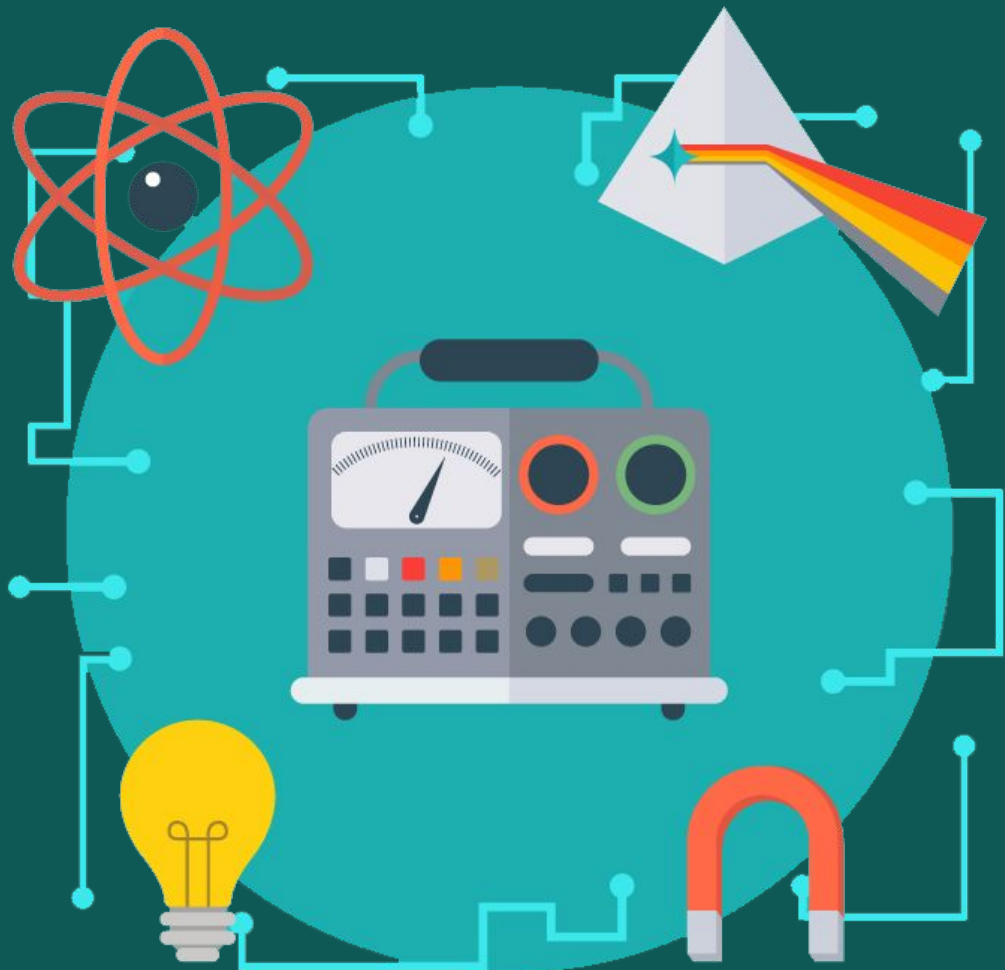


ПРАКТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

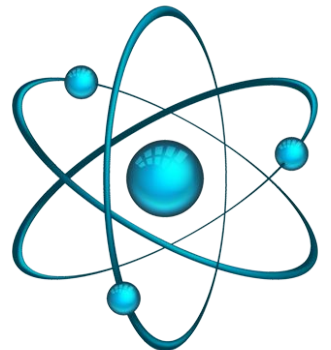


Доцент кафедры
экспериментальной
физики
Ерина Марина Васильевна

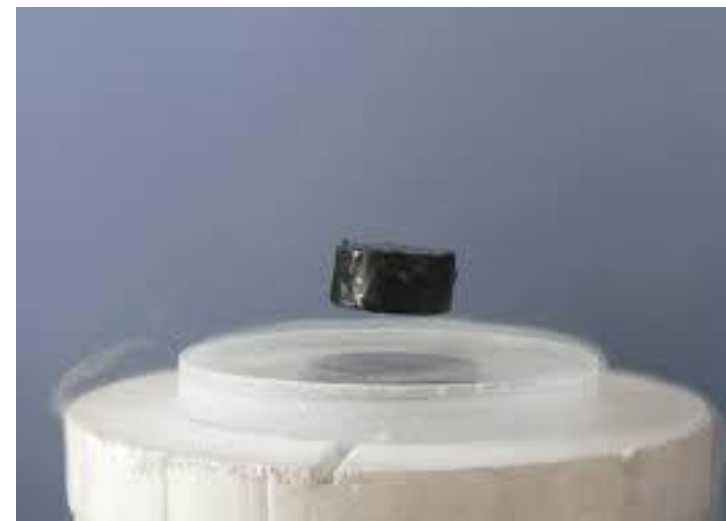
Лекция № 6

Измерение физических величин

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



Эксперимент – ключ к пониманию мироздания

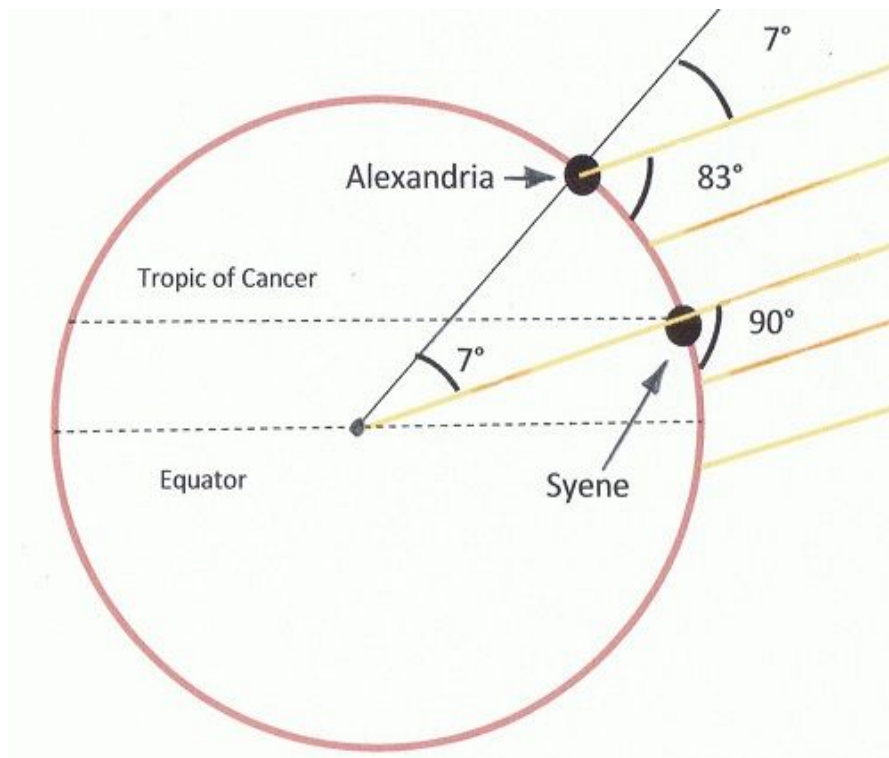


Из истории физических экспериментов

10 самых красивых за всю историю физических экспериментов

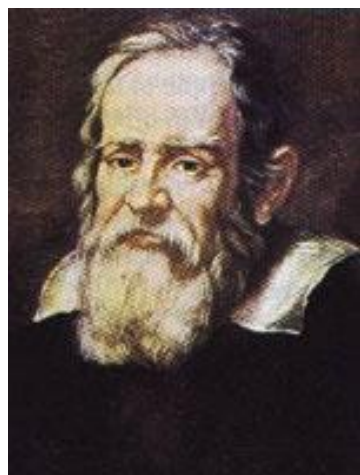
1

Эксперимент Эратосфена Киренского



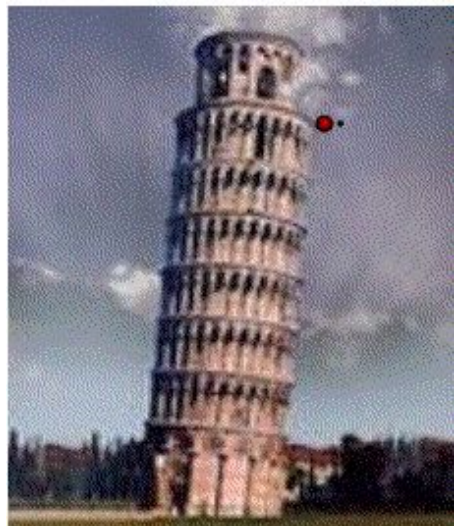
Александрийский астроном **Эратосфен (276-195 г. до н.э.)** обратил внимание, что в начале лета в городе Сиене (город в верхнем Египте) в полдень солнце освещает дно глубокого колодца, т.е. находится в зените, в Александрии же солнце в это время отклоняется в зените на некоторый угол α . Эратосфен измерил этот угол и нашёл его равным $1/50$ всей окружности (около 7°). Затем, зная расстояние от Сиены до Александрии (~ 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

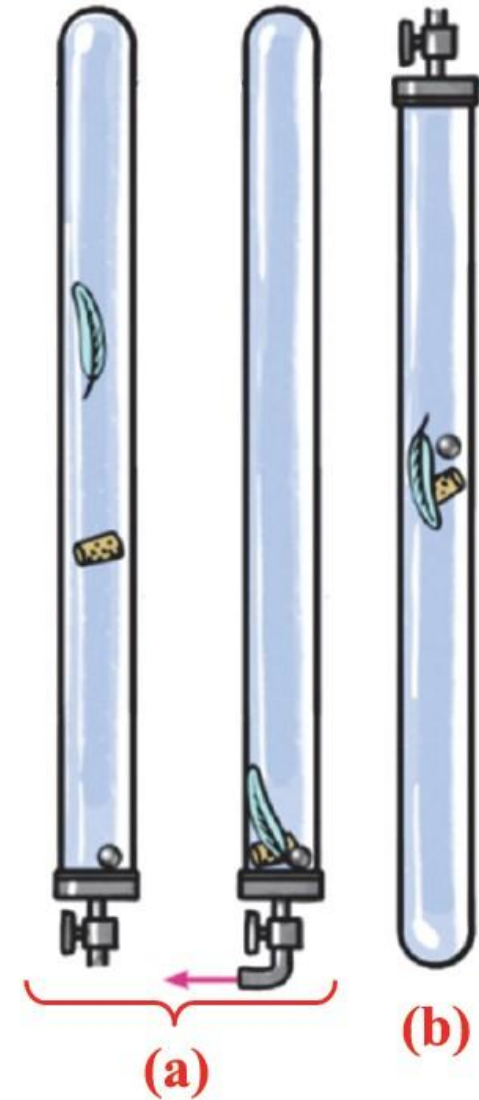
ВЫВОДОВ

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)**



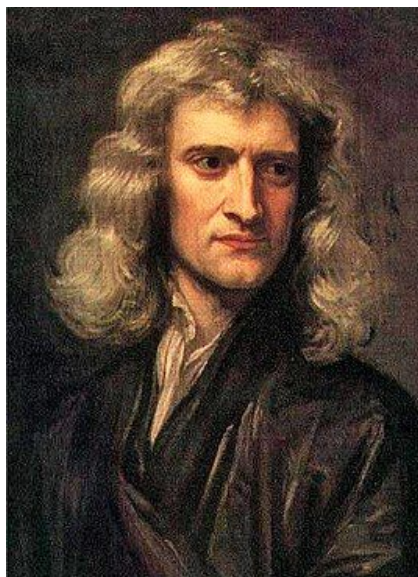
**Маятник
Фуко**

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

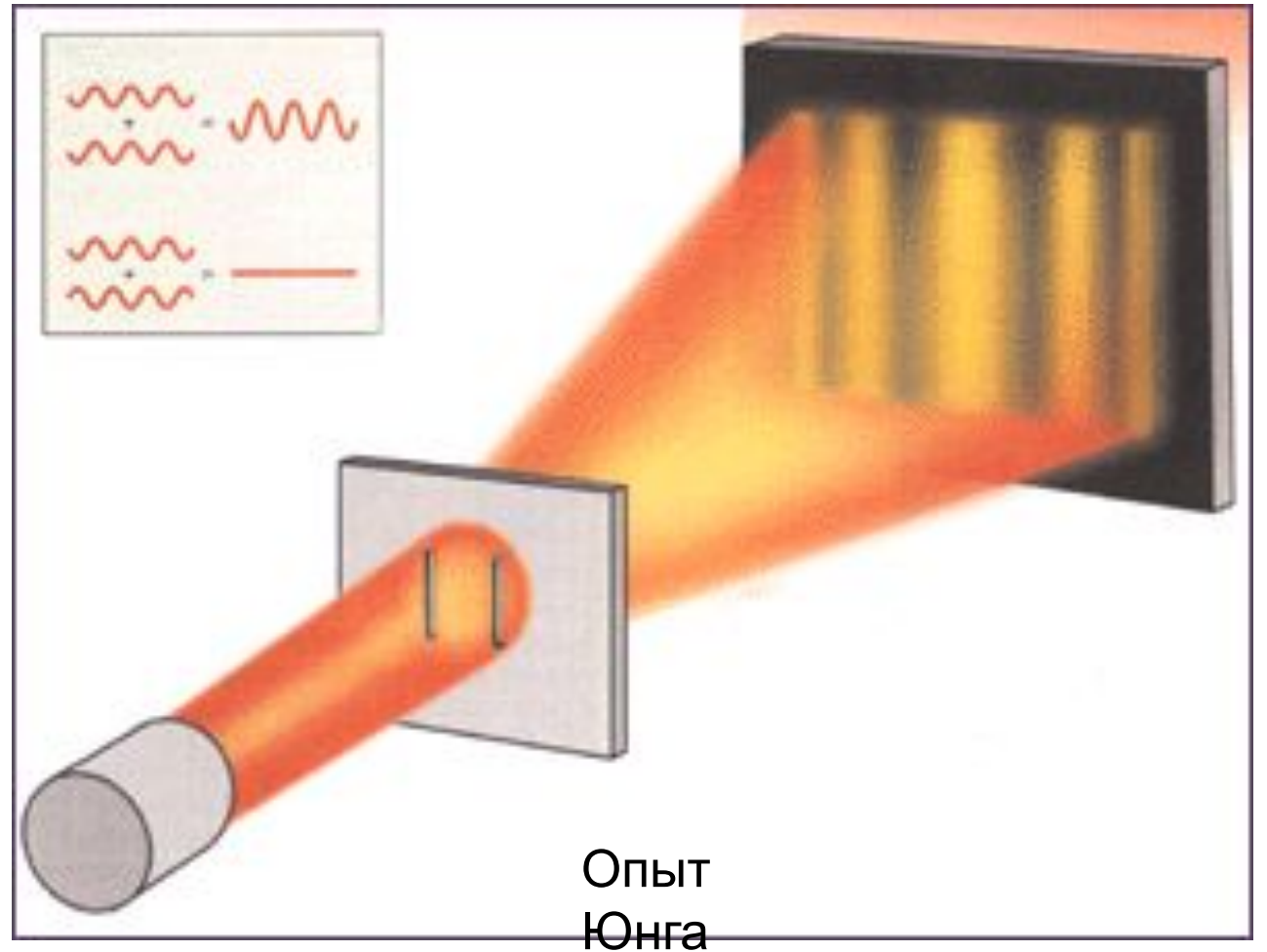
На основании совокупности проделанных опытов сделал вывод о том, что "никакого цвета не возникает из белизны и черноты, смешанных вместе, кроме промежуточных темных; количество света не меняет вида цвета". Он показал, что белый свет нужно рассматривать как составной. Основными же являются цвета от фиолетового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

7

Эксперимент Томаса Юнга



Томас Юнг
(1773 – 1829)

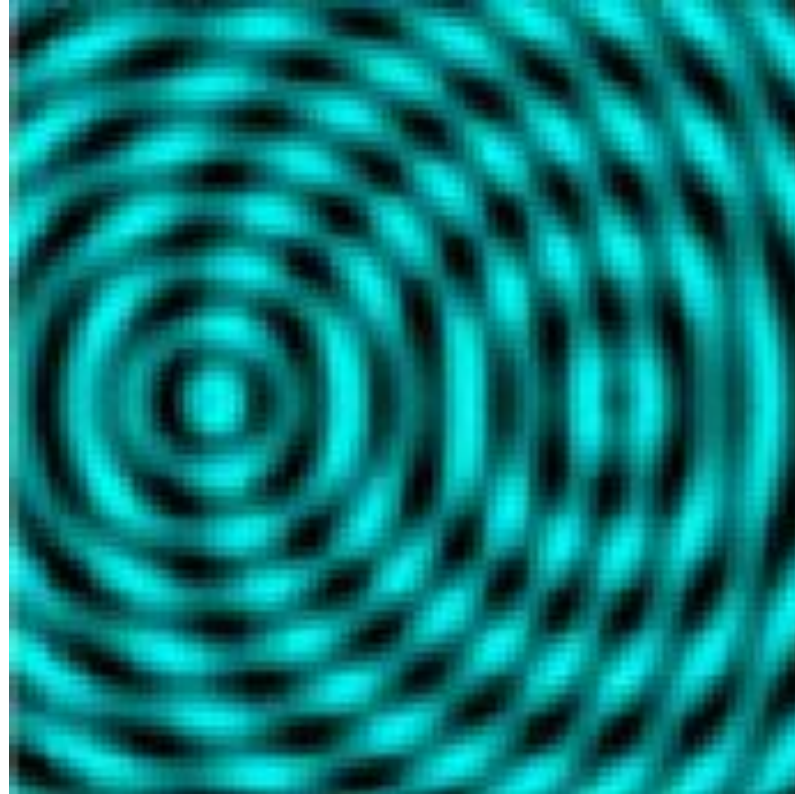


Проделал в 1801 году опыты с лучом света, который проходил через два отверстия в непрозрачном экране, образуя, два независимых источника света. В результате он наблюдал интерференционную картину, состоящую из чередующихся темных и светлых полос, которая не могла бы образоваться, если бы свет состоял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

<https://youtu.be/e4KfHVJzJIM>

9

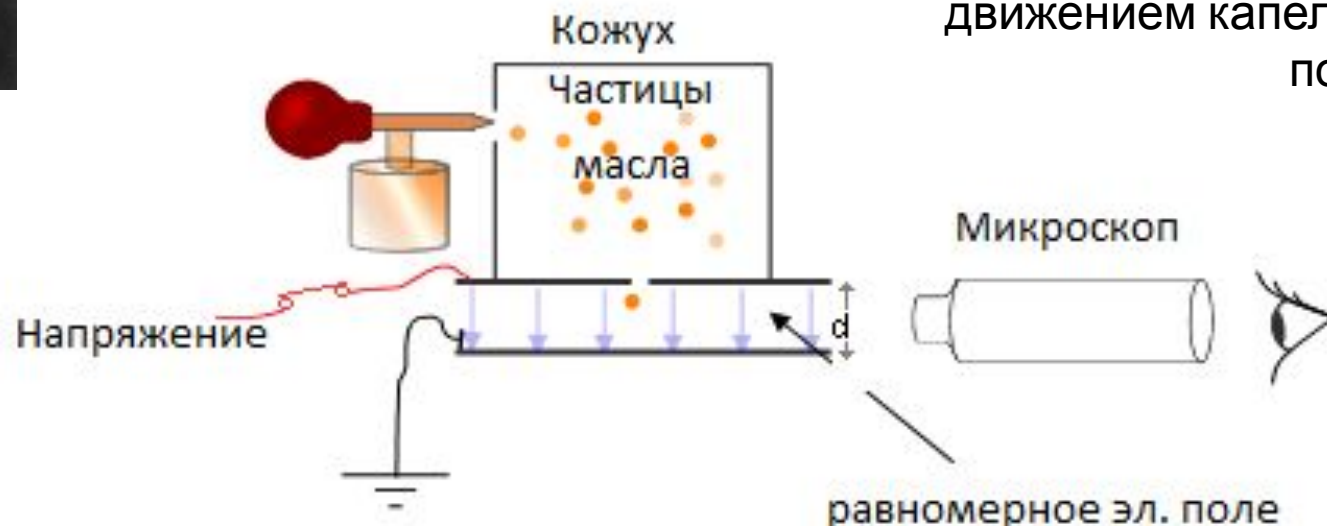
Эксперимент Роберта Милликена



Роберт Эндрюс
Милликен
(1868 – 1953)



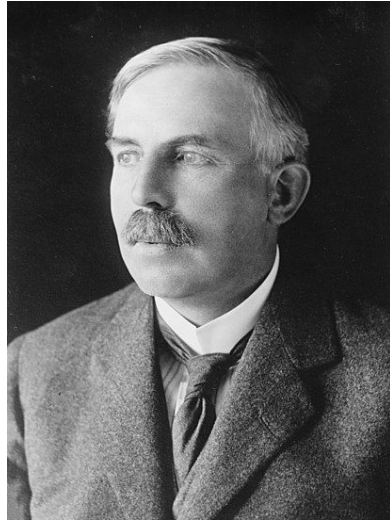
Прибор для наблюдения за движением капель в электрическом поле



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

10

Эксперимент Резерфорда



Эрнест Резерфорд
(1871 – 1937)

Эрнста

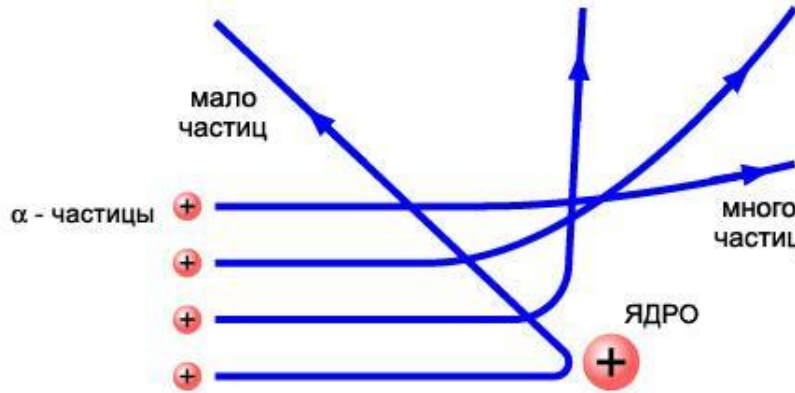
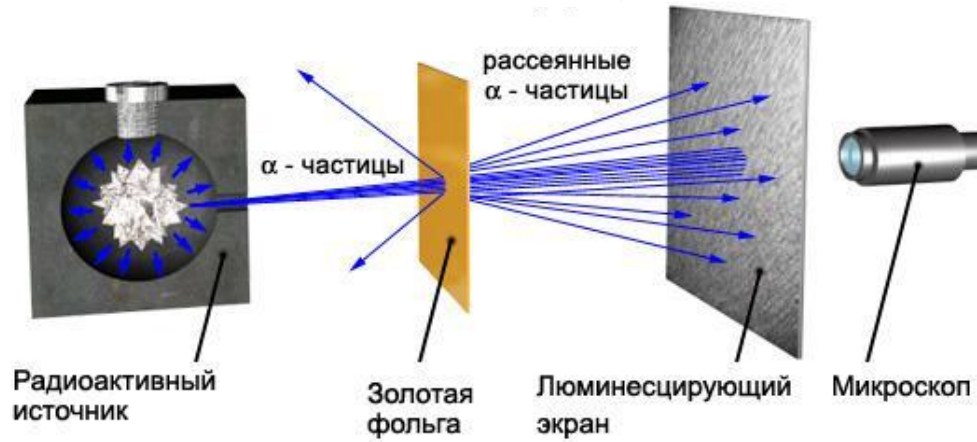
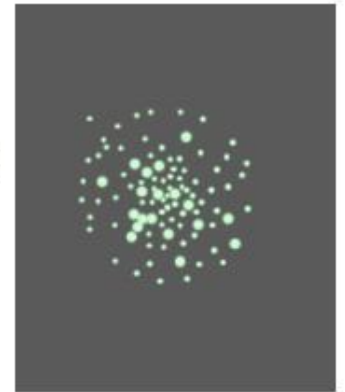
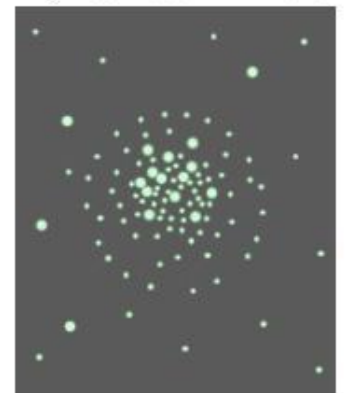


СХЕМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ α - ЧАСТИЦ С ЯДРОМ



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

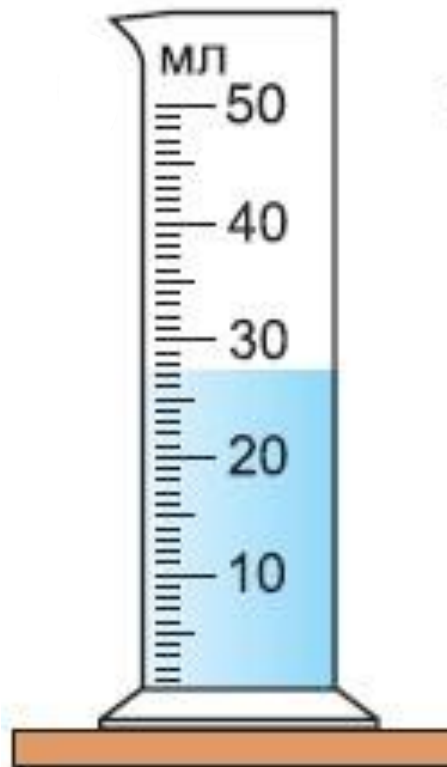
$$G = \{G\}[G]$$

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.

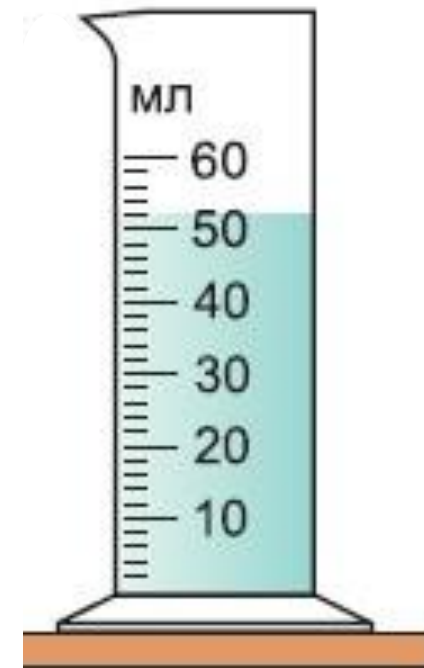
Предел измерений - 50 мл.

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.

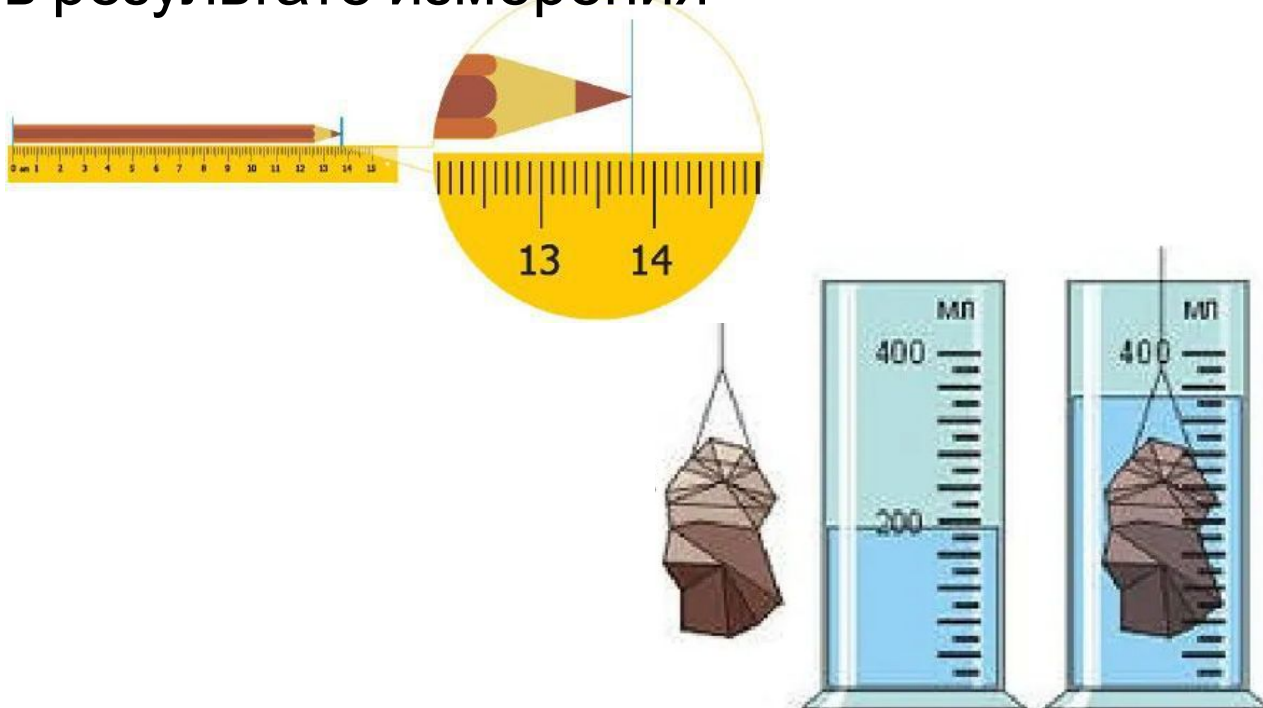


Для определения цены деления следует найти разность между двумя ближайшими оцифрованными делениями и разделить на количество делений.

Измерения

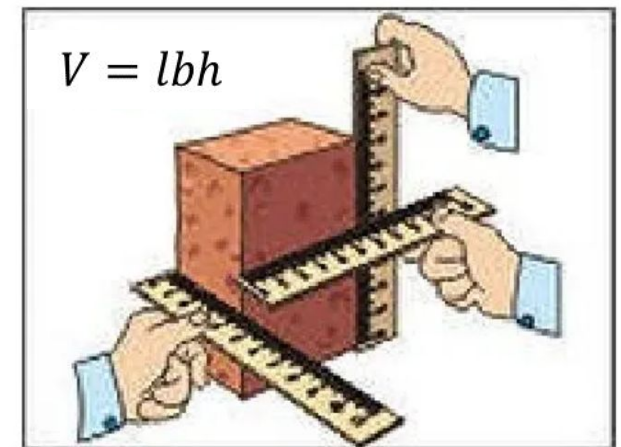
Прямы

Результат e получается непосредственно по шкале прибора в результате измерения

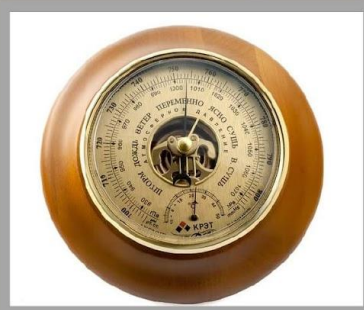


Косвенны

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



Измерительные приборы



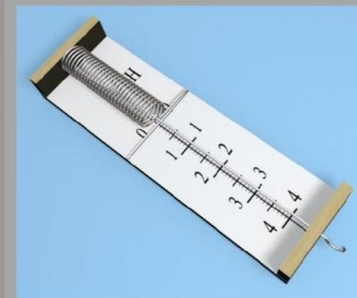
барометр

для измерения атмосферного
давления



манометр

для измерения давления газов



динамометр

для измерения силы



электрометр

для измерения величины электрического
заряда



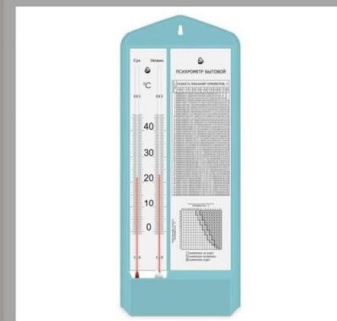
амперметр

для измерения силы
тока



вольтметр

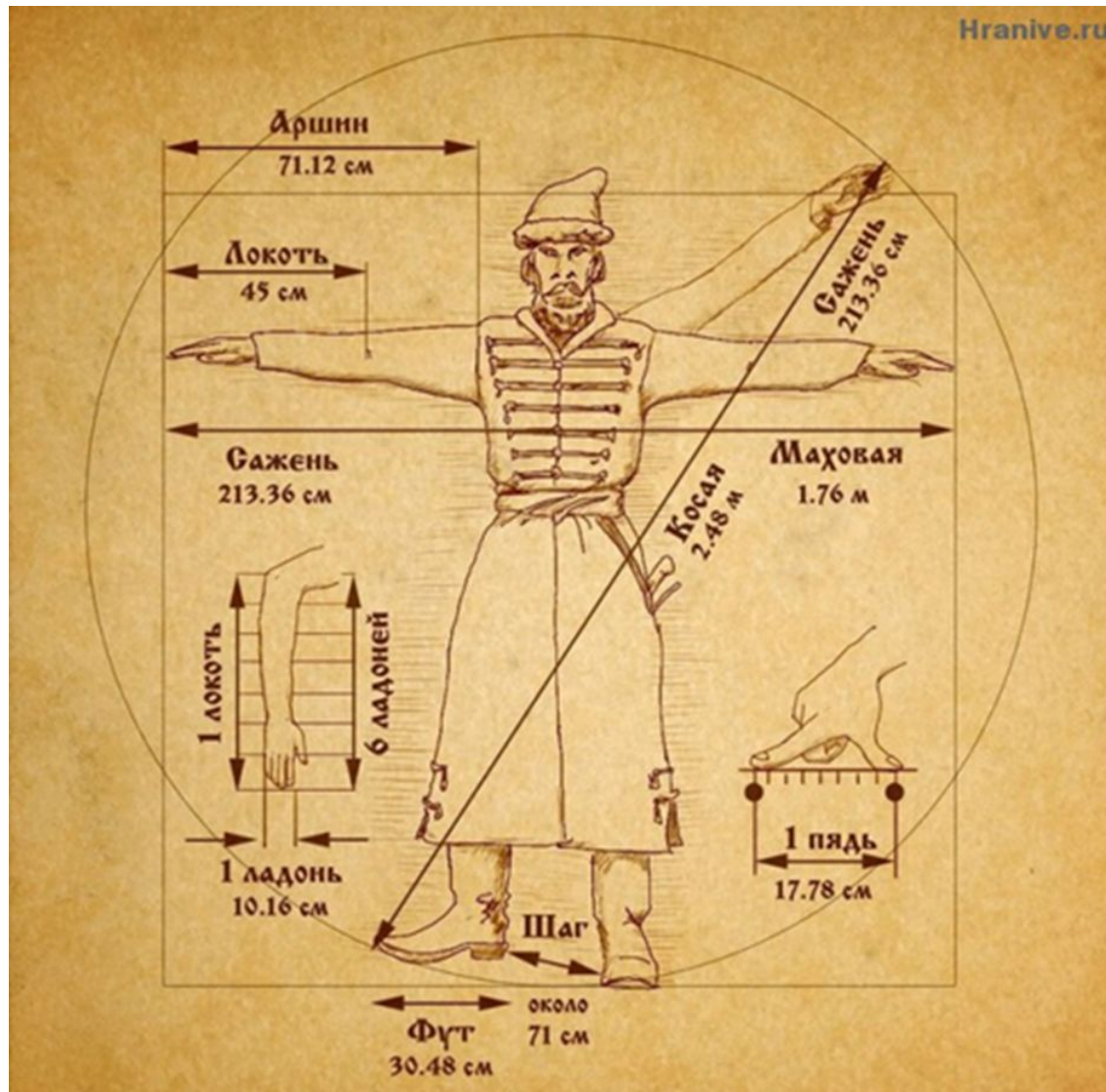
для измерения
напряжения



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

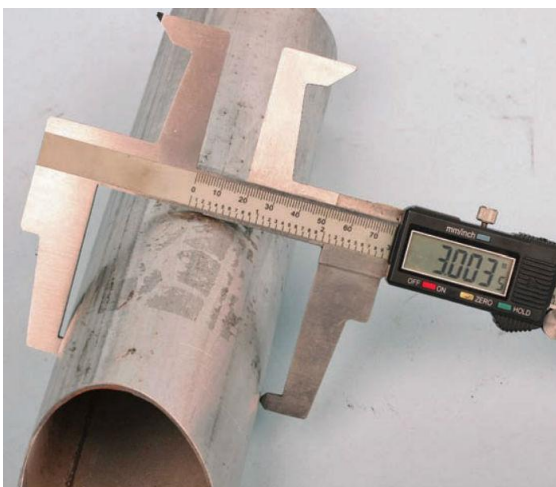
Использование дюйма в настоящее время



Толщина досок



Диаметры колес



Диаметры труб



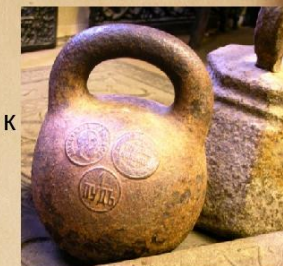
Диагонали экранов

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 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	ν	Моль	моль
Сила света	I_{ν}	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	μ
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: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Грн, $\epsilon_0 = 1$.
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: $c^2/\text{см}^2$), $\epsilon_0 = 1$.

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

В системе СГС $k = 1$

В системе СИ $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$$

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 Φ	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 ²	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/см², 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!

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

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

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

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

$$F = \rho g V$$

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

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

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

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

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

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

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

$$F_U = -kx$$