

# Атомное ядро

Р.М. Джилкибаев

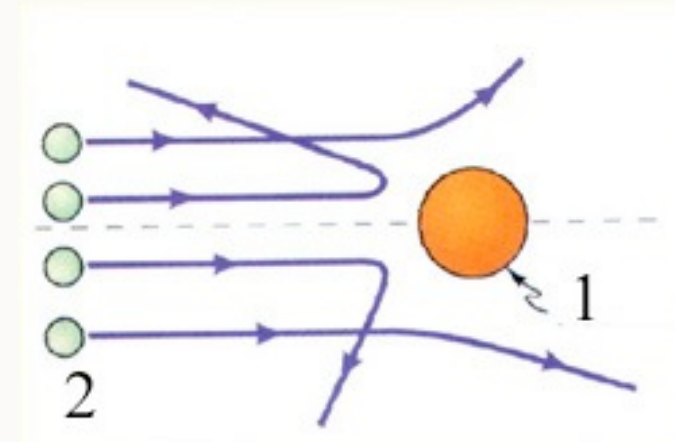




# ОПЫТ РЕЗЕРФОРДА

- Прямые экспериментальные исследования строения атома были выполнены в 1911 году Э. Резерфордом, который изучал рассеяние  $\alpha$ -частиц (5.5 МэВ) при прохождении через тонкую золотую фольгу 1 мкм ( $10^{-6}$  м).
- Дифференциальное сечение упругого рассеяния нерелятивистской заряженной частицы в кулоновском поле ядра-мишени описывается формулой Резерфорда

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left( \frac{Z_1 Z_2 e^2}{2mv^2} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \theta / 2}$$

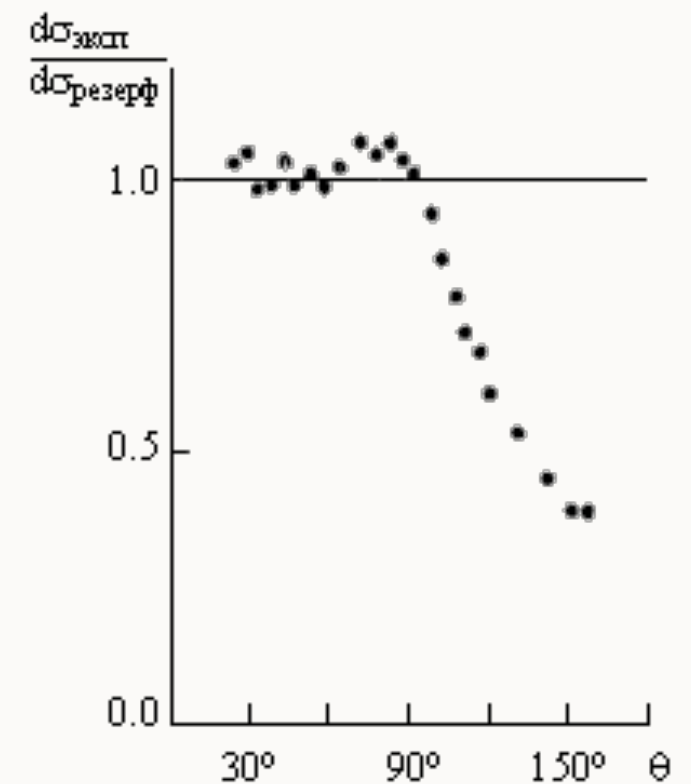


■

# ФОРМУЛА РЕЗЕРФОРДА

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left( \frac{Z_1 Z_2 e^2}{2mv^2} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \theta / 2}$$

- Формула Резерфорда получена при следующих предположениях.
  1. Ядро и  $\alpha$ -частица точечные ( $R_{\text{ядра}} = 0, R_{\alpha} = 0$ ).
  2. Масса ядра  $m_{\text{ядра}}$  много больше массы налетающей  $\alpha$ -частицы  $m_{\alpha}$  ( $m_{\text{ядра}} \gg m_{\alpha}$ ).
  3. Спин ядра и спин  $\alpha$ -частицы равны 0 ( $s_{\alpha} = s_{\text{ядра}} = 0$ ).
  4. Магнитные моменты ядра и  $\alpha$ -частицы равны 0 ( $\mu_{\alpha} = \mu_{\text{ядра}} = 0$ ).
  5. Механизм реакции - упругое рассеяние на ядре.
  6. Потенциал рассеяния имеет вид  $Z_1 Z_2 e^2 / R$ .



# ЕДИНИЦЫ ВЕЛИЧИН

- $\alpha$  частицы  $Z = 2$  ( 5.5 МэВ)

$$\alpha = \frac{e^2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \hbar \cdot c} = 1/137.035$$

- Gold Au:  $Z=79$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ m/F}$$

- Minimal  $R = 41 \text{ fm}$

$$\hbar \cdot c = 197.32 \text{ fm} \cdot \text{MeV}$$

- $v/c = p/E$ ;  $p = \sqrt{2mT}$

$$U = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Z_1 \cdot Z_2}{R}$$

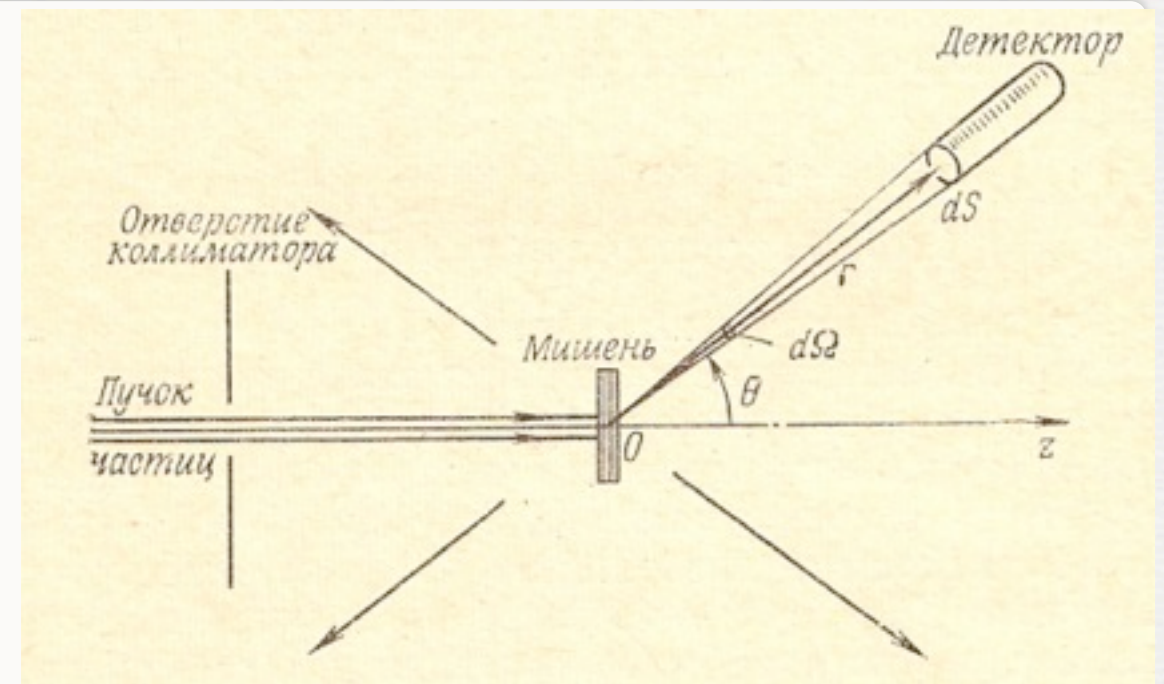
- скорость  $\alpha = 1.5 \cdot 10^7 \text{ м/с}$

- Au nuclear size = 7 fm



# СЕЧЕНИЕ РАССЕЯНИЯ

- $dN \approx J dS / r^2 = J \sigma(\theta) d\Omega$
- $[J] = 1 / \text{cm}^2 / \text{c}, [dN] = 1 / \text{c}$
- $[\sigma] = \text{cm}^2$



- $\sigma_{\text{total}} = \int \sigma(\theta) d\Omega$
- $\text{barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$

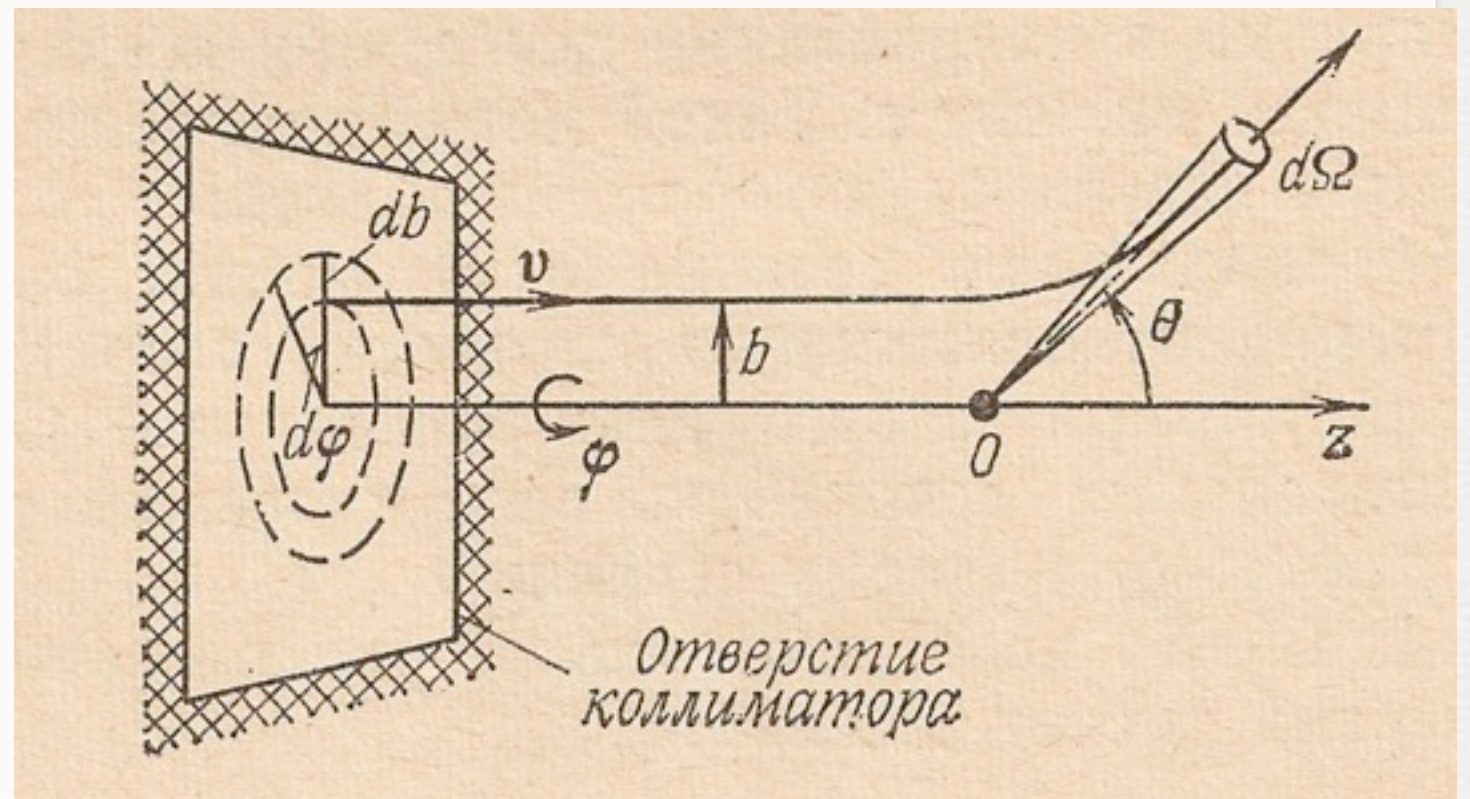
# ОСЛАБЛЕНИЕ ПОТОКА

- Число частиц, выбывающих из пучка за счет рассеяния в слое вещества от  $z$  до  $z+dz$  равно  $n \sigma_{\text{tot}} N(z) dz$ ,  $n$  - плотность вещества,  $N(z)$  - поток частиц на глубине  $z$
- Предполагается, что мишень достаточно тонкая, чтобы не учитывать многократное рассеяние
- $N(z+dz) = N(z) - n \sigma_{\text{tot}} N(z) dz$
- $dN(z)/dz = - n \sigma_{\text{tot}} N(z)$
- $N(z) = N(0) \exp(- n \sigma_{\text{tot}} z)$



# РАССЕЯНИЕ В КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

- $d\sigma = b \, db \, d\varphi = b(\theta) \, db(\theta) / d\theta \, d\theta \, d\varphi$
- $d\Omega = \sin(\theta) \, d\theta \, d\varphi$
- $\sigma(\theta) = d\sigma / d\Omega = 1 / \sin(\theta) \, b(\theta) \, db(\theta) / d\theta$



# ВЫВОД ФОРМУЛЫ РЕЗЕРФОРДА

$$f = \frac{e_1 e_2}{r^2}$$

$$|\vec{p}' - \vec{p}| = 2mv \sin \frac{\theta}{2} = e_1 e_2 \int \frac{\cos \varphi}{r^2} dt$$

$$r^2 d\varphi/dt = \rho v$$

$$\int \frac{\cos \varphi}{r^2} dt = \frac{1}{\rho v} \int_a^b \cos \varphi d\varphi = \frac{2}{\rho v} \cos \frac{\theta}{2}$$

$$a = -\frac{\pi-\theta}{2}; b = \frac{\pi-\theta}{2}$$

$$2mv \sin \frac{\theta}{2} = \frac{2e_1 e_2}{\rho v} \cos \frac{\theta}{2}$$

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{e_1 e_2}{m v^2 \rho}; \rho^2 = \left( \frac{e_1 e_2}{m v^2 \tan \frac{\theta}{2}} \right)^2$$

$$d\sigma = 2\pi\rho d\rho = \pi\left(\frac{e_1 e_2}{m v^2}\right)^2 \frac{\cos\theta/2}{\sin^3\theta/2} d\theta$$

$$d\Omega = 2\pi \sin \theta \, d\theta = 4\pi \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} d\theta$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left( \frac{Z_1 Z_2 e^2}{2mv^2} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \theta/2}$$

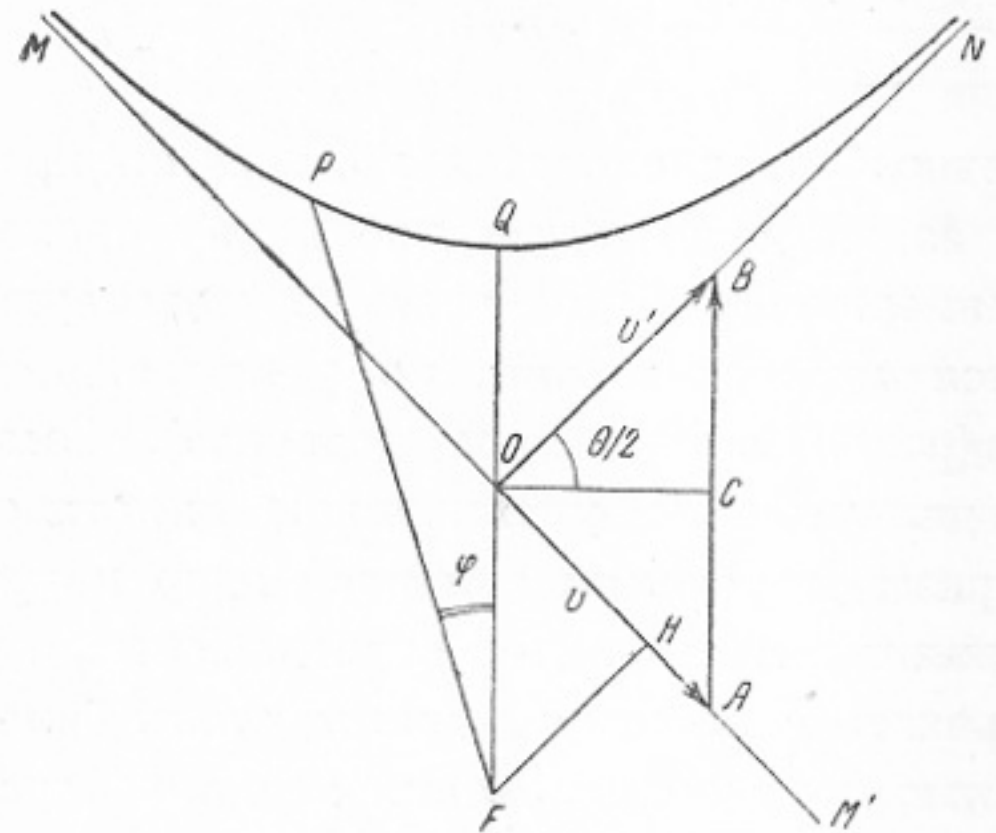


Рис. 1



# КОМПТОНОВСКАЯ ДЛИНА ВОЛНЫ

## ■ Комptonовская длина волны

$$\bar{\lambda}_C = \frac{\lambda_C}{2\pi} = \frac{\hbar}{mc}$$

- Для электрона  $\lambda_C^e \approx 0.00386 \text{ \AA} \approx 3,8615901 \times 10^{-13} \text{ м}$
- Пи-мезона:  $\lambda_C^{\pi} \approx 1,46 \times 10^{-15} \text{ м}$  (характерное расстояние ядерных взаимодействий)
- W-бозона:  $\lambda_C^W \approx 2,45 \times 10^{-18} \text{ м}$  (характерное расстояние слабых взаимодействий)

# ТИПЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

- Сильное  $g^2/\hbar c = 15$ ; Сечение -  $10^{-26}$  см<sup>2</sup>; Время -  $10^{-23}$  с
- Электромагнитное  $e^2/\hbar c = 1/137$ ; Сечение -  $10^{-29}$  см<sup>2</sup>  
Время -  $10^{-16}$  с
- Слабое  $g_F^2/\hbar c = 10^{-5} (\hbar/m_p c)^2$ ; Сечение -  $10^{-38}$  см<sup>2</sup>  
Время -  $10^{-8}$  с
- Гравитационное  $Gm_e^2/\hbar c = 2 \cdot 10^{-45}$



# ЛИТЕРАТУРА

Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика. М.: Наука, 1972.

Перкинс Д. Введение в физику высоких энергий. М. Мир, 1975.

Бете Г. Лекции по теории ядра. М. Изд-во Ин. Лит. 1949.

Элтон Л. Размеры ядер. М. Изд-во Ин. Лит. 1962.

Фрауенфельдер Г., Хенли Г. Субатомная физика. М. Мир, 1979.

Бор О., Моталось Б. Структура атомного ядра. М. Мир, 1971.

Блин-Стоил Р. Фундаментальные взаимодействия и атомное ядро. М. Мир 1976.

Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. М. Энергоиздат, 1983.