

**Э. Резерфорд и Г. Гамов**

**Ядро**

**и**

**КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА**

**С. Герштейн**

**10 марта 2011**

## **Открытие ядра и планетарная модель атома стимулировали создание квантовой механики**

- **Н. Бор (1913) Использование  $\hbar$  для нахождения стационарных орбит**
- **Де Бройль (1923) Корпускулярно волновой дуализм**
- **В. Гайзенберг (1925) Квантовая механика**
- **Э. Шредингер (1926) Волновая механика**
- **М. Борн (1926) Статистическая интерпретация**

**Торжество применения квантовой механики к атому и атомным процессам**

**Принцип запрета Паули. Таблица Менделеева.**

# Применима ли квантовая механика к ядру?

## Экспериментальные факты:

- Заряд ядра (для легких ядер) равен  $\approx A/2$  [из рассеяния  $\alpha$ -частиц на разных ядрах] Н. Geiger and E. Marsden (1913)
- Заряд ядра (из данных по характеристическим X-лучам) равен порядковому номеру элемента в таблице Менделеева  $E_x \approx (z - a)^2$  Н.G.J. Mosely (1913)
- Протон входит в состав ядер. Опыт Резерфорда 1919 г.:  $\alpha + {}^{14}\text{N} \rightarrow p + X$ .

Гипотеза Резерфорда о существовании нейтрона (1920). Связанное состояние протона и электрона.

Дополнительный аргумент:  $\beta^-$  распад ядер

Модель Э. Резерфорда: ядро из  $A$  протонов и  $(A - Z)$  электронов

# Квантовая механика

- Принцип неопределенности [Гайзенберг (1927)].  
Электрон не может находиться в ядре.
- “Азотная катастрофа  ${}_{14}^7N$  ( $14p + 7e \rightarrow 21$ ) фермион  
Вращательные спектры  $N_2$ :  ${}_{14}^7N$  - бозон.
- Непрерывный  $\beta$ -спектр. Сохранение энергии и момента?

Попытки построить альтернативную теорию.

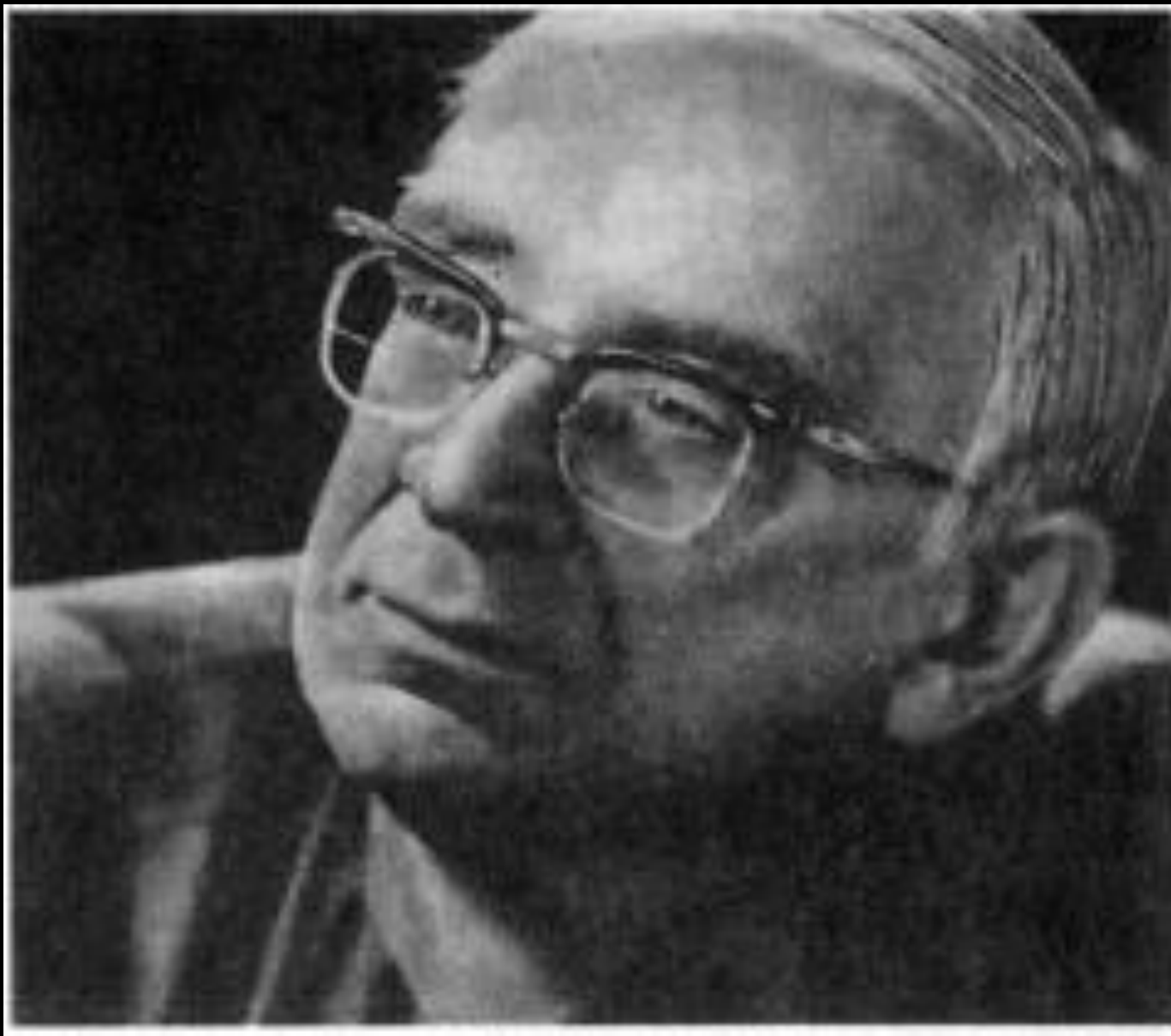
Неассоциативные величины:  $(AB)C \neq A(BC)$

“Офизичивание математики”

## Впервые применимость квантовой механики к ядру была доказана Г.А. Гамовым



Участники конференции по теоретической физике в Харькове. 1929 г. Во втором ряду (в белых рубашках) стоят: Л. Д. Ландау, Г. А. Гамов, М. А. Корец. В первом ряду, в центре: Д. Д. Иваненко и Я. И. Френкель. Полный аннотированный список лиц, присутствующих на фотографии, составлен В. Я. Френкелем и публиковался в «Природе» (1990. №7).



**4 марта 1904 – 20 августа 1968**

**В 1923 - 28 гг. в Ленинградском университете**

**Г.А. Гамов**

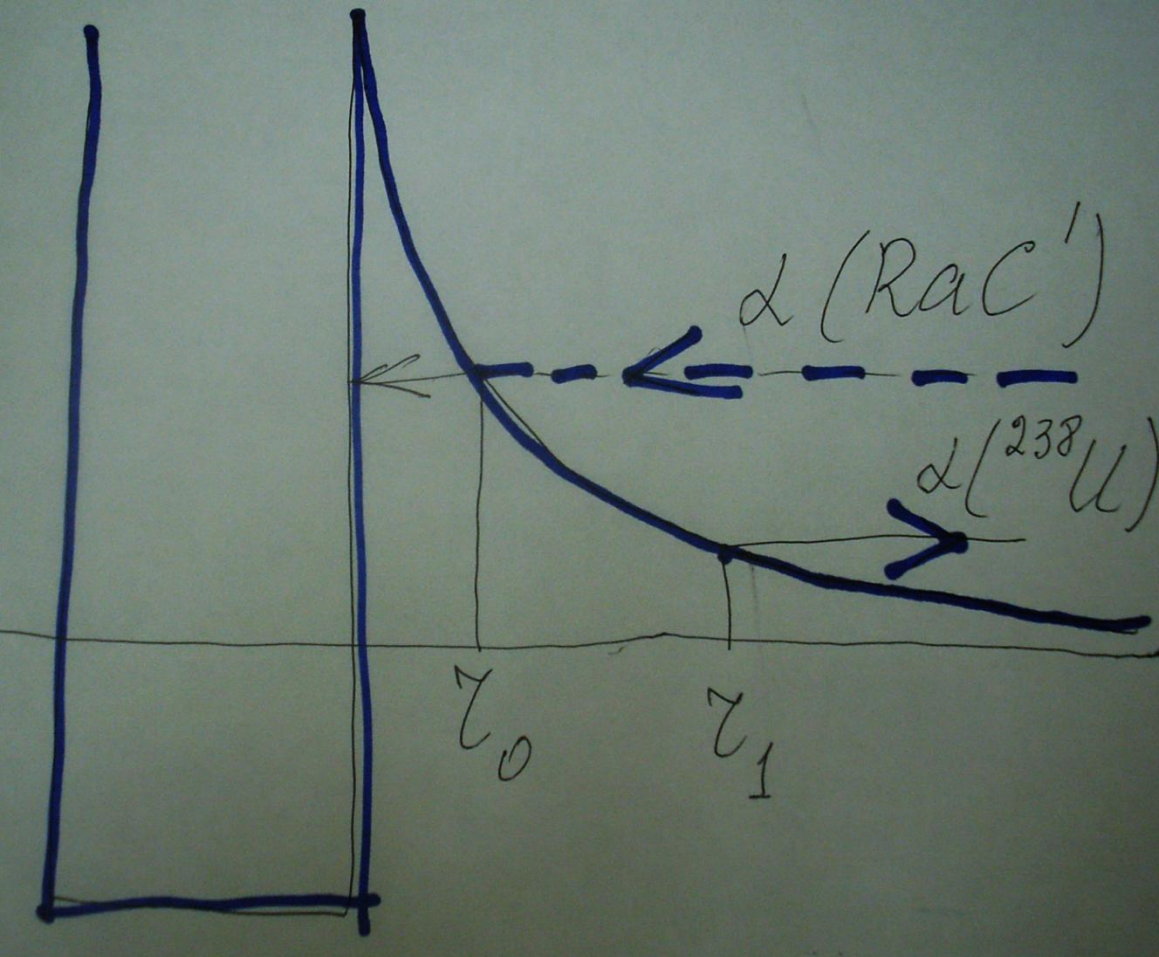
**Л.Д. Ландау + М. Бронштейн**

**Д.Д. Иваненко**

**Увлечение квантовой механикой**

**В июне 1928 года Гамов (аспирант) командировается в Германию (Геттинген) (О.Д. Хвольфсон)**

**Знакомится со статьей Э. Резерфорда [E. Rutherford, Phil. Mag 4\(1927\) 580](#)**



Рассеяние  $\alpha$ -частиц от  $RaC'$  ( $^{214}Po$ ) с энергией около 8 МэВ на ядре  $^{238}U$  указывает что по крайней мере до рассеяний  $r_0 \approx 3.2 \cdot 10^{-12}$  см действует кулоновская сила, т.е. радиус ядра меньше  $r_0 < 2Z/E$ , в то время как  $\alpha$ -частицы от распада  $^{238}U$  имеют энергию около 4 МэВ и вылетают с расстояния  $\sim 6 \cdot 10^{-12}$  см, т.е. большего, нежели радиуса ядра.

Резерфорд думает, что  $\alpha$ -частица проходит барьер в сопровождении двух электронов, которые затем возвращаются в ядро. Гамов решает, что это квантовый подбарьерный переход.



$$B = e^{-\frac{2}{\hbar} \int_a^b |\vec{p}| dr}$$

$$\exp \left\{ -\frac{2}{\hbar} \int_{r_0}^0 \sqrt{\frac{Z_1 Z_2 e^2}{r} - E} \cdot dr \right\} = e^{-2\pi \frac{Z_1 Z_2 e^2}{\hbar v}}$$

**Фактор Гамова (Н. Кочин)**

**G. Gamov, Zur Quanten Theory der Atom Kernes Zs. Phys. 5 (1928) 204**

**Закон Гейгера-Нэттола:  $\ln \lambda = A + B \cdot \ln R$**

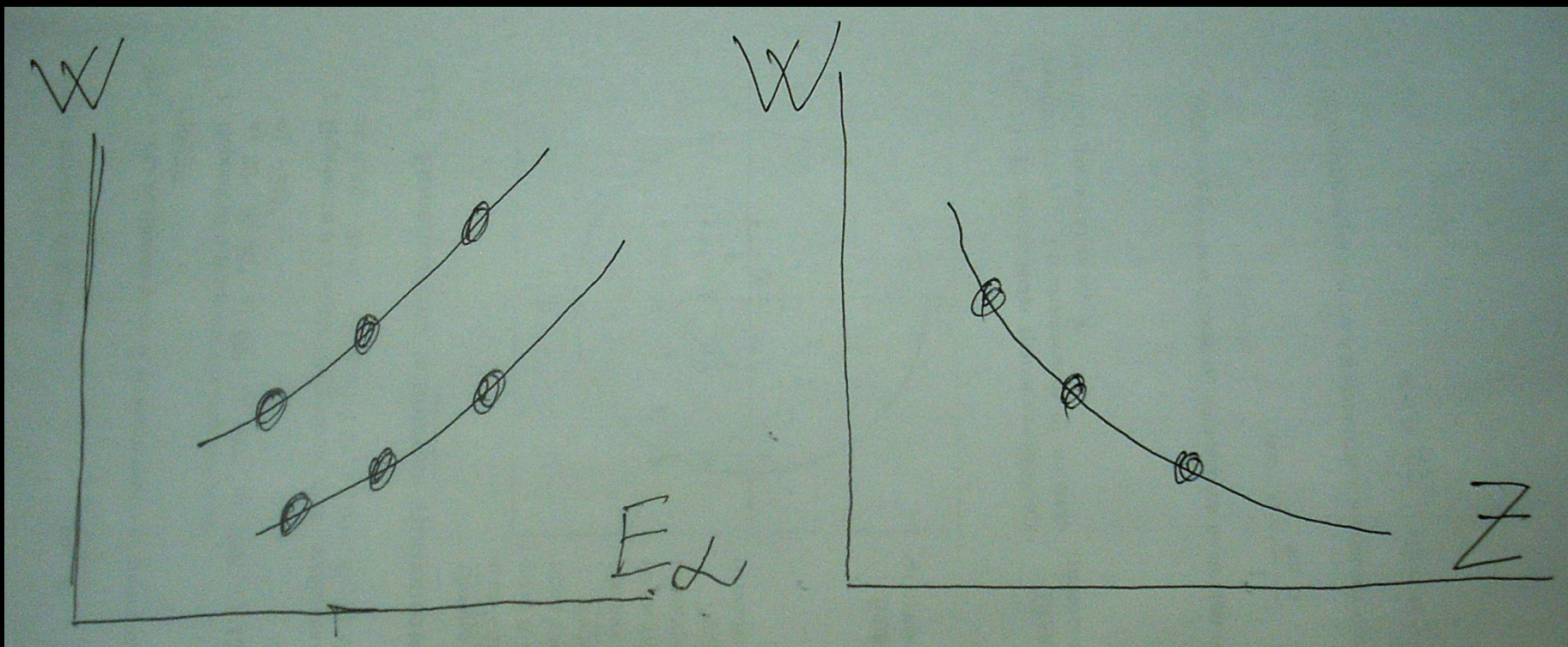
**[Герни и Кондон]**

- **Визит Гамова к Бору**
- **Стипендия института Бора (октябрь 1928 – июнь 1929)**
- **Поездка к Резерфорду**

**Проникновение частиц через барьер при столкновении**

Гамов представил Резерфорду графики:

- Вероятность ядерной реакции с выбранным ядром и  $\alpha$ -частицами разных энергий.
- Вероятность ядерной реакции при фиксированной энергии  $\alpha$ -частиц с разными ядрами



Получил Рокфелеровскую стипендию к Резерфорду в Кэмбридже (1929 - 1930)

## Ключ к решению проблемы энергии Солнца и звезд и их эволюции.

- Эддингтон:  $4p + 2e \rightarrow {}^4\text{He}$      $Q \approx 30$  МэВ  
Температура Солнца  $T \cong (10 \div 20) \cdot 10^6$  К  
Это недостаточно для преодоления кулоновского барьера.
- Роберт Аткинсон и Фриц Хаутерманс используют идею подбарьерного перехода Гамова (1929). Но переоценили  $\gamma$ -излучение и недооценили сечение.
- Возвращение в Россию (1929).

**G. Gamov, “Nuclear energy sources and stellar evolution”, Phys.Rev. 53 (1938) 595**

**G. Gamov and E. Teller, “The rate of selective Thermonuclear reaction”, Phys. Rev. 53 (1938) 608**

$$\langle \sigma v \rangle = \left( \frac{8}{\pi \mu k T} \right)^{1/2} f_0 \int s(E) e^{-2\pi\eta - \frac{\mu v^2}{2}} dE$$

$$\eta = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{\hbar v}; \quad \langle \sigma v \rangle \sim e^{\frac{A}{T^{1/3}}};$$

$$A = 3 \frac{\pi Z_1 Z_2 e^2}{\hbar} \left( \frac{\mu}{2} \right)^{1/3}$$

**Еще раньше с Теллером правила отбора для  $\beta$ -распада (1936).**

В Кэмбридже (1929 - 1930)

Вопрос Резерфорда о ядерных реакциях с протонами.

Гамов:  $W_p = W_\alpha$  при  $E_p \cong \frac{1}{16} E_\alpha$ ;

Проекты ускорителей:

- J.D. Cockroft, E.T.S. Walton.  $p + {}^7\text{Li} \rightarrow 2\text{He}$  (Nature 129 (1932) 649)
- E.O. Lawrence, M.S. Livingston (1931)
- R.I. Van de Graaf (1931)

Резонансная реакция

Г. Позе

$\alpha \rightarrow \begin{array}{|c} \rightarrow p \\ \rightarrow X \end{array}$  - (тонкая мишень) фиксированный пробег протонов

$\alpha \rightarrow \parallel \rightarrow p$  - (толстая мишень) фиксированный пробег протонов (!?)

Идея Гамова: резонансная реакция.

“тонко нарезанная колбаска” – чередующиеся тонкие слои *Al* и один слой *Si*, положение которого менялось среди алюминиевых пластин.

**В 1930 – 1931 – стипендиат Бора.**

**Возвратился в Ленинград на международный конгресс по ядерной физике. Приглашенный доклад: “Quantum theory of nuclear structure” (зачитан М. Дельбруком, т.к. Гамова не пустили).**

**1933 – 1-я Всесоюзная конференция по атомному ядру. Доклад “Квантовые уровни ядра”.**

**Приглашения на Сольвеевский конгресс**

- **1933**
- **1933 – 1934 – Институт П. Кюри**
- **1934 – 1956 Профессор университета Дж. Вашингтона (США)**
  
- **1948 Теория горячей Вселенной (с Альфером и Бете)**
- **1953 Предсказание температуры реликтового излучения в 5 градусов К.**
- **1956 – 1968 Профессор Колорадского университета.**

# Заключение

**Применимость квантовой механики к ядру, впервые указанная Г.А. Гамовым, позволила**

- 1. Понять структуру атомного ядра**
- 2. Предсказать спин нейтрона и нейтрино (Паули 1930)**
- 3. Понять оболочечную структуру ядра**
- 4. Открыть термоядерные реакции в качестве источника энергии звезд, их эволюции и производства в них химических элементов.**