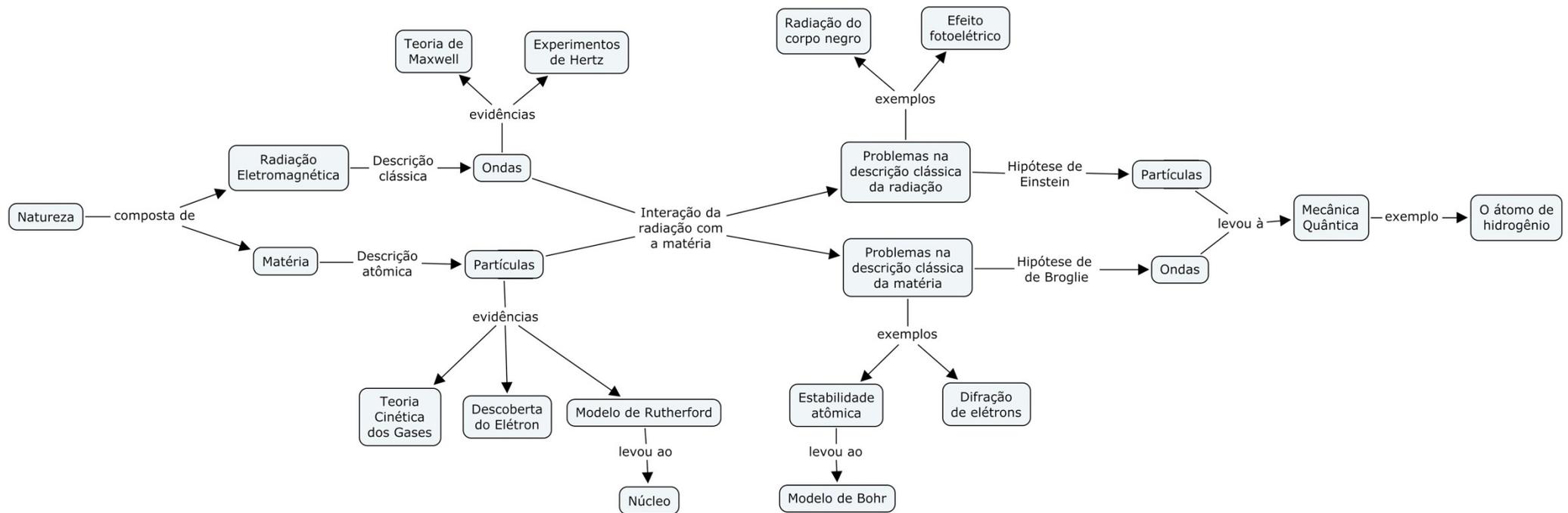


# Física Moderna I

## Aula 07

Marcelo G Munhoz  
Edifício HEPIIC, sala 202, ramal 916940  
[munhoz@if.usp.br](mailto:munhoz@if.usp.br)

# Esquema da Disciplina

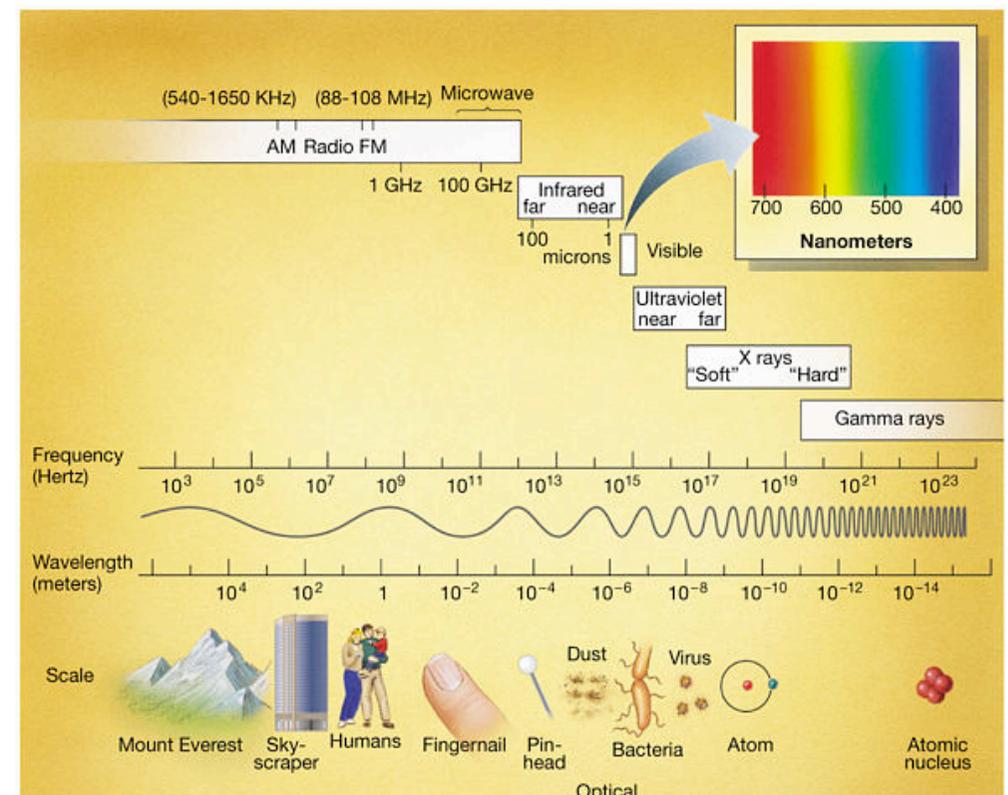


# O que “existe” no mundo físico?

- Matéria

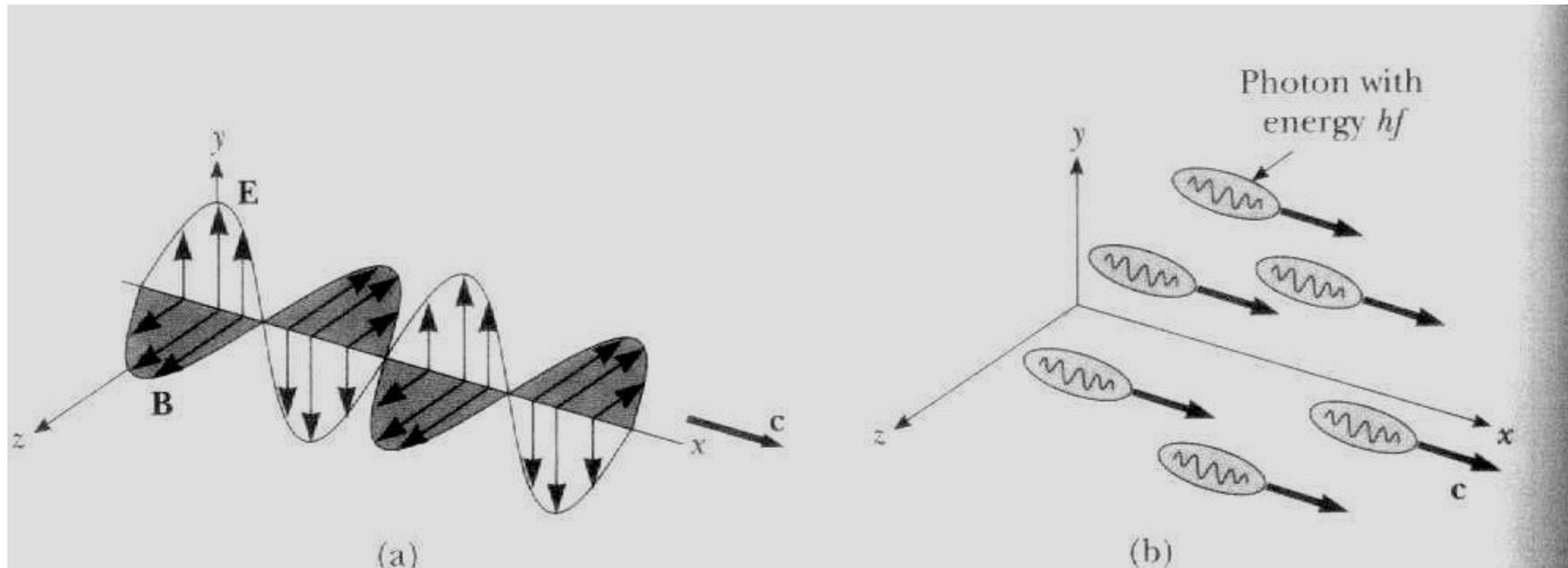


- Radiação eletromagnética



# Dualidade onda-partícula da radiação eletromagnética

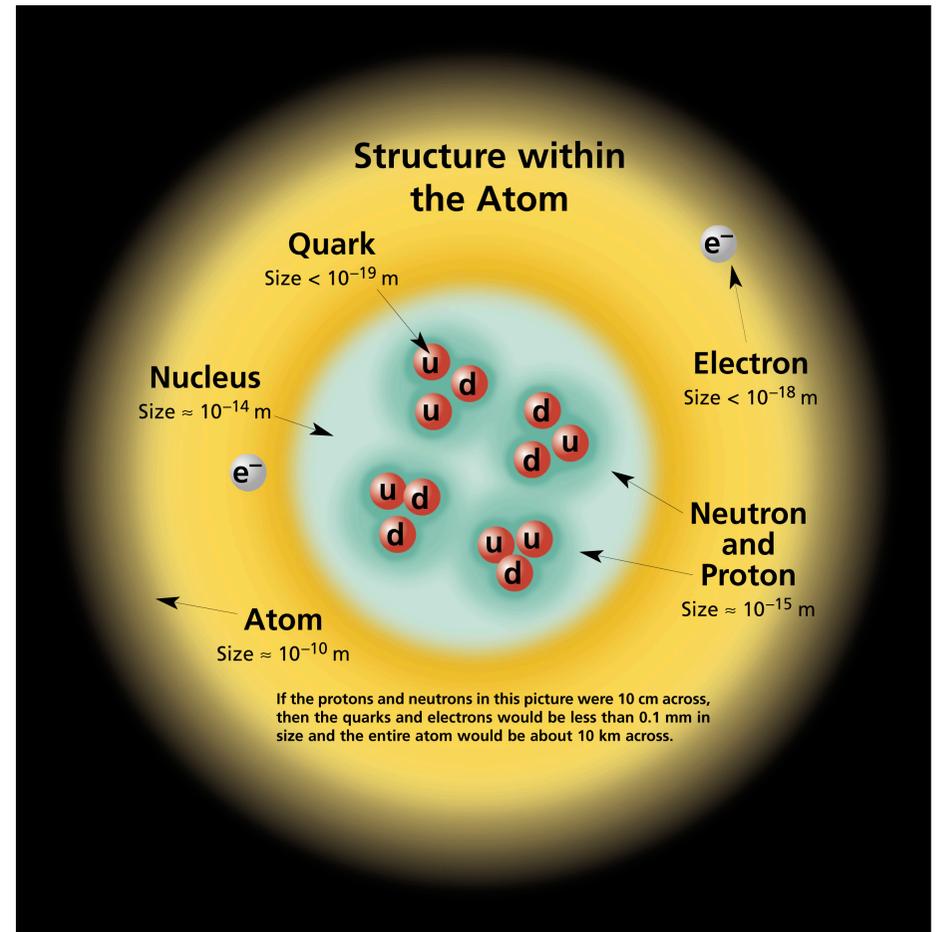
- A luz é uma onda eletromagnética e uma partícula (fóton) ao mesmo tempo!
- Ela se propaga como onda e interage como partícula...



# Do que todas as coisas são feitas?

- *“If, in some cataclysm, all scientific knowledge were to be destroyed, and only one sentence passed on to the next generation of creatures, what statement would contain the most information in the fewest words? I believe it is the atomic hypothesis (or atomic fact, or whatever you wish to call it) that all things are made of atoms”*

Richard Feynman



# Estrutura da Matéria

- Origem grega: Leucipo e Demócrito
  - Se pudéssemos dividir a matéria indefinidamente, onde isso iria parar? Ou melhor, será que isso teria um fim? Se tiver, o que restará em nossas mãos? O que será isso?
- Realizavam apenas discussões “teóricas” ou especulativas
- Cunharam o termo “átomo” (indivisível em grego)

# A Contribuição da Química: Lavoisier

- Considerado o “pai” da Química
- Revolucionou essa ciência ao sistematizá-la e quantificá-la
- Para ele, um elemento químico é a menor porção de uma substância que ainda apresenta as mesmas propriedades químicas e não pode ser subdividido em outro elemento

# A Contribuição da Química: Dalton

- Um dos primeiros cientistas a formular uma teoria atômica não especulativa (1808)
- Postulados de sua teoria (Caruso - Oguri, página 35):
  - todo elemento químico é composto de pequenas partículas chamadas átomos
  - todos os átomos de um mesmo elemento apresentam as mesmas propriedades
  - átomos de diferentes elementos têm propriedades químicas diferentes

# A Contribuição da Química: Dalton

- Postulados de sua teoria (Caruso - Oguri, página 35):
  - durante uma reação química, nenhum átomo de determinado elemento desaparece ou se transforma em um átomo de outro elemento
  - formam-se substâncias compostas quando se combinam átomos distintos de mais de um elemento
  - em um dado composto químico, os números relativos de átomos dos seus elementos são definidos e constantes e, em geral, podem expressar-se como inteiros ou frações simples
  - quando dois elementos se unem para formar uma terceira substância, presume-se que apenas um átomo de um elemento se combine com um átomo de outro elemento

# A Contribuição da Química: Avogadro

- Introduziu em 1811 o conceito de molécula diferenciando do conceito de átomo (“moléculas elementares”)
- Postulou que “dois volumes iguais de dois gases quaisquer contêm o mesmo número de moléculas desde que a temperatura e a pressão sejam as mesmas”
- *A constante de Avogadro* foi medida mais tarde e reconhecida como uma constante universal por Jean Perrin

# Origens do atomismo na Física

- Determinismo mecanicista:
  - fenômenos complexos podem ser explicados pela superposição de fenômenos simples de cunho mecânico
- Teoria Cinética dos Gases
  - Início com Bernoulli, em 1738
- Movimento Browniano
  - Demonstração experimental da existência de átomos e moléculas

# Teoria Cinética dos Gases

- Os postulados básicos (F. Caruso, V. Oguri - pag 67):
  - um gás é formado por um grande número de partículas eletricamente neutras - as moléculas, em constante movimento
  - a direção em que uma molécula se move é aleatória, ou seja, não há direção privilegiada para seus deslocamentos
  - tanto o choque de moléculas contra moléculas quanto o de moléculas contra as paredes do recipiente que contém o gás são considerados perfeitamente elásticos e obedecem às leis de Newton

# Teoria Cinética dos Gases

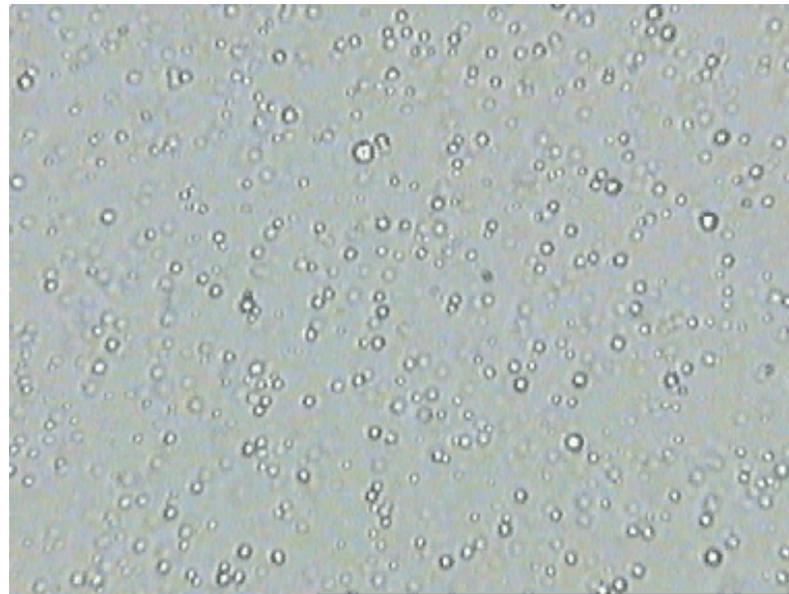
- Os postulados básicos (F. Caruso, V. Oguri - pag 67):
  - os efeitos das forças intermoleculares são desprezados, de modo que, entre as colisões, as moléculas se movem livremente em linhas retas
  - o diâmetro de uma molécula é desprezível em relação às distâncias percorridas entre colisões
  - a duração dos choques é muito pequena em relação ao tempo que as moléculas se movem livremente

# Teoria Cinética dos Gases

- Como verificar experimentalmente se esses postulados estão corretos?
- Será que a suposição da existência de partículas eletricamente neutras (com as propriedades mencionadas anteriormente) realmente descreve o comportamento macroscópico de gases e fluídos?

# O Movimento Browniano

- Em 1828, o botânico Robert Brown publica trabalho sobre o movimento irregular de partículas microscópicas suspensas em um líquido



# O Movimento Browniano

- Qual a explicação para esse fenômeno?
- Einstein acreditava firmemente na existência da átomos e moléculas
- Em sua tese de doutoramento, ele analisa o fenômeno de difusão das partículas do soluto em uma solução diluída com o objetivo de obter estimativas para o número de Avogadro e o diâmetro das partículas do soluto

# O Movimento Browniano

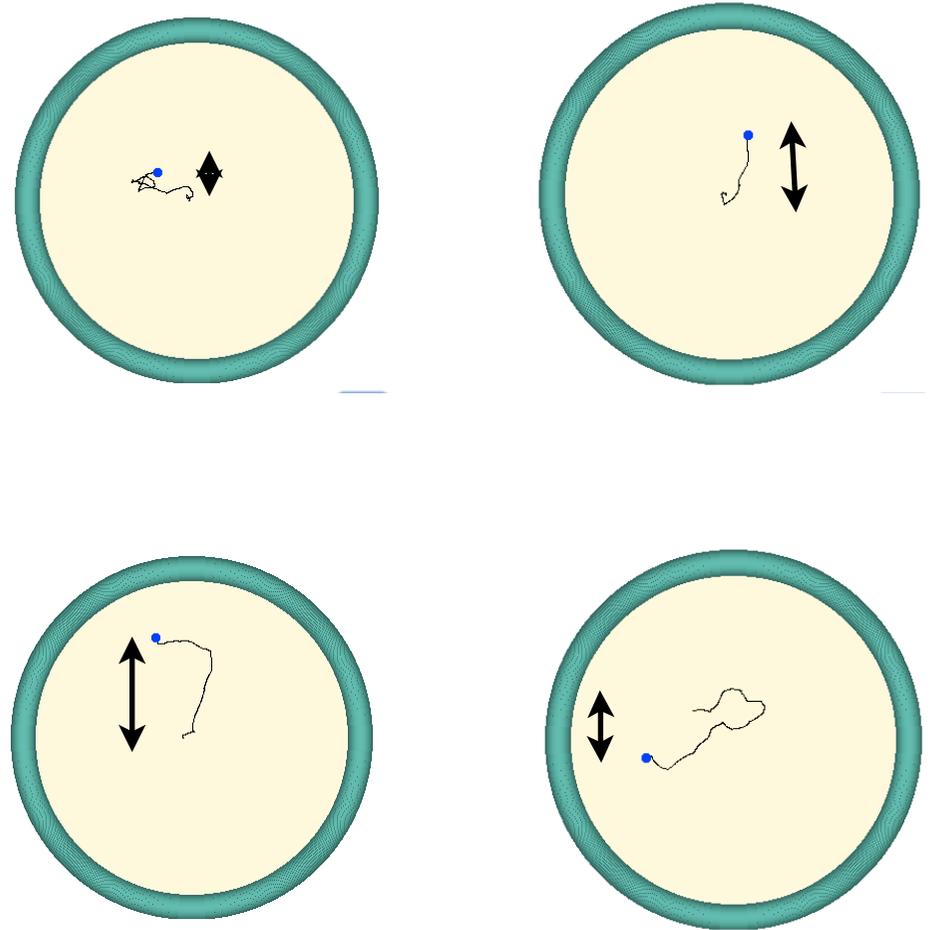
- A explicação de Einstein para o movimento browniano se baseia na existência de moléculas
- Ele apresenta uma dedução probabilística da equação de difusão de fluídos e obtém uma expressão para o deslocamento característico das partículas em suspensão

# O Movimento Browniano

- Em sua explicação, as partículas em suspensão sofrem sucessivas colisões com as moléculas do fluido, provocando seu movimento irregular
- Um dos grandes méritos de Einstein foi obter uma relação que podia ser verificada experimentalmente, testando assim as suas hipóteses
- Animação: [http://galileo.phys.virginia.edu/classes/109N/more\\_stuff/Applets/Brownian/brownian.html](http://galileo.phys.virginia.edu/classes/109N/more_stuff/Applets/Brownian/brownian.html)

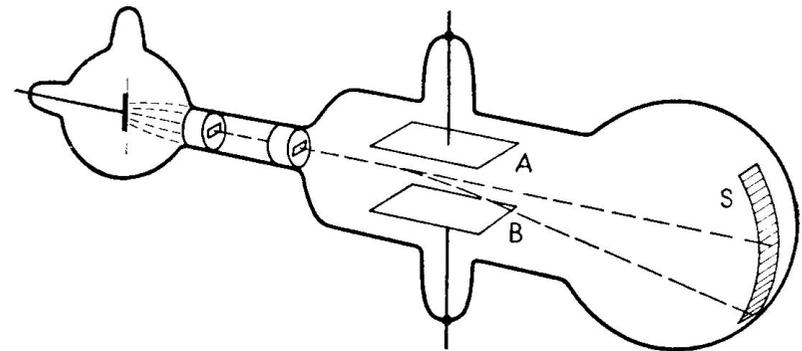
# O Movimento Browniano

- Em 1908, Jean Perrin mediu o deslocamento médio de partículas diluídas em uma solução aquosa e conseguiu medir o número de Avogadro



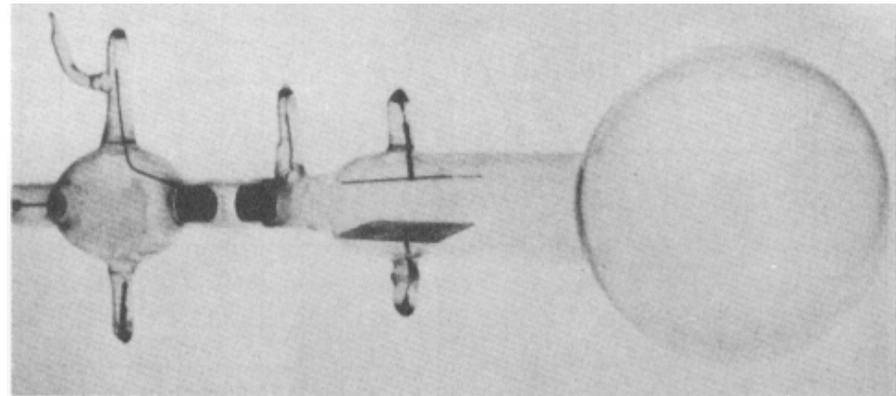
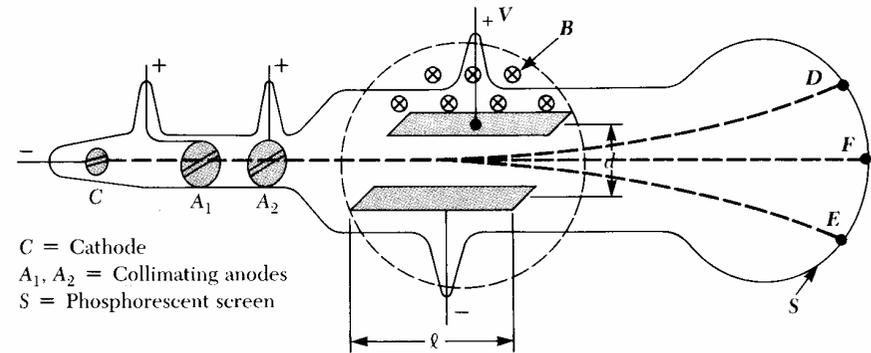
# J.J. Thomson descobre o elétron (1897)

- Thomson também estudava descargas elétricas em gases utilizando tubos de raios catódicos
- Através de um experimento e princípios simples de eletromagnetismo, ele mediu a razão  $e/m$  do elétron



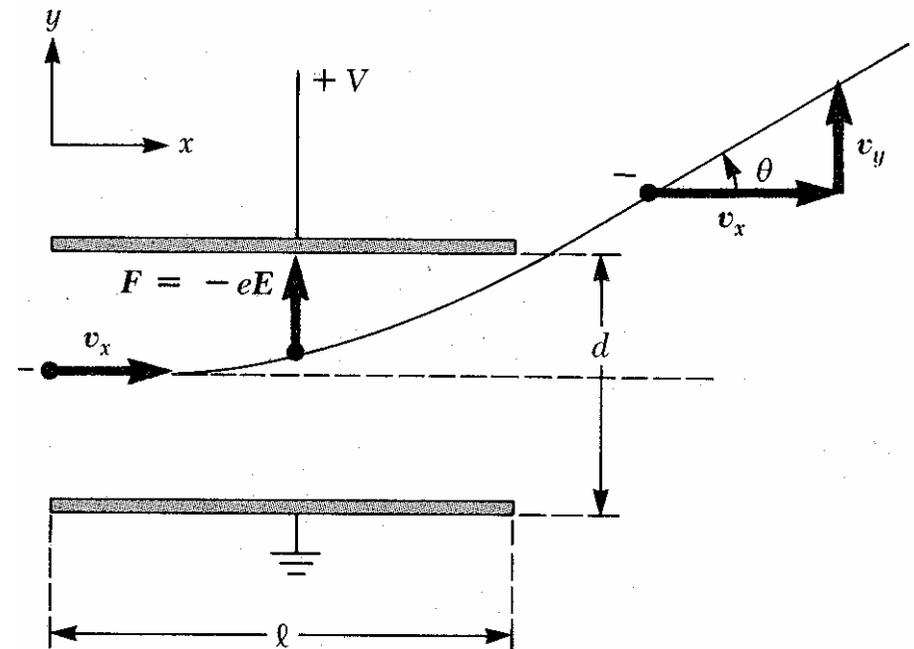
# J.J. Thomson descobre o elétron (1897)

- Thomson submetia os “raios catódicos” a ação de um campo elétrico e media sua deflexão
- Para obter o valor de  $e/m$  ele também precisava aplicar um campo magnético perpendicular ao campo elétrico



# J. J. Thomson descobre o elétron (1897)

- A partir da medida da deflexão dos “raios catódicos” ( $\theta$ ), do valor da tensão aplicada, da distância entre as placas ( $d$ ) e do comprimento das mesmas ( $l$ ) e do valor do campo magnético aplicado, ele obteve a razão  $e/m$



# Medidas da Carga Elétrica do Elétron

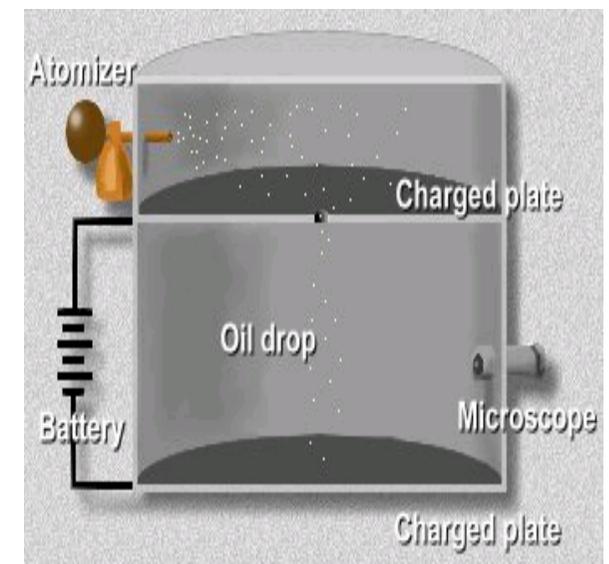
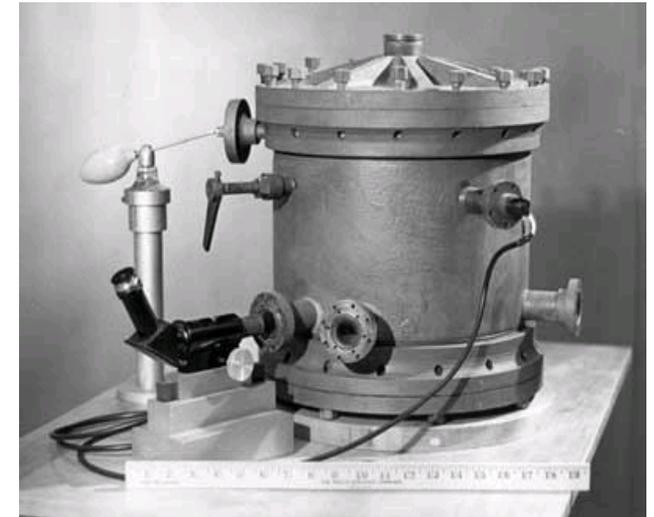
- O passo seguinte corresponde à obtenção da carga elétrica do elétron (ou corpúsculos, como Thomson chamava)
- De 1897 a 1903, Thomson e colaboradores mediram a carga elétrica do elétron
- Porém, o método usado por eles (câmara de nuvens) apresentava várias limitações e não permitiu obter resultados precisos

# Medidas da Carga Elétrica do Elétron

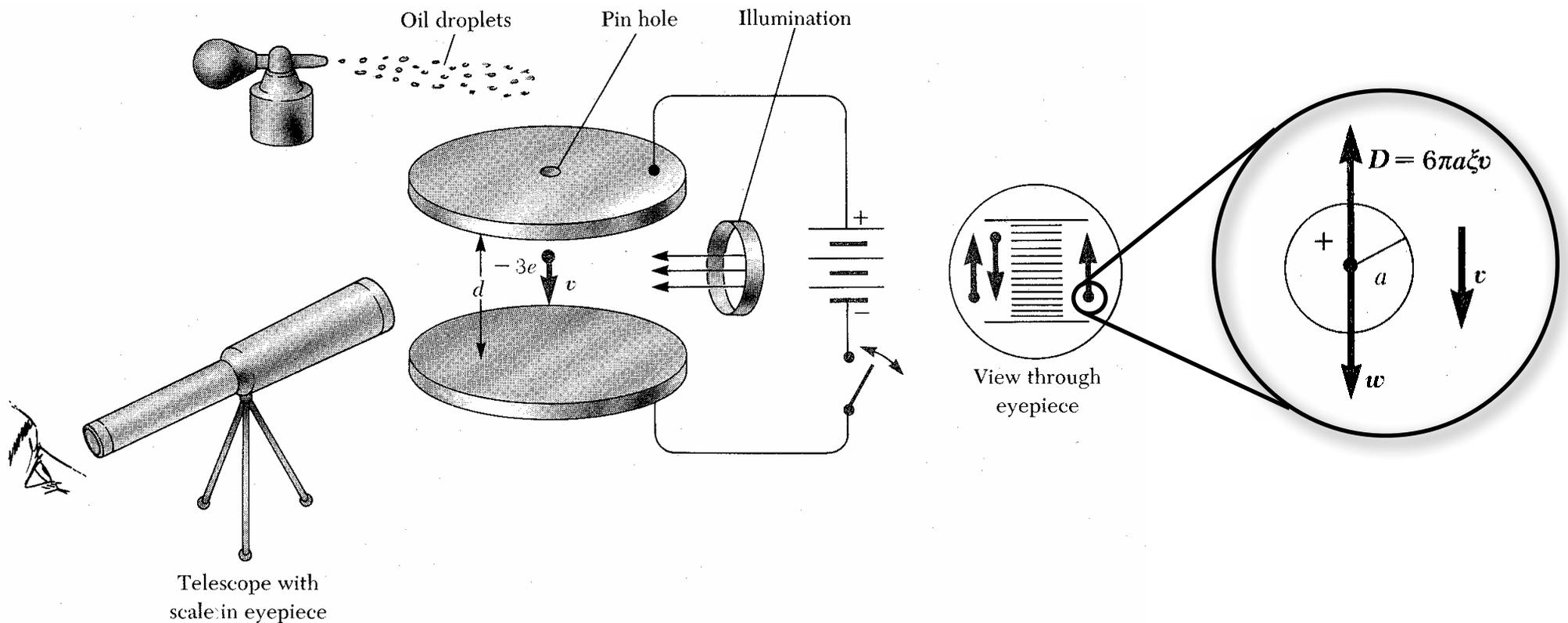
- Millikan, Begeman e Fletcher, de 1907 a 1910, revolucionaram a medida de carga do elétron
- Eles utilizam um forte campo elétrico e óleo ao invés de vapor de água
- A principal conclusão deles foi a observação que a carga das gotículas de óleo era sempre múltipla da carga elementar obtida

# Medidas da Carga Elétrica do Elétron

- Equipamento experimental utilizado por Robert A. Milikan em 1909
- O método utilizado por Milikan consistia em se medir a velocidade de gotículas de óleo sob a influência da gravidade e de um campo elétrico uniforme

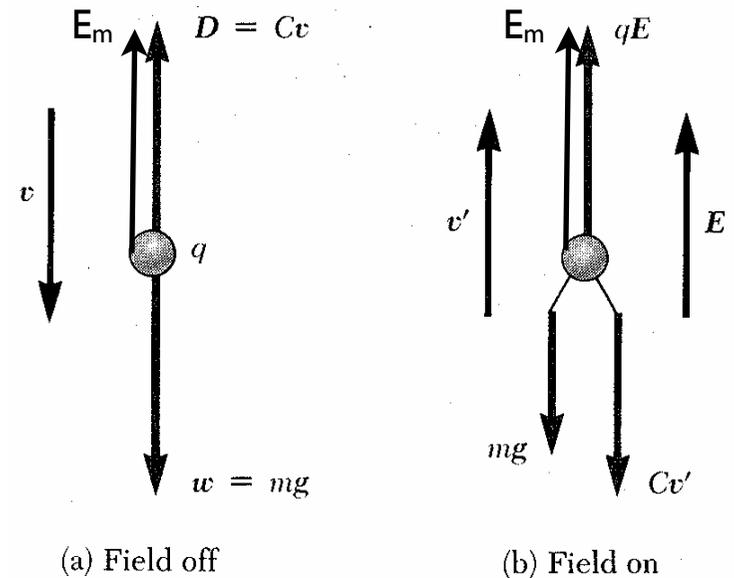


# Medidas da Carga Elétrica do Elétron



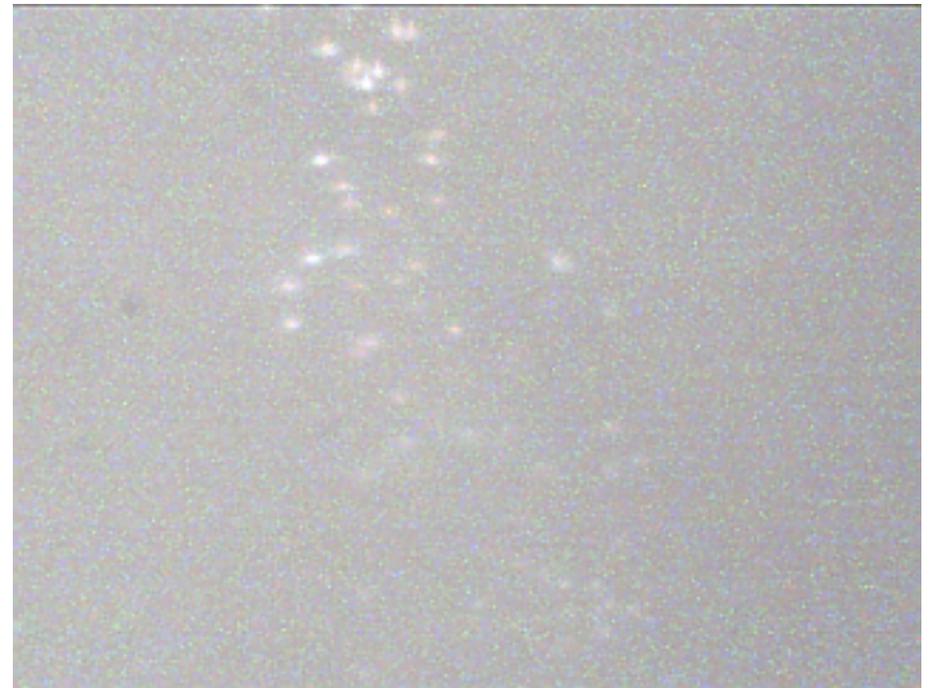
# Medidas da Carga Elétrica do Elétron

- Ao cair, a gotícula sofre influência da força peso, da força de empuxo e do atrito do ar
- Ao subir, a gotícula sofre influência da força elétrica (que faz a gotícula subir), da força peso, da força de empuxo e do atrito com o ar (direção oposta ao caso anterior)



# Medidas da Carga Elétrica do Elétron

- Ao cair, a gotícula sofre influência da força peso, da força de empuxo e do atrito do ar
- Ao subir, a gotícula sofre influência da força elétrica (que faz a gotícula subir), da força peso, da força de empuxo e do atrito com o ar (direção oposta ao caso anterior)



# Medidas da Carga Elétrica do Elétron

- Realizando-se essa medida muitas vezes, é possível se obter uma distribuição de cargas medidas e se constatar que a carga elétrica é quantizada

