

Методы научного познания
Наблюдение, эксперимент, измерения
Основы теории погрешностей

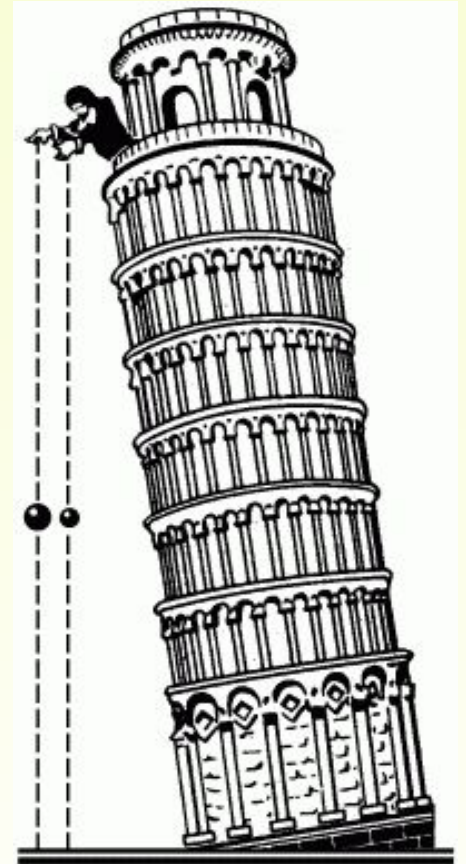
Методы научного познания (источники физических знаний)

- **НАБЛЮДЕНИЯ**
- **наблюдение исследуемого явления в точно учитываемых условиях, позволяющих следить за ходом явления и многократно воспроизводить его при повторении этих условий.**



• ГИПОТЕЗА и ЭКСПЕРИМЕНТ

- Эксперимент отличается от простого наблюдения тем, что мы не ждем явления, а сами вызываем явление.
- Эксперименты проводятся с определенной целью и по заранее составленному плану.
- Для составления плана эксперимента необходимо иметь *предположения* о протекании явления. Это называется выдвинуть *гипотезу*.
- Во время эксперимента производят *измерения*.



• ТЕОРИЯ

- Совокупность экспериментально подтвержденных гипотез и вытекающих из нее закономерностей составляют основание теории.
- Теория позволяет делать новые предположения в отношении явлений, которые не следуют из первоначальных – следствия теории. (В этом заключена прогностическая ценность теории)
- Все следствия теории также должны быть подтверждены экспериментально
- Все физические теории, имеют развитый математический аппарат.



ФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- **Измерить** какую-либо величину – *сравнить* ее с величиной, принятой за единицу.



- Данная единица называется *единицей измерения* рассматриваемой физической величины.

Способы измерений

- *Прямыми измерениями* называются измерения, результат которых получается непосредственно из опытных данных. Например, измерение напряжения при помощи вольтметра.
- *Косвенными измерениями* называются измерения, при которых искомая величина непосредственно не измеряется, а ее значение находится на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, полученными в результате прямых измерений.
- Косвенно измеряемые величины, как правило имеют *производные от основных единицы измерения.*

Измерение физических величин

- **Истинное значение физической величины** - значение физической величины, которое идеальным образом отражает в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство данного объекта. Истинное значение практически недостижимо.
- **Измеренное значение физической величины** - значение, полученное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.
- Для прямых измерений за истинное значение принимают среднее значение результатов многократных измерений.
- Для косвенных – рассчитанное из средних значений результатов прямых измерений.

Погрешности измерений

- Отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины называется *погрешностью измерения*.
- *Абсолютная погрешность измерения* - это разность между измеренным значением $X_{изм}$ физической величины и ее истинным значением $X_{ист}$, выраженная в единицах измеряемой величины
$$\Delta_{абс} = X_{изм} - X_{ист}$$
- *Относительная погрешность измерения* – это отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины, в процентах
$$\delta_{отн} = (\Delta_{абс} / X_{ист}) \cdot 100\% .$$
- Абсолютная погрешность измерения является суммарной погрешностью для двух составляющих: *систематической и случайной*.

Оценка абсолютной погрешности Δx

Различают три вида погрешностей –

- *грубые ошибки (промахи),*
 - *систематические и*
 - *случайные погрешности.*
- **Грубые ошибки (промахи)** - обычно бывают связаны с неисправностью измерительной аппаратуры, ошибкой экспериментатора в отсчете, либо с резким и кратковременным изменением условий проведения эксперимента.



Систематические погрешности

- погрешности, которые при многократном измерении одной и той же величины остаются постоянными или изменяются закономерным образом.

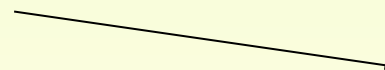
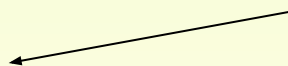
Систематические погрешности включают в себя погрешности метода, связанные с несовершенством теории, описывающей физическое явление, неточностью расчетной формулы, а также инструментальные (приборные) погрешности.

В микромире погрешности принципиально неустранимы, это связано с тем, измерительный акт предполагает влияние процедуры измерения на протекание явления. (Отражено в соотношениях неопределенности Гейзенберга).

При однократных измерениях будем учитывать только приборную погрешность. Полностью устранить приборную погрешность невозможно.

- **Приборная погрешность** – систематическая погрешность, возникающая вследствие ограниченной точности измерительных приборов.

Виды измерительных приборов

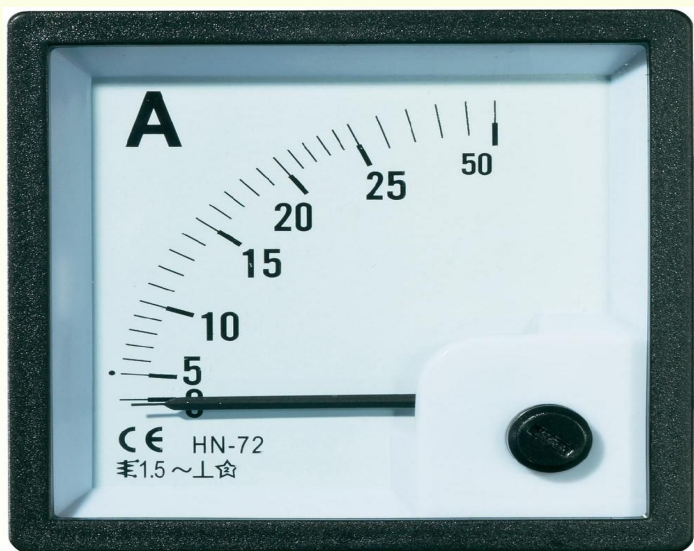


Аналоговые приборы

Цифровые приборы

Шкала прибора непрерывная

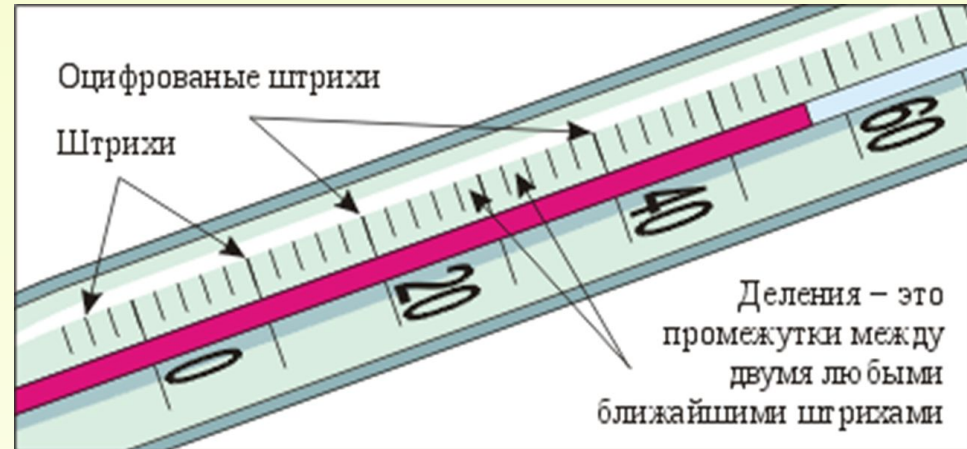
Шкала прибора дискретная



Приборная погрешность

- Для **аналоговых** приборов составляет половину цены деления прибора.

$$\Delta t^{\circ} = 1^{\circ} \text{C}$$



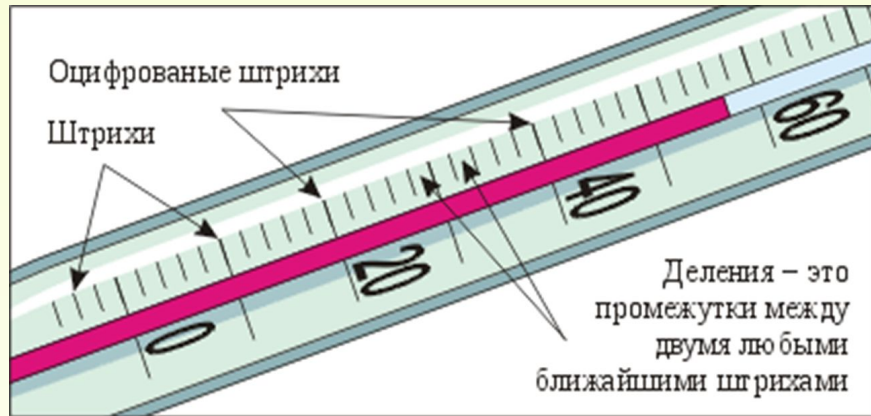
- Для **цифровых**, приборная погрешность – единица последнего разряда по шкале прибора.

$$\Delta t^{\circ} = 0,01^{\circ} \text{C}$$



- С учетом приборной погрешности, результат измерения должен быть записан в виде:

$$x = x_{cp} \pm \Delta x, \quad \delta x = \frac{\Delta x}{x_{cp}} \cdot 100\%$$



$$t = (57 \pm 1)^{\circ} C, \quad \delta t = 1,8\%$$

$$t = (36,40 \pm 0,01)^{\circ} C, \quad \delta t = 0,03\%$$



Округление результатов измерения

- **Среднее значение** результата прямого измерения округляется по обычным правилам и его младший разряд должен соответствовать разряду приборной погрешности.
- **Относительная погрешность** всегда округляется в большую сторону и может содержать 1-2 значащие цифры.

- Недопустимы результаты:
или

$$x = 22,8593 \pm 0,2 , \delta x = 0,874817\%$$

$$x = 825,2563 \pm 15 , \delta x = 1,817617\%$$

- После округления получим:

$$x = 22,9 \pm 0,2 , \delta x = 0,88\%$$

$$x = 825 \pm 15 , \delta x = 1,9\%$$

ПРИБОРНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ электроизмерительных приборов

При однократных измерениях с помощью электроизмерительного прибора приборная погрешность определяется по **классу точности прибора**.

Число, указывающее класс точности прибора, обозначает его максимальную относительную погрешность, выраженную в процентах от **предела измерения прибора**.

Так, для вольтметра, работающего в диапазоне измерений 0 — 30 В, класс точности 1,00 определяет, что абсолютная погрешность при положении стрелки в любом месте шкалы не превышает 0,3 В.

Класс точности прибора обозначается: γ

амперметры, вольтметры,
термометры, манометры и др.



Электроизмерительные
приборы по **степени точности**
делятся на **8** классов:

0,05;

0,1;

0,2;

0,5;

1;

1,5;

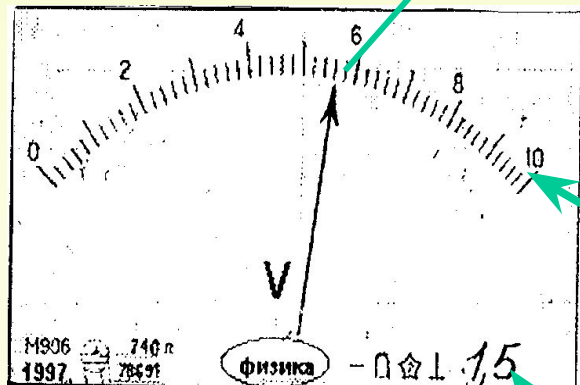
2,5;

4.





x Показание прибора



$x_{пред}$

Предел измерения шкалы прибора

γ

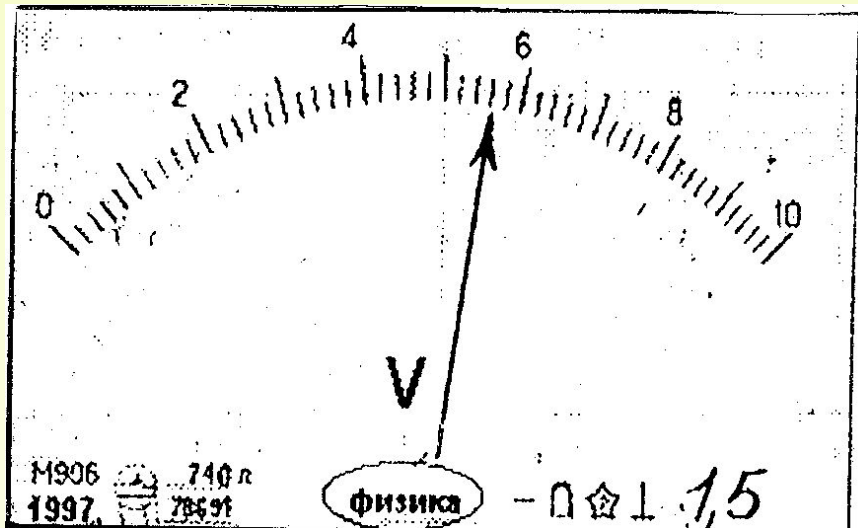
Класс точности

Зная класс точности прибора γ и предел измерения шкалы прибора (номинальное значение) x_H или ($x_{пред}$), можно найти абсолютную погрешность прибора.

$$\Delta x = \gamma \frac{x_{пред}}{100\%}$$

Относительная погрешность отдельного измерения равна произведению **класса точности** прибора на отношение номинальной величины x_n ($x_{пред.}$) к измеренной x .

$$\delta x = \gamma \frac{x_{пред.}}{x}$$



По приборной панели вольтметра, изображенного на рисунке, можем записать:

$$\gamma = 1,5\%$$

$$U_{\text{пред.}} = 10 \text{ В,}$$

$$U = 5,6 \text{ В}$$

$$\Delta U = \frac{1,5\% \cdot 10 \text{ В}}{100\%} = 0,15 \text{ В} = 0,2 \text{ В}$$

- абсолютная погрешность прибора

$$U_{\text{измер.}} = (5,6 \pm 0,2) \text{ В}$$

$$\delta U = \frac{0,2 \text{ В}}{5,6 \text{ В}} 100\% = 3,6\%$$

- результат соответствует пределу допустимой погрешности: $\leq 5\%$

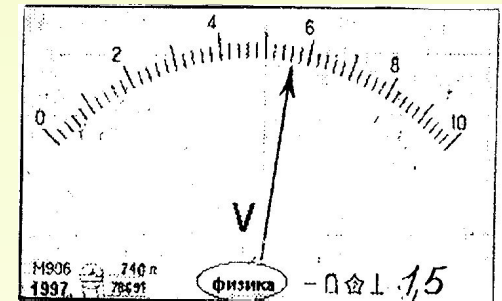
Следует подчеркнуть, что при

$$X \rightarrow X_{\text{пред}}$$

$$\delta x \rightarrow \gamma$$

т.е. относительная погрешность измерений уменьшается.

Минимальное значение $\delta x = \gamma$



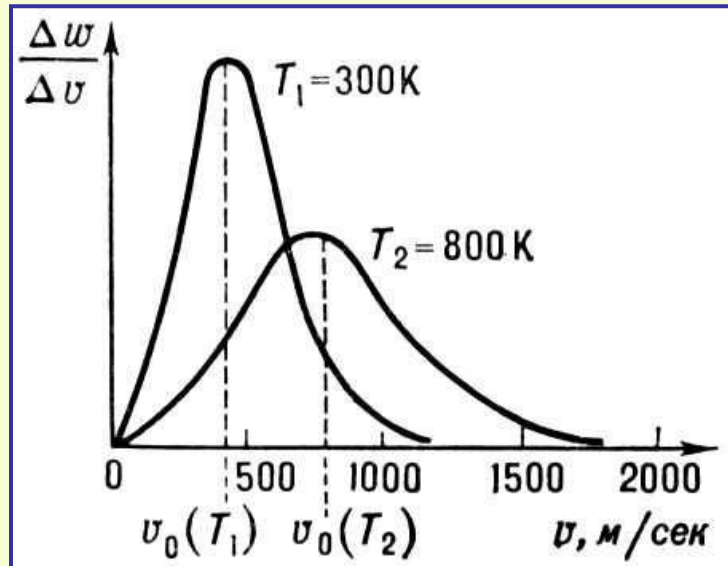
Относительная погрешность результата, полученного с помощью указанного вольтметра, зависит от значения измеряемого напряжения, становясь недопустимо высокой для малых напряжений.

При измерении напряжения 0,5 В погрешность составит 40 %. Как следствие, такой прибор не годится для исследования процессов, в которых напряжение меняется на 0,1 — 0,5 В.

Случайные погрешности

Случайными погрешностями измерений называются погрешности, абсолютная величина и знак которых изменяются при многократных измерениях случайным образом (непредсказуемо).

Случайные погрешности вызываются многими факторами, которые в большинстве не поддаются учету.

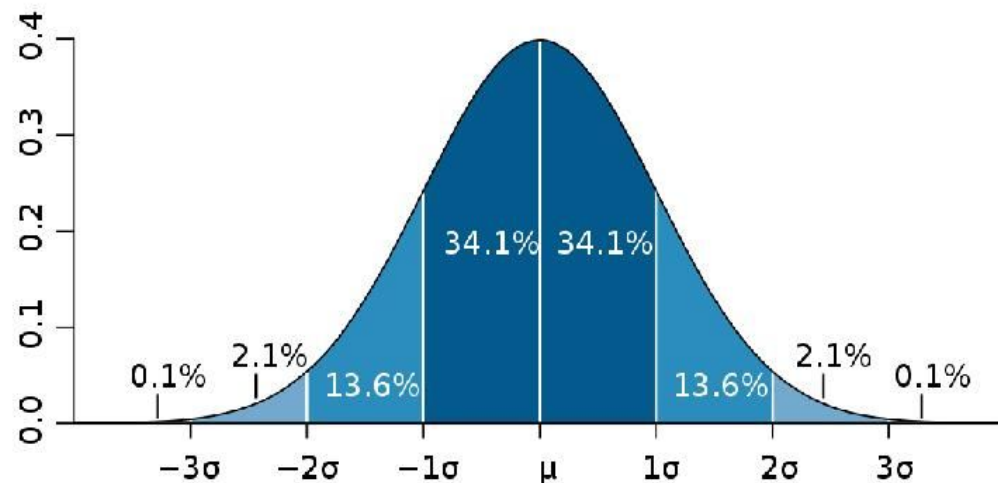


Расчет случайных погрешностей производится методами теории вероятностей и математической статистики.

Вычисление случайной погрешности

- Выполнив n измерений величины x , мы получим набор результатов отдельных измерений: $\{x_1; x_2; x_3; \dots x_i; \dots x_n\}$
- Из опыта следует, что обычно случайные погрешности удовлетворяют следующим условиям:
 - Случайное отклонение от истинного значения может принимать любое значение.
 - Одинаковые по модулю, но противоположные по знаку отклонения от истинного значения появляются одинаково часто.
 - Чем больше модуль отклонения от истинного значения, тем меньше вероятность его появления.

Нормальное распределение как стандарт



Если эти условия выполняются, то говорят, что случайные погрешности распределены по нормальному закону.

Оценка истинного значения ФВ

- В случае нормального распределения для оценки истинного значения величины следует взять **среднее арифметическое** результатов измерений:

$$X_{cp} \equiv \bar{X}$$

$$x_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Оценка случайной погрешности среднего

- Среднеквадратичное отклонение результата измерения** (или стандартное отклонение) :

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

Доверительный интервал и надежность результатов измерений

При числе измерений $n > 10$

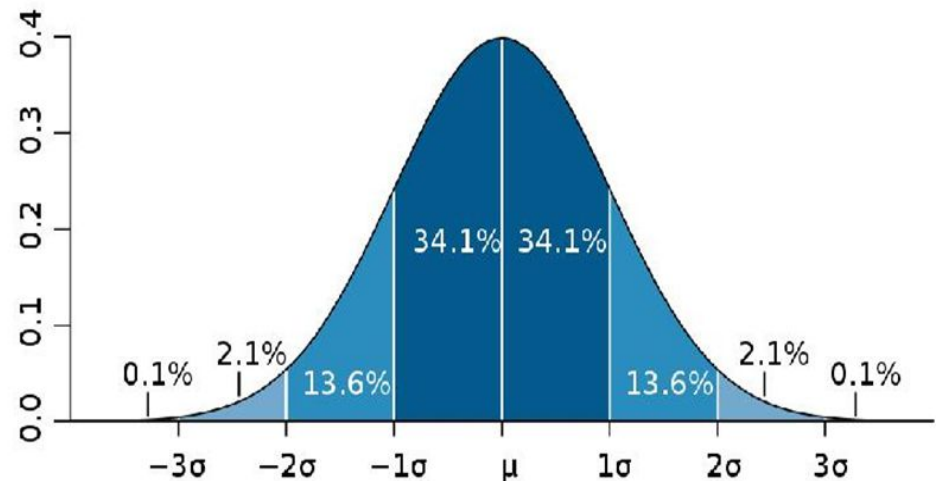
в интервал $\pm \sigma$ истинное значение ФВ попадёт с вероятностью $P = 0,68$:

$$x_{cp} - \sigma_{\bar{x}} \leq X \leq x_{cp} + \sigma_{\bar{x}}$$

в интервал $\pm 2\sigma$ истинное значение ФВ попадёт с вероятностью $P = 0,95$:

$$x_{cp} - 2\sigma_{\bar{x}} \leq X \leq x_{cp} + 2\sigma_{\bar{x}}$$

Нормальное распределение как стандарт



Надежность P полученного результата измерений ФВ - это вероятность того, что истинное значение ФВ лежит в пределах интервала, называемого доверительным:

$$(\bar{X} \pm \Delta X)$$

С ростом надежности результата растет и ширина доверительного интервала. Можно всегда получить результат сколь угодно надежный, но при этом будет расти его неопределенность. В физике, как правило, результаты считаются приемлемыми, если надежность $p \geq 0,95$.

На практике величину доверительного интервала, при заданной надежности, для данного ряда из n наблюдений получают, исходя из стандартного отклонения, с помощью таблицы коэффициентов Стьюдента - численный коэффициент, рассчитываемый на основе теории нормального распределения.

Коэффициент Стьюдента – это число, на которое надо умножить σ , чтобы получить величину случайной погрешности при заданной надежности p и данном числе измерений n .

$$\Delta x = t_{P,n} \sigma_{\bar{x}},$$

- где $t_{P,n}$ - коэффициент Стьюдента
- n – число измерений

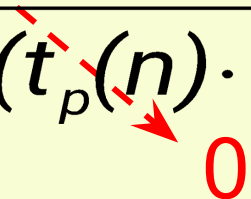
Полная абсолютная погрешность измеряемой ФВ

Находится путем квадратичного суммирования приборной и случайной.

$$\Delta x = \sqrt{(\Delta x_{\text{приб}})^2 + (t_p(n) \cdot \sigma)^2}$$

Если одна из величин под корнем значительно превосходит другую (*условно – более, чем в 5 раз*), то за абсолютную погрешность принимают наибольшую:

Например,

$$\Delta x = \sqrt{(\Delta x_{\text{приб}})^2 + (t_p(n) \cdot \sigma)^2}$$


Представление результата в стандартной форме

$$x = \bar{x} \pm \Delta x, \quad p = \dots, \quad \delta x = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\% = \dots$$

Округление результатов измерения

Все округления производят на последнем этапе обработки результатов измерений, т.е. перед записью результата измерений в стандартной форме.

- **Абсолютная погрешность** всегда округляется **в большую** сторону до **одной** значащей цифры.
- **Среднее значение** результата прямого измерения округляется по **обычным правилам** и его младший разряд должен **соответствовать** разряду приборной погрешности.
- **Относительная погрешность** всегда округляется **в большую** сторону и может содержать **1-2** значащие цифры.

Косвенные измерения и их погрешности

Косвенные измерения ФВ – это такие измерения, при которых значение искомой физической величины Q находится с помощью ее зависимости от других физических величин: $Q(x_1, \dots, x_n) = f(x_1, \dots, x_n)$.

При этом переменные x_1, \dots, x_n могут быть

1) физическими величинами, измеряемыми путем прямых измерений;

2) данными (характеристиками) установки;

3) табличными величинами, которые в данном опыте не измеряются, а берутся из справочных таблиц.

- Если относительные погрешности прямых измерений малы, то погрешность косвенно измеряемой величины ΔQ и погрешность непосредственно измеряемой величины Δx связаны соотношением:

$$\Delta Q = \left| \frac{dQ}{dx} \right|_{x=\bar{x}} \cdot \Delta x$$

- Если непосредственно измеряемых величин несколько, то берутся частные производные по всем:

$$\Delta Q_i = \left| \frac{\partial Q}{\partial x_i} \right|_{x=\bar{x}} \cdot \Delta x_i$$

Алгоритм обработки результатов косвенных измерений

1) Рассчитать среднее значение косвенно измеряемой величины

$$\bar{Q} = f(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n)$$

2) Рассчитать абсолютную погрешность:

$$\Delta Q = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial Q}{\partial x_n} \Delta x_n\right)^2} = \sqrt{\sum \left(\frac{\partial Q}{\partial x_i} \Delta x_i\right)^2}$$

Где $\Delta x_1; \Delta x_2; \Delta x_3; \dots \Delta x_i; \dots \Delta x_n$ - погрешности прямых измерений.

3) Рассчитать относительную погрешность:

$$\delta Q = \frac{\Delta Q}{\langle Q \rangle} \cdot 100\%$$

4) Предварительно округлив, представить результат в виде:

$$Q = (\bar{Q} \pm \Delta Q) \dots \% \delta Q =$$

Пример:

$$Q = 5x_1 + 10(x_2)^3$$

Находим оценку ФВ: $\bar{Q} = 5\bar{x}_1 + 10(\bar{x}_2)^3$

$$\bar{Q} = f(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n)$$

Рассчитываем абсолютную погрешность:

$$\Delta Q = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2} = \sqrt{(5\Delta x_1)^2 + (30\bar{x}_2^2)^2 (\Delta x_2)^2}$$

$$\delta Q = \frac{\Delta Q}{\langle Q \rangle}$$

Важный частный случай – степенная зависимость

Пусть: $Q = A \cdot x_1^{n_1} \cdot x_2^{n_2},$

Тогда: $\delta Q = \sqrt{(n_1 \cdot \delta x_1)^2 + (n_2 \cdot \delta x_2)^2}.$

Поскольку: $\delta Q = \frac{\Delta Q}{\langle Q \rangle},$ то: $\Delta Q = \delta Q \cdot \langle Q \rangle.$

Пример: $Q = 7 \cdot x_1^2 \cdot x_2^3$

$$\delta Q = \sqrt{(2 \cdot \delta x_1)^2 + (3 \cdot \delta x_2)^2}$$

Найдите ошибку в записи результатов

1) $T = (133,2 \pm 0,4) \text{ с}$, $\delta T = 0,24 \%$, $(dT=0,1 \text{ с})$;

2) $L = (75,7 \pm 0,4) \text{ см}$, $\delta L = 0,53 \%$, $(dL=0,1 \text{ мм})$;

3) $M = (1.5780 \pm 0,001) \text{ г}$, $\delta M = 0,24 \%$, $(dM=1 \text{ мг})$;

4) $V = (77,0 \pm 0,4) \text{ км/ч}$, $\delta V = 0,52 \%$, $(dV=1 \text{ км/ч})$;

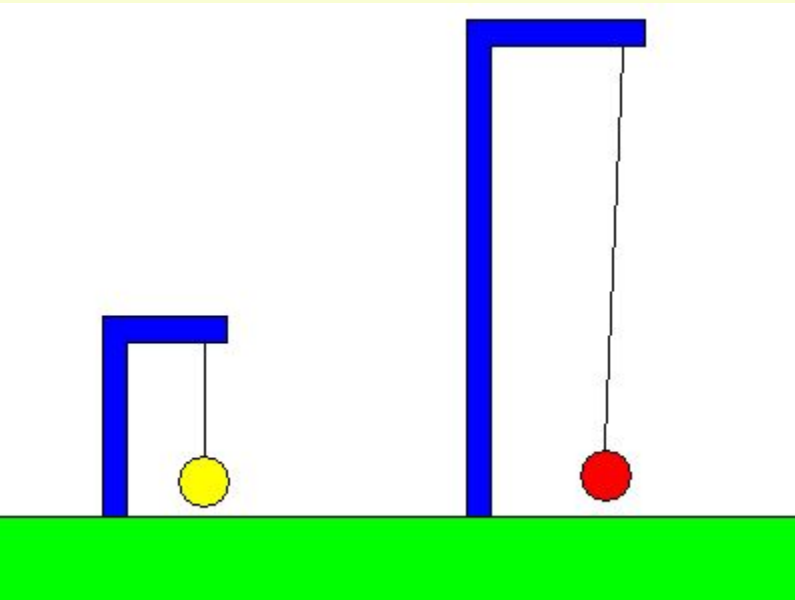
5) $\nu = (476 \pm 20) \text{ Гц}$, $\delta \nu = 3\%$, $(d\nu=1 \text{ Гц})$

Определение ускорения свободного падения с помощью математического маятника

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

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$$

L – длина нити,
T- период колебания



1) Измерив L и T, рассчитать g:

$$g = \frac{4\pi^2 \bar{L}}{(\bar{T})^2}$$

Для определения ускорения свободного падения g по формуле математического маятника были выполнены многократные измерения его длины l и периода T . Получились такие ряды наблюдений:

$$l = 32,0; 31,9; 32,2; 32,0; 31,8; 31,9; 32,1 \text{ см}$$

$$T = 1,15; 1,17; 1,12; 1,13; 1,10; 1,09; 1,14 \text{ с.}$$

Приборные погрешности: $dl = 0,1 \text{ см}$, $dT = 0,01 \text{ с}$.

Определите g с надежностью $p = 0,95$.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$$

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i$$

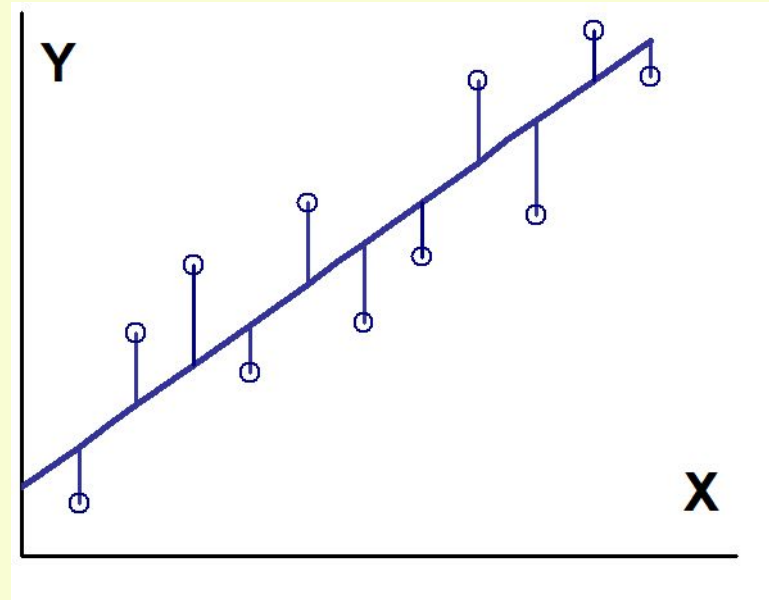
$$g = (\bar{g} \pm \Delta g) \text{ м / с}^2, \quad \delta g = \underline{\hspace{2cm}} \%$$

Метод наименьших квадратов

$$y = Ax + B$$

В методе наименьших квадратов утверждается, что наилучшими оценками истинных значений коэффициентов A и B служат значения, при которых сумма квадратов отклонений измеренных y_i от истинных $(Ax_i + B)$ минимальна:

$$\sum (y_i - B - Ax_i)^2 \rightarrow \min$$



Позволяет наиболее точно рассчитать коэффициенты A и B и их погрешности ΔA и ΔB по экспериментальным парам $\{x, y\}$

Считаем на ПК!!!!!!

Основные положения МНК

- Известно, что величины x и y связаны линейной зависимостью, однако коэффициенты A и B неизвестны. $y = Ax + B$
- Предполагается, что погрешность измерения величины x значительно (по крайней мере, на порядок) меньше погрешности измерения величины y , поэтому погрешностью в измерении x можно пренебречь.
- Согласно теории метода МНК, значения A и B следует вычислять следующим образом.
 - Сначала вычисляем вспомогательную величину D :

$$D = n \sum x_i^2 - \left(\sum x_i \right)^2.$$

- Затем

$$A = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{D}$$

- Вычисленное значение A используем для вычисления B по формуле:

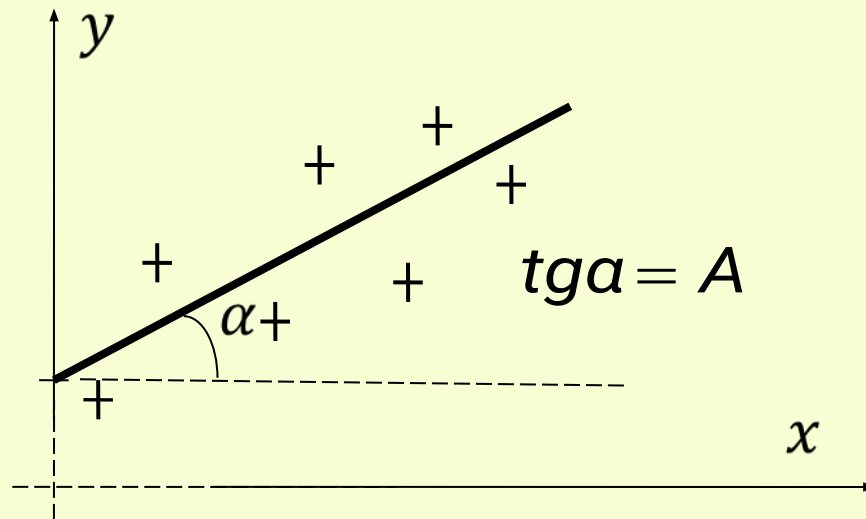
$$B = \frac{\sum y_i - A \sum x_i}{n}$$

- Для вычисления стандартных отклонений величин y , A и B , предварительно вычисляется значение величины Σ , при найденных значениях A и B , оно обозначается как Σ_{min} :

$$\Sigma_{min} = \sum (y_i - B - Ax_i)^2$$

$$\sigma_y^2 = \frac{\Sigma_{min}}{n-2}, \quad \sigma_A^2 = \frac{\sigma_y^2 n}{D},$$

$$\sigma_B^2 = \frac{\sigma_y^2 \sum x_i^2}{D}.$$



- Общий вид графика, представляющего результаты, обработанные по методу наименьших квадратов.
- Крестиками отмечены точки, полученные в эксперименте, прямая проведена по вычисленным значениям коэффициентов A и B . На прямой лежат точные значения.

- Если зависимость между интересующими нас величинами нелинейная, то часто путем замены переменных ее можно преобразовать к линейной.

$$\underbrace{T^2}_y = \frac{4\pi^2}{g} \underbrace{L}_x; \quad A = \frac{4\pi^2}{g}; \quad \Rightarrow \quad g = \frac{4\pi^2}{A}$$

А как считать погрешность g ?

$$Q = \frac{g}{\Phi} = \frac{(\bar{g} \pm \Delta g) \mathcal{M} / c^2}{x_1^{n_1} x_2^{n_2}} \quad \delta g = \frac{\delta g}{\bar{g}} = \frac{\%}{\sqrt{(n_1 \cdot \delta x_1)^2 + (n_2 \cdot \delta x_2)^2}}$$

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$$

$$\delta g = \sqrt{(1 \cdot \delta L)^2 + (2 \cdot \delta T)^2}$$

$$\delta L = \frac{\Delta L}{\bar{L}} \approx \frac{(\sigma L)_{\text{приб}}}{\bar{L}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

$$\delta T = \frac{\Delta T}{\bar{T}} \approx \frac{\sigma_T}{\bar{T}}$$

$$\delta g = \frac{\Delta g}{\bar{g}} \Rightarrow \Delta g = \delta g \cdot \bar{g}$$

$$g = (\bar{g} \pm \Delta g) \mathcal{M} / c^2, \quad \delta g = \underline{\hspace{2cm}} \%$$

Приложение

- Единицы измерения
- Международная система единиц СИ

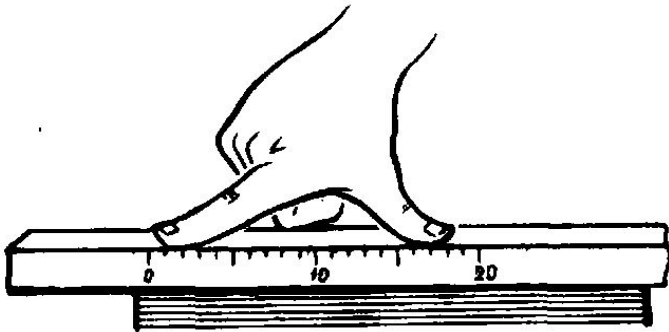
САМЫЕ ДРЕВНИЕ МЕРЫ

- **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).

На Руси издавна использовали аршин («арш» – локоть), ту же меру длины, которой пользовались египтяне.

Пядь, или четверть (18 см) = $1/4$ аршина

$1/16$ аршина – вершок (4, 4 см)

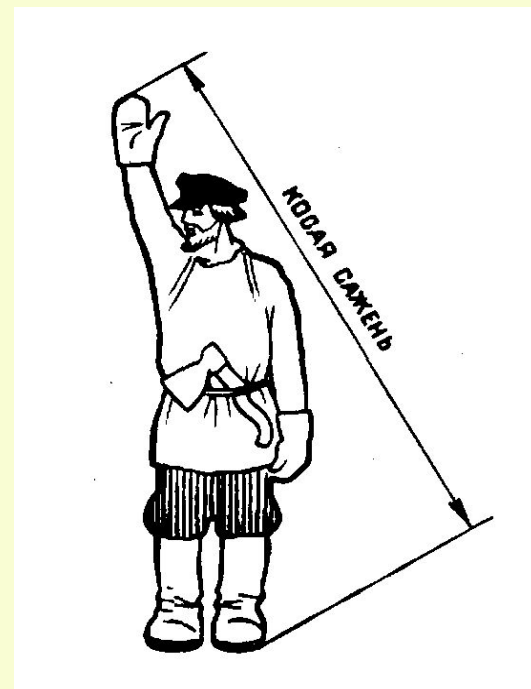


САЖЕНЬ

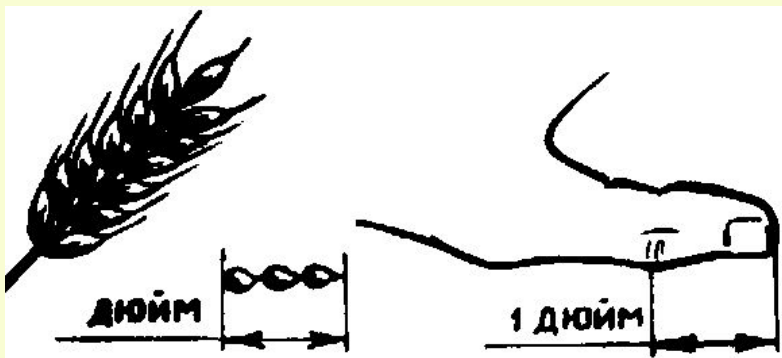
Маховая



Косая



В Англии использовался дюйм, ярд и фут.



Переход к единой системе мер

Май 1875г.

Подписана Международная метрическая конвенция.

Создано Международное бюро мер и весов (Париж).

Метр



В 1782 г. приняли за единицу длины $1/40000000$ часть длины земного меридиана, проходящего через Париж. Измерить длину меридиана было поручено астрономам Мешену и Деламберу. Работа продолжалась шесть лет.

На основании полученных учеными данных, из сплава 90% платины и 10% иридия был изготовлен эталон новой единицы, хранившийся в г. Севре во Франции .

Эту единицу называли **метром** — от греческого слова «метрон», что значит «мера».

С основного эталона метра были сделаны копии. Копия №28 долго служила государственным эталоном метра России.

В качестве эталона должно быть что-то абсолютно неизменное, желательно общедоступное и чтобы не нужно было его хранить в сейфе.

Октябрь 1983г.

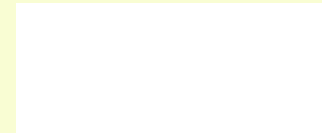
XVII Генеральная конференция по мерам и весам.

“Метр есть длина пути проходимого светом в вакууме за интервал времени, равный $1/299792458$ секунды”

(Рекомендация 1)

“Значение скорости света в вакууме

$c=299792458$ м/с точно!”



Секунда

Термин заимствован в XVIII веке из латыни, где *secunda* — сокращение выражения *pars minuta secunda* — «часть мелкая вторая» (часа), в отличие от *pars minuta prima* — «часть мелкая первая» (часа).

1967 г

Секунда — время, равное 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

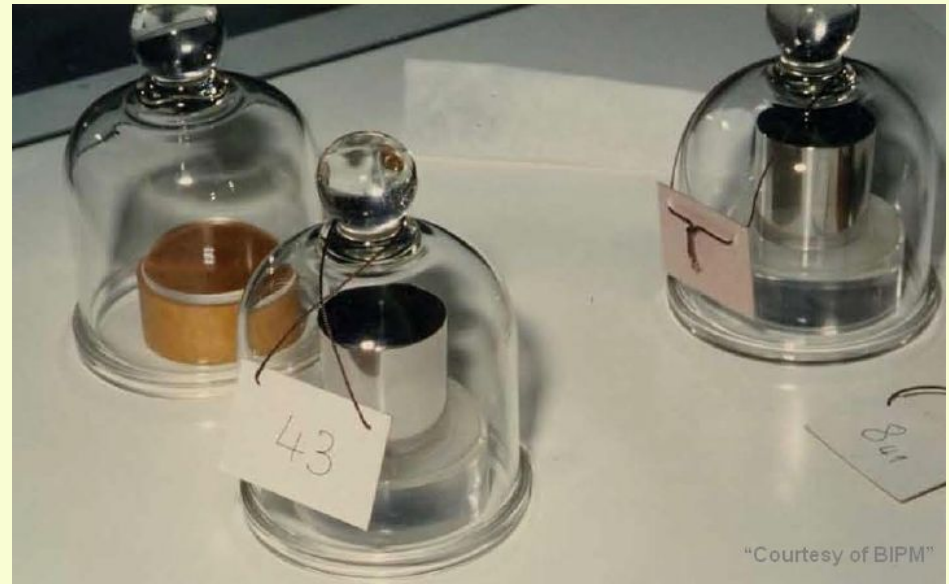
В **1997** году Международный комитет мер и весов (МКМВ) уточнил, что данное определение относится к атому цезия, находящемуся в покое при температуре 0 К.

Килограмм

До 20 мая 2019 года килограмм оставался последней единицей СИ, определенной на основе изготовленного человеком объекта.

Определение было основано на сравнении с эталонным образцом и звучит как: «килограмм — это единица измерения массы, равная массе международного прототипа килограмма».

Международный прототип (эталон) килограмма хранился в Международном бюро мер и весов (расположено в Севре близ Парижа) и представлял собой цилиндр диаметром и высотой 39,17 мм из платино-иридиевого сплава (90 % платины, 10 % иридия).



Одна из копий эталона килограмма (43-я)

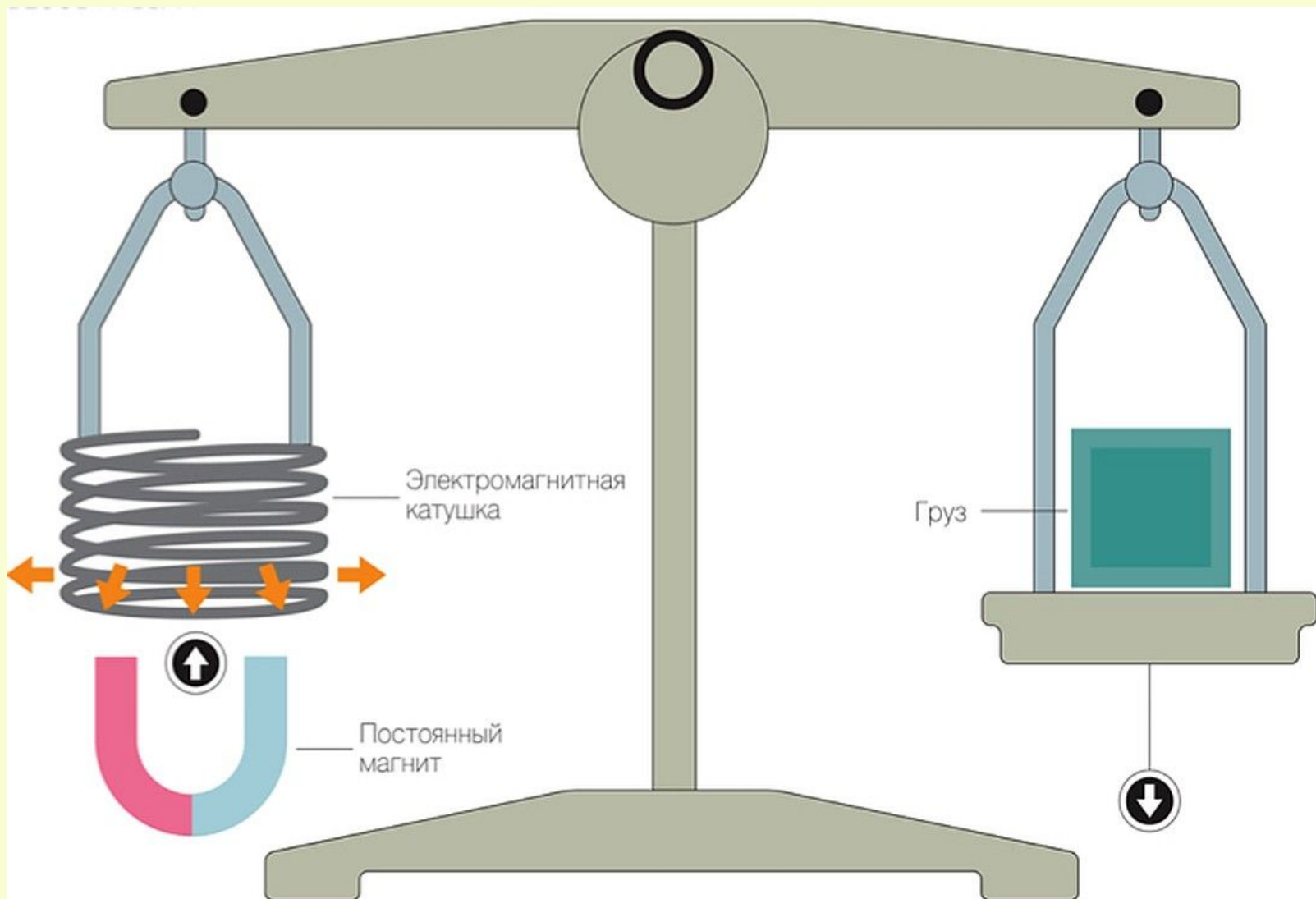
В 2019 году вступили в силу изменения определений основных единиц Международной системы единиц (СИ), состоящие в том, что основные единицы СИ стали определяться через фиксированные значения фундаментальных физических постоянных.

При этом величины всех единиц остались неизменными, однако из их определений окончательно исчезла привязка к материальным эталонам.

Подобные изменения предлагались давно, однако лишь к началу XXI века это стало возможно. Окончательное решение об изменениях было принято XXVI Генеральной конференцией по мерам и весам в 2018 году.

Принципиальная схема работы весов Киббла: магнитное поле, генерируемое током в катушке, создает силу, которая уравнивает груз.

Весы Киббла





По некоторым оценкам, весы Киббла по своей сложности стоят в одном ряду с адронным коллайдером.

«Независимыми» странами стали США, Швейцария, Великобритания, Канада, Китай, Германия. России тоже хотелось бы иметь такие возможности, но у нас нет своих весов Киббла.

Стоимость проекта по созданию таких весов в Германии составляла порядка 150 миллионов евро, и им потребовалось три года.

Хранитель государственного эталона Виктор Снегов поделился оценками отечественного проекта: для получения «независимости» потребуется около 1,2 миллиарда рублей и примерно пять лет.

«Пока, в течение ближайших десяти лет, мы можем использовать старый эталон, в том же режиме, что был раньше. Через десять лет нам потребуется поверка — именно для этого мы приобрели за границей вакуумный компаратор, поскольку новые правила требуют именно вакуумного взвешивания, тогда как раньше сравнивали в воздухе», — говорит Снегов.



Основные единицы Международной системы единиц СИ

Наименование единицы	Обозначение		Измеряемая величина
	международно е	русское	
Килограмм	kg	кг	Масса
Метр	m	м	Длина
Секунда	s	с	Время
Ампер	A	А	Сила электрического тока
Кельвин	K	К	Термодинамическая температура
Моль	mol	моль	Количество вещества
Кандела	cd	кд	Сила света

Дополнительные единицы

- Радиан (рад) – единица плоского угла
- Стерadian (ср) – единица телесного угла

Радиан — это угол между двумя радиусами окружности, дуга между которыми равна радиусу.

Стерadian — это телесный угол с вершиной в центре сферы, вырезающий на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

Производные единицы

- Квадратный метр (м^2) – единица площади
- Кубический метр (м^3) – единица объема
- Килограмм на куб. метр ($\text{кг}/\text{м}^3$) – единица плотности
- Метр в секунду ($\text{м}/\text{с}$) – единица скорости
- Метр на секунду в квадрате ($\text{м}/\text{с}^2$) – единица ускорения
- Ньютон ($\text{Н} = \text{кг м}/\text{с}^2$) – единица силы
- Джоуль ($\text{Дж} = \text{Н м}$) - единица работы, энергии, количества теплоты
- Ватт ($\text{Вт} = \text{Дж}/\text{с}$) - единица мощности
- Кулон ($\text{Кл} = \text{А с}$) - единица количества электричества
- Вольт ($\text{В} = \text{Вт}/\text{А}$) - единица электрического напряжения, ЭДС

- Вольт на метр (В/м) - единица напряженности электрического поля
- Ом ($\text{Ом} = \text{В/А}$) - единица электрического сопротивления
- Фарада ($\text{Ф} = \text{Кл/В}$) - единица электрической емкости
- Вебер ($\text{Вб} = \text{В} \cdot \text{с}$) - единица потока магнитной индукции
- Генри ($\text{Гн} = \text{Вб/А}$) - единица индуктивности
- Тесла ($\text{Тл} = \text{Вб/м}^2$) - единица магнитной индукции
- Ампер на метр (А/м) - единица магнитодвижущей силы
- Сименс ($\text{См} = \text{Ом}^{-1}$) – единица проводимости
- Герц ($\text{Гц} = \text{с}^{-1}$) - единица частоты
- Люмен ($\text{лм} = \text{кд} \cdot \text{ср}$) – единица светового потока
- Кандела на квадратный метр (кд/м^2) – единица яркости
- Люкс ($\text{лк} = \text{лм/м}^2$) – единица освещенности

Определение основных единиц

- **метр** - длина пути, которую проходит свет в вакууме за $1/299792458$ долю секунды
- **килограмм** - масса, равная массе международного эталона килограмма
- **секунда** - продолжительность 9192631770 периодов излучения, которое соответствует переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия -133 при отсутствии возмущения со стороны внешних полей
- **ампер** - сила тока, который при прохождении по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, создал бы между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины;
- **кельвин** - $1/273,16$ часть термодинамической температуры тройной точки воды
- **кандела** - сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср
- **моль** - количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько атомов содержится в нуклиде углерода-12 массой 0,012 кг

Приставки к единицам

Наименование	Размерность	Русское обозначение	Международное обозначение
Йокто	10^{-24}	й	
Зепто	10^{-21}	з	у
Атто	10^{-18}	а	z
Фемто	10^{-15}	ф	a
Пико	10^{-12}	п	f
Нано	10^{-9}	н	p
Микро	10^{-6}	мк	n
Милли	10^{-3}	м	μ
Санتي	10^{-2}	с	m
Деци	10^{-1}	д	c
Дека	10	да	d
Гекто	10^2	г	da
Кило	10^3	к	h
Мега	10^6	М	k
Гига	10^9	Г	M
Тера	10^{12}	Т	G
Пента	10^{15}	П	T
Экза	10^{18}	Э	P
Зета	10^{21}	З	E
Йотта	10^{24}	Й	Z
			Y