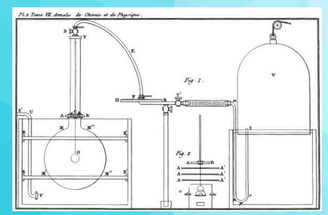
# UMA VIAGEM PELOS "PRIMÓRDIOS" DA

## 1859

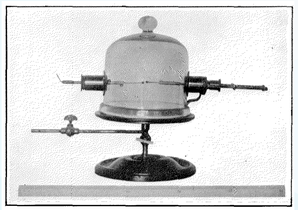
### Radiação de Corpo Negro

Em 1859, Gustav Robert Kirchhoff apresentou o primeiro argumento teórico sobre o problema da radiação, definindo de forma concreta a noção de corpo negro (um corpo que não reflete nem permite a passagem de luz), termo introduzido por ele no ano seguinte. Ele concluiu que, para qualquer corpo que irradia termicamente, a razão entre o poder de emissão e o poder de absorção depende apenas do comprimento de onda e da temperatura.

Um dos experimentos que forneceu dados crucias para o estudo da radiação térmica no século XIX, foi realizado no equipamento de Dulong e Petit (1817) e permitiu a medição da propagação de calor, sendo fundamental para a dedução da Lei de Stefan-Boltzmann.



## 1887



Aparelho original usado por Hertz para ilustrar o efeito da luz ultravioleta na descarga elétrica. Dentro dele faz-se o vácuo e ajusta-se uma centelha de modo a ficar comprida o suficiente para impedir a descarga, com iluminação comum. Ao incidir luz ultravioleta ocorre a ionização e a descarga acontece.

### Descoberta do Efeito Fotoelétrico por Heinrich Hertz

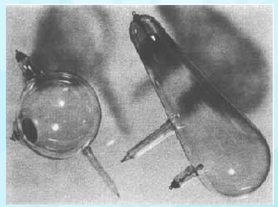
Ao investigar a natureza da luz, Hertz observou que a luz ultravioleta afetava as descargas elétricas, tendo a propriedade de aumentar a distância entre os eletrodos em que as descargas ocorriam. No entanto não conseguiu uma explicação para isso na época. Atualmente, o efeito se manifesta quando essa luz incide numa placa de metal, arrancando elétrons da placa (denominados fotoelétrons).

## 1895

### Wilhelm Röntgen e a Descoberta dos Raios X

Wilhelm Conrad Röntgen, ao realizar experimentos com tubos de descarga cobertos por uma blindagem, percebeu uma linha preta (sombra) sobre um papel de platino-cianeto de bário. Investigou o fenômeno emissivo para diferenciá-lo de todos os tipos de radiações e luzes conhecidas. Atualmente, sabe-se que sua origem se deve a transições de elétrons nos átomos ou da desaceleração de partículas carregadas. São uma forma de radiação eletromagnética ionizante.

Tubos de descarga utilizados por Röntgen. O cátodo (em forma de disco) e o ânodo estão perpendiculares entre si e, quando ligados a uma bobina de Ruhmkorff, os feixes de raios provenientes do cátodo atingem a superfície de vidro oposta a ele, não se dirigindo ao ânodo.



## 1897

Tubo de raios catódicos utilizado por Thomson. O cátodo emite um feixe de partículas que atravessa uma região sujeita a forças elétricas ou magnéticas, aplicadas perpendicularmente à direção do feixe, provocando sua deflexão. Na sequência, o feixe percorre uma zona livre de forças até atingir a parede de vidro no final do tubo, produzindo uma mancha luminosa.

### Descoberta do Elétron por J. J. Thomson

O experimento de Thomson envolveu a análise dos desvios de raios catódicos quando submetidos a campos elétricos e magnéticos uniformes, determinando um valor para a razão carga-massa dos raios catódicos e evidenciando sua natureza: partículas carregadas negativamente. Ele concluiu que a massa de um elétron é 1800 vezes menor do que a de um íon de hidrogênio.

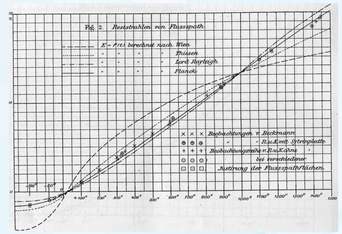
## 1898

### Descoberta da Radioatividade por Becquerel e os Curie

No final do século XIX, experimentos realizados por Henri Becquerel constataram que o urânio emitia raios que podiam atravessar objetos opacos. Marie Curie notou que o nível de atividade elétrica no ar ao redor do minério de urânio estava associado somente à massa da substância radiativa presente. Ela postulou que a radiação não era causada por reações químicas, mas vinha de dentro dos átomos .

O eletrômetro de quadrante foi utilizado nos experimentos com materiais radioativos. Era uma caixa cilíndrica com quadrantes metálicos envolvendo uma agulha de alumínio suspensa e acoplada a um espelho. A ionização desviava a agulha, medida pelo reflexo da luz (proporcional à intensidade da radioatividade).

## 1900



O gráfico mostra resultados experimentais e teóricos, plotados em função das temperaturas do corpo radiante, obtidos por H. Rubens e F. Kurlbaum, a partir de observações dos raios residuais da fluorita com quatro corpos negros diferentes. A linha contínua é a fórmula de Planck.

### Lei de Planck

Max Planck propôs que a energia trocada entre os osciladores e a própria radiação fosse discretizada. A energia E de cada oscilador só podia ser trocada com a radiação, de frequência f, em quantidades discretas de valor E = hf, em que h era uma constante que se tornaria uma das fundamentais da natureza: a constante de Planck, cujo valor em termos atuais é de $6{,}626 \times 10^{-34}$ J.s

CC BY NC SA

# FÍSICA MODERNA

CC BY NC SA

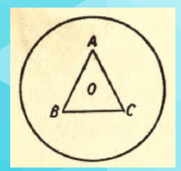
**Autores: Paulo Henrique dos Santos Sartori, Marcio Nascimento de Oliveira, Rafhael Brum Werlang, Laiany Fagundes Mota, Milena Mendonça Dutra.**
**Universidade Federal do Pampa - Campus Caçapava do Sul.**
Artigo vinculado: Os Primórdios da Física Moderna: um Pôster Didático como Ferramenta Metodológica, aceito para publicação no vol. 38, nº 3 da Revista de Enseñanza de la Física.

## 1904

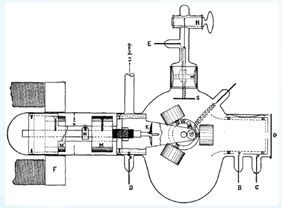
### Modelo Atômico de Thomson

Baseado no modelo atômico de Kelvin, preconizado um ano antes, propôs os átomos como corpúsculos de cargas negativas uniformemente espalhados e envoltos por uma esfera de eletrização positiva uniforme. Ficou conhecido como modelo do "pudim de ameixas (ou passas)". Tal analogia não foi feita por Thomson, o qual comparou a esfera positiva a um fluido, e não a um sólido, já que ele achava que os corpúsculos se moviam nela. Ele acreditava que os corpúsculos (elétrons) carregavam toda a massa do átomo e, portanto, a esfera positiva que os encapsulava não deveria ter massa.

Por questões de simplicidade, Thomson adotou uma visualização plana para os modelos de átomos que examinava matematicamente. Para mostrar que arranjos estáveis de corpúsculos teriam propriedades em comum com átomos reais, tentava ilustrar esses arranjos conforme a figura. Nela, três corpúsculos A, B e C estão dispostos nos vértices de um triângulo equilátero, dentro da esfera de centro O.




## 1905



O complexo aparato experimental utilizado por Millikan envolvendo sistemas rebuscados de medição, produziu resultados que acabaram, não só, comprovando a equação de Einstein do efeito fotoelétrico (cerca de dez anos após sua proposição), como também determinando de forma precisa a constante de Planck.

### Explicação de Einstein para o Efeito Fotoelétrico

Einstein propôs que a luz consiste em quanta de energia (pacotes discretos), movendo-se e interagindo apenas como unidades completas. No caso do efeito fotoelétrico, a energia de cada quantum de luz é integralmente transferida para um único elétron. A energia cinética máxima do elétron ejetado resulta da diferença entre a energia do quantum e o trabalho necessário para arrancá-lo da matéria. A intensidade da luz determina a quantidade de elétrons emitidos.

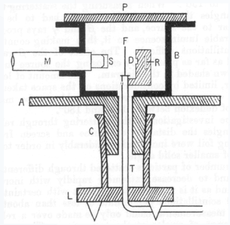
## 1909

### Experimento da Gota de Óleo de Millikan

Desde 1909 até 1913, Millikan e Fletcher trabalharam no aprimoramento do experimento que demonstrou a natureza atômica da carga elétrica, provando que os valores das cargas capturadas por gotas de óleo são múltiplos exatos de um valor fundamental (a carga elementar) que é 4,774 ± 0,009 x $10^{-10}$ u.e.s. (unidades eletrostáticas) que equivale aproximadamente a 1,592 x $10^{-19}$ Coulombs. Atualmente, o valor aceito é de 1,602 x $10^{-19}$ C.

O experimento consistiu em medir o tempo de voo de gotículas de óleo, eletrizadas devido à fricção no sopro do spray, sob influência da força da gravidade e da ação de um campo elétrico externo. A visualização ocorria por meio de um telescópio de foco curto.

## 1911




Aparelho utilizado por Geiger e Marsden que trouxe evidências empíricas que corroboraram as ideias de Rutherford para a estrutura atômica. Uma fonte de rádio lançava partículas alfa em uma fina lâmina de ouro. O espalhamento delas era detectado pela cintilação em uma tela de sulfeto de zinco frente à um microscópio que gira em torno do alvo.

### Modelo Atômico de Rutherford

O átomo de qualquer elemento possui uma região central (núcleo) com um campo elétrico intenso de carga assumida como positiva, com volume muito pequeno comparado ao do átomo, que concentra praticamente toda sua massa, circundado por uma esfera de eletrificação de sinal oposto uniformemente distribuída. O peso atômico do elemento seria, de forma aproximada, proporcional ao número de cargas centrais.

## 1913

### Modelo Atômico de Bohr

O modelo representa a aplicação da teoria de Planck à estrutura atômica de Rutherford. Os elétrons orbitam o núcleo em estados estacionários, ou seja, órbitas circulares com níveis de energia definidos, sem emitirem radiação. A emissão ocorre apenas nas transições quânticas entre órbitas descontínuas, com frequências determinadas pela diferença energética entre elas dada por ΔE = hf.

Desenho extraído das anotações de Niels Bohr de 1920, com diversas representações de átomos, inúmeras fórmulas e símbolos de elementos químicos. Destacam-se órbitas de um átomo e considerações a respeito da tabela periódica, revelando esforços para uma melhor compreensão das propriedades químicas dos elementos.

## Referências (Imagens)

**1859** - ALLMENDINGER, T. Measurement methods concerning the thermal behaviour of gases under the influence of IR-radiation, especially focussing the greenhouse assumption. 2016.
**1887** - APPLEYARD, R. Pioneers of Electrical Communication - Heinrich Rudolf Hertz. In: Electrical Communication, v. 6, n. 2, 1927.
**1895** - MARTINS, R. A. A Descoberta dos Raios X: o primeiro comunicado de Röntgen. Revista Brasileira de Ensino de Física. v. 20, n. 4, 1998.
**1897** - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:J_J_Thomsons_cathode_ray_tube_with_magnet_coils,_1897._(9663807404).jpg#file
**1898** - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Quadrant_electrometer_built_by_Pierre_Curie,_1880-1890._(9660571325).jpg
**1900** - RUBENS, H.; KURLBAUM, F. On The Heat - Radiation of Long Wave-length Emitted by Black Bodies at Different Temperatures. 1901.
**1904** -THOMSON, J. J. Electricity and Matter. New York: C. Scribner's Sons, 1904.
**1905** - MILLIKAN, R. A. A Direct Photoelectric Determination of Planck's "h". Physical Review, v. 7, n.3, 1916.
**1909** - https://ca.wikipedia.org/wiki/Experiment_de_Millikan#/media/Fitxer:Millikan%E2%80%99s_oil-drop_apparatus_1.jpg
**1911** - GEIGER, H.; MARSDEN, E. The Laws of Deflexion of α Particles Through Large Angles. 1913.
**1913** - SCHIRRMACHER, A. Bohr's genuine metaphor: on types, aims and uses of models in the history of quantum theory. 2015.