicas” que suas definições de paradigma e revolução científica remontam com certa facilidade ao período de transição da Física Clássica, com predomínio da Mecânica Newtoniana, para a Física Moderna, com o advento das Teorias da Relatividade e da Mecânica Quântica. O objetivo deste trabalho é demarcar, dentro desse período de transição, os momentos de ciência normal e de revolução científica fazendo uma análise crítica da teoria kuhniana.

## 2. A Física Clássica

A chamada Revolução Científica do século XVII, iniciada no século XVI com o Heliocentrismo de Copérnico e em seguida com o primitivo método científico de Galileu, trouxe uma nova visão de mundo para a humanidade. A Terra deixava de ser o centro do universo e o homem passava ser parte da natureza, com isso buscava-se não mais contemplá-la, mas entendê-la para reproduzir os seus fenômenos e passar a controlá-la. Apesar de outros grandes físicos, como Descartes e Leibniz terem contribuído para a “nova Física” que surgia, foi Isaac Newton que acabaria unificando as físicas celeste e sublunar, descrevendo com grande precisão, à partir de sua Mecânica, tanto o movimento dos planetas quanto dos corpos nas proximidades da Terra (ROSA, 2005).

A Mecânica Newtoniana, com suas leis de movimento e a Gravitação, se tornou o paradigma mais forte da história da ciência moderna, vigorando por dois séculos e servindo de base conceitual para outras áreas da Física como a Óptica/Ondulatória, Termodinâmica e Eletromagnetismo (PINHEIRO, 1999). O conjunto dessas áreas, influenciadas pelo paradigma mecanicista (newtoniano) que mais tarde fora rompido, é comumente chamado de Física Clássica. Todas as teorias que surgiram neste período da história, tinham que concordar com a Física newtoniana (RIBEIRO FILHO, 2014).

A Física Clássica tem como características principais a previsibilidade e o determinismo; suas leis possuíam consistência matemática e eram comprováveis experimentalmente (PINHEIRO, 1999). Tivemos, dentro do paradigma clássico, grandes descobertas que muitos estudiosos da ciência consideram verdadeiras revoluções, a unificação da Eletricidade com o Magnetismo, com a Óptica por meio das equações de Maxwell, e com a Termodinâmica utilizando os conceitos de energia e de conservação da energia (ROSA, 2006). Enquanto o Eletromagnetismo contou com um formalismo matemático sofisticado, a Termodinâmica tratava os seus fenômenos de forma sistêmica utilizando variáveis coletivas (Pressão, Volume e Temperatura) em vez de partículas isoladas como a mecânica fazia. Porém, estas descobertas ainda tinham como base a mecânica newtoniana e poderiam de alguma forma sempre apropriar-se de suas grandezas e conceitos. Essa apropriação foi feita mais tarde com a teoria cinética dos gases, que através da Mecânica Estatística, inseriu as Leis de Newton na Termodinâmica. Enquanto isso, Maxwell desenvolveu o seu Eletromagnetismo insistindo no éter e seus efeitos mecânicos (ROSA, 2006).

## 3. A Física Moderna

Chamada de “moderna” por ser mais recente, possui base conceitual diferente da clássica e teve início aproximadamente na primeira década do século XX. Nesta época, ainda sob a vigência do paradigma clássico, Sir William Thomson (1824-1907), também conhecido como Lorde Kelvin, fez a seguinte afirmação: “existem apenas duas nuvens a serem removidas do céu límpido da Física” (MARTINS, 2014).

Esta frase nos mostra a grande confiança que os cientistas tinham nas leis da Física Clássica em sua capacidade de solucionar os problemas que surgiam. Por outro lado, essas duas anomalias estavam sinalizando um possível esgotamento dessa capacidade. Uma das

nuvens diz respeito ao problema do espectro que um corpo negro emitia ao absorver radiação, essa distribuição de energia insistia em contrariar a teoria. A outra nuvem seria o resultado inesperado do experimento de Michelson-Morley que, apesar da sofisticação experimental, não conseguiu detectar o vento etéreo, isto é, comprovava ainda mais a inexistência do éter (SCHULZ, 2007).

Para a radiação do corpo negro, Max Planck sugeriu que as ondas eletromagnéticas se propagam descontinuamente, como em pacotes discretos de energia. O experimento de Michelson-Morley levou Einstein a negar a existência do éter e a postular a constância da velocidade da luz. Essas duas soluções propostas por Planck e Einstein foram o germe da Mecânica Quântica e Relatividade respectivamente, trouxeram novos conceitos como “quantização da energia” e “dualidade onda-partícula”, e assim um novo paradigma começava a surgir (RIBEIRO FILHO, 2014).

A Física Moderna tem como características teorias não intuitivas e interpretações probabilísticas. Algumas experiências relacionadas a TR e a MQ fornecem resultados totalmente inesperados como, por exemplo, a dilatação do tempo percebida pelos corpos que viajam com velocidades próximas a da luz. Outro exemplo contra intuitivo é o que mostra o experimento da fenda dupla onde um elétron, com propriedades de partícula, passa pelas duas fendas ao mesmo tempo (ROSA, 2006).

Diferentemente da Física Clássica, as dificuldades de observação dos fenômenos e a medição de suas grandezas dão um caráter de indeterminação para a Física Moderna, em especial para a Mecânica Quântica. O Princípio de Heisenberg é um exemplo da influência dos aparelhos de medida sobre o fenômeno observado no mundo quântico. Segundo este princípio não é possível determinar a posição e o momento de uma partícula subatômica ao mesmo tempo, ou seja, ao determinar a posição dessa partícula perde-se a medida do seu momento (PINHEIRO, 1999).

Essa “nova Física” trouxe outra visão de mundo para os cientistas, novas formas de interpretar a natureza e de fazer ciência.

#### **4. A Teoria de Kuhn**

O livro *A estrutura das revoluções científicas*, de Thomas Kuhn, foi um dos livros da filosofia científica mais lidos, causando bastante impacto na filosofia da ciência. Também por conta desse sucesso, foi muito debatido e criticado. A filosofia de Kuhn se caracteriza por valorizar a história da ciência e as disputas pelo reconhecimento entre grupos, dentro da comunidade científica. Tem como principais conceitos o paradigma e a revolução científica, cujas funções são, respectivamente, direcionar as pesquisas e instaurar novas formas de enxergar os fenômenos.

Kuhn define o paradigma como “realizações científicas reconhecidas durante algum tempo por um grupo de pesquisadores proporcionando fundamentos para a sua prática posterior” (KUHN, p. 71, 2018). Para Kuhn, o paradigma é importante porque direciona a pesquisa e aponta os problemas a serem resolvidos; chega a afirmar que não existe pesquisa sem um paradigma como base. Um paradigma é escolhido quando se torna mais bem-sucedido entre os competidores, porém não soluciona todos os problemas, pois é uma

promessa de sucesso necessitando ser fortalecida, o que vai ocorrer no período de ciência normal (KUHN, 2018).

A ciência normal é um período de amadurecimento do paradigma, uma atualização dessa promessa de sucesso. O objetivo da ciência normal não é a descoberta e sim adequar à natureza às teorias, pois as supostas descobertas já foram previstas pelo paradigma vigente. Sendo assim, o trabalho do cientista se assemelha à resolução de quebra-cabeças, onde o problema existente já possui uma solução dentro das teorias aceitas pelos cientistas, basta encontrá-la como quem encontra as peças certas de um *puzzle* (KUHN, 2018).

Quando a natureza contraria as expectativas do paradigma, surge então uma anomalia que começará a ser amplamente explorada pela área de estudo à qual pertence, até que se consiga ajustar a teoria aos dados empíricos. Porém, se essa anomalia resistir, ela passará a ser reconhecida pela comunidade científica, mobilizando um número cada vez maior de cientistas na tentativa de extingui-la. A consequência disso é o surgimento de inúmeras teorias que acabam enfraquecendo o paradigma e, inclusive, questionando a validade das soluções até este momento alcançadas. Para Kuhn essa proliferação de teorias já seria um sinal de crise dentro da ciência. É o momento de pensar em alternativas conceitualmente diferentes, em que aparecem novos candidatos a paradigma, iniciando, assim, uma disputa entre estes postulantes (KUHN, 2018).

O processo de escolha de um paradigma se dá muito mais pelo poder de persuasão do que pela sua capacidade de resolução de problemas. Isso acontece porque cada um deles, possui a sua própria forma de interpretar a natureza e geralmente apresentam grande eficiência. Por serem incompatíveis, os paradigmas em disputa não conversam entre si, não podem sofrer comparações e a escolha por um deles acaba sendo determinada por uma mistura de critérios objetivos e subjetivos (MENDONÇA; VIDEIRA, 2007). Esta situação ficou conhecida como a tese da incomensurabilidade de Kuhn. Enfim, o paradigma vencedor substitui o anterior, que só é abandonado quando um novo é adotado, ou seja, não se descarta um paradigma enquanto não exista um novo para tomar o seu lugar.

A esta ruptura de paradigma, com a consequente substituição por outro, Kuhn chama de revolução científica (PEDUZZI, 2006). A partir daí os cientistas passam a ter uma nova visão ao observar os mesmos fenômenos, criam novas práticas de investigação e novos instrumentos de medição. O termo “revolução científica” pressupõe grandes descobertas com um largo alcance, modificando radicalmente todo o conhecimento construído dentro de uma ou várias áreas de pesquisa. Mas para Kuhn, essa mudança radical não necessita mais do um grupo forte afetado para ser considerada uma revolução científica.

## **5. A mudança do paradigma clássico para a Mecânica Quântica**

O período de transição entre a Física Clássica e a Física Moderna é emblemático, pois apresenta acontecimentos que podem ser explicados pela Teoria de Kuhn. Em uma tentativa de demarcar as fases descritas por esta teoria dentro do período histórico citado, consideramos inicialmente como ciência normal o período de realizações da Física compreendido entre o surgimento das Leis de Newton até o advento das Equações de Maxwell. A Mecânica Newtoniana serviu de base para outras áreas da Física, pois todas as

teorias tentavam sempre se adequar ao paradigma mecânico (BEZERRA, 2006). Durante a vigência deste paradigma, a Física se aprofundou e se especializou, agregando uma enorme gama de conhecimentos e dando conta de praticamente todos os fenômenos até então conhecidos. Dessa forma, entendemos que os cientistas praticaram a chamada ciência normal até o surgimento do Eletromagnetismo de Maxwell, onde começaram a surgir algumas inconsistências.

A teoria de Maxwell foi formulada totalmente independente da existência do éter, cuja existência, até então, era condição *sine qua non* para a propagação das ondas eletromagnéticas assim determinadas pela teoria (BEZERRA, 2006). Além do problema da existência ou não do éter, outra anomalia estava perturbando os cientistas: tratava-se da inadequação dos dados experimentais à teoria da radiação do corpo negro, do qual a energia (radiação eletromagnética) deveria ser emitida de maneira contínua, conforme o paradigma clássico. Ambos os casos mobilizaram diversos cientistas e várias teorias foram criadas para eliminar essas anomalias, mas acabavam gerando mais inconsistências e comprovavam cada vez mais que o paradigma precisava ser substituído (MARTINS, 2014). Assim, podemos associar esta situação ao período em que Kuhn chama de crise.

Este período de crise teria permanecido até Max Planck, em 1900, propor a quantização da energia, que serviu de base para o surgimento da Mecânica Quântica. Quinze anos mais tarde, Einstein postulou a constância da velocidade da luz em qualquer referencial, que deu origem à Teoria da Relatividade (RIBEIRO FILHO, 2014). Concluímos então que essas duas teorias representaram uma revolução científica, pois trouxeram uma nova forma de enxergar a natureza e novos fenômenos foram descobertos. Um mundo determinístico dava lugar a um mundo probabilístico, espaço e tempo absolutos passaram a ser relativos, a matéria deixava de ser contínua com o desenvolvimento dos modelos atômicos. Instaurava-se assim um novo paradigma na Física e conseqüentemente um novo período de ciência normal.

## 6. Considerações finais

A obra de Thomas Kuhn impactou bastante a comunidade científica, revolucionando a filosofia da ciência e o concedendo a Kuhn o reconhecimento como um dos mais influentes epistemólogos da história (MENDONÇA, 2012). Segundo Mendonça (2012) além de confrontar os neopositivistas, Kuhn atribuiu importante papel epistemológico à História da Ciência na construção do conhecimento científico, diferente do papel meramente ilustrativo que sempre recebeu ao longo do tempo.

Porém, Kuhn também foi bastante criticado sendo acusado inclusive de considerar que a ciência é construída de maneira irracional. Sua tese da incomensurabilidade ameaça a racionalidade da ciência para muitos filósofos, pois Kuhn afirma que as técnicas argumentativas de persuasão utilizadas dentro da comunidade científica é que são determinantes para a escolha do paradigma vencedor ao invés da lógica e das observações empíricas (KUHN, 2018). Se os paradigmas anterior e atual são incompatíveis, isso implica que também são incomparáveis entre si, portanto, os resultados empíricos de nada serviriam para decidir um conflito de paradigmas (ROSA, 2006).

As múltiplas interpretações sobre paradigma e revolução científica também foram motivos de crítica, assim como a suposta desvalorização do trabalho do cientista que passa

a maior parte da sua vida se ocupando com a ciência normal. Será que Newton e Einstein praticavam ciência normal?

Estamos sob a vigência do paradigma Moderno, porém, alguns autores consideram que neste momento a ciência pode estar passando por um período de crise, com novos questionamentos sobre o seu papel na sociedade e com a necessidade de aproximação com as ciências sociais (GALINDO DA COSTA; TONELO, 2012). Estamos em vias de presenciar o surgimento de um novo paradigma? Um paradigma Pós-moderno?

## **Financiamento**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## **Referências**

BEZERRA, V. A.. **Maxwell, a teoria do campo e a desmecanização da física.** SCIENTIAE STUDIA (USP), São Paulo, SP, v. 4, n.2, p. 177-220, 2006.

GALINDO DA COSTA, A.; TONELO, D. **Filosofia da ciência e mudanças de paradigma: uma breve revisão da literatura.** Temas de Administração Pública (UNESP. Araraquara), v. 4, p. 1-13, 2012.

KUHN, T.S. **A estrutura das revoluções científicas.** Trad. Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. São Paulo: Perspectiva, 2018. (Debates;2015)

MARTINS, R.A., ROSA, P.S. **História da Teoria Quântica: a dualidade onda-partícula, de Einstein a De Broglie.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

MENDONÇA, A.L.O. **O legado de Thomas Kuhn após cinquenta anos.** Scientiae Studia (USP), v. 10, p. 535-560, 2012.

MENDONÇA, A.L.O.; VIDEIRA, A.A.P. **Progresso científico e incomensurabilidade em Thomas Kuhn.** Scientiae Studia (USP), v. 5, p. 167-83, 2007.

PEDUZZI, L. O. Q.. **Sobre continuidades e descontinuidades no conhecimento científico: uma discussão centrada na perspectiva kuhniana.** Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, 2006, v., p. 59-83.

PINHEIRO, I.A. **O Tao da Administração.** In: XXIII ENANPAD, 1999, Foz do Iguaçu, PR. Anais (CD), 1999.

RIBEIRO FILHO, A. **Uma Breve Discussão sobre alguns Caminhos da Física.** Ideação (UEFS), v. 28, p. 79-120, 2014.

ROSA, L.P. **Tecnociências e humanidades: novos paradigmas, velhas questões, v.1: O determinismo newtoniano na visão de mundo moderna.** São Paulo: Paz e Terra, 2005.

**ROSA, L.P. Tecnociências e humanidades: novos paradigmas, velhas questões, v.2: a ruptura do determinismo, incerteza e pós-modernismo.** São Paulo: Paz e Terra, 2006.

**SCHULZ, P. A. Duas nuvens ainda fazem sombra na reputação de Lorde Kelvin.** Revista Brasileira de Ensino de Física (Impresso) , v. 29, p. 509-512, 2007.