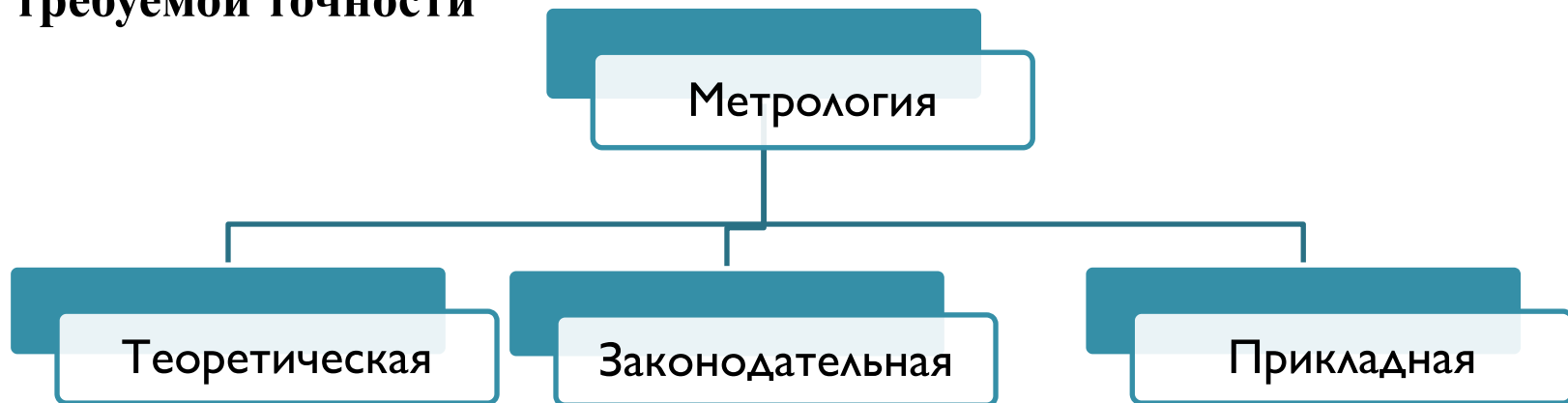


Раздел 1. Методы измерения основных физических величин (основы метрологии)

Методы измерения времени,
погрешности измерений, эталоны.

МЕТРОЛОГИЯ — это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности



- В **теоретической (фундаментальной) метрологии** разрабатываются фундаментальные основы этой науки.
- Предметом **законодательной метрологии** является установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц физических величин, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства и необходимой точности измерений.
- **Практическая (прикладная) метрология** освещает вопросы практического применения разработок теоретической и положений законодательной метрологии.

Основные понятия, связанные с объектами измерения: свойство, величина, количественные и качественные проявления свойств объектов материального мира

С 1 января 2001 г. на территории России и стран СНГ введены рекомендации РМГ 29—99 (99-2013), содержащие основные термины и определения в области метрологии, согласованные с международными стандартами ИСО, регламентирующими использование дольных, кратных и других единиц при измерениях.



ИСО - Международная организация, занимающаяся выпуском стандартов. создана в 1946 году.

Выдержка из **РМГ 29 – 2013**:

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЙ СТАНДАРТИЗАЦИИ

3 Величины и единицы

3.1 величина: Свойство материального объекта или явления, общее в качественном отношении для многих объектов или явлений, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

3.2 размер величины: Количественная определенность **величины**, присущая конкретному материальному объекту или явлению.

3.3 род (величины): Качественная определенность **величины**.

Примеры

1 Длина и диаметр детали — однородные величины.

2 Длина и масса детали — неоднородные величины.

Примечание — Однородные величины в рамках данной системы величин имеют одинаковую размерность величины. Однако величины одинаковой размерности не обязательно будут однородными.

3.4 значение величины: Выражение **размера величины** в виде некоторого числа принятых единиц, или чисел, баллов по соответствующей **шкале измерений**.

3.5 числовое значение (величины): Отвлеченное число, входящее в значение величины

3.6 система величин: Согласованная совокупность величин и уравнений связи между ними, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины условно принимают за независимые, а другие определяют как функции независимых величин.

П р и м е ч а н и я

1 Порядковые величины, такие как твердость, измеряемая по шкале С. Роквелла, обычно не рассматриваются как относящиеся к системе величин, так как они связаны с другими величинами только через эмпирические соотношения.

2 В названии системы величин применяют символы величин, принятых за основные. Так, система величин механики, в которой в качестве основных приняты длина L , масса M и время T , должна называться системой LMT . Система основных величин, соответствующая Международной системе единиц (СИ), должна обозначаться символами $LMTI\Theta N J$, обозначающими соответственно символы основных величин— длины L , массы M , времени T , силы электрического тока I , температуры Θ , количества вещества N и силы света J .

3.7 уравнение связи (между величинами): Математическое соотношение между величинами в данной системе величин, основанное на законах природы и не зависящее от единиц измерения.

3.8 основная величина: Одна из величин подмножества, условно выбранного для данной системы величин так, что никакая из величин этого подмножества не может выражаться через другие величины.

Примеч: 1 Подмножество, упоминаемое в этом определении, называется набором основных величин; 2 Основные величины относят к взаимно независимым, так как основная величина не может быть выражена как произведение степеней других основных величин.

3.9 производная величина: Величина, входящая в систему величин и определяемая через основные величины этой системы.

Пример — Примеры производных величин механики системы ЛМТ: скорость v поступательного движения, определяемая (по модулю) уравнением $v = dl/dt$, где l — путь, t — время; сила F , приложенная к материальной точке, определяемая (по модулю) уравнением $F = ma$, где m — масса точки, a — ускорение, вызванное действием силы F .

3.10 Международная система величин: Система величин, основанная на подмножестве семи **основных величин:** длины, массы, времени, электрического тока, термодинамической температуры, количества вещества и силы света.

Все объекты окружающего мира характеризуются своими
свойствами

Свойство — философская категория, выражающая такую сторону объекта (явления процесса), которая обуславливает его различие или общность с другими объектами (явлениями, процессами) и обнаруживается в его отношениях к ним.

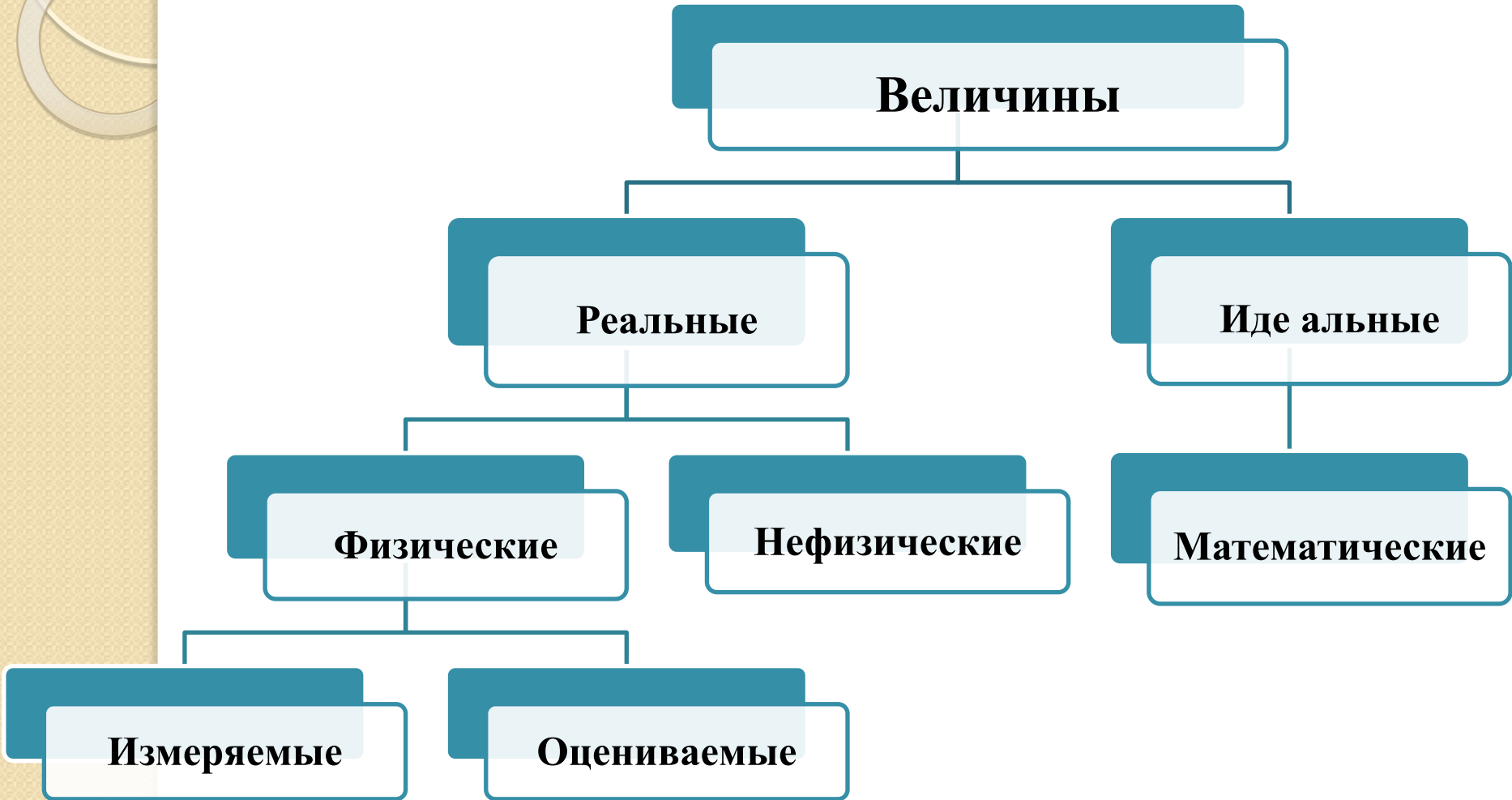
Свойство — категория качественная.

Для количественного описания различных свойств процессов и физических тел вводится понятие величины.

Величина — это свойство чего-либо, что может быть выделено среди других свойств и оценено тем или иным способом, в том числе и количественно.

Величина не существует сама по себе, она имеет место лишь постольку, поскольку существует объект со свойствами, выраженными данной величиной.

Классификация величин



Физическая величина - одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Индивидуальность в количественном отношении понимают в том смысле, что свойство может быть для одного объекта в определенное число раз больше или меньше, чем для другого.


Таким образом, ***физические величины*** — это измеренные свойства физических объектов и процессов, с помощью которых они могут быть изучены.

Измеряемые физические величины могут быть выражены количественно в виде определенного числа установленных единиц измерения. Возможность введения и использования последних является важным отличительным признаком измеряемых ФВ.

Физические величины, для которых по тем или иным причинам не может быть введена единица измерения, могут быть только **оценены**.

Величины оценивают при помощи шкал.

Шкала величины — упорядоченная последовательность ее значений, принятая по соглашению на основании результатов точных измерений.



Нефизические величины, для которых единица измерения в принципе не может быть введена, могут быть только оценены.

Стоит отметить, что оценивание нефизических величин не входит в задачи теоретической метрологии.

По видам явлений ФВ делятся на следующие группы:

- **вещественные**, т.е. описывающие физические и физико-химические свойства веществ, материалов и изделий из них. К этой группе относятся масса, плотность, электрическое сопротивление, емкость, индуктивность и др. Иногда указанные ФВ называют **пассивными**. Для их измерения необходимо использовать вспомогательный источник энергии, с помощью которого формируется сигнал измерительной информации. При этом пассивные ФВ преобразуются в активные, которые и измеряются;
- **энергетические**, т. е. величины, описывающие энергетические характеристики процессов преобразования, передачи и использования энергии. К ним относятся ток, напряжение, мощность, энергия. Эти величины называют **активными**. Они могут быть преобразованы в сигналы измерительной информации без использования вспомогательных источников энергии;
- **характеризующие протекание процессов во времени**. К этой группе относятся различного рода спектральные характеристики, корреляционные функции и др.



По степени условной независимости от других величин

- данной группы ФВ делятся на **основные** (условно независимые), **производные** (условно зависимые) и **дополнительные**.
- В настоящее время в системе СИ используется семь физических величин, выбранных в качестве **основных: длина, время, масса, температура, сила электрического тока, сила света и количество вещества**.
- К дополнительным физическим величинам относятся **плоский и телесный углы**.

Классификация физических величин



По принадлежности к различным группам физических процессов

ФВ делятся на

- **пространственно-временные,**
- **механические,**
- **тепловые,**
- **электрические и магнитные,**
- **акустические,**
- **световые,**
- **физико-химические,**
- **ионизирующих излучений,**
- **атомной и ядерной физики.**

Возникновение и развитие способов измерения времени. Современная служба времени

История не в состоянии ответить на вопрос о том, когда люди научились измерять время. Очевидно, первым способам измерения должно было предшествовать развитие абстрактного представления о времени, возникновение потребности измерять его. Нет сомнения, что эти предпосылки появлялись в процессе первичных коллективных действий, в трудовых операциях, связанных с периодическими явлениями природы. Наконец, чтобы измерить время, человек уже должен был уметь считать.

Учет времени, так же, как и возникновение счета, можно отнести к разряду конвергентных явлений, т. е. таких, которые возникали независимо друг от друга у разных народов под влиянием сходных условий и требований развивающихся обществ. Судя по совершенству первых календарных систем, появившихся у многих народов уже в период неолита, начальные стадии процесса счета времени следует относить к более ранним периодам. Косвенным подтверждением этому может служить наличие первичного счета в эпоху верхнего палеолита.

Возникновение и развитие способов измерения времени

Первой единицей измерения времени были сутки любопытный счет дням в VI в. до н.э. у персов описывает Геродот. Царь Дарий, отправляясь в поход на скифов, оставил воинам, охранявшим переправу через Дунай, своеобразный календарь - ремень с завязанными на нем узлами. Развязывая ежедневно по узлу, воины вели счет дням, прошедшим с начала похода. Оставшиеся узлы означали дни до планируемого возвращения царя

Очень рано возник и счет времени по чередованию фаз Луны. Но и оборот Луны, лунный месяц, -- сравнительно небольшая мера времени. Потребности древней хронологии были удовлетворены с появлением в счете лунного и солнечного годов. Счет дней внутри года, разделенного на двенадцать приблизительно равных периодов (месяцев), позволял создавать простейшие приспособления: деревянные, костяные, керамические таблицы -- календари. У многих народов они сохранялись в быту вплоть до начала XX в., да и наши современные передвижные календарные таблицы восходят к этим простейшим приспособлениям.

Наряду с портативными приспособлениями в древности создавали и монументальные календарные устройства, своеобразные каменные обсерватории, позволявшие сверять счет времени с астрономическими показателями. Таковы сооружения III тысячелетия до н. э. в Стоунхендже (Англия), каменный календарь близ г. Куско (Перу) и др.



Возникновение и развитие способов измерения времени

В древности появились и первые способы измерения времени в пределах суток. Само восприятие времени в прошлом значительно отличалось от современного. Сегодня мы привыкли измерять время минутами и секундами, а средневековые часы имели на циферблате только часовую стрелку, минутная появилась в середине XVI в., а секундной еще не знали современники Пушкина.

Различные народы в разные эпохи делили сутки по-разному. Современная система деления их на 24 часа зародилась в Вавилоне, хотя официально ее ввел александрийский астроном Клавдий Птолемей, живший во II в. н.э.

Первые способы измерения времени в течение суток были связаны с Солнцем. Древнейшим и самым простым прибором, позволяющим измерить время по Солнцу, был гномон -- вертикальный столб. По длине отбрасываемой им тени можно было определить время суток. Первое упоминание гномона относится --к VI в. до н. э.

Возникновение и развитие способов измерения времени

Дальнейшее развитие идеи измерения времени по Солнцу представляет *скафис* - *солнечные часы*, указывающие время направлением тени, отбрасываемой на специальный циферблат вертикальной осью - стрелкой. Первый скафис был построен жрецом Беросом из Вавилона в III в. до н. э. Усовершенствование скафиса привело к изобретению горизонтальных солнечных часов, в которых осью - стрелкой служит ребро прямоугольного треугольника, ориентированного острым углом, равным широте места, где установлены часы, на юг.

У народов Азии с глубокой древности использовались *песочные часы*, где время измерялось количеством песка, пересыпающегося из одного сосуда в другой. Такие часы не связаны с Солнцем, они измеряют определенные небольшие промежутки времени, сосчитав которые можно установить время суток. Для отсчета коротких промежутков времени песочные часы используются в медицине и сейчас.

В Китае применялись так называемые *огненные часы*, где ход времени определялся равномерным сгоранием специальной свечи. Свечи с часовыми делениями знала и средневековая Европа, а на Руси короткие временные отрезки измеряли количеством сгоревших лучин.

Возникновение и развитие способов измерения времени

В I тысячелетии до н.э. многие страны применяли *водяные часы* или "*клепсидры*". С использованием этих часов связаны сохранившиеся до наших дней латинские обороты речи, звучащие в русском языке как "не надо лить воду", или "с тех пор много воды утекло".

Все описанные системы не отличались точностью, были неудобны, но до определенного времени удовлетворяли общество. Однако с развитием производительных сил, с появлением новых задач возникла потребность в более совершенных способах измерения времени. Важным шагом в этом отношении был переход к механическим часам, первое упоминание о которых встречается в византийских источниках в 578 г. Широкое практическое использование механических (колесных) часов в Европе относится к XI--XII вв. Обычно их устанавливали на башнях ратуш, связывая механизм часов с устройством звона или боя. Недостатком колесных часов была их громоздкость и малая точность хода. В России первые колесные часы были установлены в Московском Кремле в 1404 г. Часы Спасской, башни Кремля установил в 1624 г. при царе Михаиле Федоровиче механик Галловей. В 1706 г. по приказу Петра I они были заменены голландскими курантами, которые действуют и ныне.

Возникновение и развитие способов измерения времени

Замена в колесных часах приводного груза пружиной позволила создать в начале XVI в. первые портативные экземпляры. Наконец, в 1640 г. Галилей предложил конструкцию маятниковых часов, которые вошли в обиход после смерти ученого.

Маятниковые часы, повысившие точность хода до нескольких секунд в сутки, стали важным орудием в руках ученых, помогли астрономам произвести расчеты, определившие форму и размеры Земли.

Изобретение в середине XVIII в. англичанином Д. Гарисоном хронометра позволило определять точное время не только на суше, но и на море, что очень важно для выяснения долготы местоположения корабля. В большинстве современных бытовых часов используется принцип хронометра.

В настоящее время кварцевые, молекулярные, атомные и другие системы сверхточных устройств используются в специальных научных целях. Современные астрономические часы могут обеспечить точность хода До 0,002 секунд в сутки. Ведутся работы и по дальнейшему усовершенствованию приборов, измеряющих время.

Возникновение и развитие способов измерения времени

В 1878 г. канадец С. Флеминг предложил ввести так называемое поясное время. Вся поверхность земного шара условно подразделялась на 24 часовых пояса, ограниченных меридианами, проведенными с интервалом в 15° . Для каждого пояса (от 0 до 23-го) устанавливалось местное время, соответствующее его среднему меридиану. За нулевой принят пояс, средним меридианом которого является гринвичский. Восточнее нулевого лежит первый пояс, затем второй и т. д. Поясное время изменяется скачком на 1 час при переходе из одного пояса в смежный.

Поясное время было принято на Международном астрономическом конгрессе и введено в 1883 г. в Канаде и США, а затем и в европейских странах. В СССР поясное время (от 2 до 12 пояса) было введено постановлением СНК от 17 января 1924 г. С 1 марта 1957 г. введены границы часовых поясов, следующие не строго по меридиану, а совпадающие с границами краев и областей. С 1981 г. в дополнение к декретному времени на территории СССР введен ежегодный сезонный перевод стрелок часов (с 1 апреля по 1 октября) на 1 час вперед. Местное время в указанный весенне-летний период будет опережать истинное поясное на 2 часа.

С часовыми поясами связана и так называемая линия перемены дат. Новые сутки повсеместно измеряют с полуночи. Чтобы избежать путаницы в счете дней, международным соглашением установлено: меридиан с долготой в 180° (12 часов), разграничивающий западное и восточное полушария Земли, 'считать линией перемены дат. На кораблях, пересекающих эту линию с запада на" восток, один и тот же день считают дважды, а на судах, идущих в обратном направлении, пропускают один календарный день.

ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ

Измерение времени, как и других физических величин, производится сравнением с величиной, принятой за единицу. Вследствие необратимости времени для создания единицы его измерения можно применить только периодические природные процессы по возможности постоянной длительности. До недавнего времени применялись только движения светил, в настоящее же время используются следующие периоды: —суточное вращение Земли (вращение сферы); —годичное обращение Земли вокруг Солнца; — частоты излучения или поглощения молекул или атомов.

В качестве единицы измерения времени применяется длительность всего процесса, его части или нескольких процессов. Таким путем устанавливаются шкалы времени. Шкалы времени (единицы) применяются в системах счета времени. Для воспроизводства шкал времени и систем счета создаются счетчики или измерители времени. Показания счетчиков периодически сравниваются с природным процессом, лежащим в основе данной шкалы времени, и полученное точное время данной системы распространяется с помощью радиосигналов времени, по которым потребители выводят поправки своих счетчиков. Такова схема измерения времени.

ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ

Каковы же основные единицы и системы счета времени? В жизни людей важнейшим периодом является смена дня и ночи, отсюда основная единица—сутки. Сутками называется промежуток времени, за который Земля (или небесная сфера) делает один оборот вокруг оси. В зависимости от того, по какой точке сферы замечается ее оборот, различают звездные сутки (по точке Овна), истинные солнечные и средние солнечные сутки (по «среднему» Солнцу).

Звёздные с^утки — период вращения какого-либо небесного тела вокруг собственной оси в инерциальной системе отсчёта, за которую обычно принимается система отсчёта, связанная с удалёнными звёздами. Для Земли это время, за которое Земля совершает один оборот вокруг своей оси по отношению к далёким звёздам. На 2000-й год звёздные сутки на Земле равны $23\text{ч}56\text{мин}4,090530833\text{сек} = 86164,090530833\text{ с}$.

Звёздные сутки делятся на звёздные часы, минуты и секунды. Звёздные сутки на 3 мин 56 с. короче средних солнечных суток, звёздный час короче общепринятого на 9.86 с. Как единица времени употребляются в редких случаях при организации астрономических наблюдений.

С^олнечные с^утки — промежуток времени, за который небесное тело совершает 1 поворот вокруг своей оси относительно центра Солнца. Более строго это промежуток времени между двумя одноимёнными (верхними или нижними) кульминациями (прохождениями через меридиан) центра Солнца в данной точке Земли (или иного небесного тела).

ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ

Звездные и средние сутки делятся на часы, минуты и секунды, в результате чего получаются звездные и средние единицы меры времени; в них длительность основной единицы — секунды различна. За основу была принята средняя солнечная секунда. Однако оказалось, что эту единицу приходится уточнять: первоначально — это $1:86400$ доля средних суток; после обнаружения неравномерности вращения Земли за секунду стали 1960 г. принимать $1:31556925,9747$ часть топического года — это секунда системы СИ. Но потребовалась еще более равномерная секунда, и с 1967 г. международная конференция установила: «секунда—это $9\ 192\ 631\ 770$ периодов излучения, соответствующего резонансной частоте перехода между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния, атома цезия ^{133}Cs ». Эта «атомная секунда» и является основной.

ЭТАЛОНЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И ЭТАЛОННЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Размеры единиц воспроизводятся, хранятся и передаются с помощью эталонов. Эталоны представляют собой средства измерений, предназначенные для хранения и воспроизведения физической величины определенного размера (одного размера или ряда размеров). В РМГ 29–99 дано следующее определение эталона: средство измерений (или комплекс средств измерений), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Там же сказано, что эталон должен обладать «неизменностью, воспроизводимостью и сличаемостью». Фактическими требованиями к эталону являются:

- **особо высокая точность** воспроизведения единицы;
- **воспроизведение** единицы в форме, удобной для передачи другому средству измерений и для сопоставления с другим эталоном;
- **стабильность** хранения единицы в течение длительного времени;
- **«неуничтожимость»**.

В зависимости от точности эталонов и системы передачи единиц их делят на первичные и вторичные.

ЭТАЛОНЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Первичный эталон – эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью.

Наряду с термином «*первичный эталон*» применяют понятие *исходный эталон* – эталон, обладающий наивысшими метрологическими свойствами (в системе субъекта хозяйствования, объединения, в стране), от которого передают размер единицы подчиненным эталонам и другим средствам измерений. Исходным эталоном для субъекта хозяйствования или объединения субъектов может быть вторичный или рабочий эталон, а также менее точное эталонное средство измерений.

Исходным эталоном в стране, как правило, является *первичный эталон*. Эталон, признанный в установленном порядке исходным для страны, называют *национальным* или *государственным первичным эталоном* (государственным эталоном). Термин «*национальный эталон*» обычно применяют при сличении эталонов разных стран, или эталона некоторого государства с международным эталоном. **Государственные эталоны** обычно хранятся в организациях Госстандарта (например, в метрологических научно-исследовательских институтах).

Международный эталон – эталон, принятый по международному соглашению в качестве международной основы для согласования с ним размеров единиц, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами. Международные эталоны единиц физических величин хранятся в Международном бюро мер и весов (МБМВ).

ЭТАЛОНЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Пример самого «долгоживущего» международного эталона – Международный прототип килограмма, который был утвержден 1-й Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ) в 1889 году.

Вторичный эталон – эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы. Вторичные эталоны нашли широкое распространение в метрологической практике. Они создаются (при необходимости) для обеспечения сохранности и наименьшего износа государственного эталона, в том числе и при сопоставлении с международными и другими национальными эталонами, и для лучшей организации поверочных работ.

По метрологическому назначению вторичные эталоны делятся на эталоны сравнения и рабочие эталоны. Кроме того, в метрологической литературе встречаются такие понятия, как эталон-свидетель, эталон-копия и специальный эталон.

Эталон сравнения применяют для сличения эталонов, которые не могут быть сличены непосредственно друг с другом, например, из-за нетранспортабельности эталонной установки (первичного эталона).

Рабочий эталон – вторичный эталон, применяемый для передачи размера единицы эталонным (образцовым) средствам измерений высшей точности и при необходимости наиболее точным рабочим средствам измерений.

ЭТАЛОНЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Термин «*рабочий эталон*» с введением РМГ 29 распространяется не только на собственно вторичный эталон, он должен также заменить ранее использовавшийся термин «*образцовое средство измерений*». Цель замены – упорядочение терминологии для сближения ее с международной. Передачу размера единицы эталонным (образцовым) и рабочим средствам измерений осуществляют через цепочку соподчиненных по разрядам рабочих эталонов.

Эталон-свидетель предназначен для проверки сохранности государственного эталона и для замены его в случае порчи или утраты.

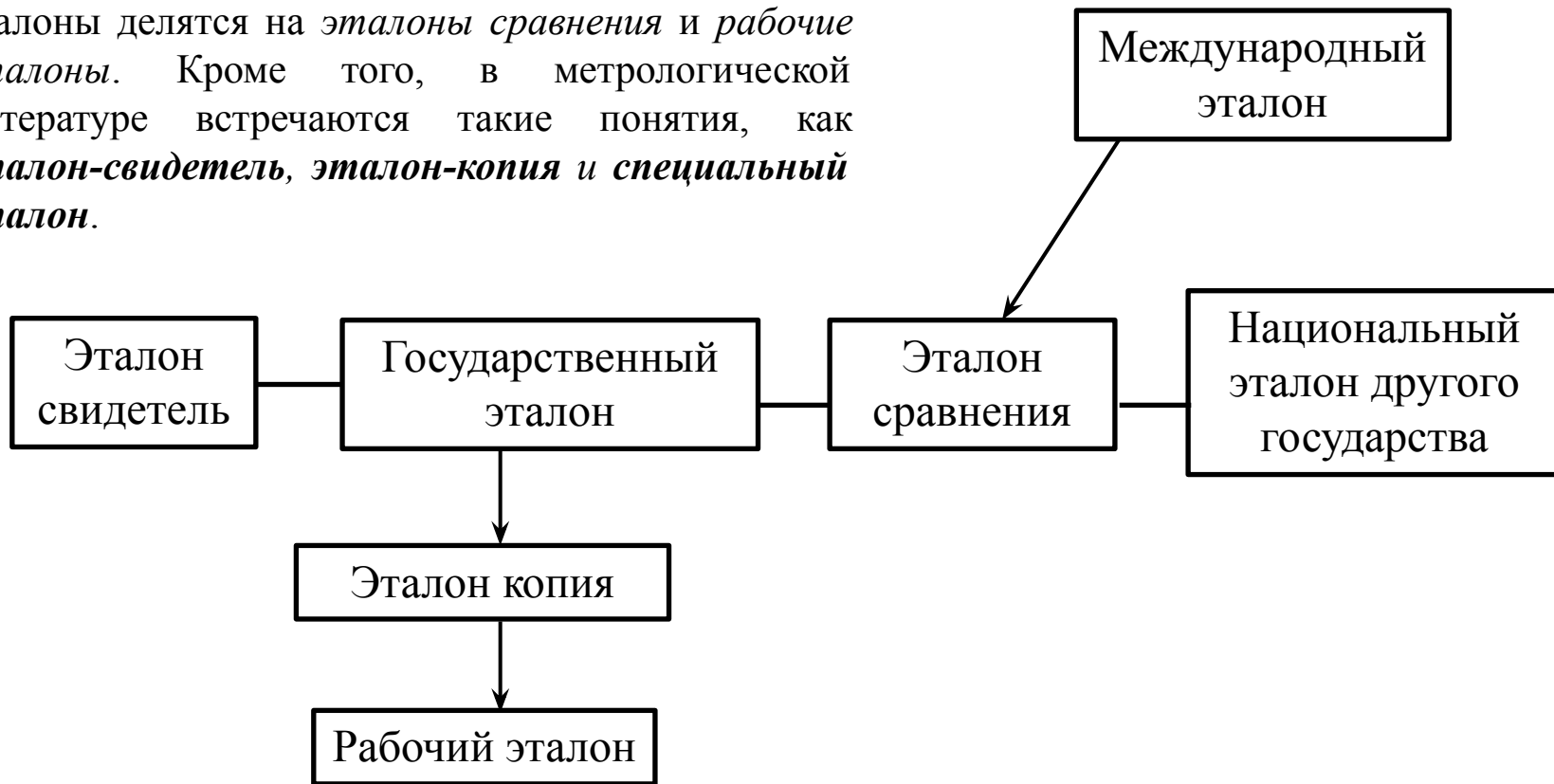
Эталон-копия представляет собой вторичный эталон, предназначенный для передачи размеров единиц от государственного эталона рабочим эталонам. Он часто не является физической копией первичного эталона, поскольку его главная функция – передача размера единицы. Например, передачу размера единицы от меры к мере удобнее осуществлять с помощью прибора сравнения (компаратора), а передавать единицу от прибора к прибору удобнее с помощью меры.

Специальный эталон разрабатывается в случае необходимости воспроизведения единицы в особых условиях. В метрологической литературе специальные эталоны относят к первичным эталонам.

Совокупность государственных *первичных и вторичных эталонов*, являющаяся основой обеспечения единства измерений в стране, составляют *эталонную базу страны*.

Схема соподчинённости эталонов

По метрологическому назначению вторичные эталоны делятся на *эталон сравнения* и *рабочие эталоны*. Кроме того, в метрологической литературе встречаются такие понятия, как *эталон-свидетель*, *эталон-копия* и *специальный эталон*.



Эталон сравнения применяют для сличения эталонов, которые не могут быть сличены непосредственно друг с другом, например, из-за нетранспортабельности эталонной установки (первичного эталона).

Рабочий эталон – вторичный эталон, применяемый для передачи размера единицы эталонным (образцовым) средствам измерений высшей точности и при необходимости наиболее точным рабочим средствам измерений.

ЭТАЛОНЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Конструкция эталона, его свойства и способ воспроизведения единицы определяются природой данной физической величины и уровнем развития измерительной техники в данной области. Для воспроизведения эталонных значений физической величины изготавливают и применяют одиночные и групповые эталоны, а также эталонные наборы.

Одиночный эталон – эталон, в составе которого имеется одно средство измерений (мера, измерительный прибор, эталонная установка) для воспроизведения и (или) хранения единицы.

Групповой эталон – эталон, в состав которого входит совокупность средств измерений одного типа, номинального значения или диапазона измерений, применяемых совместно для повышения точности воспроизведения единицы или ее хранения.

Эталонный набор – эталон, состоящий из совокупности средств измерений, позволяющих воспроизводить и (или) хранить единицу в диапазоне, представляющем объединение диапазонов указанных средств.

Примечание – Эталонные наборы создаются в тех случаях, когда необходимо охватить определенную область значений физической величины, например – Эталонные разновесы (наборы эталонных гирь) и эталонные наборы ареометров.

Если воспроизведение величины для всего необходимого диапазона одним первичным эталоном технически нецелесообразно, создают несколько первичных эталонов, охватывающих части диапазона с тем, чтобы в итоге был охвачен весь диапазон. Очевидно, что комплекс таких средств измерений воспроизводит не одну единицу, а ряд единиц (дольных или кратных базовой) в некотором выбранном диапазоне. В этом случае возникает задача согласования размеров единиц, воспроизводимых разными первичными эталонами.

Государственные эталоны основных единиц системы СИ

1. **Эталон единицы массы — килограмма** состоит из национального прототипа килограмма (гири из платиново-иридиевого сплава) и эталонных весов, предназначенных для передачи размера единицы массы вторичным эталонам. Среднее квадратическое отклонение относительной погрешности воспроизведения эталоном единицы массы равно $7 \cdot 10^{-9}$.

2. **Эталон единиц длины** — комплекс средств, воспроизводящих метр в виде 1 650 763,73 длин волн излучения в вакууме, соответствующего переходу между определенными уровнями атома Kr^{86} . Эталон обеспечивает воспроизведение метра с относительным средним квадратическим отклонением результата измерений, не превышающим $5 \cdot 10^{-9}$.

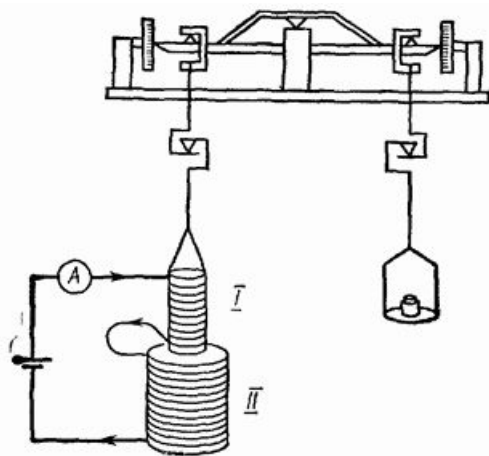
Метр был в числе первых единиц, для которых были введены эталоны. Первоначально в период введения метрической системы мер за первый эталон метра была принята одна десятимиллионная часть четверти длины Парижского меридиана. В 1799 г. на основе ее измерения изготовили эталон метра в виде платиновой концевой меры (метр Архива), представлявший собой линейку шириной около 25 мм, толщиной около 4 мм с расстоянием между концами 1 м.

Государственные эталоны основных единиц системы СИ

3. *Эталон единицы времени* — комплекс средств, воспроизводящих секунду в виде 9 192 631 770 периодов колебаний электромагнитного излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома Cs^{133} . Этот эталон является также эталоном единицы частоты – герца. Он обеспечивает воспроизведение единиц с относительным средним квадратическим отклонением результата измерений, не превышающим $1 \cdot 10^{-13}$, при неисключенной относительной систематической погрешности, не превышающей $1 \cdot 10^{-12}$.

Единица времени — секунда впервые определялась через период вращения Земли вокруг оси или Солнца. До недавнего времени секунда равнялась $1/86400$ части солнечных средних суток. За средние солнечные сутки принимался интервал времени между двумя последовательными кульминациями "среднего" Солнца. Для определения единицы времени. Средние солнечные сутки определяются с погрешностью до 10^{-7} с.

Государственные эталоны основных единиц системы СИ



4. *Эталон единицы силы постоянного электрического тока - ампера* - это комплекс средств, в состав которых входят токовые весы. В токовых весах, представляющих собой рычажные равноплечие весы, с одной стороны на коромысло действует сила взаимодействия двух соленоидов, обтекаемых постоянным током, а с другой стороны — гири известной массы.

При равновесии весов, сила тока определяется через массу гири, ускорение свободного падения в месте расположения весов и постоянную электродинамической системы (двух соленоидов), зависящую от формы и размеров соленоидов, диаметра сечения провода соленоидов, значения относительной магнитной проницаемости среды и т. д.). Таким образом, ампер воспроизводится через основные единицы — метр, килограмм и секунду. Эталон воспроизводит размер ампера с относительным средне квадратическим отклонением результата измерений, не превышающим $4 \cdot 10^{-6}$, при относительной систематической погрешности, не

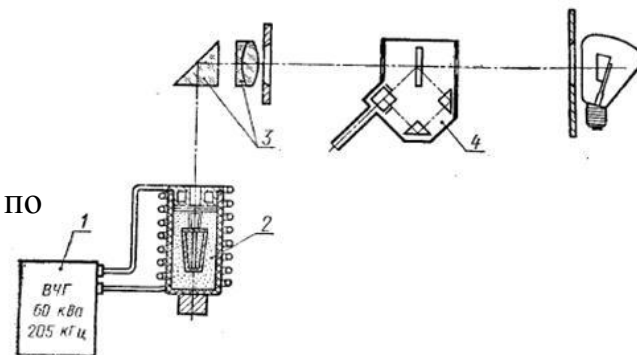
Государственные эталоны основных единиц системы СИ

Эталон единицы силы света - кандела – это сила света, испускаемая с площади $1/600000$ м² сечения полного излучателя, в перпендикулярном к этому сечению направлении при температуре излучателя, равной температуре затвердевания платины при давлении 101325 Па.

Кандела наиболее точно воспроизводится при помощи **эталонного устройства — полного излучателя**. Полный излучатель, называемый иногда абсолютно черным телом, представляет собой небольшую трубочку из окиси тория внутренним диаметром около 2,5 мм, погруженную в чистую платину. Платина в свою очередь находится в сосуде, спрессованном из порошка плавленной окиси тория, окруженном порошком из окиси тория. Все это помещено во внешний сосуд из плавленого кварца.

1 - высокочастотный генератор, 2 - полный излучатель, 3 - призма полного внутреннего отражения, 4 - фотометр, 5 - эталонная лампа накаливания.

Воспроизведению канделы приписана погрешность $\pm 0,5\%$ по результатам международных сличений.



Внешний сосуд окружен небольшим числом витков медной охлаждаемой водой трубки. По трубке пропускается ток высокой частоты (около 250 кГц), который нагревает платину до ее расплавления. Вместе с платиной нагревается и трубочка из тория. Свет излучается из полости трубочки через отверстие в верхней ее части. Яркость полного излучателя при температуре затвердевания платины сравнивается с помощью фотометра с яркостью особых ламп накаливания, используемых в **качестве вторичных эталонов**.

Возникновение и развитие способов измерения времени

С 1981 г. в дополнение к декретному времени на территории СССР введен ежегодный сезонный перевод стрелок часов (с 1 апреля по 1 октября) на 1 час вперед. Местное время в указанный весенне-летний период будет опережать истинное поясное на 2 часа.

С часовыми поясами связана и так называемая линия перемены дат. Новые сутки повсеместно измеряют с полуночи. Чтобы избежать путаницы в счете дней, международным соглашением установлено: меридиан с долготой в 180° (12 часов), разграничивающий западное и восточное полушария Земли, считать линией перемены дат. На кораблях, пересекающих эту линию с запада на" восток, один и тот же день считают дважды, а на судах, идущих в обратном направлении пропускают один календарный день.

Следующая лекция:

Учет эффектов общей теории относительности (зависимость хода часов от ускорения и гравитации)