

Universidade de São Paulo Instituto de Física

FÍSICA MODERNA I

AULA 07

Profa. Márcia de Almeida Rizzutto
Pelletron – sala 114
rizzutto@if.usp.br

1o. Semestre de 2014

Monitor: Gabriel M. de Souza Santos

Página do curso:

<http://disciplinas.stoa.usp.br/course/view.php?id=2905>

14/03/2014

Exercício

□ A análise de uma fotografia de câmara de bolha mostra a criação de um par elétron-pósitron quando fótons atravessam a matéria. As trajetórias do elétron e do pósitron têm curvaturas opostas no campo magnético uniforme $B=0,20\text{Weber/m}^2$, sendo seus raios r ambos iguais a $2,5 \times 10^{-2}\text{m}$.

□ Qual a energia e o comprimento de onda do fóton que produziu o par?

□ O momento p do elétron é dado por: $p = eBr$

□ A energia relativística é dado por: $E^2 = c^2 p^2 + (m_0 c^2)^2$

Exercício

❑ A análise de uma fotografia de câmara de bolha mostra a criação de um par elétron-pósitron quando fótons atravessam a matéria. As trajetórias do elétron e do pósitron têm curvaturas opostas no campo magnético uniforme $B=0,20\text{Weber/m}^2$, ($\text{Wb}=\text{Tm}^2$) sendo seus raios r ambos iguais a $2,5 \times 10^{-2}\text{m}$.

❑ Qual a energia e o comprimento de onda do fóton que produziu o par?

❑ O momento p do elétron é dado por: $p = eBr$

❑ A energia relativística é dado por:

$$E_-^2 = c^2 p^2 + (m_0 c^2)^2$$
$$pc = 8 \times 10^{-22} \times 3 \times 10^8 \frac{\text{kgm}}{\text{s}} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$pc = 2,4 \times 10^{-13} \frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^2}$$

$$pc = 2,4 \times 10^{-13} \text{J} = 2,4 \times 10^{-13} \times 6,242 \times 10^{18} \text{eV}$$

$$pc = 1,5 \times 10^6 \text{eV} = 1,5 \text{MeV}$$

$$p = 1,6 \times 10^{-19} \times 0,20 \times 2,5 \times 10^{-2} \text{CTm}$$

$$p = 8,0 \times 10^{-22} \text{As} \frac{\text{kg}}{\text{s}^2 \text{A}} \text{m}$$

$$p = 8,0 \times 10^{-22} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \text{m}$$

Exercício

❑ Logo a energia é dado por: $E_-^2 = c^2 p^2 + (m_0 c^2)^2$

$$E_-^2 = (1,5)^2 + (0,51)^2 \text{ MeV}^2$$

$$E_- = 1,6 \text{ MeV}$$

❑ A energia relativística do pósitron tem o mesmo valor de energia do elétron: $E_+ = 1,6 \text{ MeV}$

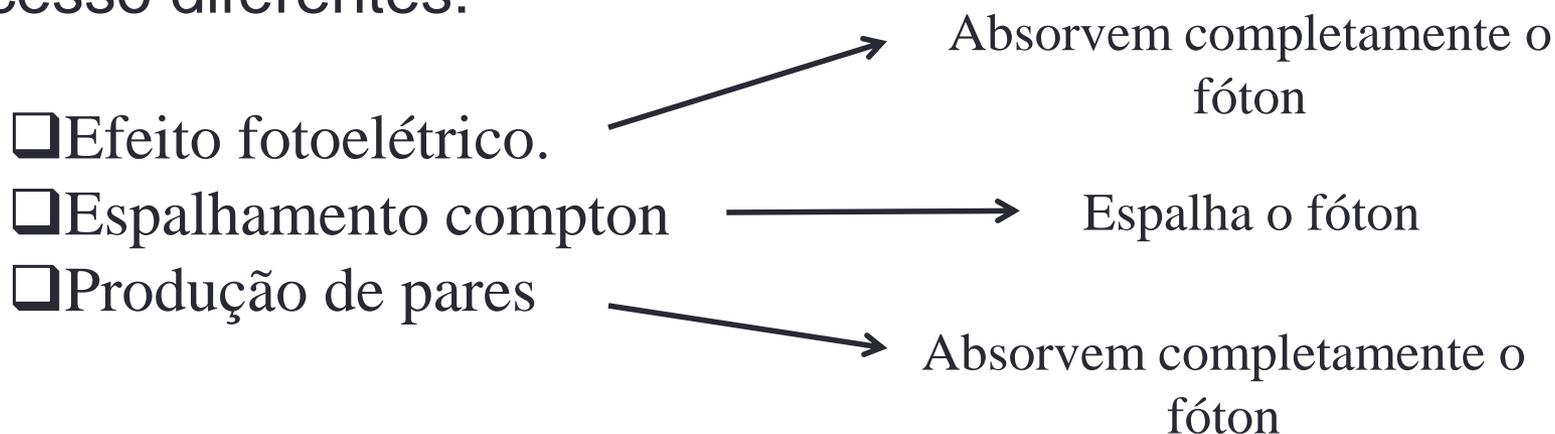
❑ A energia do fóton era: $h\nu = 1,6 + 1,6 = 3,2 \text{ MeV}$

❑ O comprimento de onda do fóton era: $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{3,2 \times 10^6 \text{ eV}} = 3,9 \times 10^{-4} \text{ nm}$$
$$\lambda = 3,9 \times 10^{-13} \text{ m}$$

Interação de fótons com a matéria

❑ Como vimos os fótons podem interagir com a matéria por três processos diferentes:



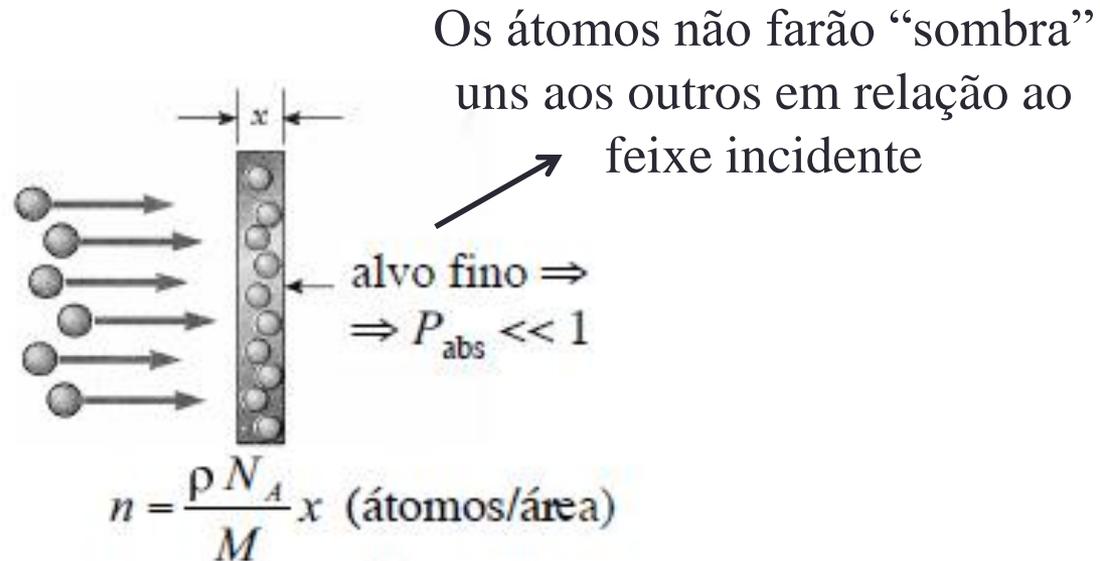
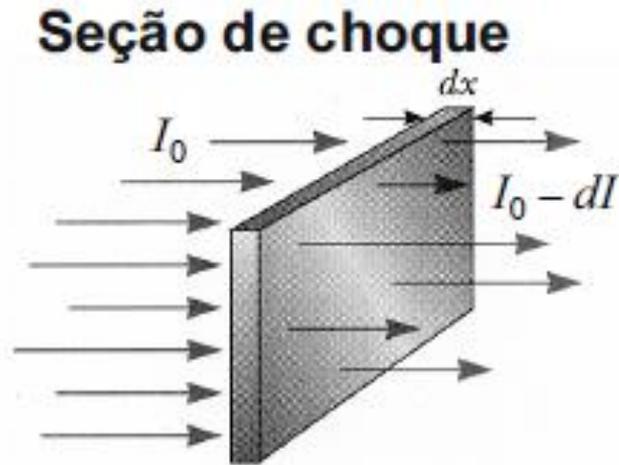
❑ Quais as probabilidades de ocorrência de cada processo?

❑ Estas informações são importantes para equipamentos de blindagens de reatores, aceleradores, e aparelhos de RX.

❑ A probabilidade de um fóton ser absorvido, por exemplo, por efeito fotoelétrico, espalhamento Compton ou produção de pares, ao passar por uma lâmina fina, é dado pela **seção de choque**

Seção de Choque

Seção de choque define a probabilidade de interação do fóton com um material por algum processo.



O número de absorções fotoelétricas N_{Fe} que ocorrem:

$$N_{Fe} = \sigma_{Fe} \cdot I_0 \cdot n$$

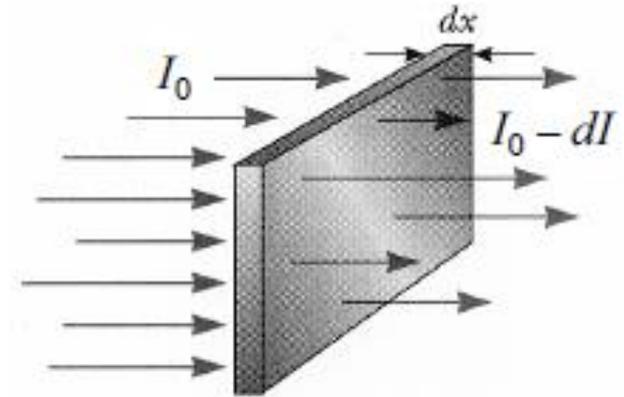
Feixe com I_0 fótons

n átomos por unidade de área

É a seção de choque: probabilidade de um certo tipo de átomo sofrer uma certo tipo de interação (no caso fotoelétrica)

Seção de Choque

❑ O feixe de fótons ao atravessar o material (espessura x) terá sua intensidade diminuída pela remoção de uma parte desses fótons do feixe pelos três processos.



❑ Fótons de baixa energia (luz visível): bastam espessuras pequenas (poucos mm de material) para que todos os fótons tenham interagido ocorrendo absorção total da radiação.

❑ Fótons com energia mais altas (raios X e raios gamas) pouco interagem e podem atravessar grandes cm de material sem sofrer nenhuma interação.

❑ A quantidade dI de fótons absorvidos em uma espessura dx de material, deve ser proporcional ao número de fótons I e a espessura x

$$dI = A I_0 dx$$

A é a constante de proporcionalidade e depende da probabilidade de interação de um dos três processos.

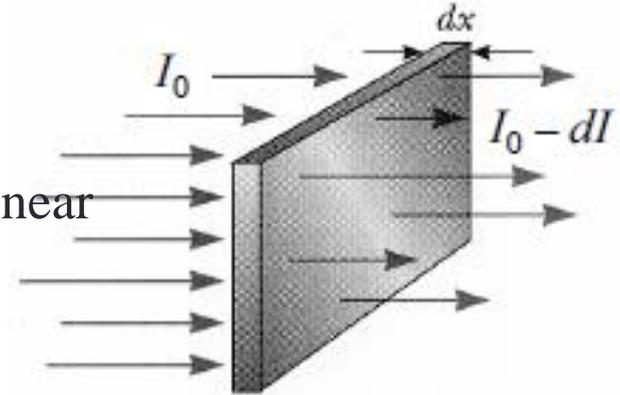
Seção de Choque de absorção de fótons na matéria

$$dI = -I_0 \mu dx$$

Coeficiente de absorção linear

Decréscimo do número de fótons .

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$



❑ após atravessar uma espessura x de um absorvedor o feixe o intensidade inicial cai exponencialmente para I .

❑ Como a absorção do feixe é causada pelos três processos de interação. O coeficiente de absorção pode ser decomposto em três termos:

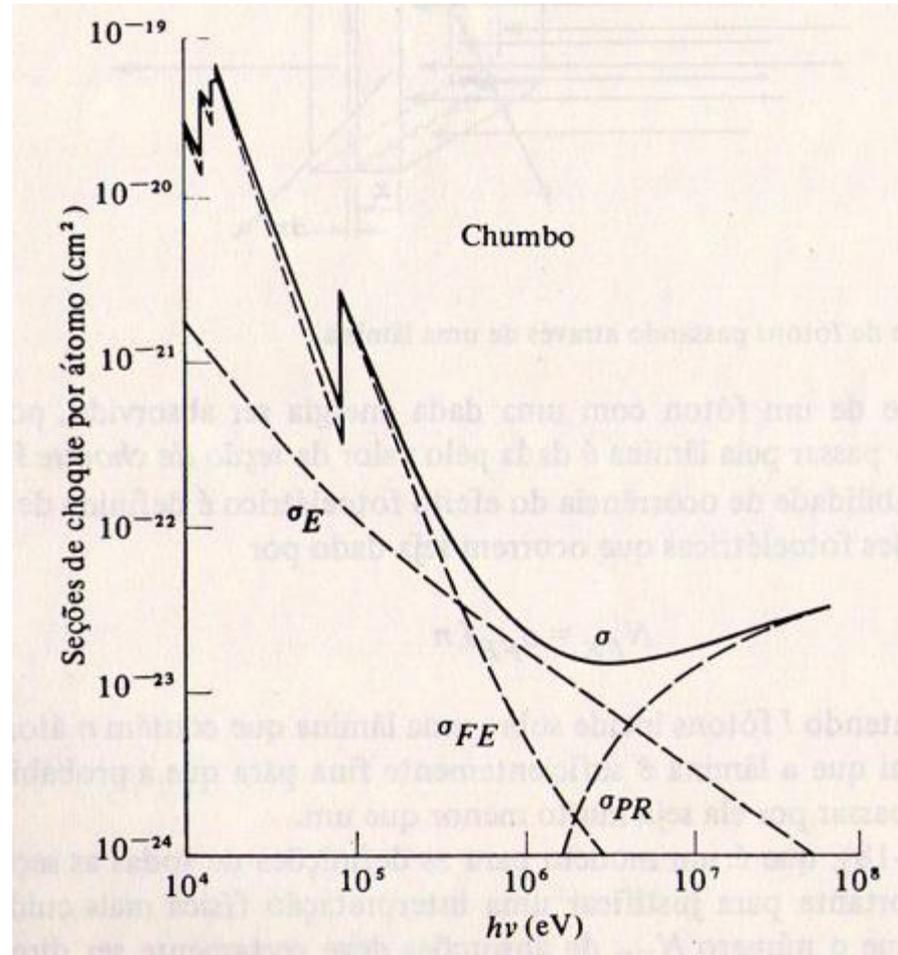
$$\mu = \mu_E + \mu_C + \mu_P$$

❑ nos cálculos é comum utilizarmos o coeficiente de absorção de massa definido como

$$\frac{\mu}{\rho} \quad I(x) = I_0 e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)x}$$

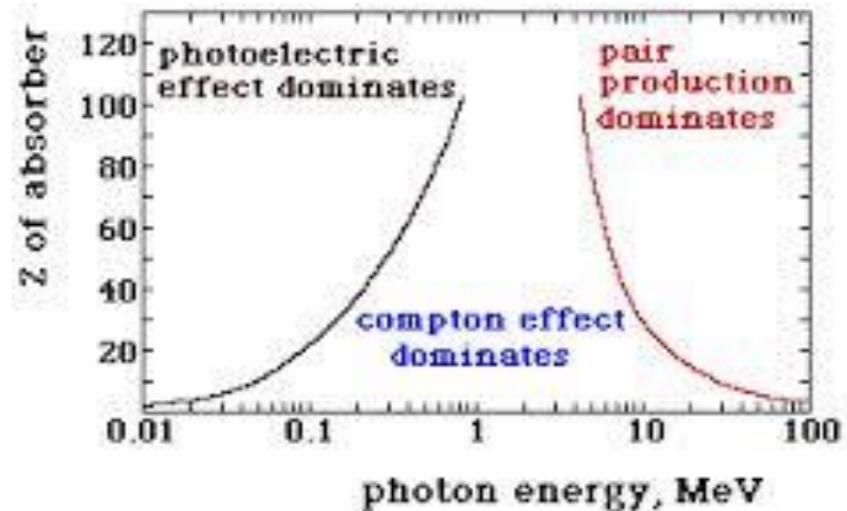
Seção de Choque de absorção de fótons na matéria

- ❑ Pode-se medir qual a seção de choque em função da energia dos fótons para cada processos ocorrer.



Seção de Choque de absorção de fótons na matéria

□ Agora temos como varia a probabilidade de ocorrência dos três processos em função da energia:



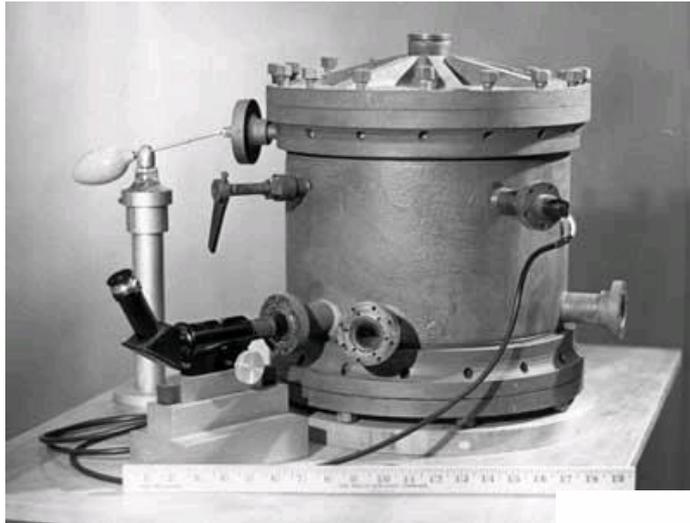
□ O efeito fotoelétrico é dominante para baixas energias. O efeito Compton só se torna dominante para energias maiores que 500 keV.

□ A produção de pares só ocorre para energias superiores a 10220 MeV e é dominante para energias altas (~20MeV)

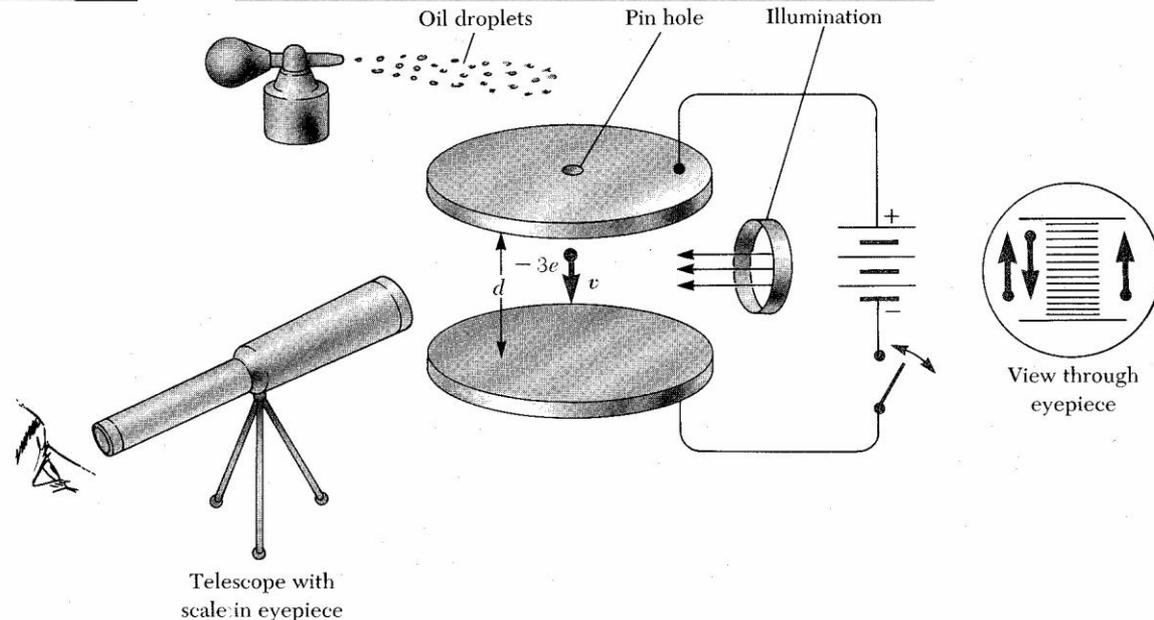
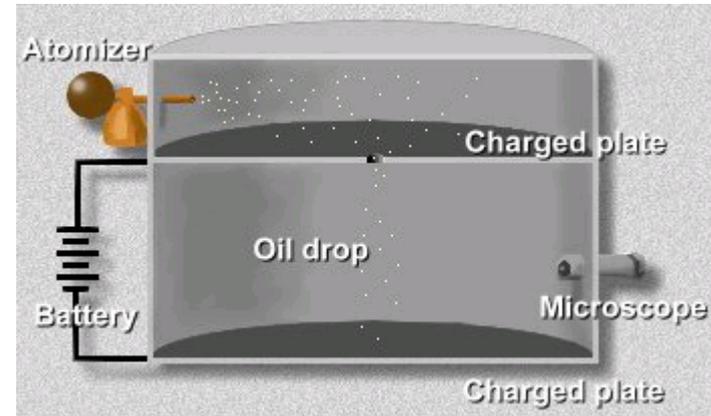
□ Em resumo podemos dizer que as probabilidades desses processos dependem da energia do fóton e da densidade do material que está envolvido de interação da radiação.

Medidas de Carga Elétrica do Elétron

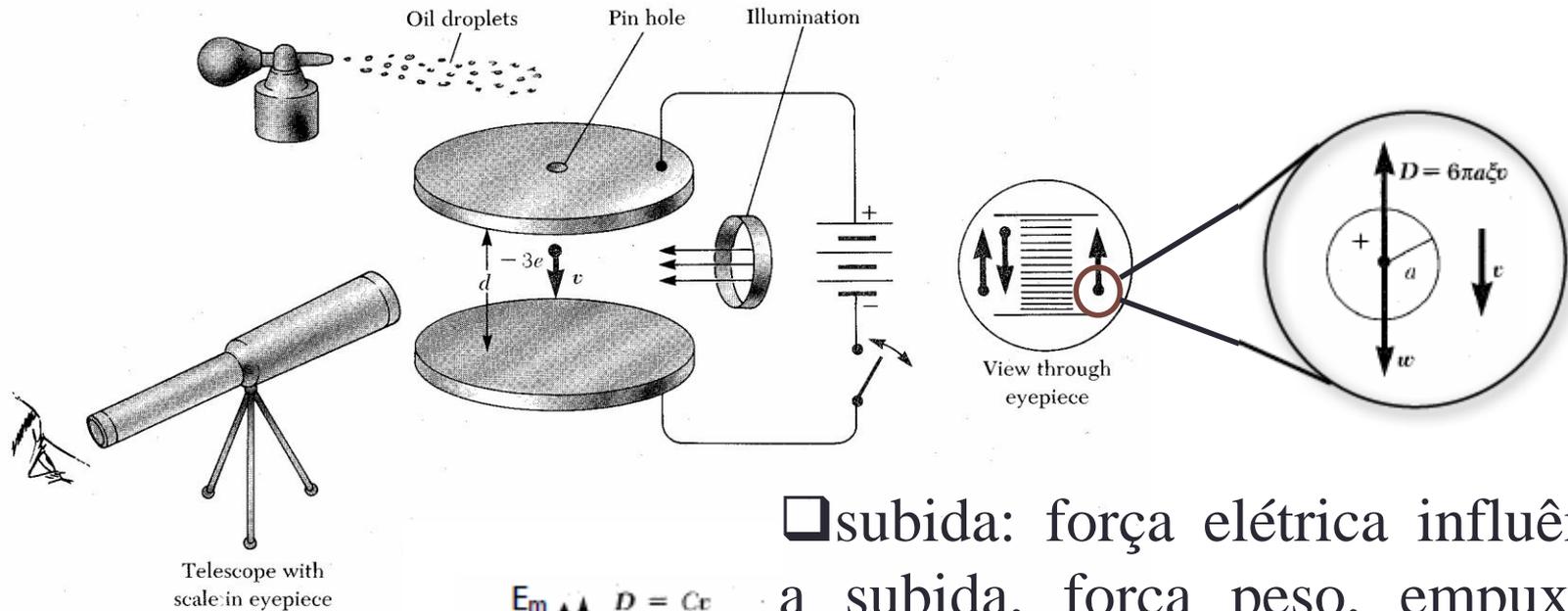
❑ O experimento foi realizado por Robert A. Milikan em 1909:



❑ Método utilizado era medir a velocidade de gotículas de óleo sob a influência da gravidade e de um campo elétrico uniforme.

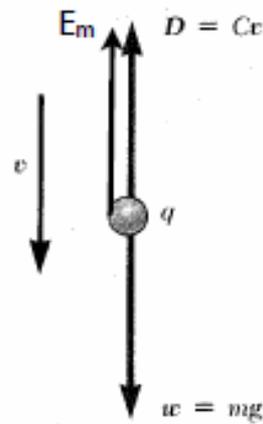


Medidas de Carga Elétrica do Elétron

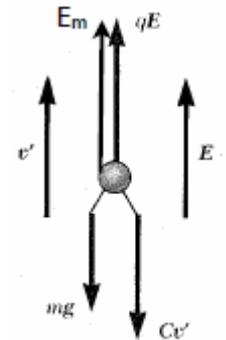


□ subida: força elétrica influencia a subida, força peso, empuxo e atrito do ar (contrário a descida)

□ Descida: a gota sofre influência do peso, empuxo e atrito do ar



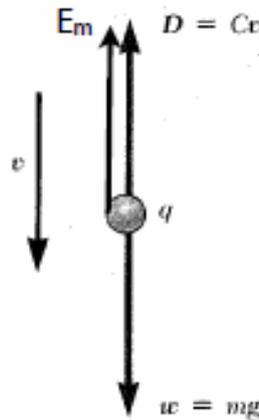
(a) Field off



(b) Field on

Medidas de Carga Elétrica do Elétron

□ Descida: a gota sofre influência do peso, empuxo e atrito do ar
SEM CAMPO

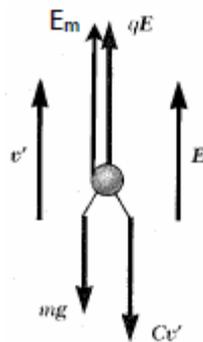


(a) Field off

$$v_d = \frac{mg}{6\pi\rho_{ar}a} = \frac{\frac{4}{3}\pi a^3 d_{ol} g}{6\pi\rho_{ar}a}$$

$$v_d = \frac{2 d_{ol} a^2 g}{9 \rho_{ar}}$$

□ subida: força elétrica influencia a subida, força peso, empuxo e atrito do ar (contrário a descida)
COM CAMPO



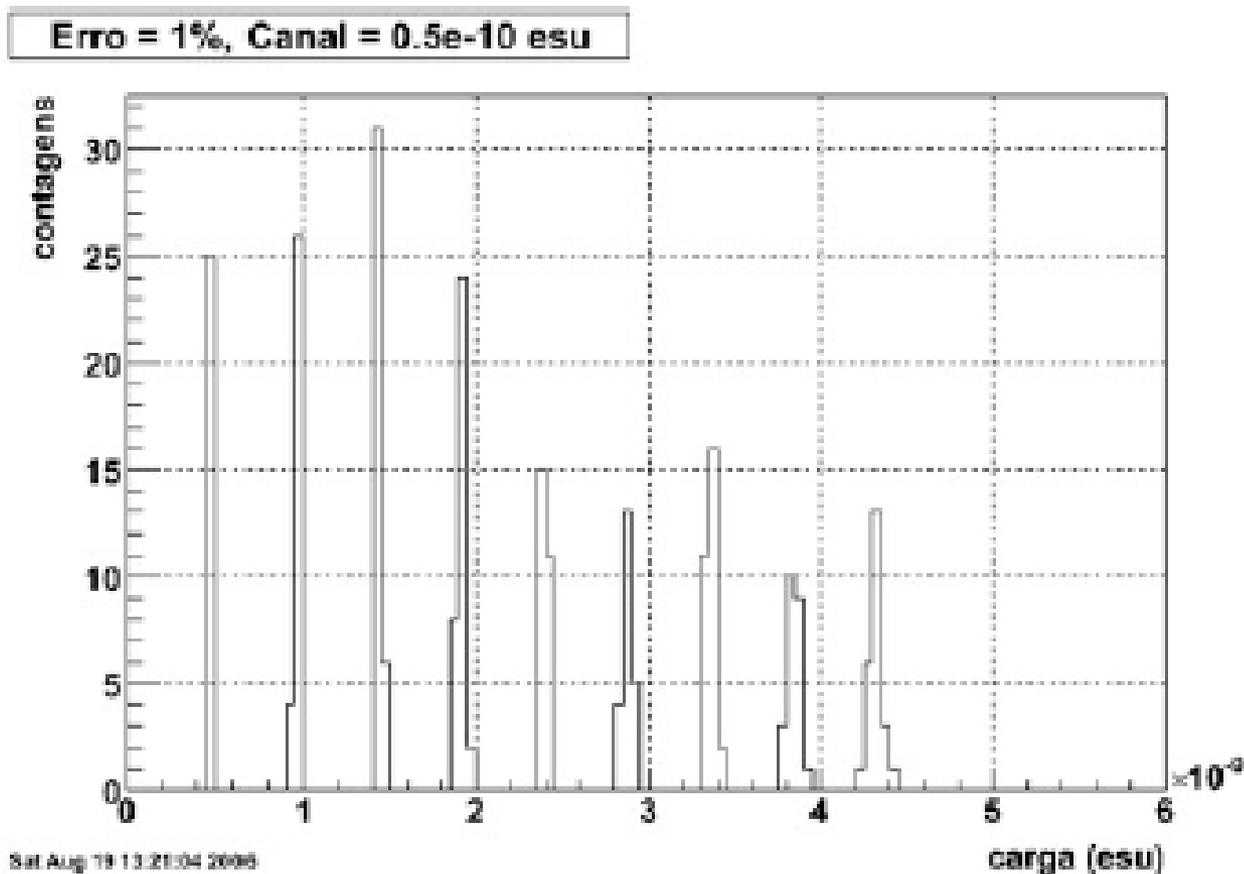
(b) Field on

$$v_q = \frac{L}{t_q} = \frac{2 d_{ol} a^2 g}{9 \rho_{ar}}$$

$$a = \sqrt{\frac{9\rho_{ar}L}{2t_q d_{ol} a^2 g}}$$

Medidas de Carga Elétrica do Elétron

□ Várias medidas de tempo de queda, cálculos de velocidade e aceleração, podemos constatar a quantização da carga elétrica



Modelos Atômico

□ A partir das várias informações obtidas até agora poderemos começar uma discussão sobre modelos dos átomos.