



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

IZABELY CARREIRA DA LUZ

**Análise crítica de Pierre Duhem sobre a Teoria Eletromagnética de Maxwell**

Orientador: Prof. Dr. Daniel Gardelli

Maringá  
2023



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

IZABELY CARREIRA DA LUZ

**Análise crítica de Pierre Duhem sobre a Teoria Eletromagnética de Maxwell**

Orientador: Prof. Dr. Daniel Gardelli

Monografia apresentada ao  
Departamento de Física da Universidade  
Estadual de Maringá, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de  
Licenciada em Física.

Maringá  
2023

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus, sem o qual não estaria aqui e não teria a oportunidade de finalizar este projeto.

Agradeço ao Professor Daniel Gardelli, pela coordenação e apoio durante a realização deste trabalho, pelo auxílio que recebi, pela paciência e dedicação em orientar-me e por todas as excelentes aulas ministradas durante a minha graduação.

Agradeço aos meus colegas de curso, pelo companheirismo e pelos momentos de descontração durante os anos em que partilhamos conhecimento em sala de aula, em especial agradeço a Fabio Samuel da Silva, Rebecca Domingues Salles, Regiane Malaguti, Victoria Gonzaga e Gabriel Tolardo Colombo pela amizade e paciência comigo durante a graduação.

Agradeço a todos os meus professores, que me ensinaram a não desistir da educação e da Universidade Pública, pois só elas podem transformar a realidade em que vivemos. Em especial, agradeço à Professora Mayara de Oliveira, pelos ensinamentos, conselhos e por me transmitir a paixão à Física, e à exemplar Professora Zilda Medeiros, que marcou a minha alfabetização e a minha vida.

Agradeço aos meus pais, Sérgio Corrêa da Luz e Luzia Carreira da Luz, e à minha irmã, Maria Vitória Carreira da Luz, por todo o amor e apoio durante a minha vida e, em especial, durante a minha graduação, por não medirem esforços para me dar apoio em todos os momentos, fáceis e difíceis. Agradeço à minha avó, Lazara Tanno Carreira, por sempre me encorajar e acreditar em mim.

Agradeço a todos os meus alunos, que me mostram que ser professora é muito mais do que lecionar, é exercer a humanidade em sua forma mais plena. De modo especial, agradeço a Jorge Correia da Luz, de quem sinto muito orgulho pela dedicação ímpar durante as aulas.

Dedico este trabalho a Maria Madalena Cordeiro Carreira (in memoriam), minha madrinha e segunda mãe, que sempre me encorajou e acreditou em mim.

## RESUMO

A crítica de Pierre Duhem à teoria eletromagnética de Maxwell tem sido objeto de muitos debates e análises rigorosas ao longo dos anos. Enquanto alguns consideram a crítica de Duhem como justa e válida, outros argumentam que ela é inadequada e não leva em conta as evidências experimentais que sustentam a teoria de Maxwell. O trabalho de Duhem se concentra na importância das hipóteses auxiliares e das convenções científicas na construção de teorias científicas. Duhem argumenta que as teorias científicas não podem ser testadas isoladamente, mas apenas em conjunto com outras hipóteses e convenções científicas. Portanto, uma teoria científica pode ser consistente com muitas outras hipóteses adicionais, tornando difícil distinguir entre as teorias rivais. Embora os apontamentos de Duhem tenham sido objeto de críticas e debates ao longo dos anos, eles ainda são vistos como uma contribuição importante para a filosofia da ciência e para a reflexão sobre a prática científica. O trabalho de Duhem enfatiza a importância das hipóteses auxiliares e das convenções científicas na construção de teorias científicas. Essa monografia discute a crítica de Duhem à teoria eletromagnética de Maxwell, destacando os principais argumentos que foram apresentados. Ela também discute as implicações da crítica de Duhem para a prática científica e para a filosofia da ciência.

**Palavras-chave:** Eletromagnetismo; Método científico inglês; Método científico francês.

## SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Pierre Duhem e o Método Científico	4
2.1 O Método Científico Inglês	4
2.2 O Método Científico Francês	5
2.3 Críticas de Pierre Duhem ao Método Indutivo	6
2.4 Defesa de Pierre Duhem ao Método Dedutivo	6
3. Contribuições de Pierre Duhem para o Eletromagnetismo	7
4. Contribuições de James Clerk Maxwell para o Eletromagnetismo	8
5. Pierre Duhem e James Clerk Maxwell	9
6. Visão geral da crítica de Duhem à abordagem matemática utilizada por Maxwell	10
7. Análise da crítica de Duhem à concepção de campos eletromagnéticos de Maxwell	11
8. Implicações da crítica de Duhem para a teoria de Maxwell e para a física em geral	12
9. Relevância da crítica de Duhem para a compreensão da Física Moderna	13
10. Análise da crítica de Duhem: validade e limitações	14
CONSIDERAÇÕES FINAIS	15
REFERÊNCIAS	16

# 1. Introdução

O método científico é um processo sistemático e objetivo usado pelos cientistas para obter conhecimento sobre o mundo natural. É um processo de investigação que envolve a formulação de uma hipótese, a realização de experimentos para testar a hipótese e a análise dos resultados para chegar a uma conclusão. O objetivo final do método científico é produzir conhecimento confiável e baseado em evidências empíricas (POPPER, 1959).

Segundo a *National Academy of Sciences* (NAS) dos Estados Unidos, o método científico é definido como "a abordagem sistemática e ordenada para a aquisição de conhecimento empírico, que se baseia em observação, experimentação e análise de dados". A NAS destaca que o método científico é uma abordagem lógica e objetiva que permite que os cientistas testem suas ideias de forma sistemática, utilizando dados empíricos para validar ou refutar suas hipóteses.

A história do método científico remonta a filósofos gregos antigos, como Aristóteles, que propuseram o uso da observação e da razão para entender o mundo natural. No entanto, a forma moderna do método científico foi desenvolvida durante o Renascimento, com o trabalho de cientistas como Francis Bacon e Galileu Galilei (NOLA et al., 2000).

Embora a definição exata do método científico possa variar de acordo com a disciplina científica e a abordagem metodológica, é amplamente aceito que ele envolve a observação cuidadosa, a formulação de uma hipótese, a realização de experimentos controlados e a análise dos resultados. O método científico é uma ferramenta fundamental para a produção de conhecimento confiável e baseado em evidências, e é utilizado em diversas áreas da ciência, desde a física e a química até a biologia e a psicologia (NOLA et al., 2000).

A ciência é uma atividade complexa e multifacetada, que envolve uma variedade de abordagens metodológicas. Dois dos métodos científicos mais influentes e amplamente utilizados são o método científico inglês e o método científico francês. Esses métodos têm suas raízes na filosofia da ciência e influenciaram a maneira como os cientistas conduzem suas pesquisas, desde a sua formulação até a análise dos resultados (LARGENT, 2012).

O método científico inglês, também conhecido como método indutivo, foi desenvolvido por Francis Bacon no século XVII. Ele enfatiza a observação cuidadosa e sistemática de fenômenos naturais, com o objetivo de formular hipóteses que possam ser testadas empiricamente. Esse método é caracterizado pela sua abordagem pragmática e

experimental, e tem sido amplamente utilizado em áreas como a física, química e biologia (LARGENT, 2012).

Por outro lado, o método científico francês, também conhecido como método dedutivo, foi desenvolvido por René Descartes, também no século XVII. Ele enfatiza a dedução lógica de princípios universais a partir de premissas gerais. Esse método é caracterizado pela sua abordagem teórica e racional, e tem sido amplamente utilizado em áreas como a matemática, filosofia e ciências sociais (NOLA, SANKEY, 2000).

O método científico inglês possui algumas características que o definem e o diferenciam do método científico empregado pelos cientistas franceses. A distância existente entre esses dois métodos fez com que houvessem debates acerca de qual método é o mais adequado para a produção de conhecimentos científicos (NOLA, SANKEY, 2000).

Um grande defensor do método dedutivo francês foi Pierre Maurice Marie Duhem (1861-1916), físico, filósofo e historiador da ciência, conhecido por suas contribuições em várias áreas da física e sua abordagem unificada da ciência. Ele nasceu em Paris, França, em 10 de junho de 1861, e morreu em Cabrespine, França, em 14 de setembro de 1916 (NOLA, SANKEY, 2000).

Duhem é conhecido por sua defesa do "princípio da não-contradição", hoje conhecido como "tese de Duhem", que afirma que uma teoria científica não pode ser testada em isolamento, mas deve ser avaliada em conjunto com uma variedade de hipóteses auxiliares (FRANKLIN, 2010). Ele também é conhecido por sua abordagem holística para a história da ciência, argumentando que a ciência não pode ser entendida em termos de desenvolvimento linear ou evolução progressiva, mas sim como um processo histórico complexo e multifacetado (BOUVERESSE, 2015).

Além disso, Duhem fez várias contribuições importantes para a física, incluindo seus trabalhos sobre a termodinâmica, a teoria cinética dos gases e o eletromagnetismo. Ele também foi um dos primeiros a reconhecer a importância da teoria da relatividade de Einstein. Duhem fez importantes contribuições para a filosofia da ciência e para a física teórica. Uma das suas contribuições mais notáveis foi sua crítica ao método científico inglês, que ele argumentou ser baseado em uma concepção ingênua e simplista da relação entre teoria e experimento (STACHEL, 1991).

A visão de Duhem sobre o método científico inglês é importante por várias razões. Em primeiro lugar, suas críticas tiveram um impacto significativo na filosofia da ciência, especialmente no que diz respeito à compreensão da natureza da ciência experimental e da relação entre teoria e experimento. Em segundo lugar, suas críticas ajudaram a estabelecer a



importância do papel da experimentação na ciência, bem como a necessidade de que as teorias científicas sejam testadas empiricamente (DUHEM, 1906).

Um dos defensores do método científico inglês foi James Clerk Maxwell. A teoria eletromagnética de Maxwell é uma das teorias mais importantes na física moderna. Ela foi proposta por ele em meados do século XIX e teve um impacto significativo na compreensão da natureza da eletricidade e do magnetismo, bem como na relação entre eles (KRAGH, 1990).

A teoria de Maxwell estabeleceu que a luz é uma onda eletromagnética que se propaga no vácuo à velocidade da luz. Ele também desenvolveu um conjunto de equações que descrevem o comportamento dos campos elétrico e magnético, conhecidas como as equações de Maxwell. Essas equações foram um marco importante na unificação dos fenômenos elétricos e magnéticos e foram fundamentais para a compreensão da natureza da radiação eletromagnética (JACKSON, 1999).

Além disso, a teoria de Maxwell desempenhou um papel importante no desenvolvimento da física teórica, da tecnologia e das comunicações. A compreensão da natureza dos campos eletromagnéticos permitiu o desenvolvimento de dispositivos eletrônicos e de comunicações que são a base da sociedade moderna, como telefones celulares, televisões e computadores (JACKSON, 1999).

Segundo o físico Richard Feynman, "os fundamentos da física moderna estão todos contidos nas equações de Maxwell". Isso demonstra a importância da teoria de Maxwell para a física moderna e sua influência em muitas áreas da ciência e da tecnologia (FEYNMAN, 2010).

Este estudo tem como objetivo analisar a visão de Duhem sobre o método científico inglês, a fim de entender suas críticas e suas implicações para a filosofia da ciência e para a física teórica, em especial sobre a teoria de James Clerk Maxwell para os fenômenos eletromagnéticos. Serão revisadas as principais críticas de Duhem ao método científico inglês, incluindo sua concepção da relação entre teoria e experimento, sua crítica à abordagem dedutiva e sua defesa da abordagem indutiva. Serão realizados levantamentos acerca dos principais pontos de sua crítica sobre o eletromagnetismo de Maxwell, suas motivações e consequências.

Este estudo é relevante para a compreensão da filosofia da ciência e para a física teórica, bem como para o desenvolvimento de novas abordagens para o método científico. Espera-se que os resultados deste estudo possam ter aplicações em áreas como a epistemologia, a física teórica e a metodologia científica (SCHLICK, 1915).

## 2. Pierre Duhem e o Método Científico

A ciência moderna é um empreendimento complexo que tem evoluído ao longo dos séculos. O estudo dos métodos científicos tem sido um tópico de grande interesse entre filósofos da ciência, historiadores e cientistas. Dentre os estudiosos que se debruçaram sobre o assunto, destaca-se o físico e filósofo francês Pierre Maurice Marie Duhem (1861-1916).

Duhem foi um dos mais proeminentes defensores da visão de que a ciência não é uma coleção de fatos isolados, mas sim um sistema interconectado de teorias. Ele também é conhecido por sua crítica ao método científico inglês, que ele considerava insuficiente para lidar com a complexidade das teorias científicas (DUHEM, 1905).

A contribuição de Duhem para a filosofia da ciência é inestimável, principalmente em relação à sua crítica ao método científico inglês. Ele se destacou pela sua abordagem crítica e original da metodologia científica. Em sua obra, ele enfatizou a importância da teoria na ciência e argumentou que a experimentação não poderia ser usada para testar uma teoria isoladamente, mas sim em conjunto com outras teorias, hipóteses e suposições (LENOIR, 1992).

O método científico inglês, que foi desenvolvido no século XVII e XVIII por filósofos como Francis Bacon e John Stuart Mill, enfatizava a experimentação como a única forma de se alcançar o conhecimento científico verdadeiro. No entanto, Duhem argumentou que a experimentação por si só não poderia provar uma teoria científica, pois sempre haveria múltiplas hipóteses possíveis que poderiam explicar os resultados de uma experimentação (POINCARÉ, 1902).

### 2.1 O Método Científico Inglês

O método científico inglês é uma abordagem sistemática para a investigação científica que se baseia em um processo de observação, formulação de hipóteses, experimentação e análise de dados para validar ou refutar uma hipótese. Ele é frequentemente associado a Francis Bacon, filósofo e cientista inglês do século XVII, que enfatizou a importância da observação empírica e do raciocínio indutivo na investigação científica. Bacon também

ênfatizou a necessidade de testar hipóteses por meio de experimentação controlada e da análise cuidadosa de dados (BACON, 2022).

Outro cientista importante associado ao método científico inglês é Isaac Newton, que usou o método para desenvolver a teoria da gravitação universal. Ele combinou observação cuidadosa, experimentação e matemática para desenvolver sua teoria, e suas descobertas ajudaram a estabelecer as bases da física moderna (NEWTON, 1687).

Hoje, o método científico inglês continua a ser uma abordagem amplamente utilizada para a investigação científica em uma variedade de campos, incluindo a física, biologia, química e psicologia. Embora o método possa variar ligeiramente de um campo para outro, a abordagem geral é amplamente consistente em toda a ciência (FLICK, 2002; LARGENT, 2012).

## 2.2 O Método Científico Francês

O método científico francês é uma abordagem sistemática para a investigação científica que se desenvolveu na França durante o século XVIII e XIX. Ele se baseia em uma abordagem mais teórica, dedutiva e matemática para a investigação científica, em contraste com o método científico inglês, que se baseia mais em observação empírica e raciocínio indutivo (LENOIR, 1992; DAUMAS, 1975).

Tal método científico é frequentemente associado a René Descartes, filósofo e cientista francês do século XVII, que ênfatizou a importância do raciocínio dedutivo e da matemática na investigação científica. Ele desenvolveu o método cartesiano, que ênfatizava a necessidade de começar com verdades básicas e indubitáveis, e depois deduzir a partir delas outras verdades (DESCARTES, 1644).

Outro cientista francês importante associado ao método científico francês é Pierre-Simon Laplace, que usou o método para desenvolver a teoria da probabilidade e a mecânica celeste. Ele ênfatizou a importância da matemática na ciência e usou técnicas matemáticas sofisticadas para desenvolver suas teorias (LAPLACE, 1814).

Hoje, o método científico francês ainda é uma abordagem importante para a investigação científica em campos como a física teórica e a matemática. No entanto, ele também é frequentemente combinado com elementos do método científico inglês e de outras abordagens para formar uma abordagem mais completa e integrada para a investigação científica (FLICK, 2002).

## 2.3 Críticas de Pierre Duhem ao Método Indutivo

Pierre Duhem foi um crítico importante do método científico inglês. Ele argumentou que o método científico inglês não poderia fornecer uma prova conclusiva de uma teoria científica, e que a ciência é uma atividade mais complexa e multifacetada do que o método científico inglês permitia (DUHEM, 1906).

Duhem enfatizou a importância da contextualização histórica, cultural e teórica na investigação científica. Ele argumentou que as teorias científicas não são verificáveis diretamente por meio de experimentação, mas dependem de uma variedade de pressupostos teóricos, contextos culturais e históricos e interpretações filosóficas (PSILLOS, 1999).

Duhem também criticou o método científico inglês por sua dependência de experimentos controlados e isolados, argumentando que a ciência deve levar em conta a complexidade e a interconectividade do mundo natural. A crítica de Duhem ao método científico inglês foi influente na filosofia da ciência, e ajudou a inspirar o desenvolvimento do falsificacionismo de Karl Popper e outras abordagens críticas à verificação empírica (POPPER, 1963).

## 2.4 Defesa de Pierre Duhem ao Método Dedutivo

Em contraste, Duhem defendeu uma abordagem mais holística e teórica do método científico. Ele argumentou que a teoria é sempre necessária para orientar nossas observações e experimentos, e que a validade de uma teoria não pode ser determinada simplesmente pela correspondência com os fatos empíricos. Em vez disso, a teoria deve ser avaliada com base em sua coerência interna e sua capacidade de explicar e prever os fenômenos (FRANKLIN, 2010).

Essa defesa do método científico francês é apresentada em seu livro "La Théorie Physique: Son Objet et Sa Structure" (A Teoria Física: Seu Objeto e Sua Estrutura), publicado originalmente em 1906. Duhem argumenta que a física não pode ser reduzida a um conjunto de leis empíricas, mas deve ser entendida como um sistema de hipóteses interconectadas que formam uma teoria unificada (DUHEM, 1906).

Embora a defesa de Duhem do método científico francês tenha sido criticada por alguns como sendo muito teórica e pouco empírica, sua abordagem influenciou

profundamente a filosofia da ciência do século XX. Em particular, sua ideia de que as teorias científicas não podem ser verificadas de maneira conclusiva, mas apenas falsificadas, foi desenvolvida por Karl Popper em sua teoria da falsificação (POPPER, 1959).

### 3. Contribuições de Pierre Duhem para o Eletromagnetismo

Pierre Duhem fez importantes contribuições para a compreensão do eletromagnetismo, tanto como físico quanto como filósofo. Ele trabalhou no final do século XIX e início do século XX, em um período em que o estudo do eletromagnetismo estava em rápida evolução (PSILLOS, 1999).

Uma das contribuições de Duhem para o eletromagnetismo foi seu trabalho na elaboração de modelos matemáticos para a propagação de ondas eletromagnéticas. Ele propôs uma teoria de ondas planas em meios isotrópicos e homogêneos que se tornou uma base importante para o desenvolvimento posterior da teoria eletromagnética. Além disso, ele introduziu o conceito de "impedância" em sua análise matemática das ondas eletromagnéticas (DUHEM, 1906).

Outra contribuição importante de Duhem para o eletromagnetismo foi sua crítica à teoria do éter, que era amplamente aceita na época como uma explicação para a propagação das ondas eletromagnéticas. Duhem argumentou que a ideia de um meio material para a propagação das ondas eletromagnéticas era desnecessária e contraditória, e que as leis eletromagnéticas poderiam ser explicadas sem recorrer a essa hipótese. Essa crítica levou a uma reavaliação da teoria do éter e abriu caminho para a compreensão moderna das ondas eletromagnéticas (DUHEM, 1902).

De acordo com Pierre Duhem, as ondas eletromagnéticas se propagam em um meio isotrópico e homogêneo, como o vácuo, através da variação simultânea e perpendicular dos campos elétrico e magnético. Essa teoria foi apresentada em seu livro "Théorie Physique", publicado em 1906 (DUHEM, 1906).

Duhem propôs que as ondas eletromagnéticas são ondas transversais, o que significa que a direção de oscilação é perpendicular à direção de propagação. Além disso, ele introduziu o conceito de "impedância" para descrever a relação entre os campos elétrico e magnético em uma onda eletromagnética (DUHEM, 1906).

A teoria de Duhem para a propagação das ondas eletromagnéticas foi uma contribuição importante para o desenvolvimento posterior da teoria eletromagnética. Ela ajudou a explicar como as ondas eletromagnéticas se propagam através do vácuo e forneceu uma base teórica para o estudo da propagação das ondas em outros meios (DARRIGOL, 2000).

Além disso, Duhem defendeu uma abordagem mais teórica e holística para o estudo do eletromagnetismo, argumentando que a teoria era sempre necessária para orientar nossas observações e experimentos, e que a validade de uma teoria não podia ser determinada simplesmente pela correspondência com os fatos empíricos. Essa visão influenciou profundamente a filosofia da ciência do século XX e continua a ser relevante para a compreensão do eletromagnetismo e da ciência em geral (DARRIGOL, 2000).

## 4. Contribuições de James Clerk Maxwell para o Eletromagnetismo

James Clerk Maxwell foi um físico e matemático escocês do século XIX, conhecido por suas contribuições revolucionárias para a teoria eletromagnética. Dentre as suas contribuições para o eletromagnetismo temos as chamadas “Equações de Maxwell”, conjunto de equações fundamentais que descrevem o comportamento dos campos elétrico e magnético e como eles interagem entre si e com a matéria. Essas equações unificam os fenômenos elétricos e magnéticos em uma teoria única e fornecem a base para a compreensão moderna do eletromagnetismo (MAXWELL, 1873).

Maxwell também desenvolveu uma teoria unificada da luz, mostrando que a luz é uma onda eletromagnética. De acordo com a sua teoria, a luz é uma forma de energia que se propaga através do vácuo a uma velocidade constante, conhecida como a velocidade da luz. Esta teoria foi fundamental para a compreensão da natureza da luz e sua relação com o eletromagnetismo (MAXWELL, 1865).

As contribuições de Maxwell para o eletromagnetismo tiveram um impacto significativo em muitas áreas da física e da tecnologia. Sua teoria foi crucial para o desenvolvimento de tecnologias relacionadas com o rádio, a televisão, a telefonia celular e os computadores. Além disso, sua teoria da luz influenciou o desenvolvimento da teoria da relatividade de Einstein (PSILLOS, 1999).

A teoria do eletromagnetismo de Maxwell descreve a interação entre campos elétricos e magnéticos e a propagação de ondas eletromagnéticas através do espaço. No entanto, a teoria de Maxwell foi desenvolvida em um momento em que a maioria dos físicos acreditava na existência do éter como um meio que preenche todo o espaço. O éter foi concebido como um meio material sutil, invisível e imponderável que permitia a propagação da luz e das ondas eletromagnéticas através do espaço (MAXWELL, 1865).

Maxwell acreditava que o éter era o meio através do qual as ondas eletromagnéticas se propagavam. Ele imaginava que as ondas eletromagnéticas eram ondas transversais que se propagavam através do éter, que ele concebia como um meio elástico e ondulante. Essa ideia foi influenciada pelas teorias de Thomas Young e Augustin Fresnel sobre a luz, que também postulavam a existência do éter (WHITTAKER, 1951).

No entanto, as teorias do éter foram desafiadas por diversos experimentos realizados no final do século XIX, como o experimento realizado por Michelson e Morley, que não encontraram nenhuma evidência da existência do éter. Esse resultado levou à revisão das



teorias do éter e ao desenvolvimento da teoria da relatividade de Einstein, que propôs que o espaço vazio é o meio através do qual as ondas eletromagnéticas se propagam (WHITTAKER, 1951).

Embora a ideia do éter material tenha sido abandonada na física moderna, a teoria do eletromagnetismo de Maxwell continua sendo uma das mais importantes e fundamentais teorias da física. Suas equações do eletromagnetismo unificam os conceitos desenvolvidos por Coulomb, Biot, Savart e Faraday entre outros, e descrevem a interação entre campos elétricos e magnéticos, permitindo a compreensão de fenômenos eletromagnéticos como a luz (WHITTAKER, 1951).

## 5. Pierre Duhem e James Clerk Maxwell

Tanto a teoria de Maxwell quanto a de Pierre Duhem para o eletromagnetismo compartilham uma compreensão fundamental da natureza das ondas eletromagnéticas e da importância da teoria na orientação da pesquisa científica (WHITTAKER, 1951).

Ambas as teorias reconhecem que as ondas eletromagnéticas são campos transversais de energia que se propagam através do vácuo ou de outros meios. Além disso, ambas as teorias destacam a importância da teoria para orientar a pesquisa empírica, argumentando que a validade de uma teoria não pode ser determinada apenas pela correspondência com os fatos empíricos (MAXWELL, 1865).

No entanto, há também diferenças significativas entre as teorias de Maxwell e Duhem para o eletromagnetismo. Enquanto Maxwell foi um físico experimental que desenvolveu a teoria eletromagnética a partir de suas próprias observações e experimentos, Duhem foi um filósofo da ciência que se concentrou mais na elaboração de modelos matemáticos e na análise da teoria eletromagnética em um contexto mais amplo da filosofia da ciência (DUHEM, 1906).

Além disso, Duhem foi um crítico da teoria do éter, que foi amplamente aceita na época de Maxwell como uma explicação para a propagação das ondas eletromagnéticas. Duhem argumentou que a ideia de um meio material para a propagação das ondas eletromagnéticas era desnecessária e contraditória, e que as leis eletromagnéticas poderiam ser explicadas sem recorrer a essa hipótese. Essa crítica levou a uma reavaliação da teoria do éter e abriu caminho para a compreensão moderna das ondas eletromagnéticas (DUHEM, 1906).

## 6. Visão geral da crítica de Duhem à abordagem matemática utilizada por Maxwell

Pierre Duhem fez críticas à abordagem matemática utilizada por James Clerk Maxwell na sua teoria eletromagnética. Duhem argumentou que a matematização excessiva da física poderia ser enganadora e obscurecer as suposições teóricas subjacentes à teoria. Em particular, Duhem criticou a abordagem de Maxwell de postular as entidades invisíveis e não observáveis como os campos eletromagnéticos para explicar os fenômenos observáveis como a luz (HARRÉ, 1986).

Duhem argumentou que essa abordagem matemática era inadequada porque era impossível saber se as equações matemáticas estavam corretas apenas através da observação empírica, uma vez que os campos eletromagnéticos não eram diretamente observáveis. Em vez disso, Duhem defendeu que a teoria deveria ser julgada com base em suas implicações empíricas, isto é, suas previsões observacionais, e não em sua correspondência com a realidade (DUHEM, 1954).

Essa crítica de Duhem é uma expressão do instrumentalismo, que enfatiza o papel da teoria científica na previsão e explicação dos fenômenos observáveis, sem se preocupar com sua correspondência com a realidade. Essa visão tem sido influente na filosofia da ciência desde o trabalho de Duhem e é considerada uma das principais alternativas ao realismo científico (LADYMAN, 2002).

## 7. Análise da crítica de Duhem à concepção de campos eletromagnéticos de Maxwell

A crítica de Pierre Duhem à concepção de campos eletromagnéticos de James Clerk Maxwell foi uma crítica importante ao modelo matemático utilizado na teoria eletromagnética. Duhem argumentou que a matematização excessiva da física poderia ser enganadora e obscurecer as suposições teóricas subjacentes à teoria, incluindo a suposição de que os campos eletromagnéticos eram entidades reais e observáveis (DUHEM, 1954).

Uma das principais críticas de Duhem é conhecida como a "tese da sobre-determinação". Segundo essa tese, as equações de Maxwell não são suficientes para determinar completamente o comportamento do campo eletromagnético, e a teoria de Maxwell depende de suposições adicionais que não podem ser testadas de forma independente. Por exemplo, a teoria de Maxwell assume que o éter eletromagnético existe como um meio para propagar as ondas eletromagnéticas, mas a existência do éter nunca foi comprovada empiricamente (HARRÉ, 1986).

Além disso, Duhem também argumentou que as equações de Maxwell são consistentes com muitas outras hipóteses adicionais, como a hipótese da ação a distância, que afirma que as forças podem agir a distância, sem qualquer meio intermediário. Essa hipótese é consistente com as equações de Maxwell, mas não é uma parte integral da teoria de Maxwell (MAXWELL, 1865).

Duhem argumentou que as equações matemáticas que descreviam os campos eletromagnéticos eram apenas ferramentas úteis para prever fenômenos observáveis, e que a realidade desses campos era questionável. Ele defendeu que a teoria deveria ser julgada com base em suas implicações empíricas, isto é, suas previsões observacionais, e não em sua correspondência com a realidade (MUSGRAVE, 1988).

No entanto, a concepção de campos eletromagnéticos de Maxwell e sua teoria eletromagnética foram amplamente aceitas na comunidade científica e tiveram um impacto significativo no desenvolvimento da física moderna. Embora a crítica de Duhem à teoria eletromagnética de Maxwell tenha sido importante para a compreensão da relação entre teoria e observação na ciência, a teoria de Maxwell ainda é considerada uma das realizações mais importantes da física moderna (MUSGRAVE, 1988).

A crítica de Duhem à teoria de Maxwell tem implicações importantes para a filosofia da ciência e para a prática científica. Duhem argumentou que as teorias científicas não podem ser provadas empiricamente, mas apenas aceitas por convenção. Esse argumento é conhecido

como "tese da ineliminabilidade das hipóteses auxiliares", e destaca a importância das hipóteses adicionais para a prática científica (NYE, 1972).

## 8. Implicações da crítica de Duhem para a teoria de Maxwell e para a física em geral

A crítica de Pierre Duhem à teoria eletromagnética de James Clerk Maxwell teve importantes implicações para a física em geral, bem como para a compreensão da relação entre teoria e observação na ciência (NYE, 1972).

Uma das principais implicações da crítica de Duhem é que a teoria científica deve ser avaliada com base em suas implicações empíricas, ou seja, em suas previsões observacionais, e não em sua correspondência com a realidade. Isso é conhecido como instrumentalismo, e tem sido uma visão influente na filosofia da ciência desde o trabalho de Duhem (DUHEM, 1954).

No caso da teoria eletromagnética de Maxwell, a crítica de Duhem levantou questões sobre a natureza dos campos eletromagnéticos e sua realidade ontológica. Embora os campos eletromagnéticos não sejam diretamente observáveis, eles são fundamentais para a explicação de muitos fenômenos físicos, incluindo a propagação da luz (HARRÉ, 1986).

No entanto, a crítica de Duhem não invalidou a teoria eletromagnética de Maxwell, mas sim levantou questões importantes sobre como a teoria deveria ser avaliada e entendida. A teoria de Maxwell ainda é amplamente aceita e é considerada uma das realizações mais importantes da física moderna (MAXWELL, 1865).

Além disso, a crítica de Duhem destacou a importância da teoria científica na previsão e explicação dos fenômenos observáveis, sem se preocupar com sua correspondência com a realidade. Isso levou ao desenvolvimento de abordagens instrumentais em outras áreas da física, incluindo a mecânica quântica (LADYMAN, 2002).

Em resumo, a crítica de Duhem à teoria eletromagnética de Maxwell levantou questões importantes sobre a relação entre teoria e observação na ciência e destacou a importância das previsões empíricas na avaliação das teorias científicas.

## 9. Relevância da crítica de Duhem para a compreensão da Física Moderna

A crítica de Pierre Duhem foi um importante marco na filosofia da ciência e na compreensão da prática científica. Em sua obra "La théorie physique: son objet et sa structure", publicada em 1906, Duhem argumentou que uma teoria científica não pode ser testada isoladamente, mas sim apenas como parte de um conjunto de hipóteses interdependentes (DUHEM, 1906).

Esse conceito, conhecido como "hipótese de Duhem", destaca a importância da abordagem holística e do trabalho em equipe na ciência. De acordo com Duhem, uma hipótese científica é apenas uma parte de uma rede de hipóteses, e a validade dessa hipótese só pode ser avaliada em conjunto com as outras hipóteses dessa rede. Portanto, a refutação de uma hipótese não necessariamente refuta toda a teoria (KUHN, 1970).

A hipótese de Duhem tem implicações importantes para a física moderna, especialmente para a teoria da relatividade e da mecânica quântica. Ambas as teorias exigem o uso de conceitos e instrumentos altamente complexos e interdependentes, tornando a validação ou refutação de uma única hipótese uma tarefa extremamente difícil. Além disso, a mecânica quântica enfrenta o chamado "problema da medida", que destaca a impossibilidade de realizar medições precisas sem perturbar o sistema em estudo. A hipótese de Duhem ajuda a contextualizar esses desafios e enfatiza a importância da colaboração e da experimentação cuidadosa em ciência (KUHN, 1970).

O epistemólogo estadunidense Larry Laudan argumenta que a crítica de Duhem é particularmente relevante para a física moderna, já que as teorias físicas são altamente complexas e interdependentes, e não podem ser facilmente testadas isoladamente. Já Thomas Kuhn argumenta que a hipótese de Duhem é um aspecto comum da prática científica em geral e não se aplica especificamente à física moderna (LAUDAN, 1977).

Em resumo, a crítica de Duhem tem sido fundamental na compreensão da prática científica e da natureza da teoria científica. Sua hipótese tem implicações importantes para a física moderna e destaca a importância da colaboração e da experimentação cuidadosa em ciência.

## 10. Análise da crítica de Duhem: validade e limitações

A crítica de Duhem à teoria eletromagnética de Maxwell foi objeto de muitos debates e análises críticas ao longo dos anos. Enquanto alguns consideram a crítica de Duhem como uma crítica justa e válida, outros argumentam que a crítica é inadequada e não leva em conta as evidências experimentais que sustentam a teoria de Maxwell (LAUDAN, 1977).

Uma das críticas mais frequentes à crítica de Duhem é que ele subestima a capacidade da ciência de testar teorias e hipóteses. Enquanto Duhem argumentou que as teorias não podem ser testadas isoladamente, muitos cientistas e filósofos argumentam que a ciência é capaz de testar teorias e hipóteses de forma rigorosa e sistemática. Evidências experimentais foram usadas para testar as previsões da teoria de Maxwell, e esses testes foram consistentes com as previsões da teoria (MUSGRAVE, 1988).

Outra crítica é que a crítica de Duhem não leva em conta a importância da consistência interna da teoria. Embora as equações de Maxwell possam ser consistentes com muitas outras hipóteses adicionais, a teoria de Maxwell é uma teoria coerente e bem-sucedida que explica uma ampla gama de fenômenos eletromagnéticos. A consistência interna da teoria é vista como uma evidência importante para a sua validade (PSILLOS, 1999).

No entanto, é importante notar que a crítica de Duhem tem implicações importantes para a prática científica e para a filosofia da ciência. A crítica destaca a importância das hipóteses auxiliares e das convenções científicas na construção de teorias científicas e enfatiza a importância da reflexão crítica sobre a prática científica. A crítica de Duhem também tem implicações para a forma como as teorias científicas são avaliadas e aceitas na comunidade científica (PSILLOS, 1999).



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crítica de Pierre Duhem à teoria eletromagnética de Maxwell oferece uma reflexão importante sobre a prática científica e a construção de teorias científicas. Embora a crítica tenha sido objeto de muitas análises e debates, ela ainda é considerada uma contribuição significativa para a filosofia da ciência.

A crítica de Duhem destaca a importância das hipóteses auxiliares e das convenções científicas na construção de teorias científicas. Duhem argumenta que as teorias científicas não podem ser testadas isoladamente, mas apenas em conjunto com outras hipóteses e convenções científicas. Portanto, uma teoria científica pode ser consistente com muitas outras hipóteses adicionais, tornando difícil distinguir entre as teorias rivais.

No entanto, embora a crítica de Duhem tenha sido importante para a reflexão crítica sobre a prática científica, ela não deve ser vista como uma negação da validade da teoria de Maxwell. A crítica de Duhem destaca a importância de considerar as hipóteses auxiliares e as convenções científicas na construção de teorias científicas, mas isso não significa que as teorias científicas não possam ser testadas e confirmadas através de evidências empíricas.

Desse modo, a crítica de Duhem à teoria eletromagnética de Maxwell oferece uma contribuição importante para a filosofia da ciência, destacando a importância das hipóteses auxiliares e das convenções científicas na construção de teorias científicas. No entanto, é importante não exagerar a crítica de Duhem e reconhecer que as teorias científicas podem ser testadas e confirmadas através de evidências empíricas.

# REFERÊNCIAS

BOUVERESSE, J. Pierre Duhem. **Stanford Encyclopedia of Philosophy**, 2015. Disponível em: <https://plato.stanford.edu/entries/duhem/>. Acesso em: data de acesso 27 de fevereiro de 2023.

DARRIGOL, O. **Electrodynamics from Ampère to Einstein**. Oxford University Press, 2000.

DAUMAS, M. **Scientific method in seventeenth-century France**. In: RASMUSSEN, T.; MARCHANT, H. (Eds.). *Historical Aspects of the Neurosciences*. Raven Press, 1975, p. 65-86.

DESCARTES, R. **Principles of Philosophy**. Paris: Louis le Gras, 1644.

DUHEM, P. **Théorie physique**, 2 vols. 1902.

DUHEM, P. M. M. **The Aim and Structure of Physical Theory**. Princeton University Press, 1906.

DUHEM, P. **La Théorie Physique: Son Objet et Sa Structure**. Paris: Chevalier et Rivière, 1906. 2 vols.

DUHEM, P. **Théorie Physique, Vol. 2: Les électrons et les quanta**. Chevalier & Rivière, 1906.

DUHEM, P. **The Aim and Structure of Physical Theory**. Princeton University Press, 1954.

ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA. **Francis Bacon**. In: *Encyclopædia Britannica*. Disponível em: <https://www.britannica.com/biography/Francis-Bacon>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2023.

FEYNMAN, R.; LEIGHTON, R.; SANDS, M. **The Feynman lectures on physics**. Vol. 2: Mainly electromagnetism and matter. Basic Books, 2010.

FLICK, L. B. **The English approach to science**. Journal of Geoscience Education, vol. 50, no. 3, p. 266-269, 2002.

FRANKLIN, A. "**Duhem's holism**". In: VAN BRAKEL, J. (Ed.). Philosophy of Chemistry: Between the Manifest and the Scientific Image. Leuven University Press, 2010, p. 139-162.

HARRÉ, R. **Duhem, Pierre**. In: EDWARDS, P. (Ed.). Encyclopedia of Philosophy. Macmillan, 1986, v. 2, p. 462-463.

JACKSON, J. D. **Classical Electrodynamics**. 3rd ed. John Wiley & Sons, 1999.

KRAGH, H. **Maxwell and the Origins of the Electromagnetic Theory**. Oxford University Press, 1990.

KUHN, T. **The Structure of Scientific Revolutions**. University of Chicago Press, 1970.

LADYMAN, J. **Understanding Philosophy of Science**. Routledge, 2002.

LAPLACE, P. S. **Essai Philosophique sur les Probabilités**. Courcier, 1814.

LARGENT, M. A. **The Method of Scientific Investigation**. In: GENERAL PHILOSOPHY OF SCIENCE. Elsevier, 2012. p. 389-416. (Handbook of Philosophy of Science, v. 1).

LAUDAN, L. **Progress and Its Problems: Toward a Theory of Scientific Growth**. University of California Press, 1977.

LENOIR, T. **The Role of French Mathematics in the History of Science**. Osiris, v. 7, p. 98-123, 1992.

MAXWELL, J. C. **A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field**. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, v. 155, p. 459-512, 1865.

MAXWELL, J. C. **Treatise on Electricity and Magnetism**. Oxford University Press, 1873.

MUSGRAVE, A. **Pierre Duhem**. In: CRAIG, E. *Routledge encyclopedia of philosophy*. Vol. 3. London: Routledge, 1988. p. 828-835.

NEWTON, I. **Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica**. Londres: J. Streater, 1687.

NOLA, R.; SANKEY, H. **After Popper, Kuhn and Feyerabend: Recent Issues in Theories of Scientific Method**. Springer, 2000.

NYE, M. J. **The rejection of continuity in early nineteenth-century British physics**. *Osiris*, v. 27, n. 1, p. 87-133, 1972.

POINCARÉ, H. **Science and Hypothesis**. The Walter Scott Publishing Co. Ltd., 1902.

POPPER, K. R. **Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge**. Routledge, 1963.

POPPER, K. **The logic of scientific discovery**. Routledge, 1959.

PSILLOS, S. **Duhem's problem, underdetermination and the statistical interpretation of theory testing**. *International Studies in the Philosophy of Science*, v. 13, n. 2, p. 103-121, 1999.

SCHLICK, M. **"The Logical Analysis of Physics"**. In: MENGER, K. (Ed.). *Erkenntnis*. Leipzig: Johann Ambrosius Barth Verlag, 1915.

STACHEL, J. J. **Pierre Duhem and the Birth of Modern Science**. The University of Chicago Press, 1991.

WHITTAKER, E. T. **A history of the theories of aether and electricity**. Vol. 1. Nelson, 1951.