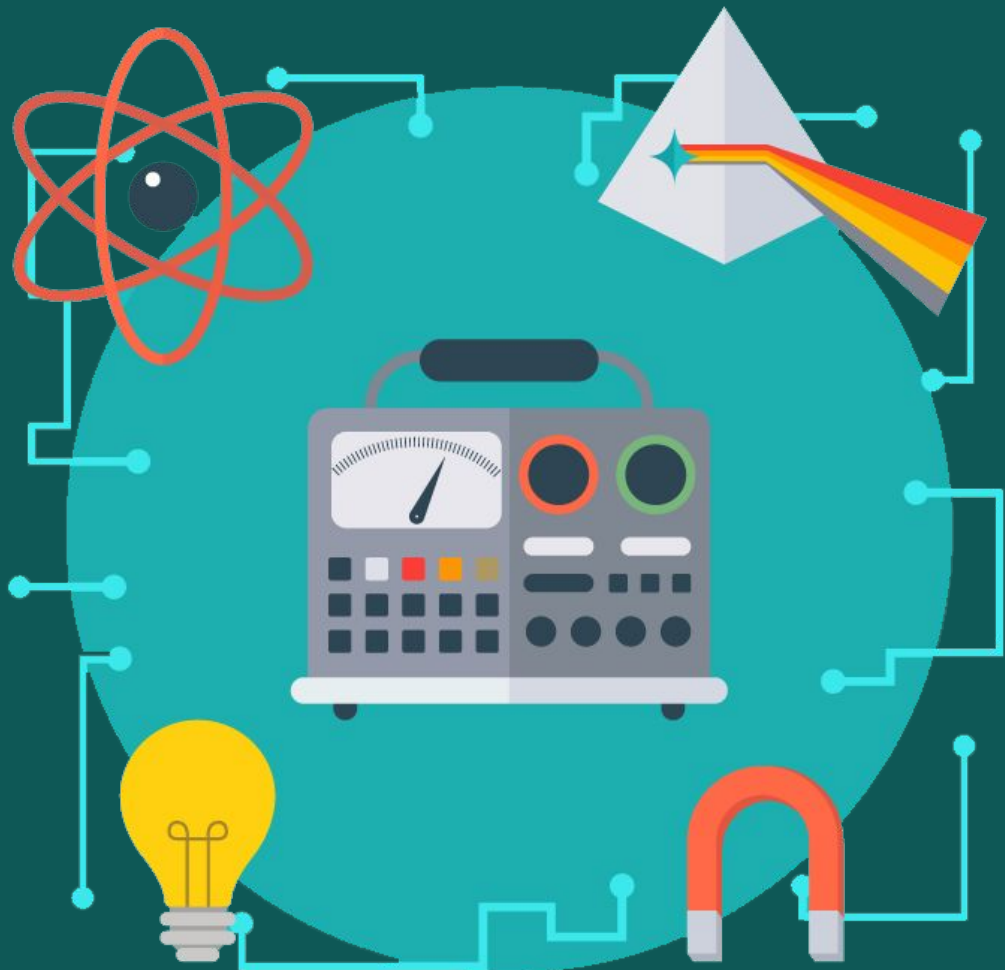


# ПРАКТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

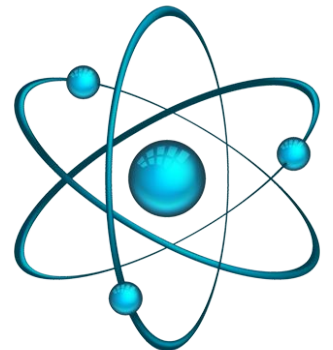


Доцент кафедры  
экспериментальной  
физики  
Ерина Марина Васильевна

# Лекция № 6

## Измерение физических величин

- Из истории физических экспериментов
- Измерение физических величин. Системы единиц измерения



# Эксперимент – ключ к пониманию мироздания

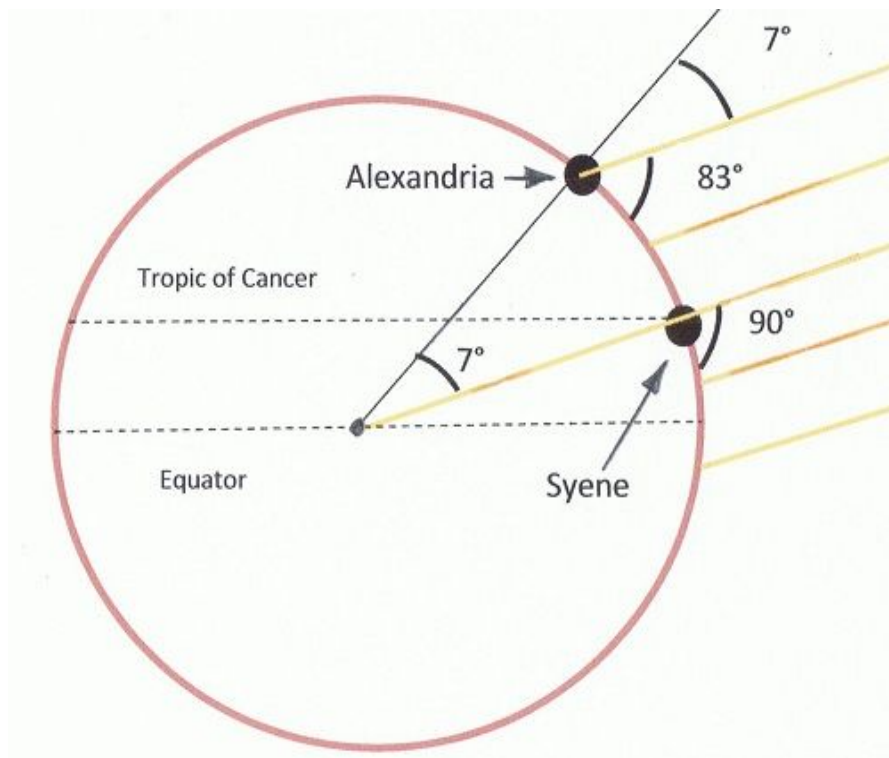


# Из истории физических экспериментов

10 самых красивых за всю историю физических экспериментов

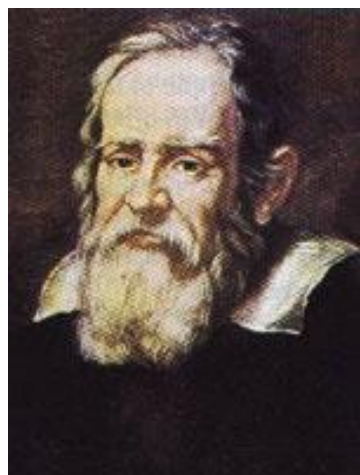
1

## Эксперимент Эратосфена Киренского



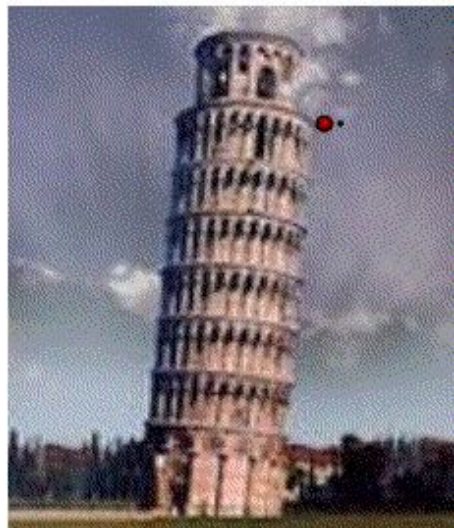
Александрийский астроном **Эратосфен (276-195 г. до н.э.)** обратил внимание, что в начале лета в городе Сиене (город в верхнем Египте) в полдень солнце освещает дно глубокого колодца, т.е. находится в зените, в Александрии же солнце в это время отклоняется в зените на некоторый угол  $\alpha$ . Эратосфен измерил этот угол и нашёл его равным  $1/50$  всей окружности (около  $7^\circ$ ). Затем, зная расстояние от Сиены до Александрии ( $\sim 800$  км) и принимая, что они лежат на одном меридиане, Эратосфен определил длину большого круга земного шара; длина оказалась равной около 40 000 км, т.е. радиус Земли примерно 6300 км (ошибка 5%).

## Эксперимент Галилео Галилея



Галилео Галилей  
(1564 – 1642)

**Путем рассуждений установил:** скорость падения тел не должна зависеть от их массы.



**Мысленный эксперимент Галилео:** когда тела падают, они не давят друг на друга ни одной своей частью на другие части, т. е. не взаимодействуют. Поэтому их можно представить себе отдельно существующими и связанными веревкой. Если отпустить одновременно три абсолютно одинаковых камня, то скорости их падения будут одинаковыми. Если же повторить этот опыт, соединив два из трех камней невесомой цепью, то можно говорить о падении двух тел, массы которых отличаются в два раза. Но и в этом случае скорости падения тел будут одинаковыми,

**Опыт:** с пушечным ядром (80 кг) и мушкетной пулей (200 г), поскольку цепь невесома.

**Вывод:** скорости, приобретаемые падающими телами, не зависят от их масс: оба тела достигали поверхности Земли одновременно.

# Современная Галилея

## демонстрация

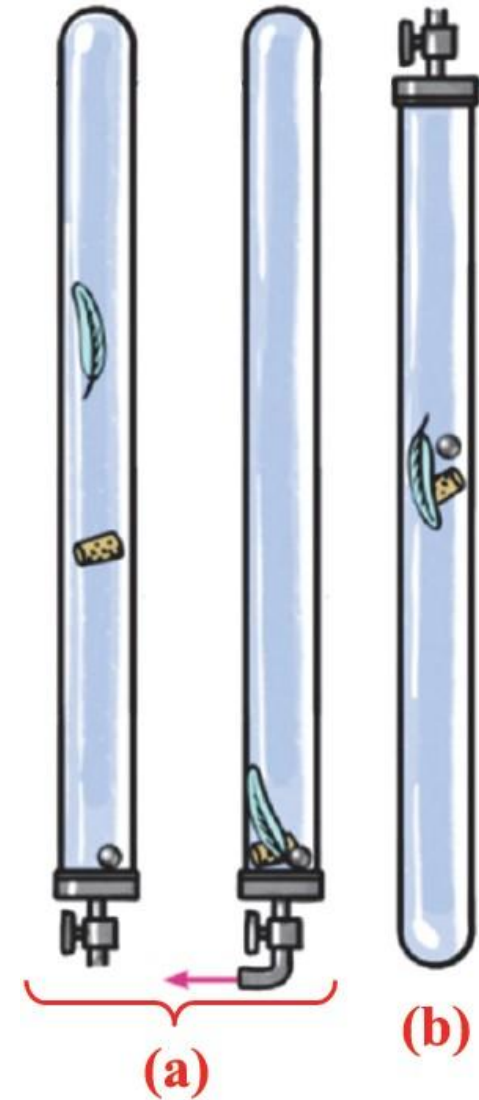
## ВЫВОДОВ

### Трубка

### Ньютона

a) воздух есть

b) воздух откачан



3

## Эксперимент Галилео Галилея с наклонной плоскостью



«Пространства, проходимые телом в равные промежутки времени, относятся между собой как последовательные нечетные числа»

| t | S       |
|---|---------|
| 1 | 1       |
| 2 | 1+3     |
| 3 | 1+3+5   |
| 4 | 1+3+5+7 |

$$S_1/S_2=1/3; S_2/S_3=3/5 \dots$$

$$\Rightarrow S \sim t^2 \quad \longleftrightarrow \quad S = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

4

## Эксперимент Генри Кавендиша по определению гравитационной постоянной



Генри  
Кавендиш  
(1731 – 1810)



Крутильные  
весы

В результате этого эксперимента Кавендишу удалось довольно точно определить значение гравитационной константы и впервые вычислить массу Земли.



## Эксперимент Жана Бернара Фуко



**Жан Бернар  
Леон Фуко  
(1819 – 1868)**



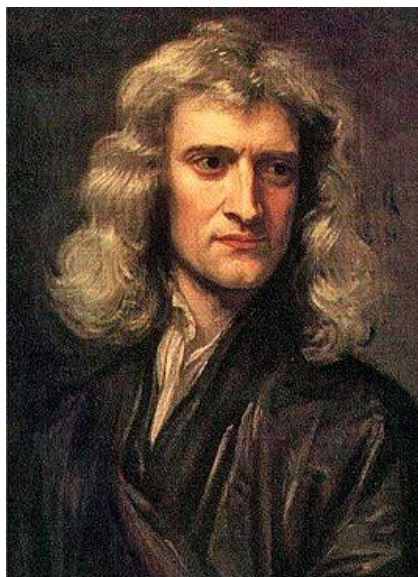
**Маятник  
Фуко**

Экспериментально доказал вращение Земли вокруг своей оси с помощью 67-метрового маятника, подвешенного к вершине купола парижского Пантеона. Плоскость качания маятника сохраняет неизменное положение по отношению к звездам. Наблюдатель же, находящийся на Земле и вращающийся вместе с ней, видит, что плоскость вращения медленно поворачивается в сторону, противоположную направлению вращения Земли.



<https://youtu.be/pHMe-m4U0qE>

## Эксперимент Исаака Ньютона



Исаак Ньютон  
(1642 – 1727)



Дисперсия  
света

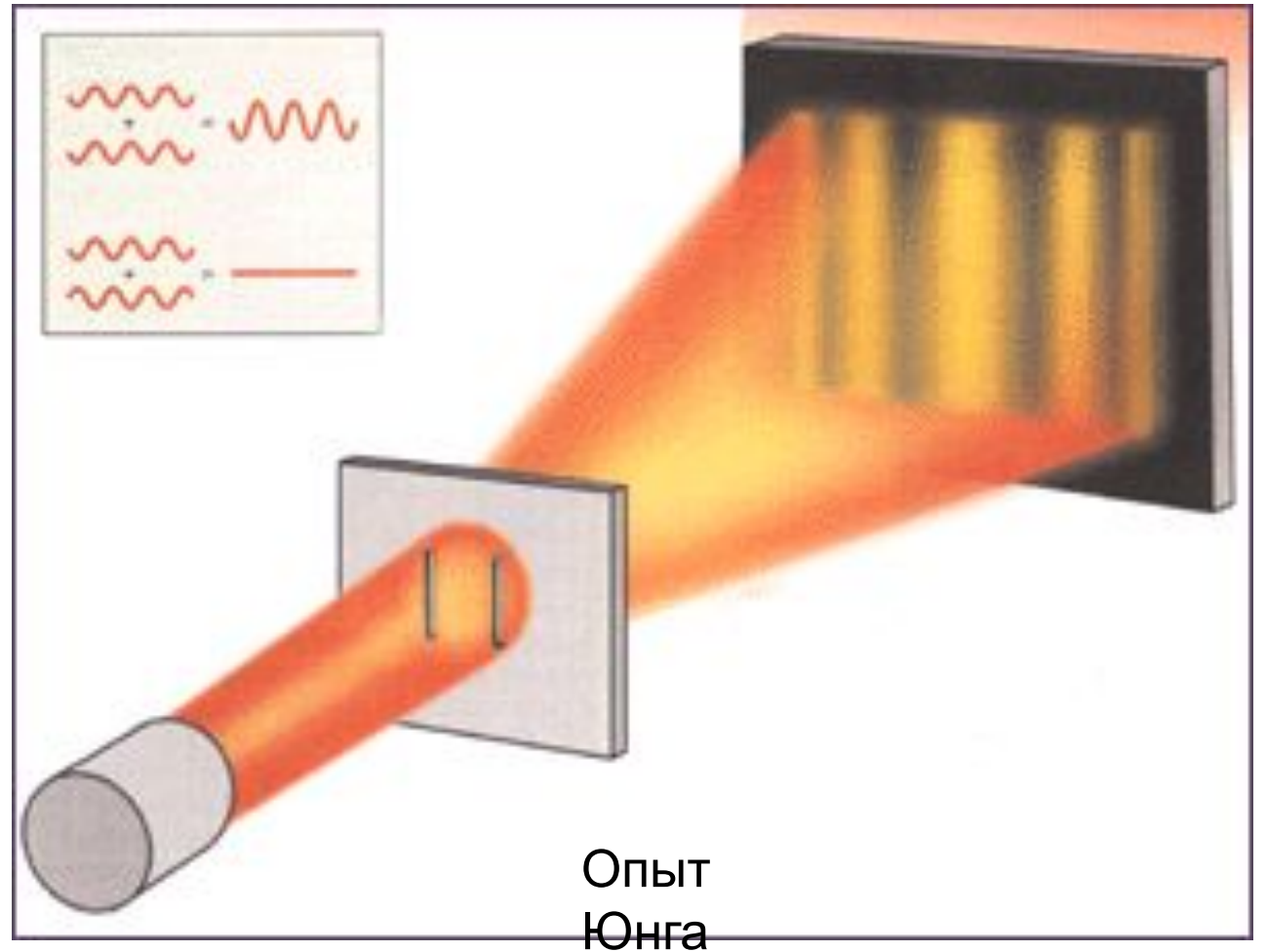
На основании совокупности проделанных опытов сделал вывод о том, что "никакого цвета не возникает из белизны и черноты, смешанных вместе, кроме промежуточных темных; количество света не меняет вида цвета". Он показал, что белый свет нужно рассматривать как составной. Основными же являются цвета от фиолетового до красного.

7

## Эксперимент Томаса Юнга



Томас Юнг  
(1773 – 1829)

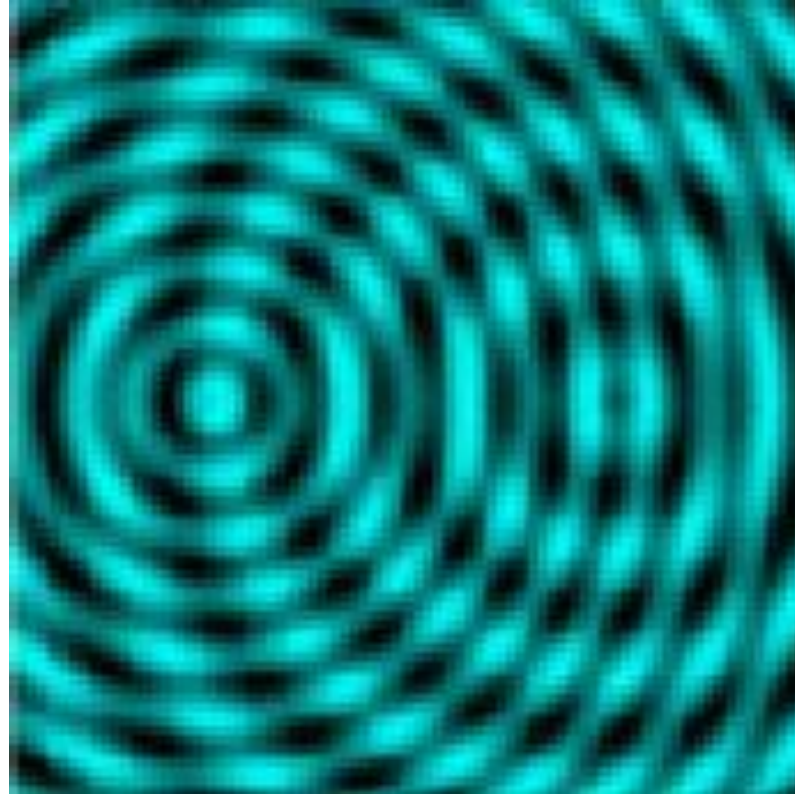


Проделал в 1801 году опыты с лучом света, который проходил через два отверстия в непрозрачном экране, образуя, два независимых источника света. В результате он наблюдал интерференционную картину, состоящую из чередующихся темных и светлых полос, которая не могла бы образоваться, если бы свет состоял из корпускул. Тем самым доказана волновая природа света.

## Эксперимент с двумя щелями с одним электроном



**Клаус  
Йонссон  
(род. 1930)**



**Картина дифракции электронов на  
щели**

Этот эксперимент подтвердил правильность положений квантовой механики о смешанной корпускулярно-волновой природе элементарных частиц.

Умные видео-ролики со всего мира -  
теперь на русском!



[www.SmartVideos.ru](http://www.SmartVideos.ru)

<https://youtu.be/e4KfHVJzJIM>

9

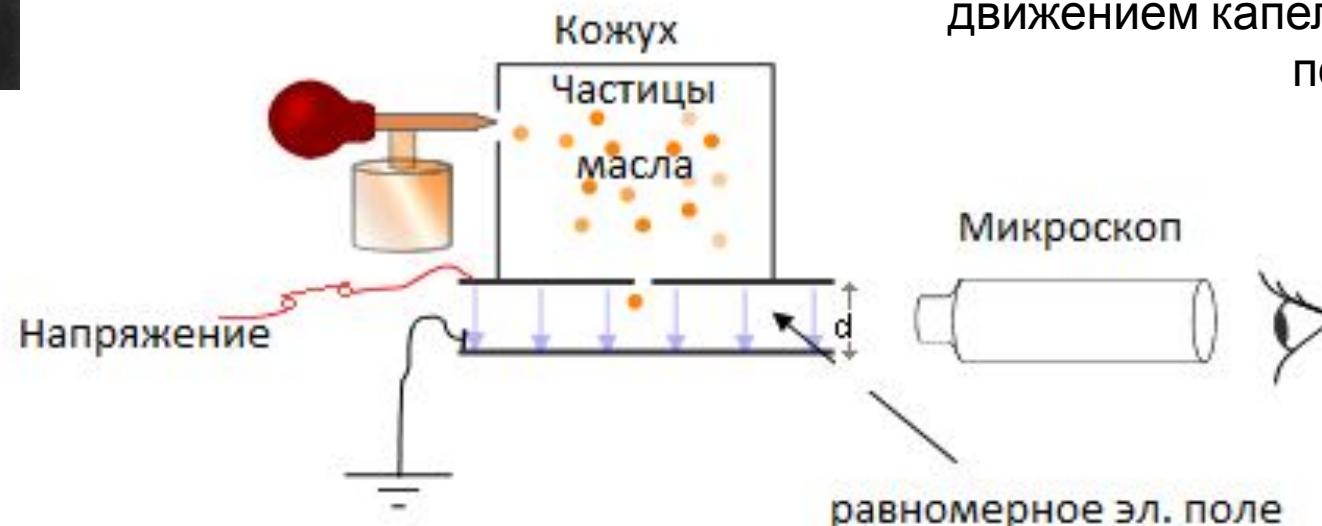
## Эксперимент Роберта Милликена



Роберт Эндрюс  
Милликен  
(1868 – 1953)



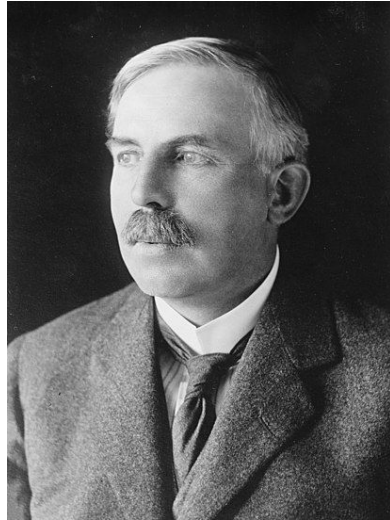
Прибор для наблюдения за движением капель в электрическом поле



Доказательство того, что электроны представляют собой частицы с одинаковыми зарядом и массой

10

# Эксперимент Резерфорда



Эрнест Резерфорд  
(1871 – 1937)

## Эрнста

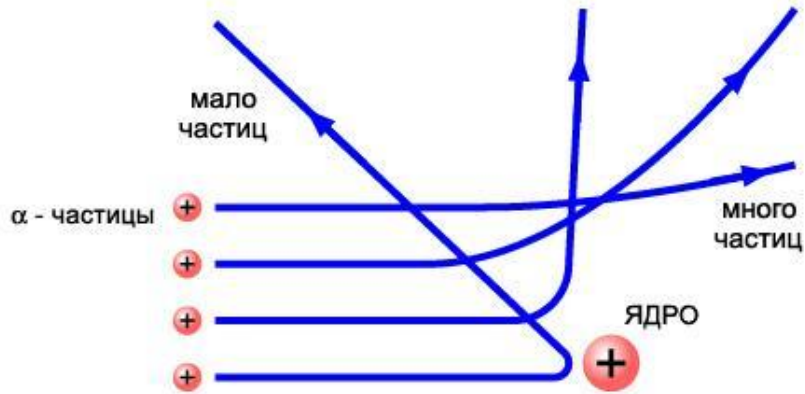
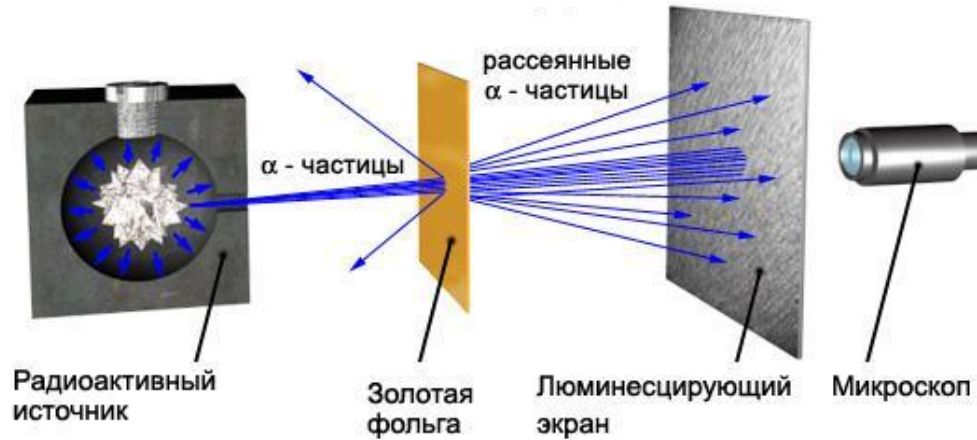
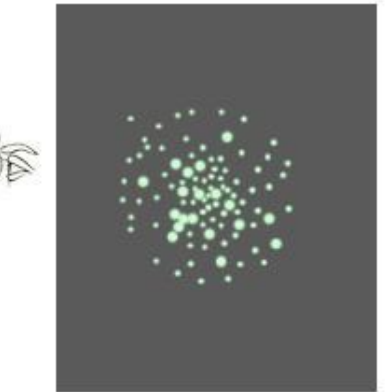
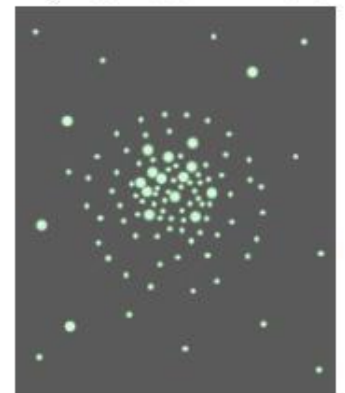


СХЕМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ α - ЧАСТИЦ С ЯДРОМ



Фотографии люминесцирующего экрана при отсутствии золотой фольги в потоке α - частиц и при ее внесении в поток



Каждая вспышка вызывается ударом α - частицы об экран

Результаты свидетельствовали в пользу планетарной модели атома - массивное крохотное ядро размерами примерно  $10^{-13}$  см и электроны, вращающиеся вокруг этого ядра на расстоянии около  $10^{-8}$  см.



# Измерение физических величин. Системы единиц измерения.

*«Наука начинается с тех пор, как начинают измерять: точная наука немислима без меры»*

*Д.И. Менделеев*

**Измерение физической величины:** сравнение ее с эталоном или единицей измерения. Число, которое получается при измерениях называется численным значением величины

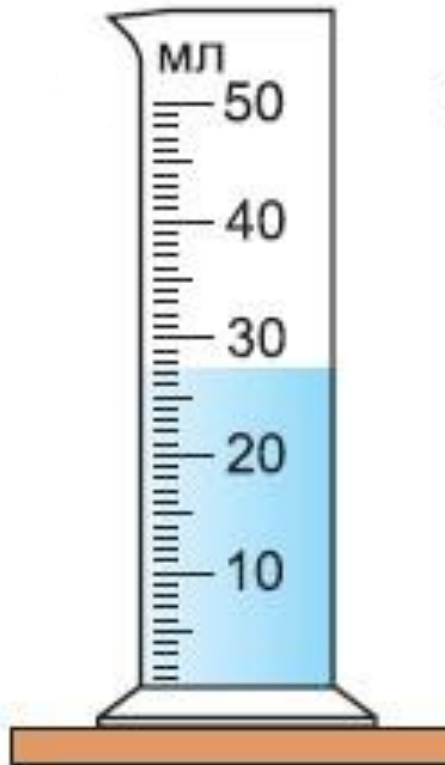
$$G = \{G\}[G]$$

Любая физическая величина равна произведению численного значения и единицы измерения.

Единица измерения  $[G]$  зависит от системы единиц измерения основных физических величин.

Результат  
измерений  
физической  
величины

= Видимый результат  $\pm$  Погрешность



Единица измерения - мл.

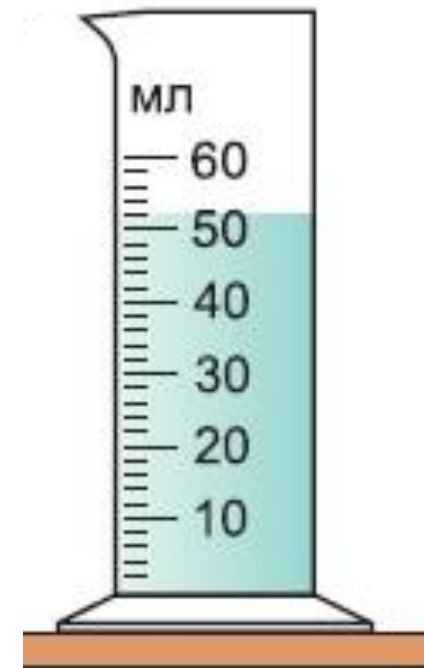
Предел измерений - 50 мл.

Цена деления - расстояние между ближайшими штрихами, выраженное в единицах измерения данного прибора, - 1 мл.

Видимый результат - 27 мл.

Погрешность измерения - если нет специальных указаний, то это половина от цены деления - 0,5 мл.

Результат измерений:  $27 \pm 0,5$  мл.

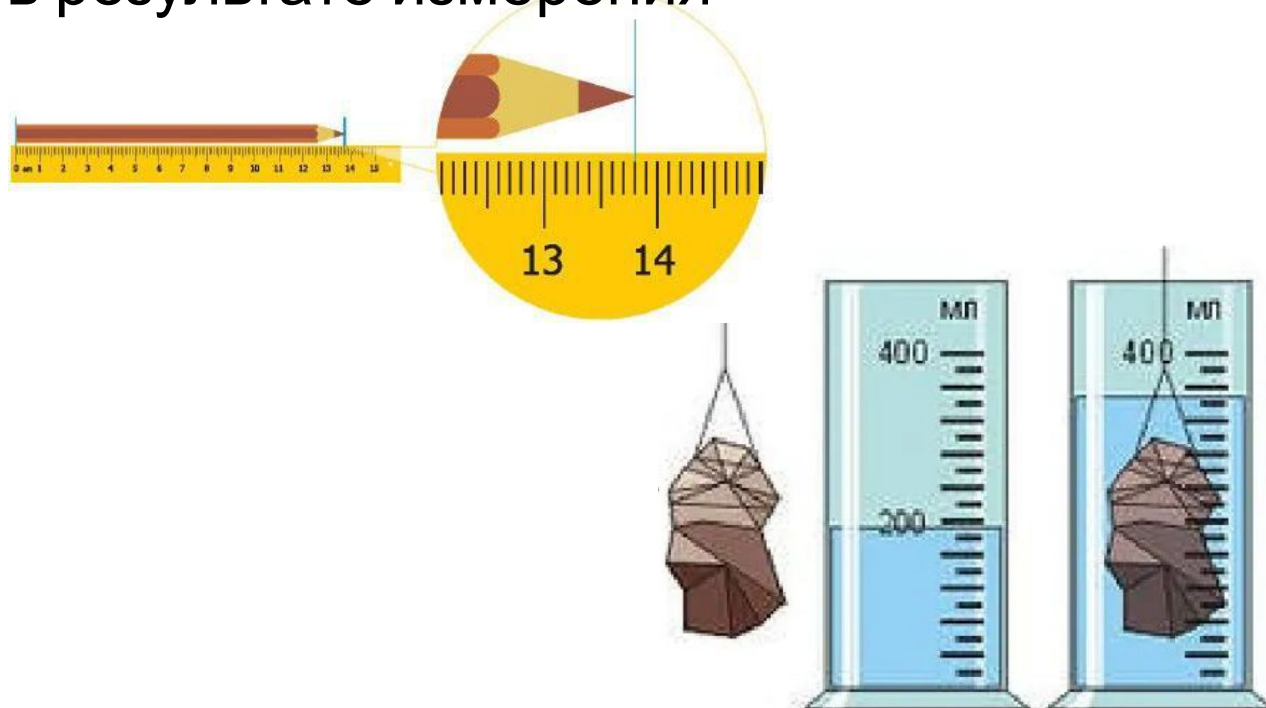


Для определения цены деления следует найти разность между двумя ближайшими оцифрованными делениями и разделить на количество делений.

# Измерения

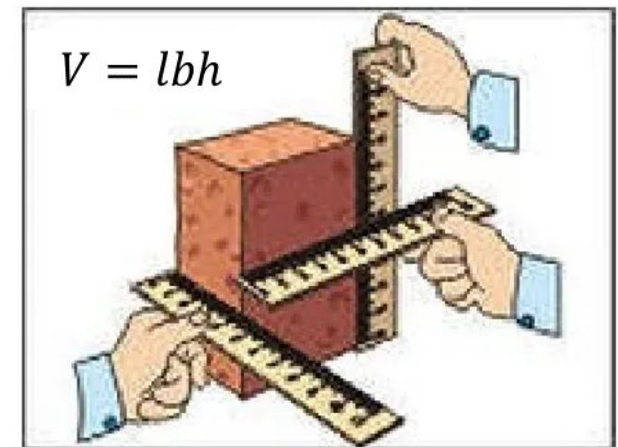
## Прямы

Результат  $e$  получается непосредственно по шкале прибора в результате измерения

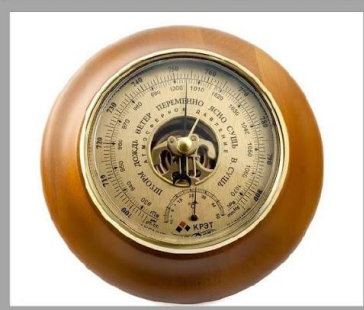


## Косвенны

Значение  $e$  измеряемой величины находится путем прямого измерения нескольких физических величин, связанных с измеряемой определенным соотношением



# Измерительные приборы



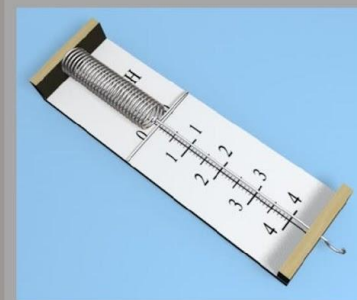
**барометр**

для измерения атмосферного  
давления



**манометр**

для измерения давления газов



**динамометр**

для измерения силы



**электрометр**

для измерения величины электрического  
заряда



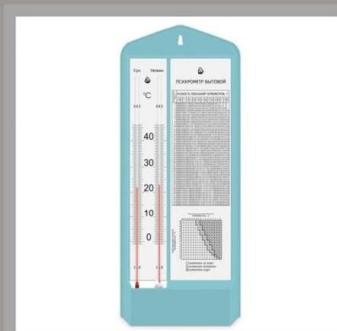
**амперметр**

для измерения силы  
тока



**вольтметр**

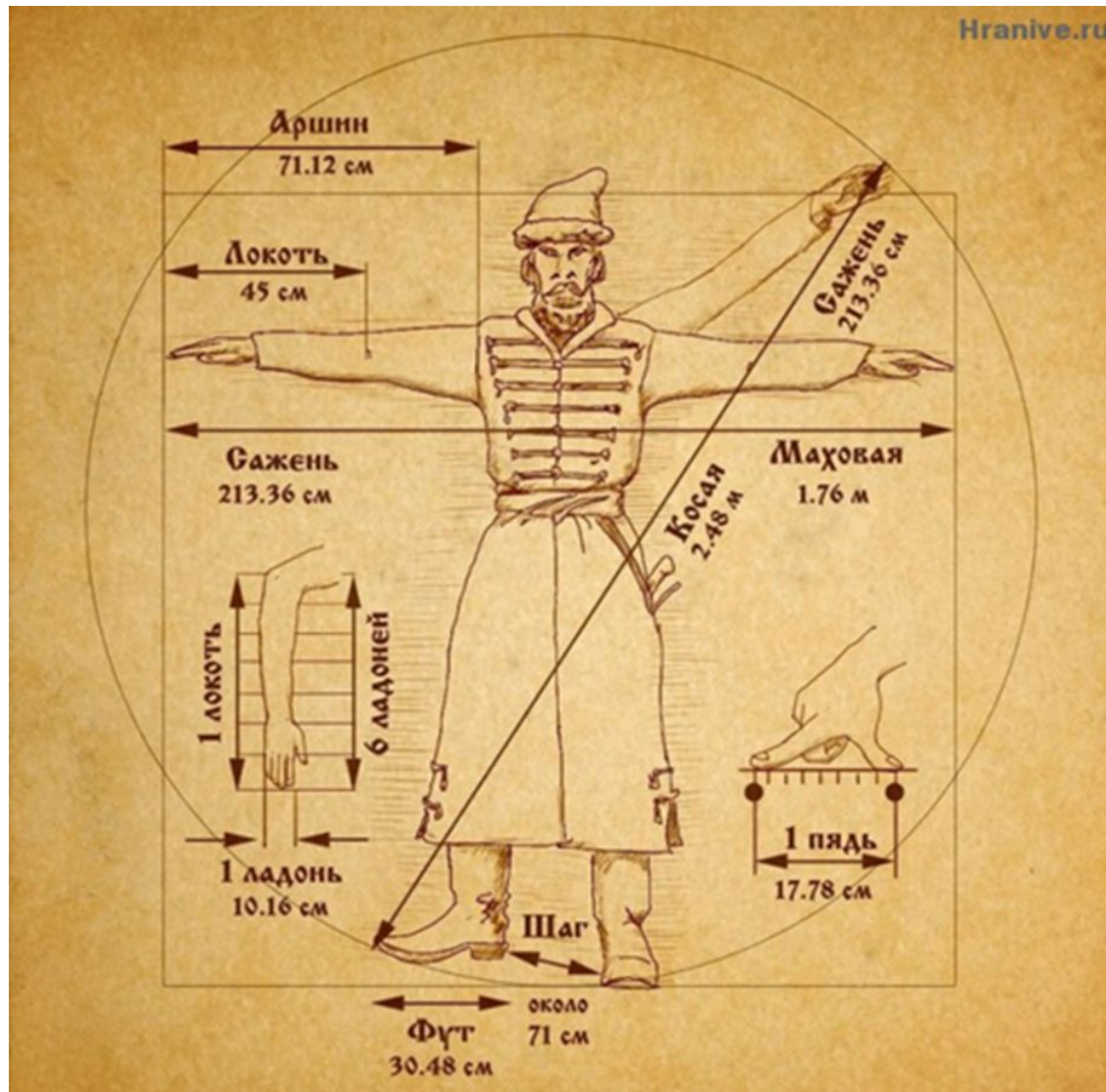
для измерения  
напряжения



**психрометр**

для измерения  
влажности

# Старинные русские меры длины



Не имели наши предки  
Ни линейки, ни рулетки.  
Но могли предмет  
любой  
Измерять самим собой.

Ткани меряли локтями,  
Землю меряли  
лаптями,  
И имели пальцев пять –  
Щели в доме измерять.

В общем, жили не  
тужили,  
Не хлебаи паптем

# Старинные меры длины разных стран

Испания – **сигара** (расстояние, которое проплывает корабль, пока выкуривается сигара)

Япония – **лошадиный башмак** (расстояние, которое проходит лошадь, пока не износится ее соломенная подкова)

Египет – **стадий** (расстояние, которое проходит мужчина за время от первого луча солнца до появления всего солнечного диска)

У многих народов – **стрела** (расстояние, которое пролетает стрела)

# Английские меры длины

**Ярд** был равен расстоянию от кончика носа короля Генриха I до конца пальцев его вытянутой руки

**1 ярд = 91 см**

**Фут** - длина ступни

**1 фут = 31 см**



**Дюйм** – палец (от голландского – большой). Он равен длине фаланги большого пальца или длине трех сухих зерен ячменя, взятых из средней части колоса.



**1 дюйм = 2,54 см**

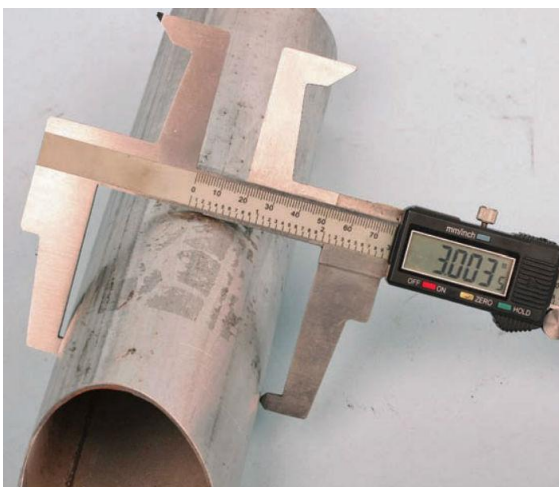
# Использование дюйма в настоящее время



Толщина досок



Диаметры колес



Диаметры труб



Диагонали экранов

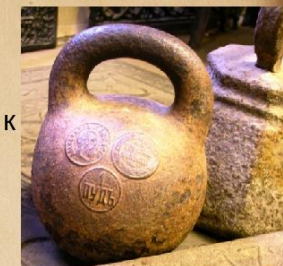


# Старинные меры веса

| Меры веса        | Значение в граммах       | Значение в килограммах |
|------------------|--------------------------|------------------------|
| Берковец         | 163800                   | 163,8                  |
| Пуд              | 16380                    | 16,38                  |
| Полпуда          | 8190                     | 8,19                   |
| Фунт торговый    | 409,5                    | 0,4095                 |
| Фунт аптекарский | 307,3                    |                        |
| Лот              | 12,797                   |                        |
| Золотник         | 4,266                    |                        |
| Доля             | 0,044 грамма<br>44,43 мг |                        |

## Пуд

Пуд – устаревшая единица измерения массы русской системы мер. Название восходит к праславянскому слову, пришедшему из латыни *pondus*, что означает «вес», «тяжесть».



1 пуд = 40 фунтов  
1 пуд = 1280 лотов  
1 пуд = 3840 золотников  
1 пуд = 368640 долей  
10 пудов = 1 берковец  
1 пуд = 16,3804964 кг

## Фунт

Фунт (от немецкого слова *пфунд* или латинского *пондус* – вес, тяжесть, гиря) – старая русская мера веса (массы). Он равен был от 373 грамм до 450 грамм



**Метрология** (от греч. мера, измерительный инструмент) - наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

**Метрическая конвенция** - международный договор, служащий для обеспечения единства метрологических стандартов в разных странах. Договор был подписан в 1875 г. в Париже 17-ю странами, в том числе Россией. В настоящее время к конвенции присоединилось 51 государство, в том числе все промышленно развитые страны.

В 1893 году Д.И. Менделеев создал в России Главную палату мер и весов (современное название: "Научно-исследовательский институт метрологии им. Менделеева"), которая занимается вопросами метрологии в нашей стране.

# История возникновения системы СИ

- Система СИ основана на метрической системе мер, которая была создана французскими учеными и впервые была широко внедрена после Великой Французской революции. До введения метрической системы, единицы измерения выбирались случайно и независимо друг от друга. Поэтому пересчет из одной единицы измерения в другую был сложным. К тому же в разных местах применялись разные единицы измерения, иногда с одинаковыми названиями. Метрическая система должна была стать удобной и единой системой мер и весов.
- В 1799 г. были утверждены два эталона — для единицы измерения длины (метр) и для единицы измерения веса (килограмм).
- В 1874 г. была введена система СГС, основанная на трех единицах измерения - сантиметр, грамм и секунда. Были также введены десятичные приставки от микро до мега.

- В 1889 г. 1-ая Генеральная конференция по мерам и весам приняла систему мер, сходную с СГС, но основанную на метре, килограмме и секунде, т. к. эти единицы были признаны более удобными для практического использования.
- В последующем были введены базовые единицы для измерения физических величин в области электричества и оптики.
- В 1960 г. XI Генеральная конференция по мерам и весам приняла стандарт, который впервые получил название «Международная система единиц (СИ)».
- В 1971 г. IV Генеральная конференция по мерам и весам внесла изменения в СИ, добавив, в частности, единицу измерения количества вещества ( моль).
- В настоящее время СИ принята в качестве законной системы единиц измерения большинством стран мира и почти всегда используется в области науки (даже в тех странах, которые не приняли СИ).

# Основные единицы системы СИ



| Физическая величина      | Обозначение | Единица измерения | Обозначение |
|--------------------------|-------------|-------------------|-------------|
| Длина                    | $l$         | Метр              | м           |
| Масса                    | $m$         | Килограмм         | кг          |
| Время                    | $t$         | Секунда           | с           |
| Сила электрического тока | $I$         | Ампер             | А           |
| Температура              | $T$         | Кельвин           | К           |
| Количество вещества      | $\nu$       | Моль              | моль        |
| Сила света               | $I_{\nu}$   | Кандела           | кд          |

# Единицы измерения

**Кратная единица** – единица физической величины в целое число раз большая соответствующей основной или производной единицы (кА, МВ, ГГц и др.).

**Дольная единица** – единица физической величины в целое число раз меньшая соответствующей основной или производной единицы (см, мА, мкс и др.).

Кроме **основных** единиц измерения широко используют и **производные** единицы имеющие собственные названия: Ньютон, Джоуль, Вольт, Кулон, Фарад, Паскаль, Тесла, Сименс, Генри и др.

| Множитель  | Приставка | Обозначение приставки |               |
|------------|-----------|-----------------------|---------------|
|            |           | русское               | международное |
| $10^{18}$  | экса      | Э                     | <i>E</i>      |
| $10^{15}$  | пета      | П                     | <i>P</i>      |
| $10^{12}$  | тера      | Т                     | <i>T</i>      |
| $10^9$     | гига      | Г                     | <i>G</i>      |
| $10^6$     | мега      | М                     | <i>M</i>      |
| $10^3$     | кило      | к                     | <i>k</i>      |
| $10^2$     | гекто     | г                     | <i>h</i>      |
| $10^1$     | дека      | да                    | <i>da</i>     |
| $10^{-1}$  | деци      | д                     | <i>d</i>      |
| $10^{-2}$  | санتي     | с                     | <i>c</i>      |
| $10^{-3}$  | милли     | м                     | <i>m</i>      |
| $10^{-6}$  | микро     | мк                    | $\mu$         |
| $10^{-9}$  | нано      | н                     | <i>n</i>      |
| $10^{-12}$ | пико      | п                     | <i>p</i>      |
| $10^{-15}$ | фемто     | ф                     | <i>f</i>      |
| $10^{-18}$ | атто      | а                     | <i>a</i>      |

# Система СГС

**Система СГС (CGS)** (сантиметр – грамм – секунда) базируется на трех основных величинах: длине, массе и времени.

Существует две разновидности системы СГС: **СГСЭ** – система электростатических величин. **СГСМ** – система электромагнитных величин.

**СГС** симметричная – объединяет СГСЭ и СГСМ.

В симметричной СГС (называемой также смешанной СГС или Гауссовой системой единиц) магнитные единицы равны единицам системы СГСМ, электрические - единицам системы СГСЭ.

Магнитная и электрическая постоянные в этой системе единичные и безразмерные:  $\mu_0 = 1$ ,  $\epsilon_0 = 1$ .  
При изучении электрических и магнитных явлений система СГС применяется несколько чаще, особенно в теоретических работах, чем система СИ. Это объясняется тем, что основные уравнения и значения физических величин в этой системе оказываются более удобными, хотя это удобство в достаточной мере субъективно.

# Система СГСЭ

Электростатическая система единиц. При построении этой системы первой производной электрической единицей вводится единица электрического заряда с использованием закона Кулона в качестве определяющего уравнения. При этом абсолютная диэлектрическая проницаемость рассматривается безразмерной электрической величиной. Как следствие этого, в некоторых уравнениях, связывающих электромагнитные величины, появляется в явном виде корень квадратный из скорости света в вакууме.

1 ед. СГС – такой заряд, который действует на равный ему по величине другой заряд на расстоянии 1 см с силой в 1 дн (дину)

В СГСЭ  $\mu_0 = 1/c^2$  (размерность:  $c^2/\text{см}^2$ ),  $\varepsilon_0 = 1$ .

Закон Кулона 
$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

В системе СГС  $k = 1$

В системе СИ  $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$$



# Система СГСМ

Электромагнитная система единиц. При построении этой системы первой производной электрической единицей вводится единица силы тока с использованием закона Ампера в качестве определяющего уравнения. При этом абсолютная магнитная проницаемость рассматривается безразмерной электрической величиной. В связи с этим, в некоторых уравнениях, связывающих электромагнитные величины, появляется в явном виде корень квадратный из скорости света в вакууме.

В СГСМ

магнитная постоянная для вакуума  $\mu_0 = 1$  (безразмерна)  
электрическая постоянная  $\epsilon_0 = 1/c^2$  (размерность:  $c^2/\text{см}^2$ ),  
где  $c = 29\,979\,245\,800$  см/с - скорость света в вакууме

# Примеры единиц СГС

В системе СГС многие единицы не имеют собственных наименований и называются просто единицами СГСЭ (или СГСМ).

$$1 \text{ Ом} = 10^9 \text{ ед. СГС}_R \quad 1 \text{ Вольт} = 10^8 \text{ ед. СГСМ}_\varepsilon$$

Некоторые единицы этой системы обладают собственными наименованиями:

единица энергии – эрг

единица силы – дина

единица напряженности магнитного поля – эрстед

# Связь между единицами СИ и СГС

Из магнетизма

# Связь между единицами СИ и СГСМ

$$1 \text{ дин} = 1 \text{ г} \cdot \text{см} / \text{с}^2 = 10^{-3} \text{ кг} \cdot 10^{-2} \text{ м} / \text{с}^2 = 10^{-5} \text{ Н}$$

| Величина                          | Единица СГСМ   | СИ               | Коэффициент преобразования СГСМ в СИ |
|-----------------------------------|----------------|------------------|--------------------------------------|
| Магнитный поток $\Phi$            | Максвелл (Мкс) | Вебер (Вб)       | $10^{-8}$                            |
| Магнитная индукция $B$            | Гаусс (Гс)     | Тесла (Тл)       | $10^{-4}$                            |
| Напряженность магнитного поля $H$ | Эрстед (Э)     | А/м              | $10^3/4\pi$                          |
| Магнитный момент $m$              | Единица СГСМ   | А·м <sup>2</sup> | $10^{-3}$                            |
| Намагниченность $M$               | Единица СГСМ   | А/м              | $10^3$                               |

# Система МКГСС

**Система МКГСС** (метр – килограмм-сила – секунда) - эта система, в отличие от СИ и СГС, построена на основе трех физических величин: длины, силы и времени.

Эта система оказалась удобной для применения в технике (стрелочные манометры проградуированы в единицах кгс/см<sup>2</sup>, т.е. в атмосферах). Однако эта система редко используется в физике из-за того, что ее единицы не имеют кратного отношения с единицами СИ или СГС  
(**например**, 1 ед. массы(МКГС) = 9,81 кг).

В Европе единица измерения мощности **1 л.с. – 75 кгс·м/с [735,49875 Вт в СИ]**

Кроме производных и основных системных единиц существуют **внесистемные единицы** физических величин: миллиметр ртутного столба, миля, фут, минута, сутки, световой год и др. Их использование связано с практическим удобством.

**Например:** 720 мм рт.ст. =  $0,96 \cdot 10^5$  Па

**СПАСИБО!**

$$S = \frac{(v - v_0)}{2a}$$

$$\Delta U = A + Q$$

$$F = \frac{q_1 q_2}{R^2}$$

$$Q = \lambda m$$

$$X = X_{\max} \cdot \cos \omega t$$

$$N = N_0 \cdot 2^{-t/T}$$

$$A = FS \cos \alpha$$

$$P = \frac{F}{S}$$

$$\Delta d = \frac{(2k+1)\lambda}{2}$$

$$\phi = \frac{P}{P_0 \cdot 100\%}$$

$$Ft = \Delta p$$

$$F = mg$$

$$v_2 = \frac{(v_1 + v)}{1 + v_1 v/c^2}$$

$$t = \frac{t_1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$\lambda = vT$$

$$T = 2\pi \sqrt{LC}$$

$$P = IU$$

**СПАСИБО!**

$$Z = \sqrt{(X_C - X_L)^2 + R^2}$$

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

$$\eta = \frac{(Q_1 - Q_2)}{Q_1}$$

$$E = 2\pi k \sigma$$

$$F = \rho g V$$

$$Q = C(T_2 - T_1)$$

$$P = m(g+a)$$

$$\frac{v}{T} = \text{const}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$p = mc = \frac{h}{\lambda} = \frac{E}{c}$$

$$T = \frac{2\pi\sqrt{l}}{g}$$

$$F = \frac{kq_1 q_2}{r^2}$$

$$F_{\text{упр}} = -kx$$