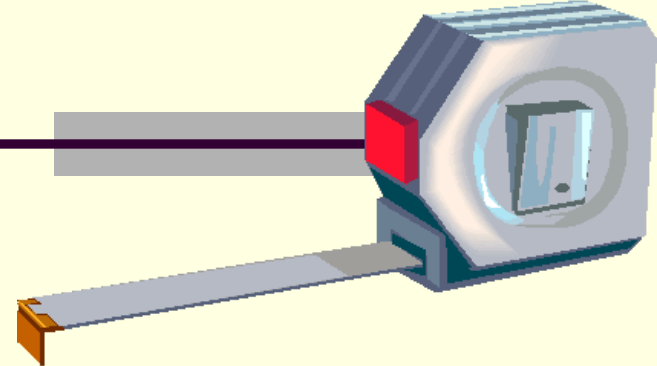


# **ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.**

**ВИДЫ И МЕТОДЫ  
ИЗМЕРЕНИЙ.**

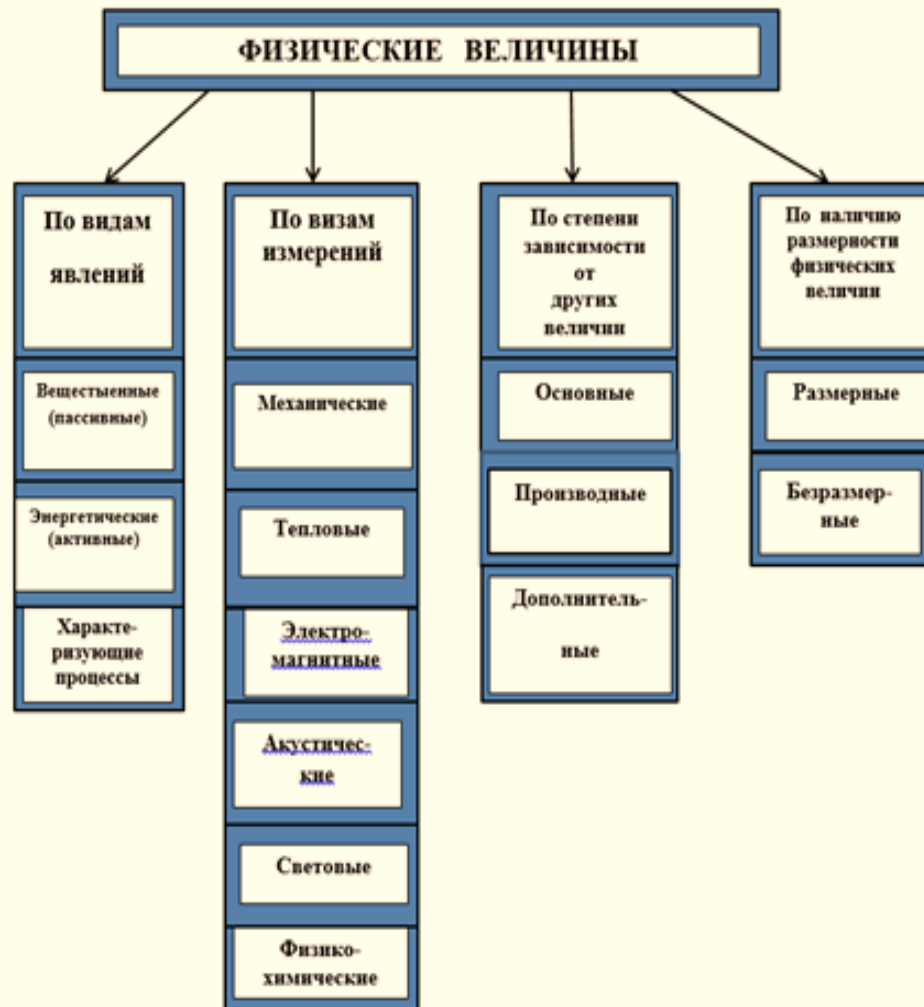


# Измерения и их виды

# Физическая величина как объект измерения

**Физическая величина** — это свойство общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта.

**Метрология** занимается изучением, обработкой, передачей и хранением физических величин.



# Измерение

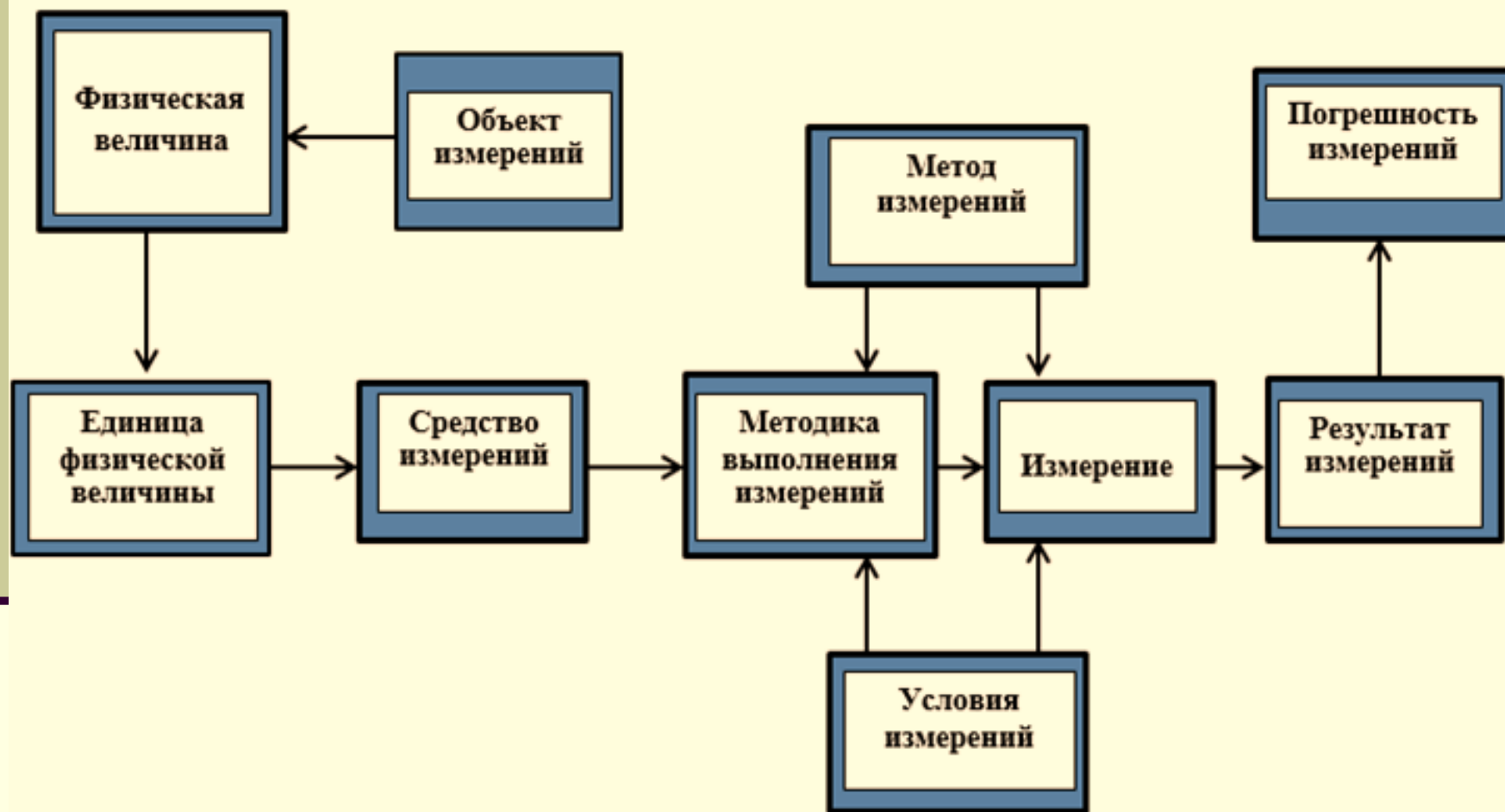
**Измерение физической величины** заключается в сопоставлении этой величины с однородной величиной, принятой за единицу.

В законе РБ “Об обеспечении единства измерений” приведено следующее определение. **Измерение** - совокупность операций, выполняемых для определения значения величины.

**В метрологии используется термин "измерение",** под которым понимается совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

**Цель измерения** заключается в получении количественной информации об измеряемом объекте с гарантированной достоверностью.

# Схема измерения

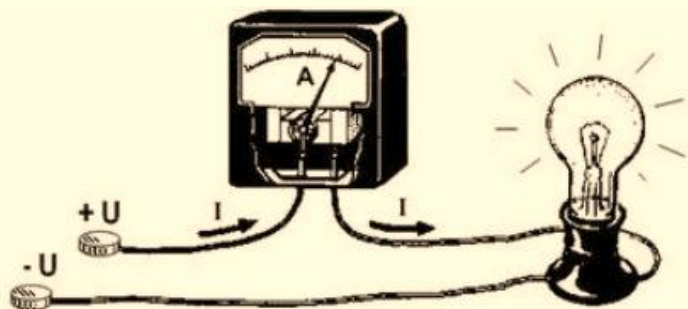


# Виды измерений



# Прямые измерения

**Прямые измерения** — измерения, при которых искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных (измерения массы на весах, температуры термометром, длины с помощью линейных мер). *Прямые измерения можно выразить формулой  $Q = X$ , где  $Q$  - искомое значение измеряемой величины, а  $X$  - значение, непосредственно получаемое из опытных данных.*



При прямых измерениях экспериментальным операциям подвергают измеряемую величину, которую сравнивают с мерой непосредственно или же с помощью измерительных приборов, градуированных в требуемых единицах.

# Косвенные измерения

**Косвенные измерения** — измерения, при которых искомое значение находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, полученными прямыми измерениями.

*Значение измеряемой величины вычисляют по формуле*

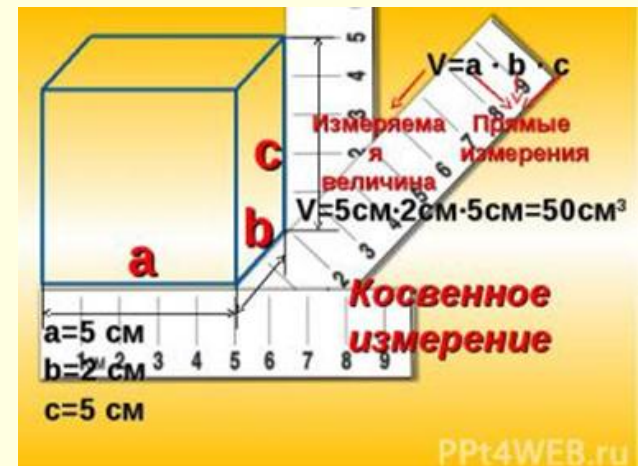
$$Q = F(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

*где Q - искомое значение косвенно измеряемой величины;*

*F - функциональная зависимость, которая заранее известна,*

*$x_1, x_2, \dots, x_n$  - значения величин, измеренных прямым способом.*

**Примеры косвенных измерений: определение объема тела по прямым измерениям его размеров, нахождение удельного электрического сопротивления проводника по его сопротивлению, длине и площади поперечного сечения.**



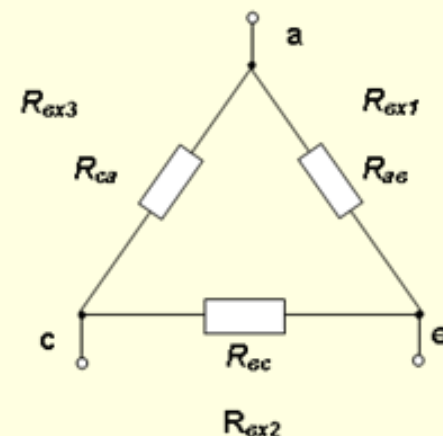


# Совокупные измерения

**Совокупные** - это такие измерения, при которых значения измеряемых величин определяют по результатам повторных измерений одной или нескольких одноименных величин при различных сочетаниях мер или этих величин. Значение искомой величины определяют решением системы уравнений, составляемых по результатам нескольких прямых измерений.

*Примером совокупных измерений является определение массы отдельных гирь набора (калибровка по известной массе одной из них и по результатам прямых сравнений масс различных сочетаний гирь).*

*Измерение сопротивлений резисторов, соединенных треугольником, путем измерений сопротивлений между различными вершинами треугольника; по результатам трех измерений определяют сопротивления резисторов.*



# Совместные измерения

**Совместные** - это измерения, производимые одновременно двух или нескольких разноименных величин для нахождения функциональной зависимости между ними.

*Примерами совместных измерений являются определение длины стержня в зависимости от его температуры или зависимости электрического сопротивления проводника от давления и температуры.*

$$\left. \begin{aligned} R_{t_1} &= R_0(1 + \alpha t_1 + \beta t_1^2); \\ R_{t_2} &= R_0(1 + \alpha t_2 + \beta t_2^2); \\ R_{t_3} &= R_0(1 + \alpha t_3 + \beta t_3^2). \end{aligned} \right\}$$

# Абсолютные и относительные измерения

**Абсолютными** называют измерения, которые основаны на прямых измерениях одной или нескольких основных величин или на использовании значений физических констант.

*Примерами абсолютных измерений являются: определение длины в метрах, силы электрического тока в амперах, измерение силы  $F = mg$  основано на измерении основной величины — массы  $m$  и использовании физической постоянной  $g$  в точке измерения массы.*

**Относительными** называют измерения, при которых искомую величину сравнивают с одноименной величиной, играющей роль единицы или принятой за исходную.

*Примером относительных измерений является измерение относительной влажности воздуха, определяемой как отношение количества водяных паров в 1 куб.м воздуха к количеству водяных паров, которое насыщает 1 куб.м воздуха при данной температуре. Измерение активности радионуклида в источнике по отношению к активности радионуклида в однотипном источнике, аттестованном в качестве эталонной меры активности.*

# Виды измерений

---

**Однократное измерение** — измерение, выполняемое один раз (*измерение конкретного времени по часам*).

**Многократные измерения** — измерения одной и той же физической величины, результат которых получают из нескольких следующих друг за другом измерений. Обычно многократными измерениями считаются те, которые производятся свыше трех раз.

**Равноточные измерения** — ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях.

**Неравноточные измерения** — ряд измерений какой-либо величины, выполненных различными по точности средствами измерений и в разных условиях.

# Виды измерений

---

**Статические** - это измерения, при которых измеряемая величина остается постоянной во времени. *Таковыми измерениями являются, например, измерения размеров изделия, величины постоянного давления, температуры и др.*

**Динамические** - это измерения, в процессе которых измеряемая величина изменяется во времени, *например, измерение давления и температуры при сжатии газа в цилиндре двигателя.*

**Технические измерения** — измерения, выполняемые при помощи рабочих средств измерений с целью контроля и управления научными экспериментами, контроля параметров изделий и т. д. *(измерение давления воздуха в автомобильной камере).*

**Метрологические измерения** — измерения при помощи эталонов и образцовых средств измерений с целью нововведения единиц физических величин или передачи их размеров рабочим средствам измерений.

# Средства измерений

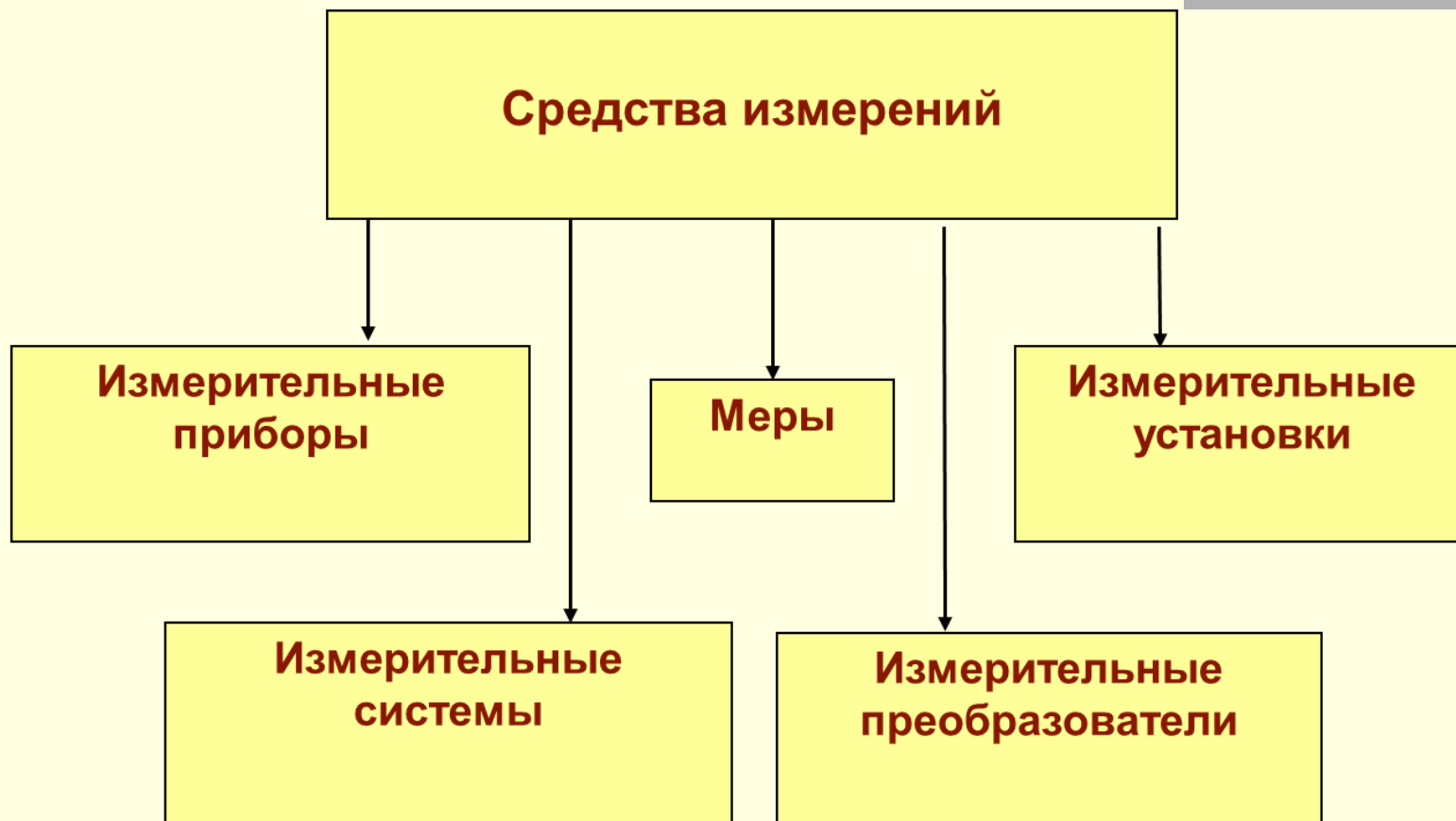
---

**Средство измерения** — техническое средство, предназначенное для измерений, воспроизводящее и (или) хранящее единицу измерения, а также кратные либо дольные значения единицы измерения, имеющие метрологические характеристики, значения которых принимаются неизменными в течение определенного времени.

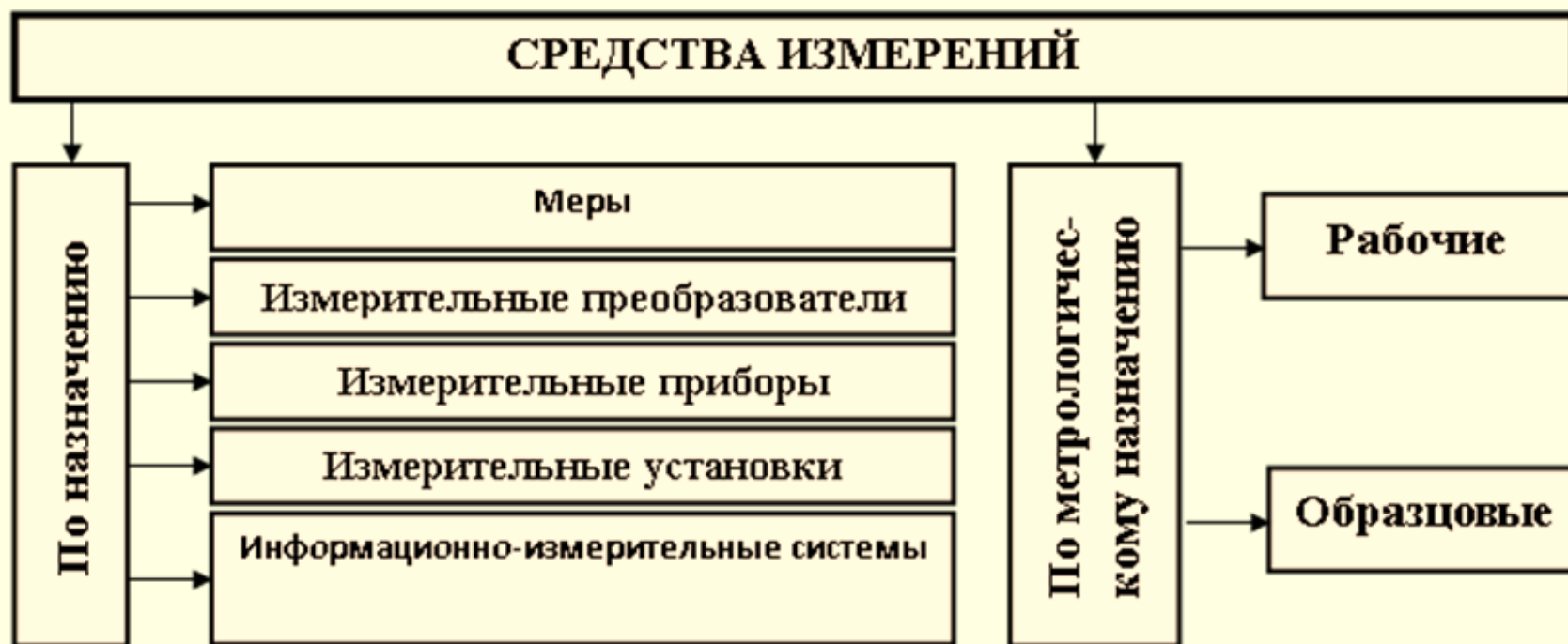
**Средствами измерений (СИ)** называют используемые при измерениях технические средства, имеющие нормированные метрологические характеристики.

**Под метрологическими характеристиками (МХ)** понимают такие характеристики СИ, которые позволяют судить об их пригодности для измерений в известном диапазоне с известной точностью.

# Классификация СИ



# Классификация СИ





# Меры

Воспроизведение величины  $Q_M = N \bar{Q}$  заданного размера осуществляется посредством меры физической величины  $Q$ .

**Мерой физической величины** называют СИ, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых известны с необходимой точностью.

Меры подразделяются на **однозначные и многозначные**.

**Однозначная мера** - мера, воспроизводящая физическую величину одного размера (*гиря, стержень длиной 1 метр*).

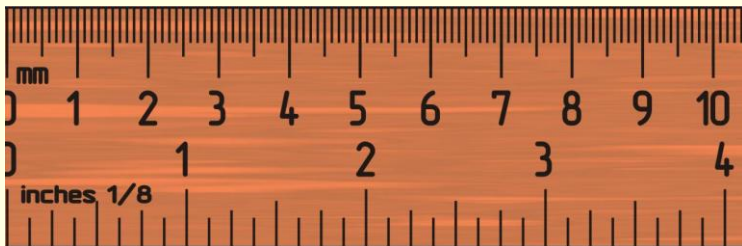
**Многозначная мера** - мера, воспроизводящая плавно или дискретно ряд значений одной и той же физической величины (*набор гирь разной массы, магазин сопротивлений*).

# Однозначные меры



Воспроизводя или храня размер величины, которому присвоено определенное значение, мера тем самым хранит единицу этой величины. Иначе говоря, мера выступает в качестве носителя единицы величины и поэтому служит основой измерения.

# Многозначные меры



К многозначным мерам относятся **магазины мер** - набор мер, конструктивно объединенных в одно устройство, в котором имеются приспособления для их соединения в различных комбинациях (например, магазин электрических сопротивлений или емкостей).



# Измерительные приборы

**Измерительный прибор** — СИ, предназначенное для переработки сигнала измерительной информации в другие, доступные для непосредственного восприятия наблюдателем формы.

В отличие от меры измерительный прибор не воспроизводит значение физической величины.  
Измеряемая величина подводится к нему и воздействует на его первичный преобразователь.



Измерительные приборы принято классифицировать по определенным признакам: по **форме представления показаний**; по **методу измерений**; по **способу индикации** и другим признакам.

# Измерительные установки

Совокупности СИ нередко объединяют в комплексы, называемые измерительными установками или измерительными системами.

**Измерительная установка** — совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенная для измерений одной или нескольких величин и расположенная в одном месте.

Измерительную установку с включенными в нее эталонами называют **поверочной или эталонной установкой**, установку, предназначенную для испытаний какой-либо продукции, — **испытательным стендом**.



# Измерительные преобразователи

**Измерительный преобразователь** — СИ, предназначенное для преобразования измеряемой величины в другую величину или сигнал измерительной информации, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

По расположению в измерительной цепи различают **первичные** и **промежуточные** измерительные преобразователи (ИП).

Первичный ИП, называемый также **датчиком**, — это тот ИП, на который непосредственно действует измеряемая физическая величина.

Остальные ИП называют **промежуточными**. Они расположены после первичного ИП и могут выполнять следующие операции: **масштабное** (линейное или нелинейное) **преобразование**; **масштабно-временное преобразование**; **аналого-цифровое преобразование**; **цифро-аналоговое преобразование**; **функциональное преобразование** (любые математические операции над значениями величины).

# Рабочие, образцовые и эталонные СИ

Важное значение имеет классификация СИ **по метрологическим характеристикам**. В соответствии с ней все средства измерений подразделяются на **рабочие, образцовые** и **эталоны**.

К **рабочим** относятся средства измерений, не предназначенные для воспроизведения и хранения единиц физических величин с целью передачи их размеров другим средствам измерений.

К **образцовым** средствам измерений относятся меры, измерительные приборы (системы) или измерительные преобразователи, применяемые для передачи размеров единиц другим средствам измерений.

**Эталоны** представляют собой средства измерений (обычно комплекс средств измерений), предназначенные для воспроизведения и (или) хранения единицы физической величины с целью передачи ее размера образцовым средствам измерений высшей точности. Эталон должен быть официально утвержден.

# Методы и методики измерений

Под термином **метод измерений** подразумевается способ решения измерительной задачи, характеризуемый его теоретическим обоснованием и разработкой основных приемов применения средств измерений.

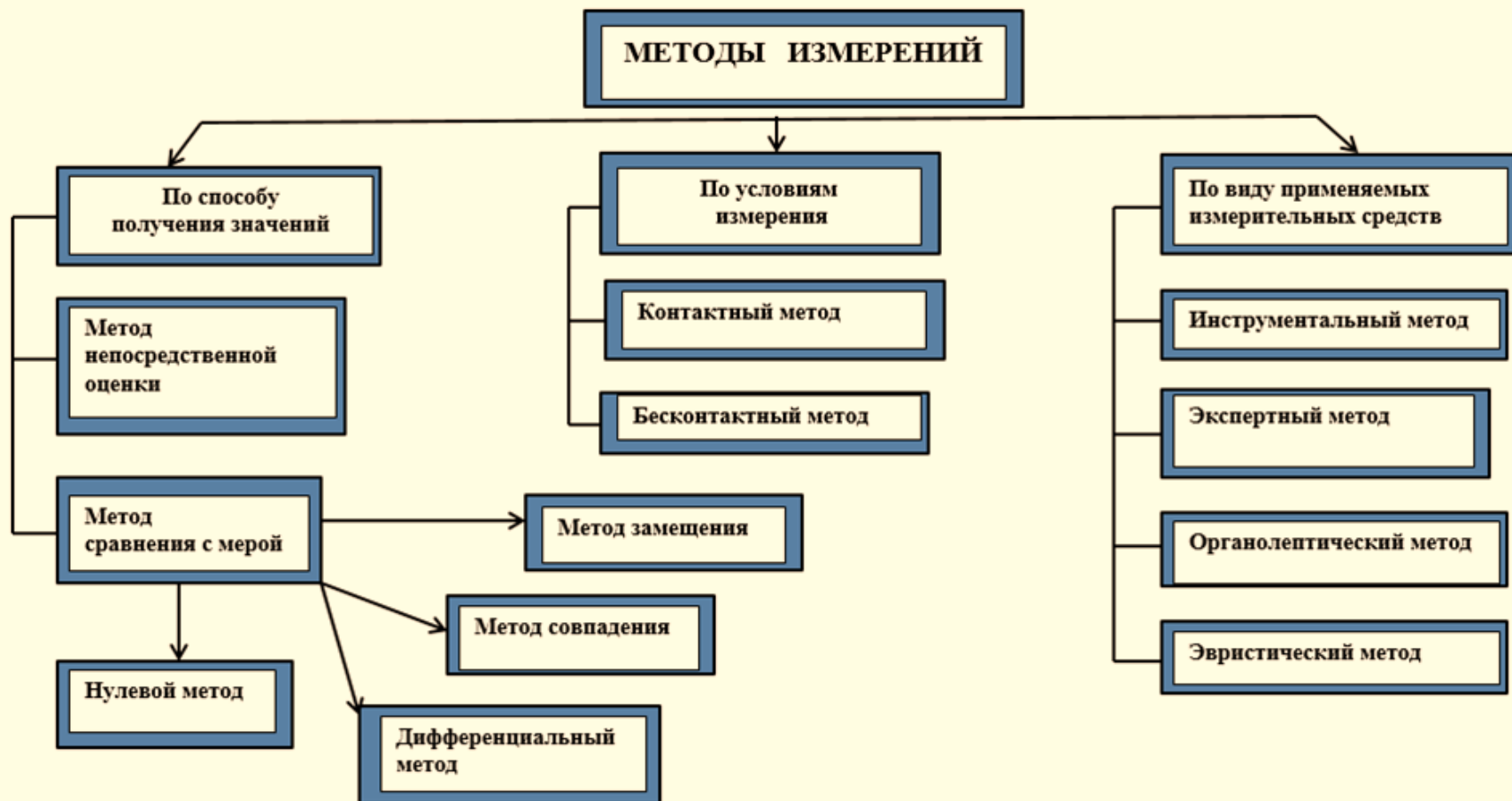
**Метод измерений** - совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

**Принцип измерений** — это совокупность физических явления, на которых основаны измерения. *Например, температуру можно измерять платиновым термометром (принцип измерения — зависимость сопротивления платины от температуры) и термоэлектрическим термометром (принцип измерения — зависимость ТЭДС от разности температур).*

**Методика измерений** — это установленная совокупность операций и правил, выполнение которых при измерении обеспечивает получение результатов измерений в соответствии с данным методом.



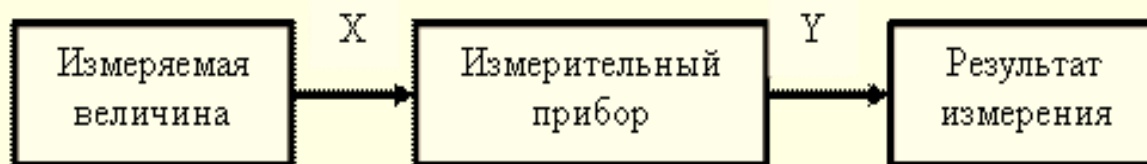
# Методы измерений



# Метод непосредственной оценки

**Метод непосредственной оценки** характеризуется тем, что значение измеряемой величины определяется непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора, заранее градуированного в единицах измеряемой величины.

Этот метод является наиболее простым и поэтому широко применяется при измерении различных величин, например: измерение веса тела на пружинных весах, силы электрического тока стрелочным амперметром, разности фаз цифровым фазометром и т.д.



Приборы непосредственной оценки всегда содержат измерительный преобразователь, который преобразует измеряемую величину в другую, доступную для сравнения наблюдателем или автоматическим устройством.

# Методы сравнения с мерой

---

**Методы сравнения с мерой** – методы измерений, в которых известную величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

*Эти методы по сравнению с методом непосредственной оценки более точны, но несколько сложны.*

*Группа методов сравнения с мерой включает в себя следующие методы: **противопоставления, нулевой, дифференциальный, совпадения и замещения.***

*Определяющим признаком методов сравнения является то, что в процессе каждого измерительного эксперимента происходит сравнение двух однородных независимых друг от друга величин*

# Метод противопоставления

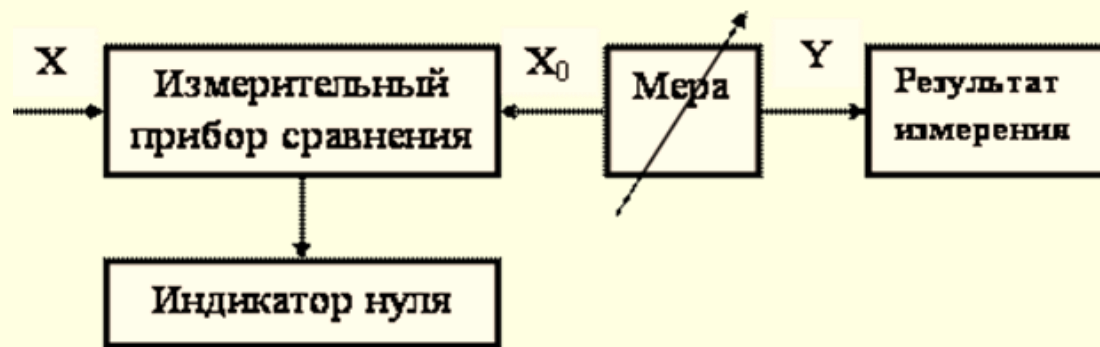
**Метод противопоставления** – метод сравнения с мерой в котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами.



В этом методе измеряемая величина  $X$  и мера  $X_0$  воздействуют на два входа прибора сравнения. Результат измерения находят как  $Y = X_0 + \varepsilon$

# Нулевой метод

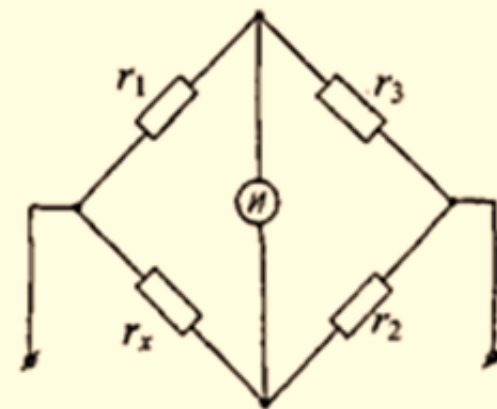
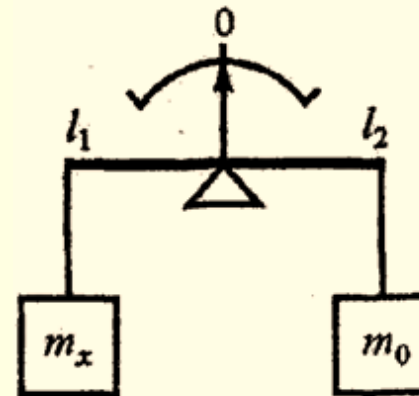
**Нулевой метод** является разновидностью метода противопоставления, в котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля.



Здесь измеряемая величина  $X$  и мера  $X_0$  воздействуют на два входа измерительного прибора сравнения. Результирующий эффект воздействия определяется разностью этих величин, т.е.  $e = X - X_0$ . Изменяя величину, воспроизводимую мерой (это схематически указано на рисунке стрелкой), можно довести величину  $e$  до 0. Это обстоятельство отмечается индикатором нуля. Если  $e = 0$ , то  $X = X_0$ , результат измерения  $Y$  есть полученное значение меры, т.е.  $Y = X_0$ .

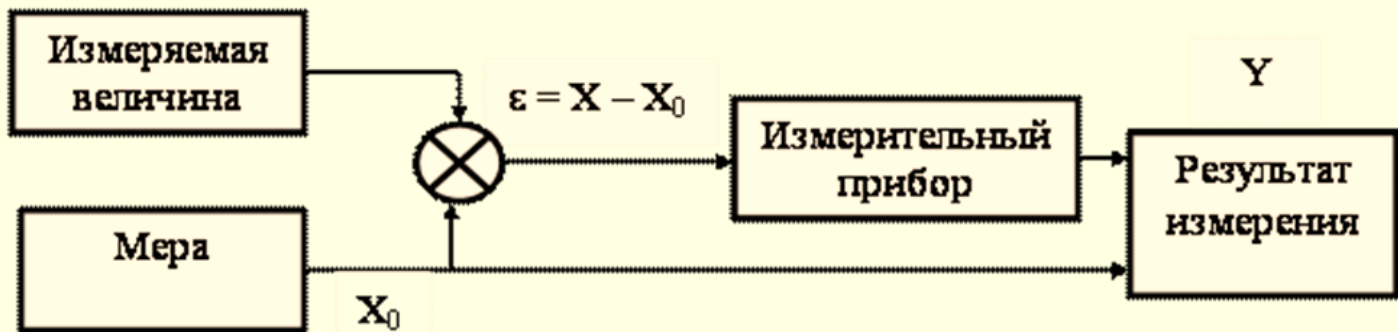
# Нулевой метод

Примерами нулевых методов измерений являются: **измерение массы на равноплечих весах** с помещением измеряемой массы и уравнивающих её гирь на двух чашках весов и полным уравниванием весов или измерение напряжения путем компенсации его напряжением образцового источника (в обоих случаях осуществляется непосредственное сравнение); а также **измерение электрического сопротивления мостом** с полным его уравниванием (опосредованное сравнение).



# Дифференциальный метод

**Дифференциальный метод** представляет собой метод сравнения с мерой, в котором на измерительный прибор (обязательно прибор сравнения) воздействует разность измеряемой величины и известной величины, воспроизводимой мерой, причем эта разность не доводится до нуля, а измеряется измерительным прибором прямого действия.

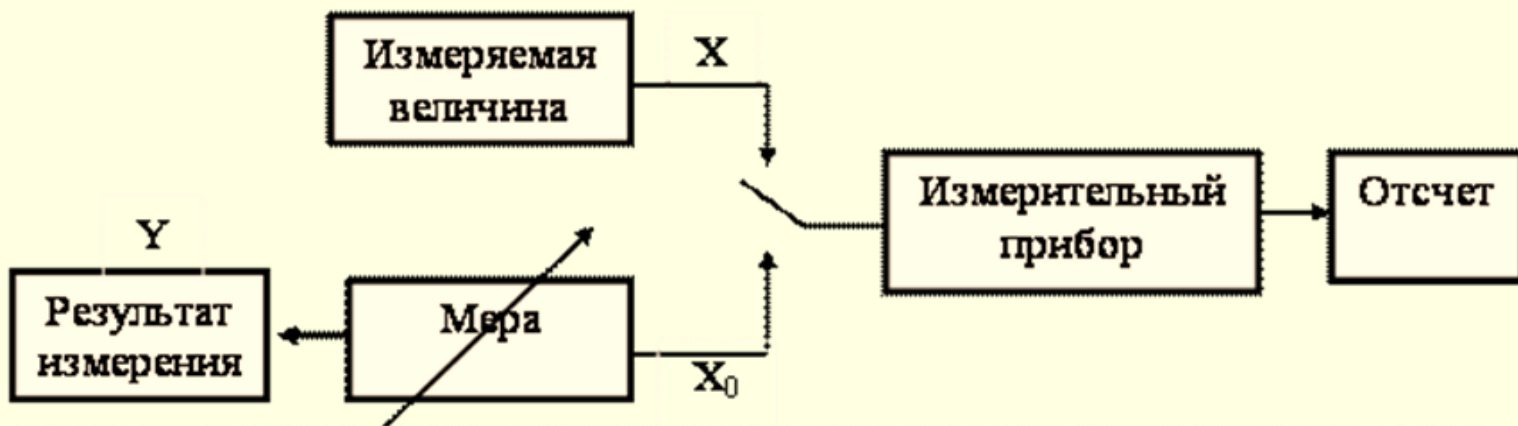


Здесь мера имеет постоянное значение  $X_0$ , разность измеряемой величины  $X$  и меры  $X_0$ , т.е.  $e = X - X_0$ , не равна нулю и измеряется измерительным прибором. Результат измерения находится как  $Y = X_0 + e$ .

То обстоятельство, что здесь измерительный прибор измеряет не всю величину  $X$ , а только её часть  $e$ , позволяет уменьшить влияние на результат измерения погрешности измерительного прибора

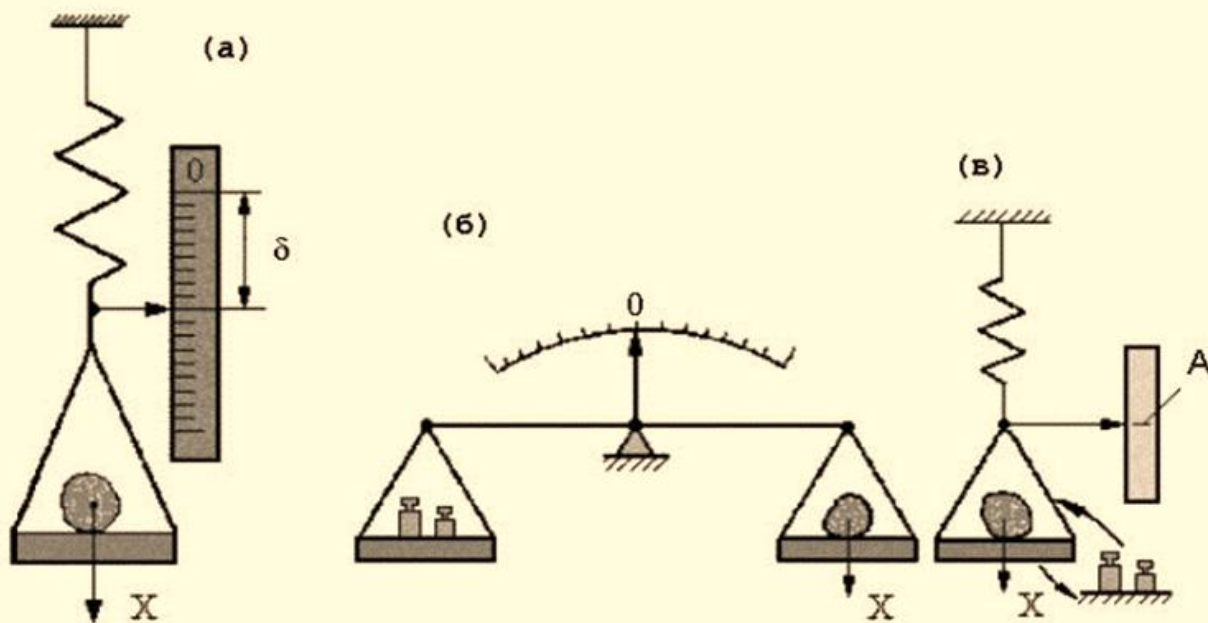
# Метод замещения

**Метод замещения** — разновидность метода сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой (*взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы груза и гирь на одну и ту же чашу весов*).





# Примеры методов измерений



Примеры методов измерений:  
непосредственной оценки (а),  
противопоставления (б),  
полного замещения (в)

# Контактный и бесконтактный методы

**Контактный и бесконтактный методы** — методы, при которых чувствительный элемент прибора приводится или не приводится в контакт с объектом измерений (измерения диаметра вала измерительной скобой осуществляется контактным методом; температуры в доменной печи — бесконтактным методом).



Инфракрасный пирометр DIT-130 Sonel позволяет бесконтактным методом измерить температуру поверхности объектов с разрешением  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Принцип действия основан на измерении мощности теплового излучения объекта преимущественно в диапазонах инфракрасного излучения и видимого света.

# Другие методы

---

В зависимости от типа, применяемых измерительных средств, различают **инструментальный, экспертный, эвристический и органолептический** методы измерений.

**Инструментальный метод** основан на использовании специальных технических средств, в том числе автоматизированных и автоматических.

**Экспертный метод** оценки основан на использовании суждений группы специалистов.

**Эвристические методы** оценки основаны на интуиции.

**Органолептические методы** оценки основаны на использовании органов чувств человека.

# Результаты измерений

В результате измерения должны быть определены три величины:

1. Число, выражающее отношение измеряемой физической величины к общепринятой единице измерения:

$$\frac{Q}{[q]} = a$$

2. Погрешность результата измерения;

3. Доверительная вероятность допущенной погрешности (при обычных технических измерениях погрешность определяется с вероятностью 95 %).

Часто в полученный результат измерения вводят поправки, поэтому значение величины до и после введения поправки будет различным. Это находит отражение в применяемой терминологии.

# Округление и запись результатов измерений

---

**Значащие цифры данного числа** это все цифры от первой слева, не равной нулю, до последней справа.

При этом нули, следующие из множителя 10, не учитывают.

**Примеры:**

- а) Число 12,0 имеет три значащие цифры.
- б) Число 30 имеет две значащие цифры.
- в) Число  $120 \cdot 10^5$  имеет три значащие цифры.
- г)  $0,514 \cdot 10^2$  имеет три значащие цифры.
- д) 0,0056 имеет две значащие цифры.

# Округление и запись результатов измерений

Различают записи приближенных чисел **по количеству значащих цифр.**

## Примеры:

а) Различают числа  $2,4$  и  $2,40$ . Запись  $2,4$  означает, что верны только целые и десятые доли, истинное значение числа может быть, например,  $2,43$  и  $2,38$ . Запись  $2,40$  означает, что верны и сотые доли: истинное значение числа может быть  $2,403$  и  $2,398$ , но не  $2,41$  и не  $2,382$ .

б) Запись  $382$  означает, что все цифры верны: если за последнюю цифру ручаться нельзя, то число должно быть записано  $3,8 \cdot 10^2$ .

в) Если в числе  $4720$  верны лишь две первые цифры, оно должно быть записано  $4,7 \cdot 10^3$ .

# Округление и запись результатов измерений

---

**Округление числа** представляет собой отбрасывание значащих цифр справа до определенного разряда с возможным изменением цифры этого разряда.

1. В случае, если первая из отбрасываемых цифр (считая слева направо) менее 5, то последнюю сохраняемую цифру не меняют.

*Пример: Округление числа 12,23 до трех значащих цифр дает 12,2.*

2. В случае, если первая из отбрасываемых цифр (считая слева направо) равна 5 и более, то последнюю сохраняемую цифру увеличивают на единицу.

*Пример: Округление числа 0,145 до двух цифр дает 0,15.*

# Округление и запись результатов измерений

Округление производится лишь в окончательном ответе, а все предварительные вычисления проводят с одним - двумя лишними знаками.

**Результат измерения** округляется до того же десятичного разряда, которым оканчивается округленное значение абсолютной погрешности.

*(Например, результат 85,6342, погрешность  $\pm 0,01$ . Результат округляют до 85,63. Тот же результат при погрешности в пределах  $\pm 0,015$  следует округлить до 85,634).*

**Число, для которого указывают допустимую погрешность, должно иметь последнюю значащую цифру того же разряда, как и последняя значащая цифра отклонения.**

## *Примеры.*

а) *Правильно:  $17,0 + 0,2$ . Неправильно:  $17 + 0,2$  или  $17,00 + 0,2$ .*

б) *Правильно:  $12,13 + 0,17$ . Неправильно:  $12,13 + 0,2$ .*

**Числовые значения величины и её погрешности (отклонения) целесообразно записывать с указанием одной и той же единицы величины.**

Например:  $(80,555 + 0,002)$  кг.



# Результаты измерений

---

**Неисправленный результат измерения** — значение физической величины, полученное при помощи средств измерений до введения поправок.

**Исправленный результат измерения** — значение физической величины, полученное при помощи средств измерений и уточненное путем введения в него необходимых поправок.

В отдельных случаях результат измерений имеет небольшое значение, в других случаях результат измерений играет исключительно большую роль.

Диапазон значимости целей, для которых проводятся измерения, определяет диапазон требований, предъявляемых к качеству измерений.

# Качество измерений

---

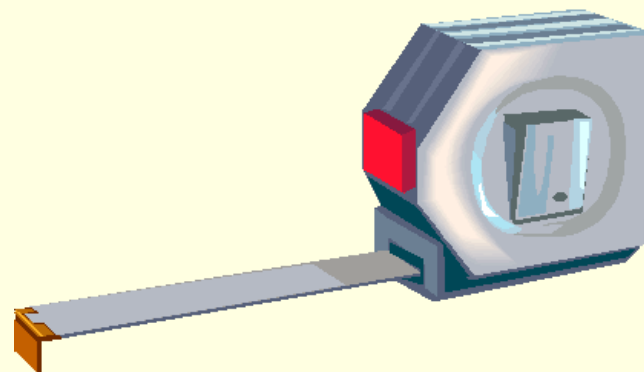
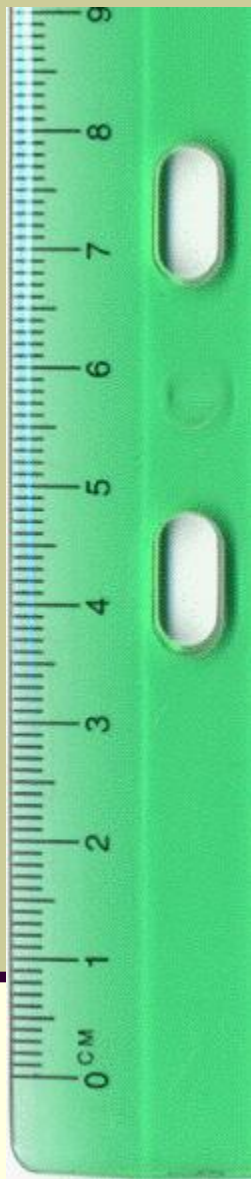
К основным характеристикам качества измерений относятся **точность, правильность, сходимостъ и воспроизводимостъ**.

**Точность измерений** — качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины.

**Правильность измерений** — качество измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в их результатах.

**Сходимость измерений** — качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях повторно одними и теми же средствами измерений, одним и тем же методом.

**Воспроизводимостъ измерений** — качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях (в различное время, в различных местах, различными методами и средствами).



***БЛАГОДАРЮ  
ЗА ВНИМАНИЕ***