

**Сегодня:
понедельник, 4
сентября 2023 г.**

Лекция 1

Введение в предмет

- 1. Хочу на экзамен, а лучше «отлично»**
- 2. Электрический заряд и его свойства**

Особенности курса



Вывод: самостоятельные, контрольные и домашние работы есть и будут обязательно.

Хочу сдать экзамен!

Оценивающие мероприятия	Кол-во	Баллы
Лекции	29	-
Практика	15	20
Лабы	4	10
Коллоквиум	2	10
ИДЗ	2	10
Контрольная работа	2	10
Экзамен	1	40
Итого		100

2 контрольные (не менее 3 баллов) + 2 ИДЗ (не менее 70%)
4 ЛР + 2 коллоквиума + 50 баллов за курс
= допуск к экзамену



Литература

- **Курс физики: Учебник для вузов: в 2 т. Т.1./ под. ред. В.Н. Лозовского**
- **Калашников Н.П., Смондырев М.А. Основы физики: Учебник для вузов: в 2 т. т.1.**
- **Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 2.**
- **Трофимова Т.И. Курс физики.**
- **Яворский Б.М., Детлаф А.А. Курс физики.**

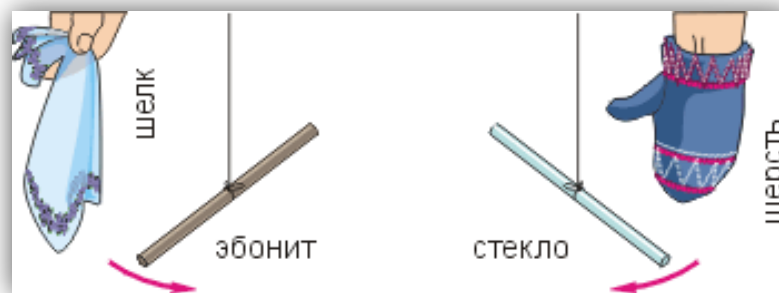
Вопросы?



Часть 2. Электромагнетизм



Электрический заряд



- свойство элементарных частиц характеризующее электромагнитное взаимодействие и являющееся мерой этого взаимодействия

Начала электростатики



Уильям Гильберт (1600)
Врач английской королевы Елизаветы

1750 – 1790 увлечение
«электричеством от трения»

1650 г. **Отто Герике** -
электрическая машина с
вращающимся шаром из серы

1729 **Стефен Грей** -
существование проводников и
непроводников

1730 **Шарль Дюфе** - два рода
электричества – «смоляное» и
«стеклянное».

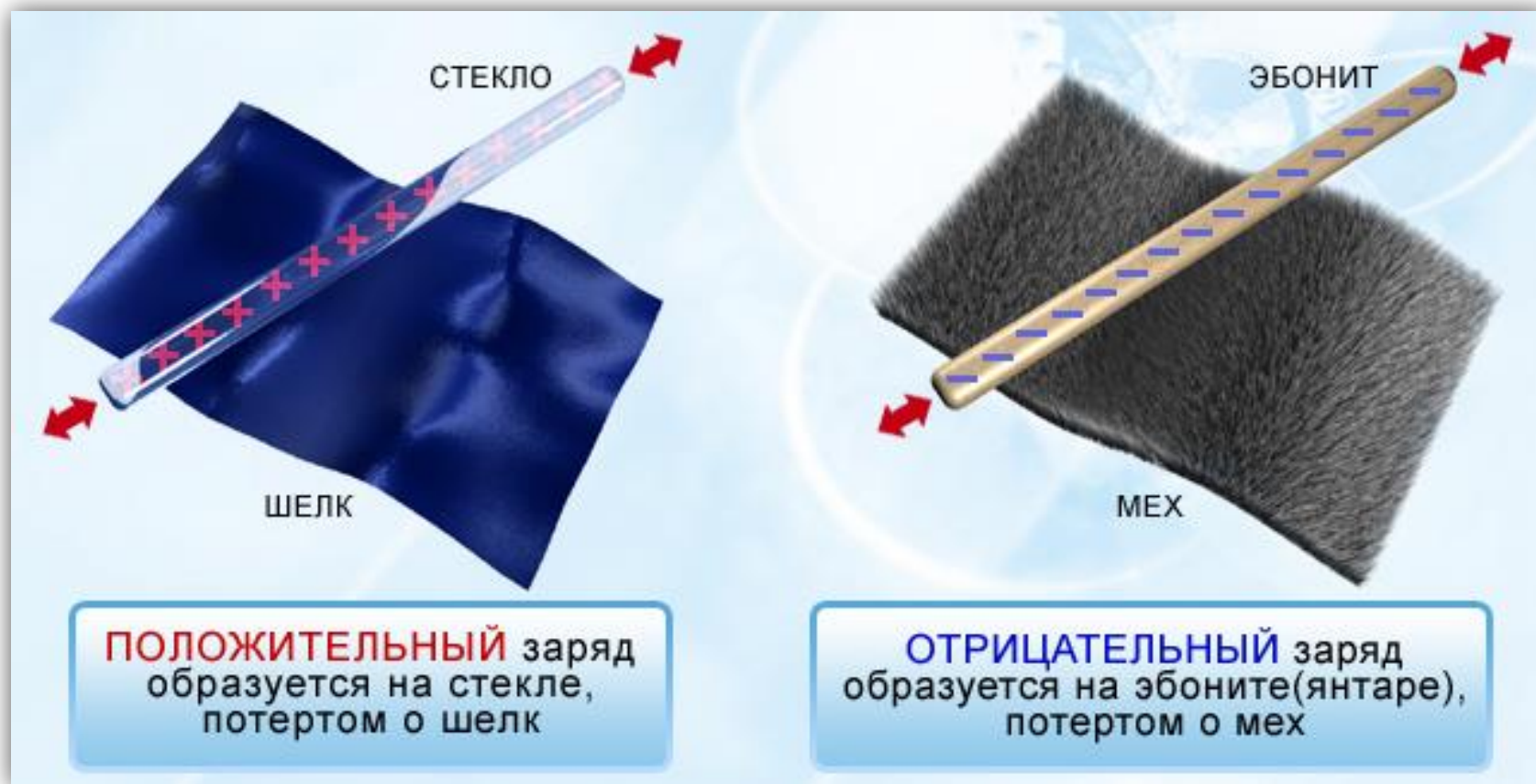
1745 г. **Георг Рихман** –
электроскоп

В **1746** г. **Питер Мушенброк** -
лейденская банка

Описание электрических зарядов

1749 г. **Б. Франклин**: заряд, разряд, конденсатор, батарея, частицы электричества

- «смоляное» электричество = отрицательное,
- «стеклянное» – положительное.



Закон Кулона



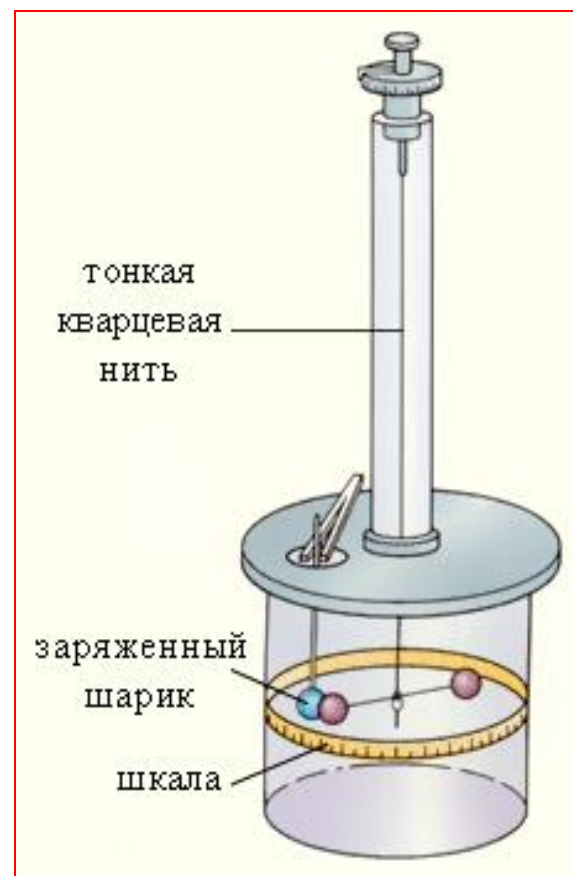
$$F_{12} = F_{21} = F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\epsilon r^2}$$

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\epsilon r^2}$$

r – расстояние между зарядами

ϵ – диэлектрическая проницаемость среды

☞ сила взаимодействия двух точечных зарядов в пустоте пропорциональна величине каждого из зарядов, обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними и направлена по прямой, соединяющей эти заряды

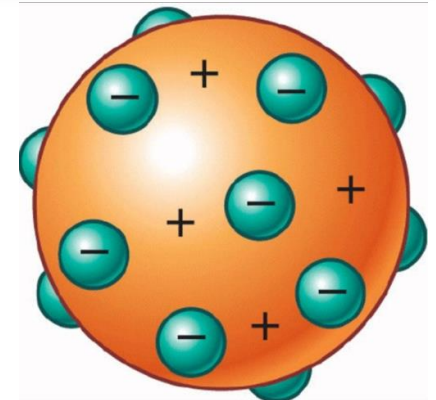
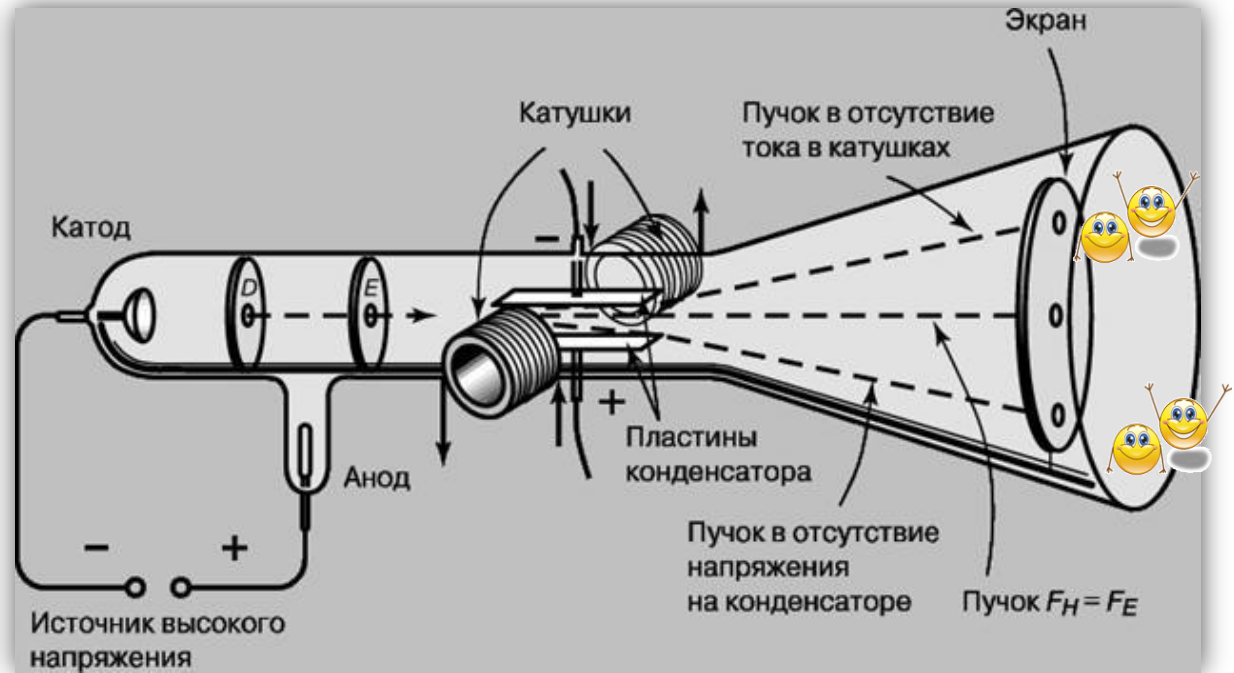


Элементарный электрический заряд



Дж. Томсон
1856 — 1940

Лучи – поток частиц конечной массы, движущихся со скоростью, гораздо меньшей скорости света



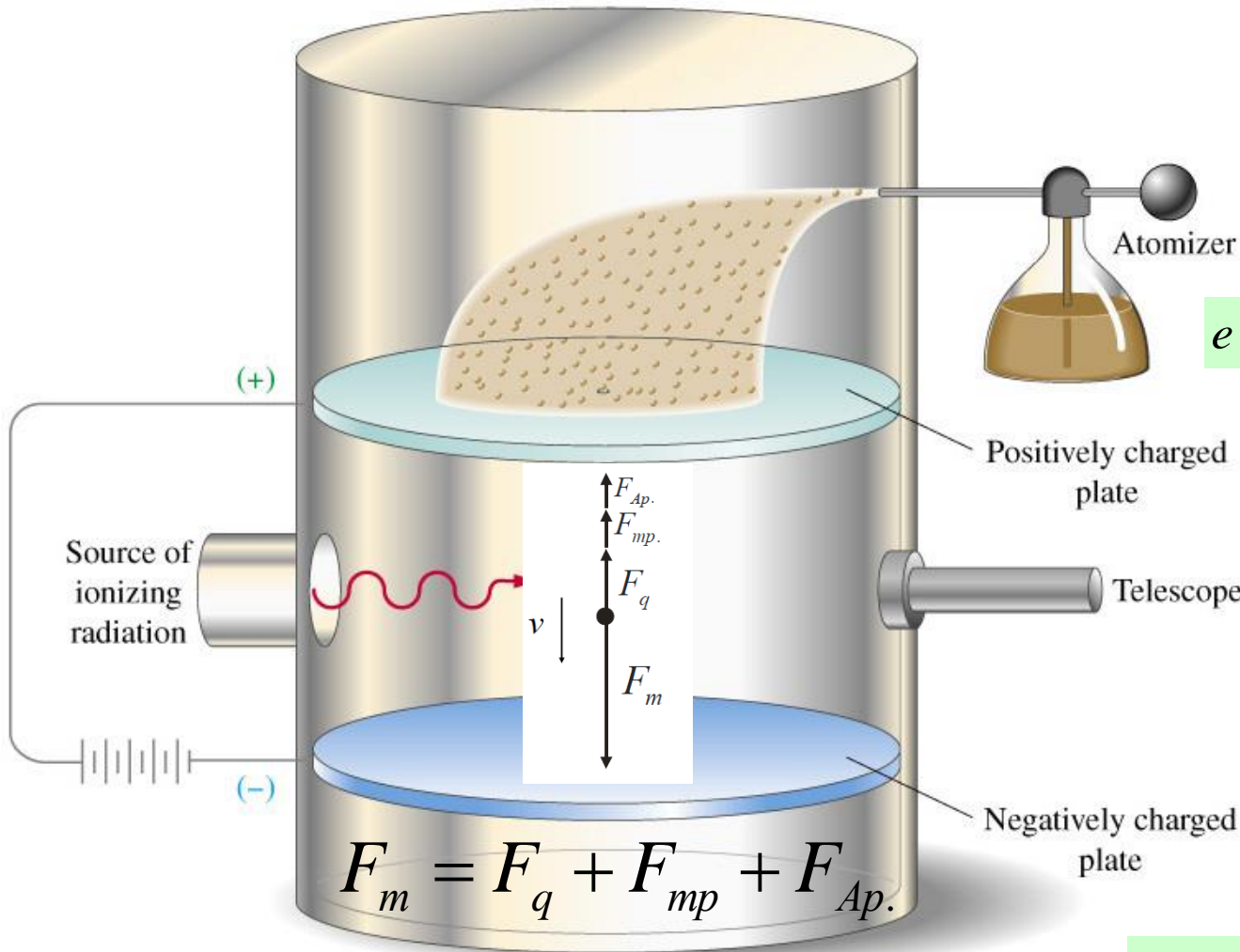
Опыт Милликена

нахождение баланса между силой тяжести, силой Стокса и электрическим отталкиванием

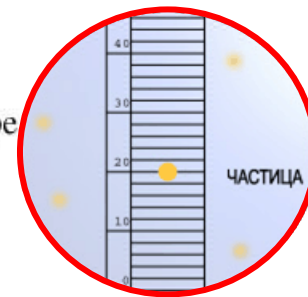
$$e = -1,6021765 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$s = \hbar/2$$

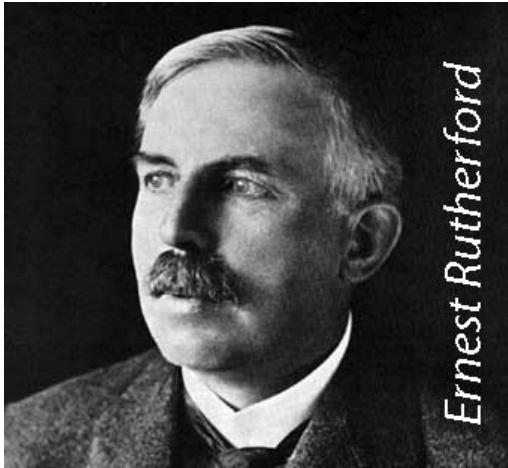
$$m = 9,10938291 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$



$$mg = qE + 6\pi\eta r v + m_{\text{воздуха}} g$$



Структура протона (1919) и нейтрона



протон - первый, основной – ядро атома азота распадается из-за огромных сил, развивающихся при столкновении с быстрой α -частицей

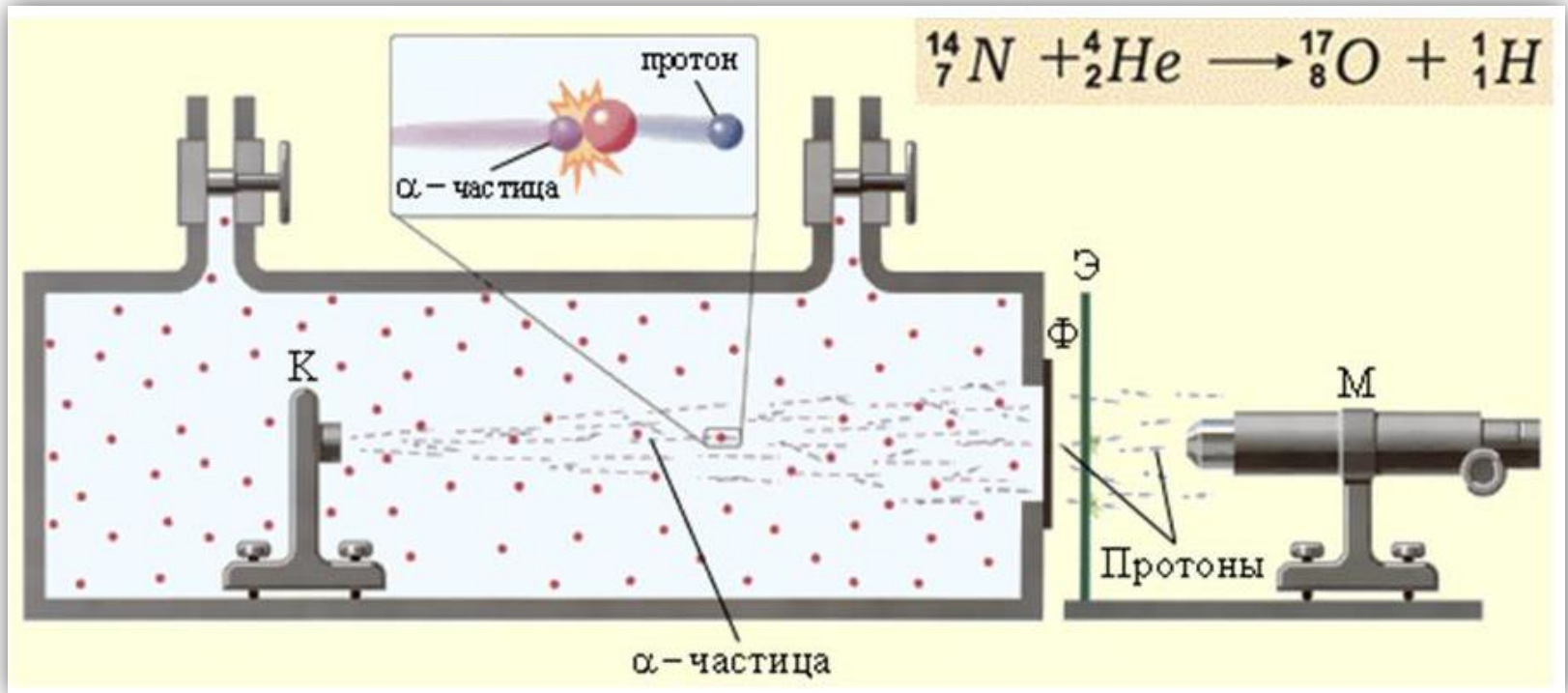
$$\frac{||e| - e_p|}{e_p} \leq 10^{-21}$$

$$m_p = 1836m$$

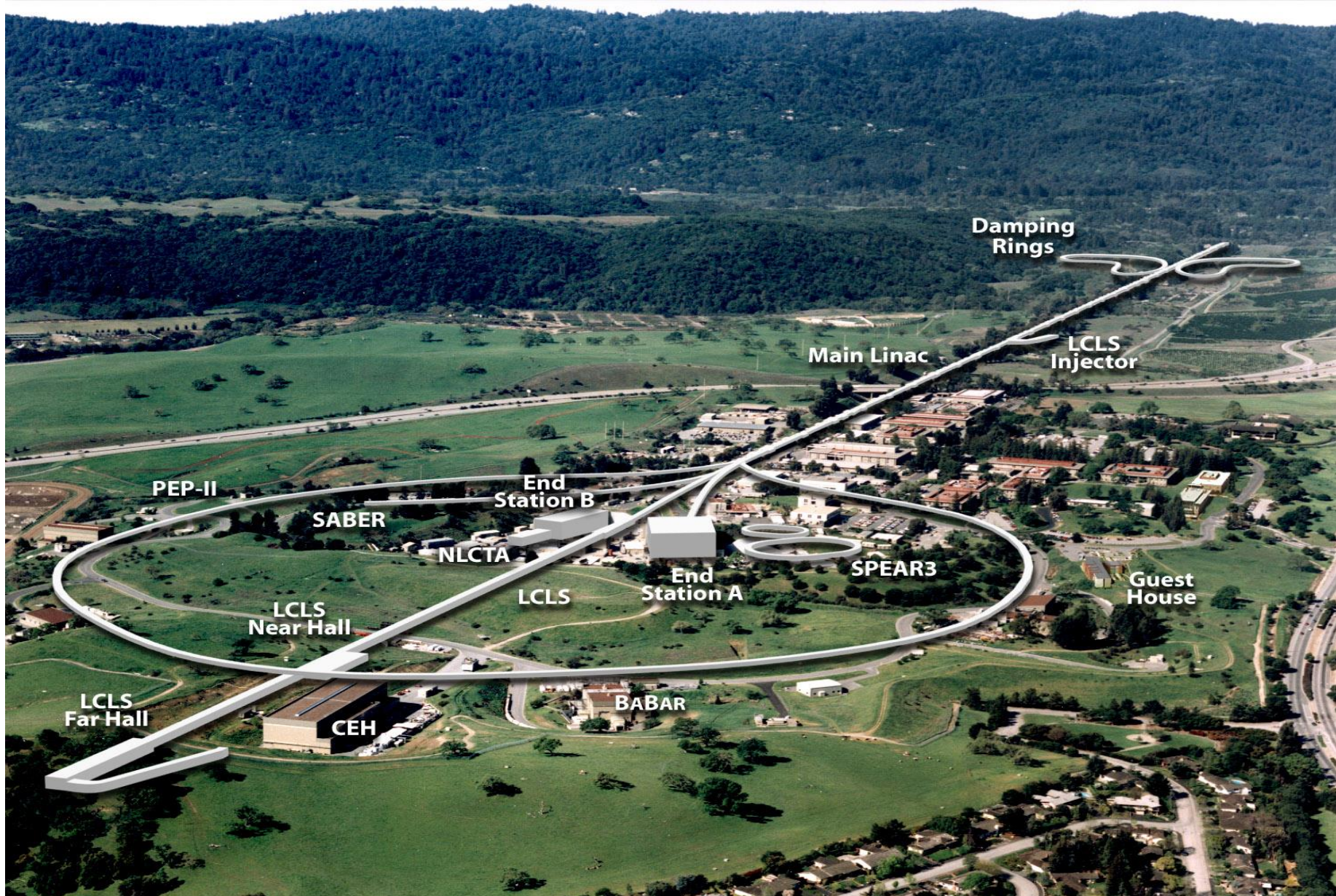
$$s_p = \hbar/2$$

Стабилен

Участник термоядерных реакций



SLAC (3,2 km)

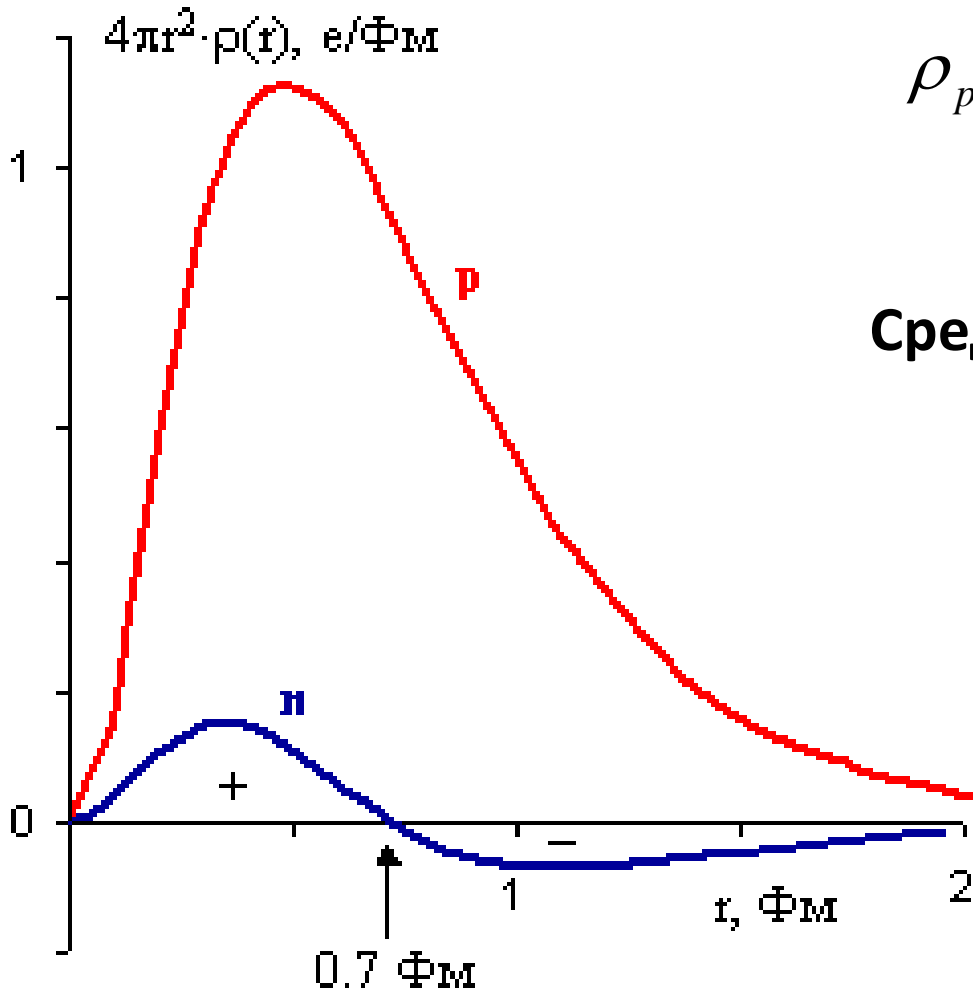


$$\rho_p(r) = \rho_p(0) \exp(-r/r_0)$$

$$\rho_p(0) = 3|e|/\phi_M^3, \quad r_0 = 0,23 \phi_M$$

$$1 \phi_M = 10^{-15} \text{ м}$$

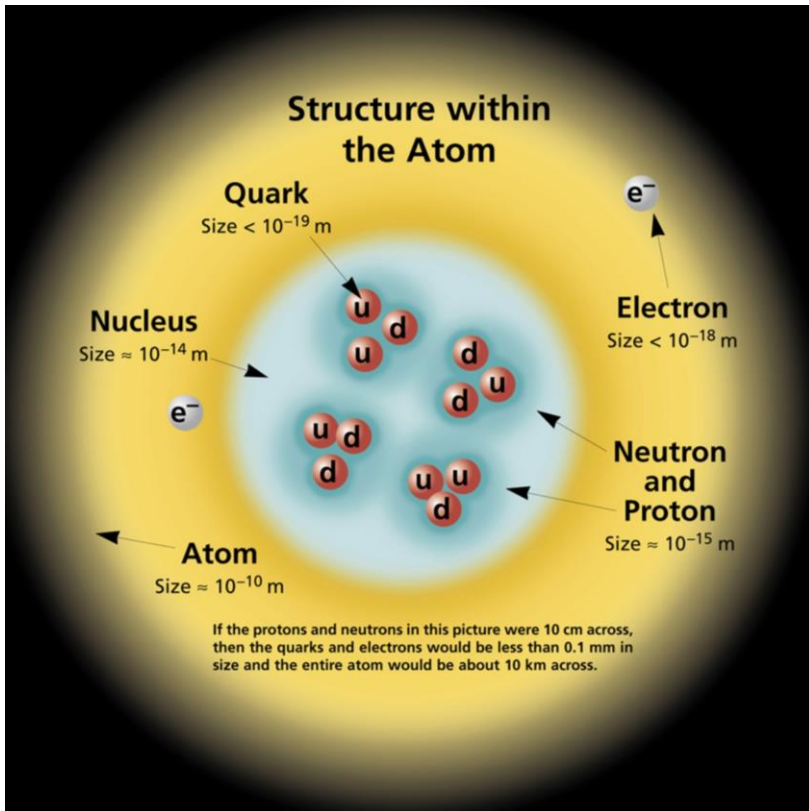
Средний квадрат радиуса протона



$$\langle r_p^2 \rangle = \frac{\int_0^{\infty} r^2 \rho_p(r) 4\pi r^2 dr}{\int_0^{\infty} \rho_p(r) 4\pi r^2 dr}$$

$$\sqrt{\langle r_p^2 \rangle} = 0,86 \text{ м}$$

Строение нуклонов



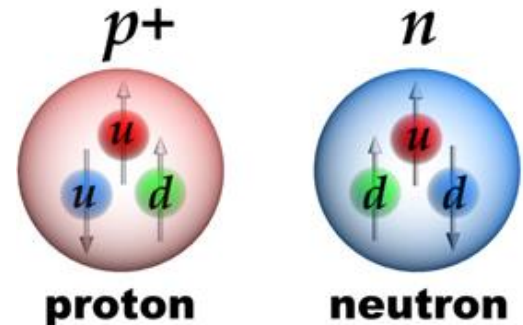
$$\left. \begin{array}{l} q_d = -\frac{1}{3} \\ q_u = +\frac{2}{3} \end{array} \right\} \Rightarrow q_p = +1$$

$$\left. \begin{array}{l} q_d = -\frac{1}{3} \\ q_u = +\frac{2}{3} \end{array} \right\} \Rightarrow q_n = 0$$

$$m_n = 0,1378\% m_p$$

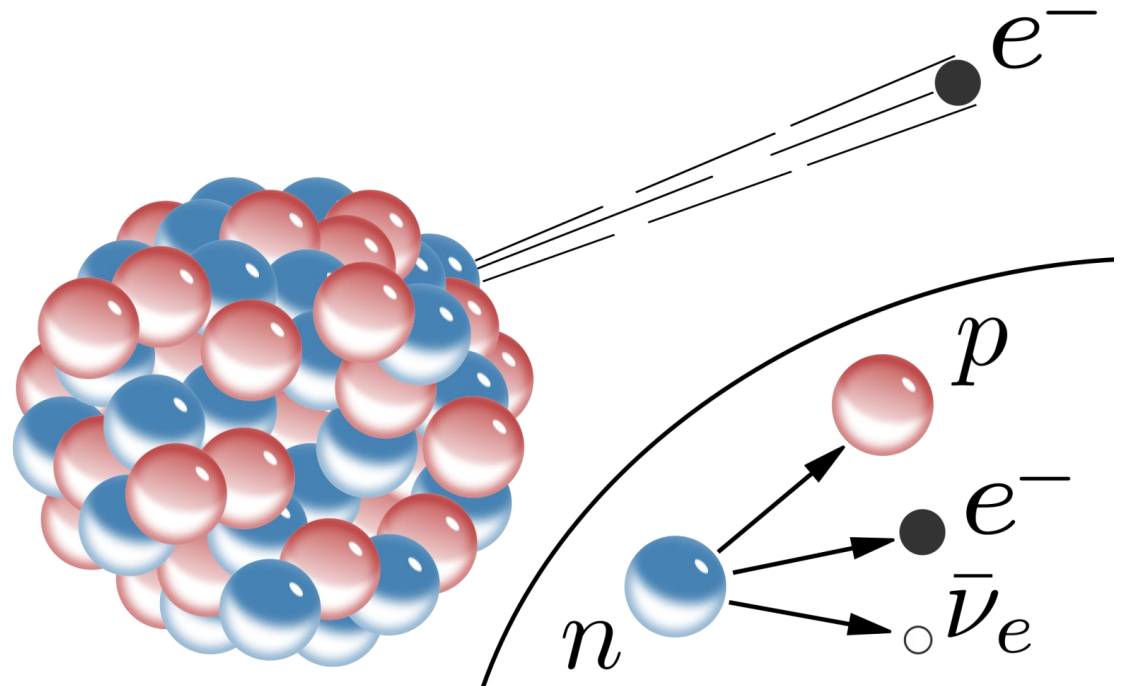
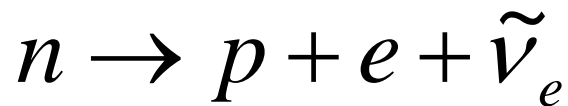
$$s_n = \hbar/2, e_n = 0$$

$$q_n < (10^{-20} - 10^{-22}) |e|$$



Свободный нейтрон – нестабильная частица:

- Время жизни
(917 ± 14)с ~15 мин



1964 г. Теория М. Гелл-Манна – Дж. Цвейга:

Адроны - частицы, подверженные сильному взаимодействию, построены из кварков.

Кварк – фундаментальная частица, обладающая электрическим зарядом, кратным $|e|/3$ и не наблюдающаяся в свободном состоянии. Точечные частицы (до $0,5 \cdot 10^{-4}$ фм).

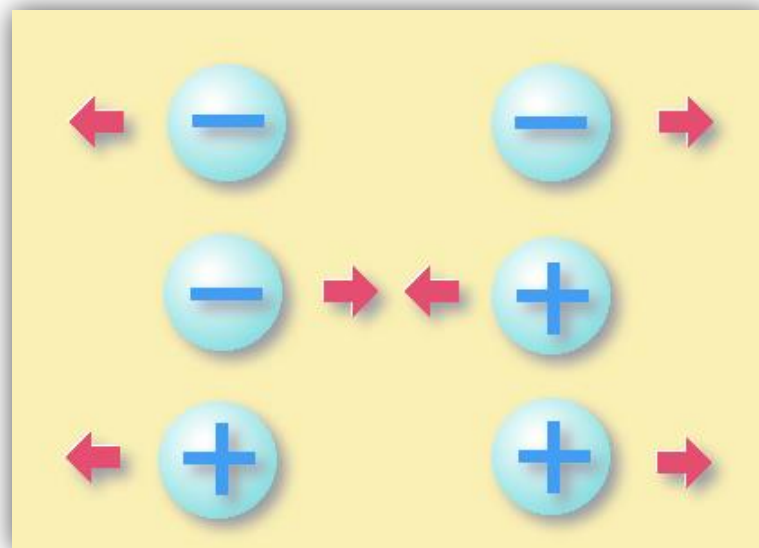
Итого: Электрический заряд

- 1. Физическая величина, характеризующая способность тел вступать в электромагнитное взаимодействие при определенных условиях и определяющая величину электрических и магнитных сил;**
- 2. Источник электромагнитного поля, связанный с материальным носителем-частицей («-» – с электроном, «+» – с протоном), внутренняя характеристика элементарной частицы, определяющая ее электромагнитное взаимодействие.**

Свойства электрических зарядов

1. Два вида: положительный и отрицательный

- Одноименные **отталкиваются.**
- Разноименные - **притягиваются**



1 Кулон – заряд, протекающий через поперечное сечение проводника за 1 секунду при силе постоянного тока в 1 Ампер.

Заряд Земли - отрицателен и равен $-6 \cdot 10^5$ Кл.

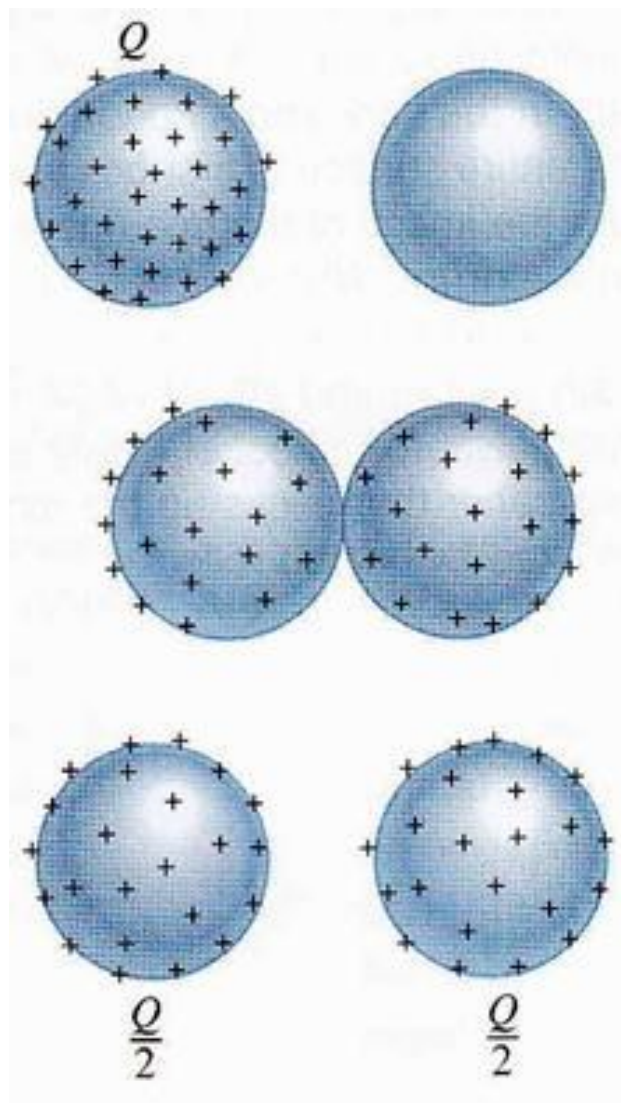
2. Величина и знак заряда не зависят от выбора инерциальной системы отсчета (ИСО), **являются инвариантными** по отношению к выбору ИСО.

3. Электрический заряд дискретен, т.е. заряд любого тела составляет целое кратное элементарного заряда e .

$$q = Ze$$

Z – число избыточных протонов (электронов)

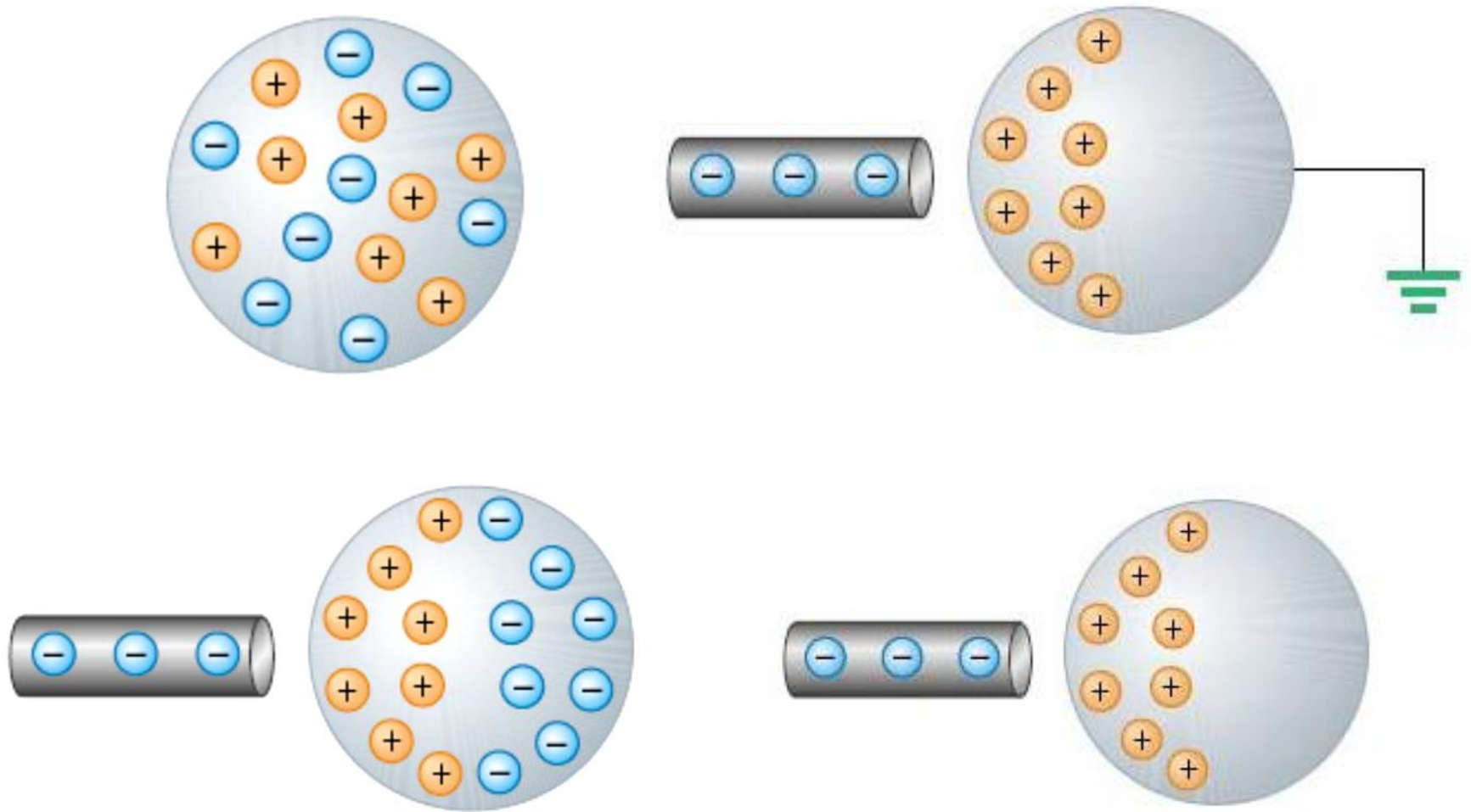
Сколько электронов нужно удалить с поверхности незаряженного тела, чтобы его заряд стал равным $3,2 \cdot 10^{-18}$ Кл?



Если сумма положительных и отрицательных зарядов в макротеле равна нулю, то говорят, что макротело **электронейтрально**.

Явление, сопровождающееся перераспределением зарядов на макротелах, называется **электризацией**, например, электризация трением – возникает избыток нескомпенсированных зарядов одного знака.

Электризация тел



4. Электрический заряд аддитивен, т.е. заряд любой системы тел равен сумме зарядов тел (частиц), входящих в систему.

$$q = \sum_{i=1}^N q_i$$

Электрический заряд ниоткуда не возникает и никуда не исчезает, а лишь перераспределяется

5. Закон сохранения: алгебраическая сумма зарядов макротел, образующих электрически изолированную систему, остается постоянной с течением времени при протекании любых процессов в системе.

$$q_1 + q_2 + \dots + q_3 = \text{const}$$

Модели реальных тел

Механика: материальная точка и абсолютно твердое тело, сплошная среда.

Электростатика - точечные и распределенные заряды.

Точечный заряд - заряженное тело, форма и размеры которого несущественны в данной задаче.

Если размерами заряженного тела нельзя пренебречь - **заряд распределенный**.

Плотность заряда:

1) объемная плотность:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta V} = \frac{dq}{dV}$$

2) поверхностная
плотность:

$$\sigma = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta S} = \frac{dq}{dS}$$

3) линейная плотность:

$$\tau = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta l} = \frac{dq}{dl}$$

Во сколько раз электрическое притяжение протона и электрона в атоме водорода больше гравитационного?

Дано:

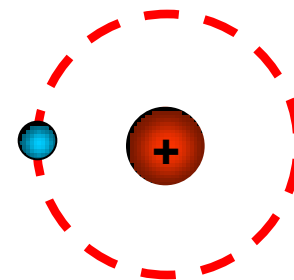
$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$q_e = q_p = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$\frac{F_{\text{э}}}{F_{\text{г}}} = ?$$

$$\left. \begin{aligned} F_{\text{э}} &= k \frac{e^2}{r^2} \\ F_{\text{г}} &= G \frac{m_p \cdot m_e}{r^2} \end{aligned} \right\} \frac{F_{\text{э}}}{F_{\text{г}}} = \frac{ke^2}{G \cdot m_p \cdot m_e}$$



$$\frac{F_{\text{э}}}{F_{\text{г}}} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}} = 2,27 \cdot 10^{39}$$

Частицы взаимодействуют друг с другом силами, имеющими электрическую природу. Гравитационное взаимодействие между частицами пренебрежимо мало.

Фундаментальные взаимодействия

Гравитационное	$6 \cdot 10^{-39}$
Электромагнитное	$\frac{1}{137}$
Слабое	10^{-6}
Сильное (ядерное)	1

Стандартная модель

1. Все вещество состоит из 24 фундаментальных частиц: **6 лептонов** (электрон, мюон, тау-лептон, электронное нейтрино, мюонное нейтрино и тау-нейтрино), **6 кварков** (u, d, s, c, b, t) **12** соответствующих им **античастиц** - фермионов

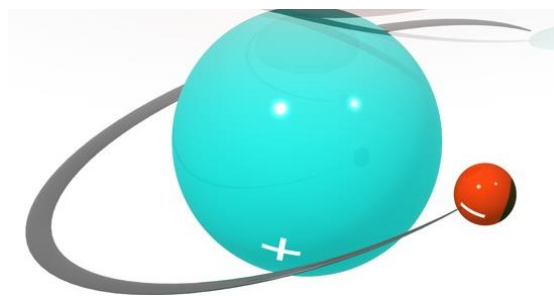
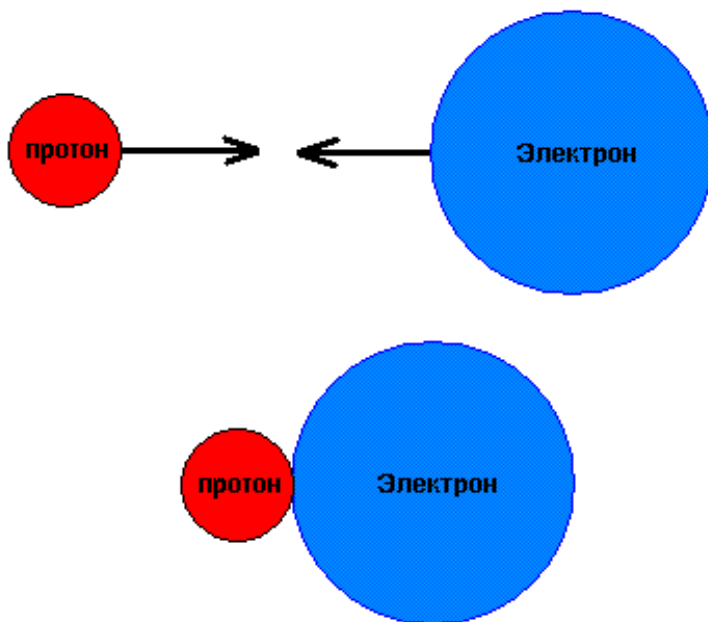
2. Кварки участвуют в сильных, слабых и ЭМ взаимодействиях; заряженные лептоны (e, τ , μ) – в слабых и ЭМ; нейтрино – только в слабых

3. Частицы – переносчики взаимодействий :
8 глюонов для сильного взаимодействия;
3 тяжелых бозона (W^+ , W^- , Z^0) для слабого взаимодействия;
фотон для ЭМ (U(1))

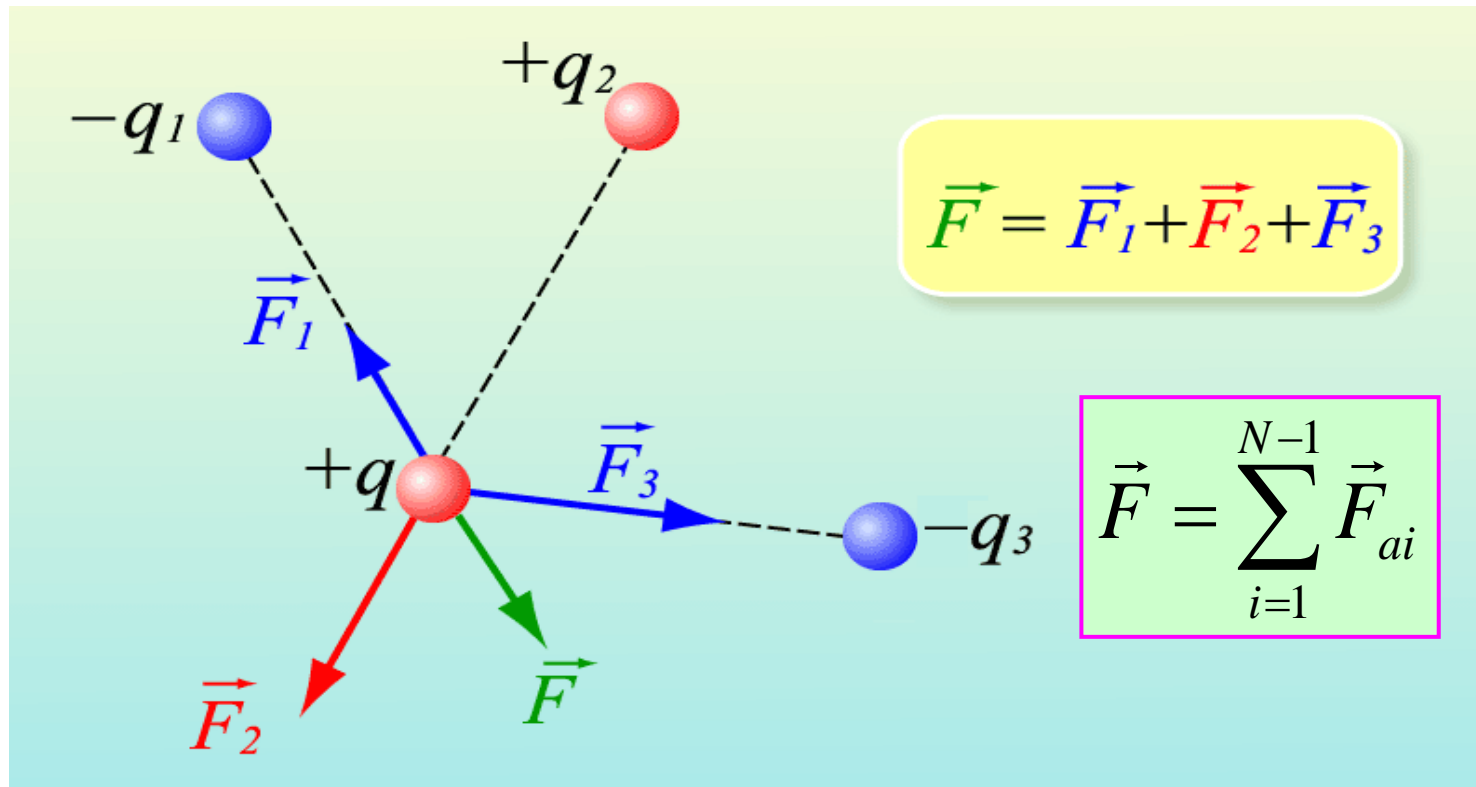
mass →	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.34 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H Higgs boson
	$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
QUARKS	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	$0.511 \text{ MeV}/c^2$	$105.7 \text{ MeV}/c^2$	$1.777 \text{ GeV}/c^2$	$91.2 \text{ GeV}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	$80.4 \text{ GeV}/c^2$	
	0	0	0	± 1	
	1/2	1/2	1/2	1	
LEPTONS	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	GAUGE BOSONS

Теорема С.Ирншоу (XIX в.): всякая равновесная конфигурация покоящихся точечных электрических зарядов неустойчива, если на них кроме кулоновских сил притяжения и отталкивания никакие другие силы (иной природы) не действуют

атом не может быть построен из неподвижных зарядов, связанных между собой только эл. силами, и должен представлять собой не статическую, а динамическую систему



Принцип суперпозиции для сил взаимодействия точечных зарядов



При взаимодействии трех и более зарядов результирующая сила, действующая на каждый заряд, определяется геометрической суммой сил, действующих на него со стороны других зарядов