

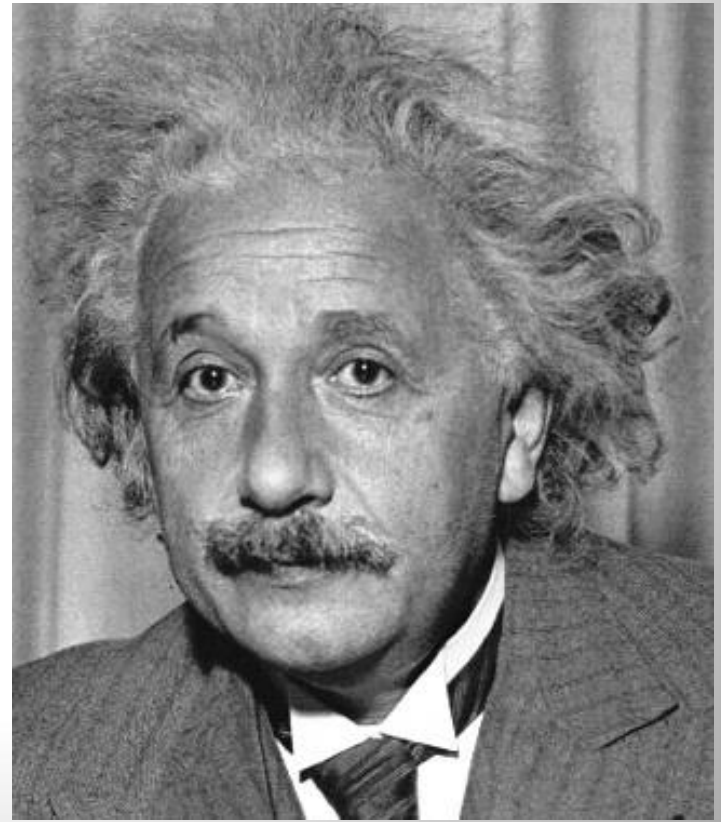
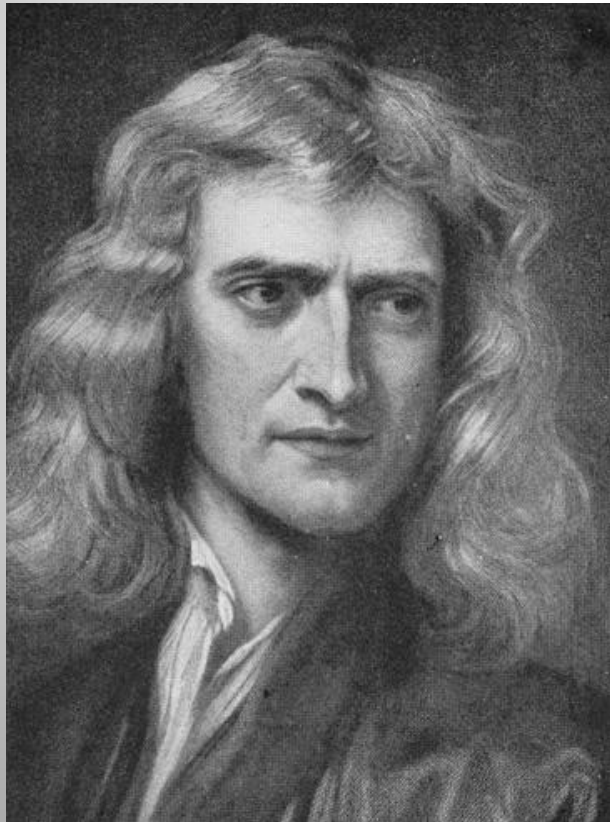
# **Фундаментальные поля и взаимодействия**

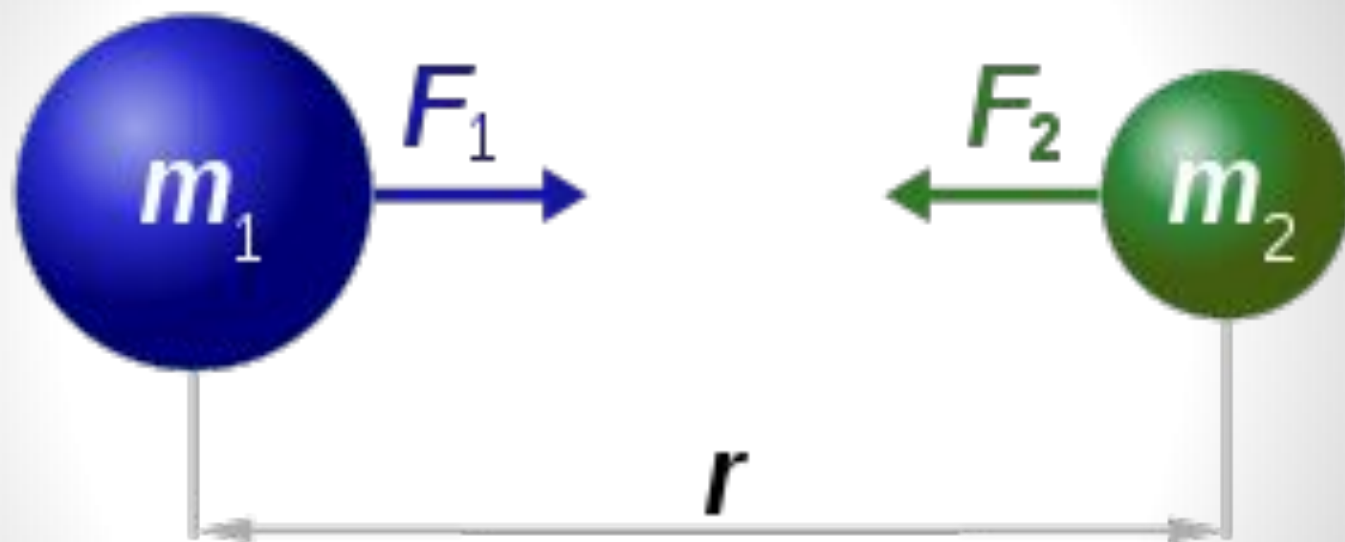
*Физическим полем называют особую форму материи, связывающую частицы (объекты) вещества в единые системы и передающую с конечной скоростью действие одних частиц на другие.*

# Вопросы к зачёту

- 29. Фундаментальные поля как управляющие параметры открытых систем.
- 30. Понятия дальнего действия и ближнего действия.
- 31. Строение атома.
- 32. Иерархия фундаментальных взаимодействий по силе взаимодействия.
- 33. Принцип соответствия Бора.

# Гравитационное поле





$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

- В рамках классической механики гравитационное взаимодействие описывается **законом всемирного тяготения** Ньютона, который гласит, что сила гравитационного притяжения между двумя материальными точками массы  $m_1$  и  $m_2$ , разделёнными расстоянием  $r$ , пропорциональна обеим массам и обратно пропорциональна квадрату расстояния — то есть

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

- Здесь  $G$  — гравитационная постоянная, равная  $6,6725 \cdot 10^{-11}$
- примерно  $\text{м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$

- В рамках **НЬЮТОНОВСКОЙ МЕХАНИКИ** гравитационное взаимодействие является **дальнодействующим**. Это означает, что как бы массивное тело ни двигалось, в любой точке пространства гравитационный потенциал зависит только от положения тела в данный момент времени. То есть изменения передаются мгновенно, с бесконечно большой скоростью.
- В рамках квантово – полевой картины мира утверждается, что гравитационные взаимодействия передаются со скоростью света, т.е. является **близкодействующим**.

- **Большие космические объекты — планеты, звезды и галактики имеют огромную массу и, следовательно, создают значительные гравитационные поля.**

# Область действия гравитационного поля

- Гравитация — слабейшее взаимодействие. Однако, поскольку оно действует на любых расстояниях, и все массы положительны (т.е. не наблюдается гравитационного отталкивания). В частности, электромагнитное взаимодействие между телами на космических масштабах мало, поскольку полный электрический заряд этих тел равен нулю (вещество в целом электрически нейтрально).
- Гравитация, в отличие от других взаимодействий, универсальна в действии на всю материю и энергию. Не обнаружены объекты, у которых вообще отсутствовало бы гравитационное взаимодействие.



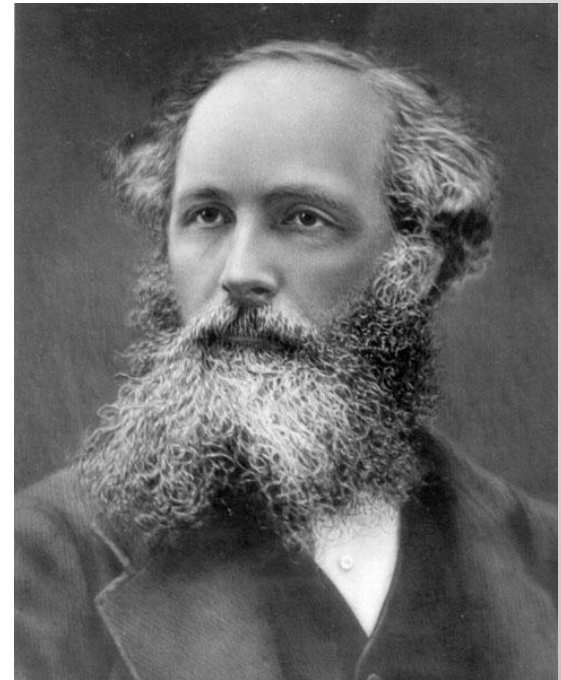
- **Из-за глобального характера гравитация ответственна и за такие крупномасштабные эффекты, как структура галактик, черные дыры и расширение Вселенной, и за элементарные астрономические явления — орбиты планет, и за простое притяжение к поверхности Земли и падения тел.**

**В 1915 году Альберт Эйнштейн создал Общую теорию относительности, более точно описывающую гравитацию в терминах геометрии пространства-времени.**

# Электромагнитное поле

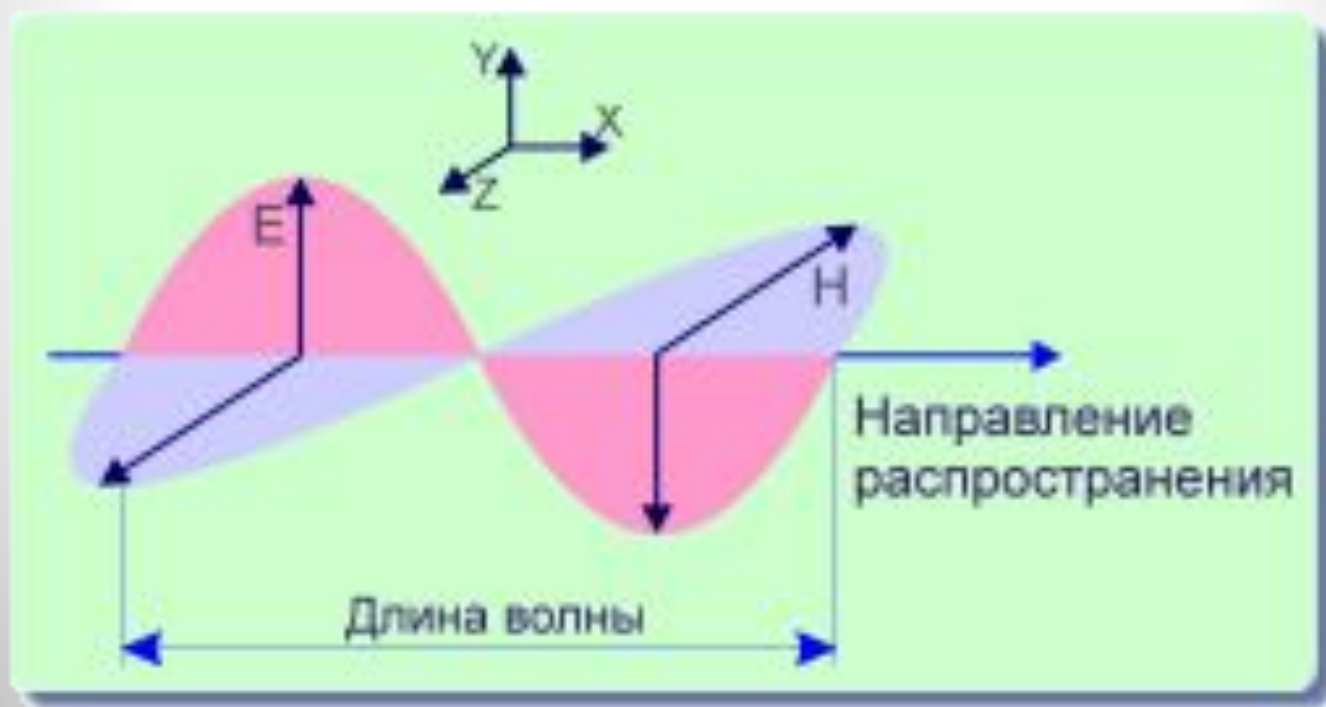
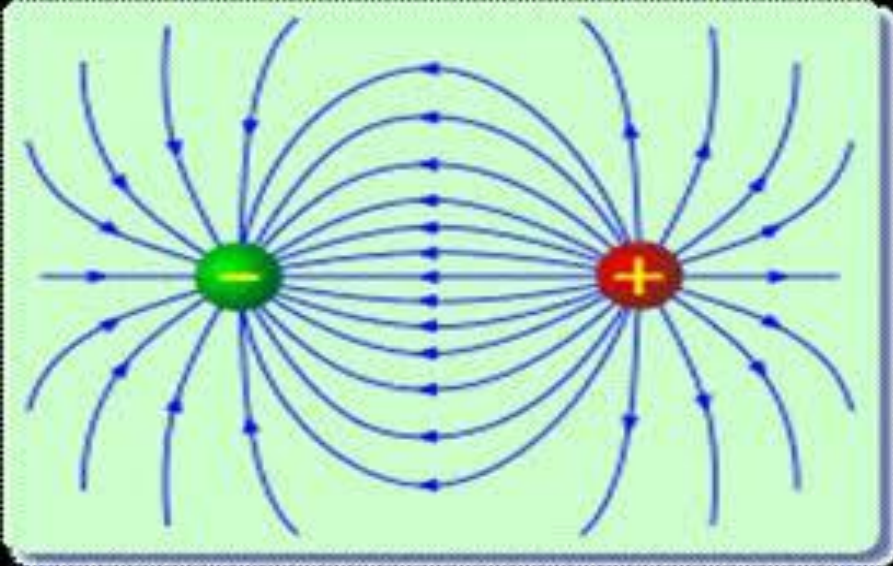


Майкл  
Фарадей



Джеймс  
Максвелл

- **ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ**, один из видов поля физического. Характеризуется напряженностями (или индукциями) электрического поля и магнитного поля.
- Переменное электромагнитное поле может распространяться в виде электромагнитных волн. Электромагнитное поле - единый объект, но в статических случаях может быть представлено в виде двух форм (электрического и магнитного



# Электромагнитные волны

Электромагнитные волны условно делятся на несколько диапазонов по длинам волн:

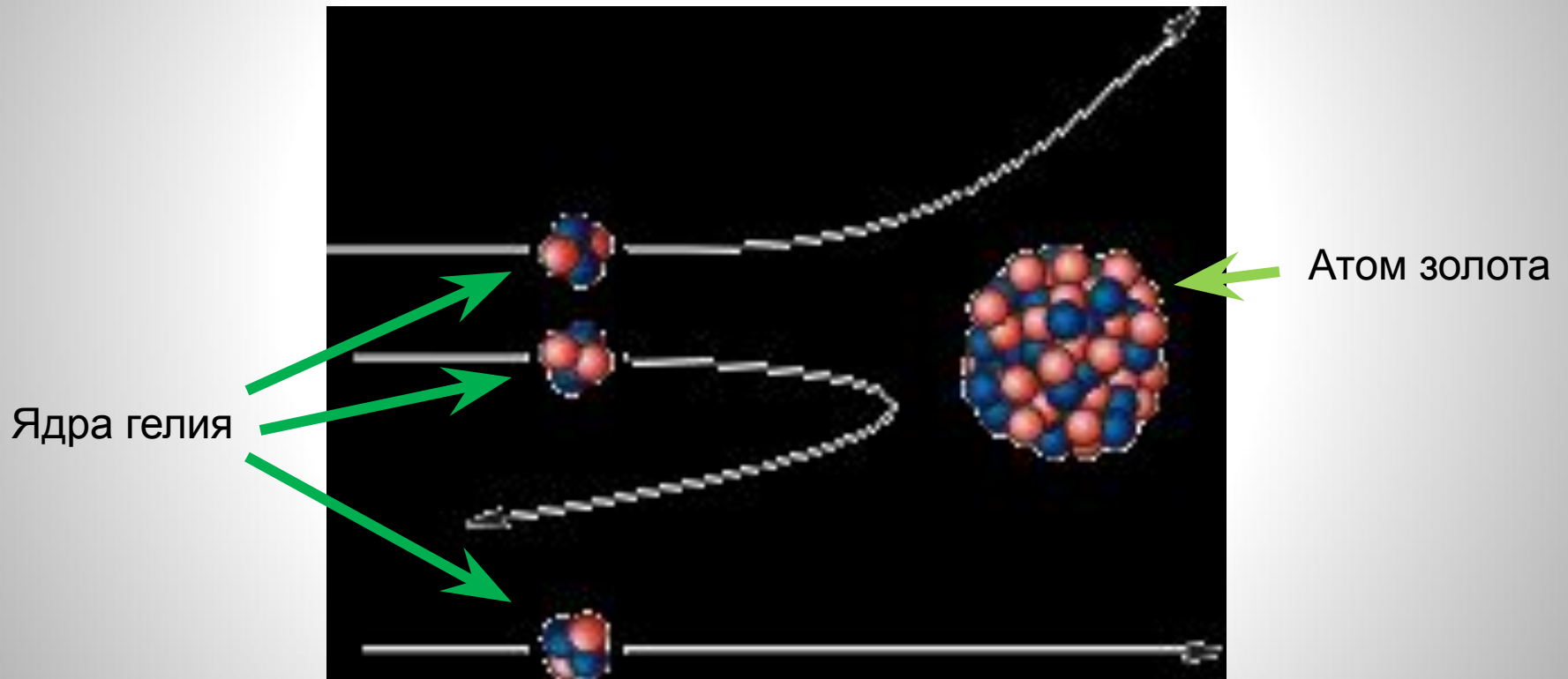
- радиоволны  $10^3 - 10^{-4}$  м
- световые волны  $10^{-4} - 10^{-9}$  м
- ИК  $5 \cdot 10^{-4} - 8 \cdot 10^{-7}$  м
- видимый свет  $8 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7}$  м
- УФ  $4 \cdot 10^{-7} - 10^{-9}$  м
- Рентген  $2 \cdot 10^{-9} - 6 \cdot 10^{-12}$  м
- $\gamma$ -излучение  $< 6 \cdot 10^{-12}$  м

# **Область действия электромагнитного поля микро-, макро- и мега- миры**

- Определяет связь электронов с атомными ядрами**
- Осуществляет химическую связь атомов в молекулах**
- Обеспечивает существование твёрдых и жидких тел**
- Обуславливает силы трения**
- Является переносчиком энергии и информации**

# Строение атома

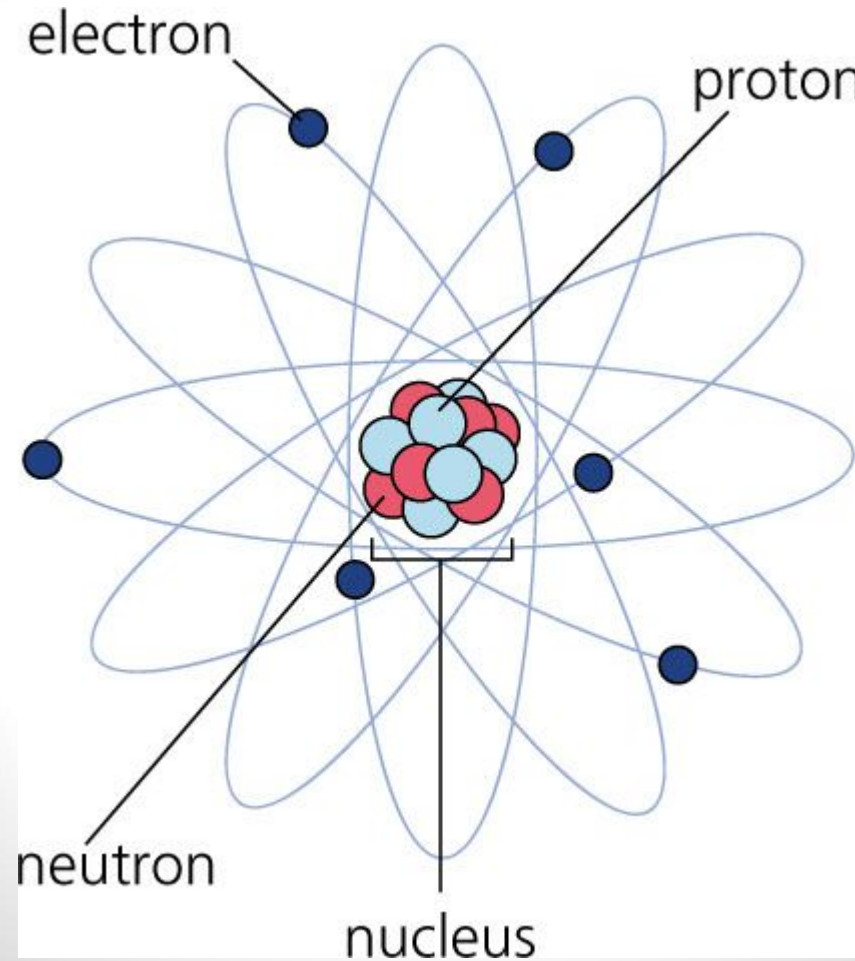
## Опыты Резерфорда



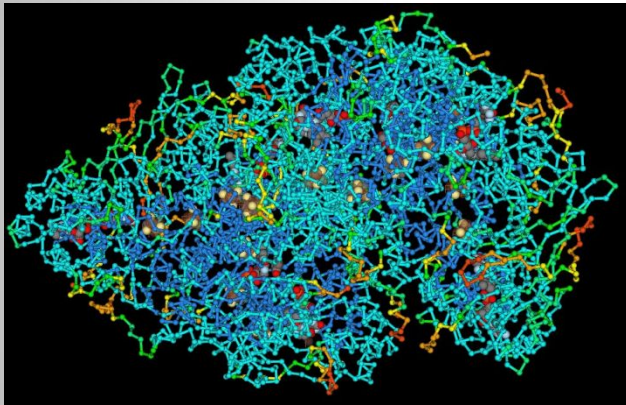


# Строение атома

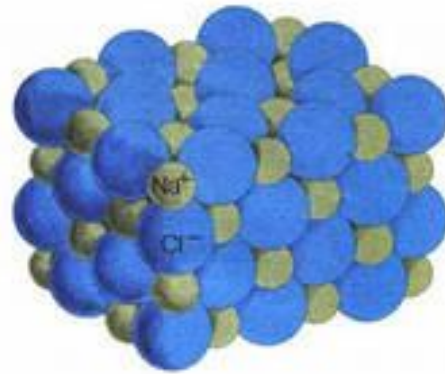
## Опыты Резерфорда



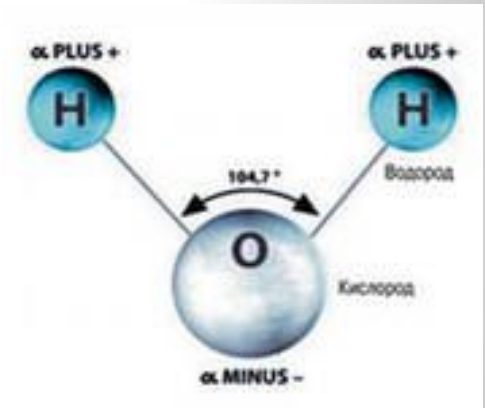
# Строение молекул



Молекула полимера



Поваренная соль NaCl



Вода H<sub>2</sub>O

D<sub>2</sub>O - дейтериевая вода

T<sub>2</sub>O - тритиевая вода

# Поле слабого взаимодействия



Энрико Ферми

# Область действия: атомное ядро

- Слабое взаимодействие является короткодействующим — оно проявляется на расстояниях, значительно меньших размера атомного ядра (характерный радиус взаимодействия  $10^{-18}$  м).

# Свойства слабого взаимодействия

- В слабом взаимодействии участвуют все фундаментальные фермионы В слабом взаимодействии участвуют все фундаментальные фермионы (лептоны В слабом взаимодействии участвуют все фундаментальные фермионы (лептоны и кварки В слабом взаимодействии участвуют все фундаментальные фермионы (лептоны и кварки). Это взаимодействие, в котором участвуют нейтрино, частицы, имеющие колоссальную проникающую способность.

# Слабый распад

Процесс распада более массивной частицы на более легкие вследствие слабого взаимодействия называется слабым распадом. Типичным примером слабого распада является бета-распад нейтрона - превращение нейтрона в протон с испусканием электрона и антинейтрино  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ .

Взаимодействие называется слабым из-за малой скорости распада. Время жизни свободного нейтрона порядка 10 мин. Интересно, что при слабых взаимодействиях, как и при электромагнитных, реакции идут с рождением новых частиц, т.е. число частиц не сохраняется. Ни в коем случае нельзя считать, что нейтрино и электрон «сидят» в нейтроне. Частицы действительно рождаются, и этот процесс, скорее всего, можно отнести к **самоорганизации**.

# Электрослабое взаимодействие

- В физике элементарных частиц электрослабое взаимодействие является общим описанием двух из четырёх фундаментальных взаимодействий: слабо -го взаимодействия и электромагнитного взаимодействия. Хотя эти два взаимодействия очень различаются на обычных низких энергиях, в теории они представляются как два разных проявления одного взаимодействия. При энергиях выше энергии объединения (порядка  $10^2$  ГэВ) они соединяются в единое электрослабое

**Теория электрослабого взаимодействия  
представляет собой созданную в конце 60-х  
годов 20-го века**

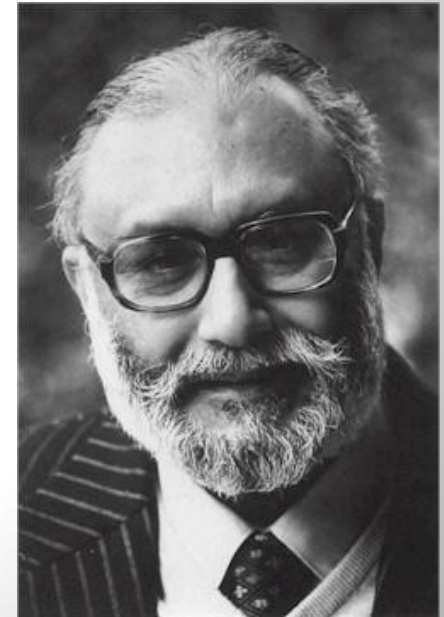
**С. Вайнбергом, Ш. Глэшоу, А. Саламом единую  
(объединённую) теорию слабого и  
электромагнитного взаимодействий**



**Ш. Глэшоу**



**С. Вайнберг**



**, А. Салам**



# Поле сильного взаимодействия



Хидеки  
Юкава

# **Область действия: атомное ядро**

**Необходимость введения понятия сильных  
взаимо -действий возникла в 1930-х годах,  
когда стало ясно, что ни явление  
гравитационного, ни явление  
электромагнитного взаимодействия не могли  
ответить на вопрос, что связывает нуклоны в  
ядрах. В 1935 году японский физик Х. Юкава  
построил первую количественную теорию  
взаимодействия нуклонов, происходящего  
посредством обмена новыми частицами,  
которые сейчас известны как пи-мезоны (или  
пионы). Пионы были впоследствии открыты  
экспериментально в 1947 году.**

# Иерархия фундаментальных взаимодействий

По увеличению силы взаимодействия:

Гравитационное ( $10^{-40}$ ),

слабое ( $10^{-5}$ ),

Электромагнитное ( $1/137 = 7 \cdot 10^{-3}$ ),

Сильное (14)

# Иерархия фундаментальных взаимодействий

По отношению к материи:

- гравитационное – участвуют все виды материи, включая поля;
- слабое – участвуют все частицы;
- электромагнитное – участвуют только заряженные частицы;
- сильное – участвуют только так называемые «сильновзаимодействующие» частицы.

Т.о. чем «универсальнее» силы, тем они слабее

# Адронный коллайдер



# Самоорганизация в микромире

## Адронный коллайдер

- **Физики, работающие на Большом адронном коллайдере, впервые после его запуска обнаружили принципиально новый эффект, не предсказанный существующей теорией - среди сотен частиц, рождающихся при столкновениях протонов, были обнаружены пары, движения которых по неизвестной причине связаны друг с другом - двухчастичные корреляции. Это можно считать ещё одним примером самоорганизации материи.**

# Процессы в микромире

**Принцип соответствия**

# Принцип соответствия Бора

- **Законы, открытые в новой области знания, при переходе в прежнюю область подтверждают справедливость действующих там старых законов.**



# Принцип соответствия Бора

Макро      Микро

- |                     |             |
|---------------------|-------------|
| 1. Механика Ньютона | 1.          |
| Релятивистская      | механика;   |
| 2. Частицы и волны  | 2. Частицы- |
| волны               |             |

# Волны Луи де Бройля

$$\lambda = \frac{h}{P}$$

- $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  Дж·с - постоянная Планка
- $P = m \cdot v$  - импульс частицы