

# ISS0050 Mõõtmise - Эталоны

Kristina Vassiljeva

18 сентября 2014 г.

# Поверка

- Поверка
- Эталоны

Длина

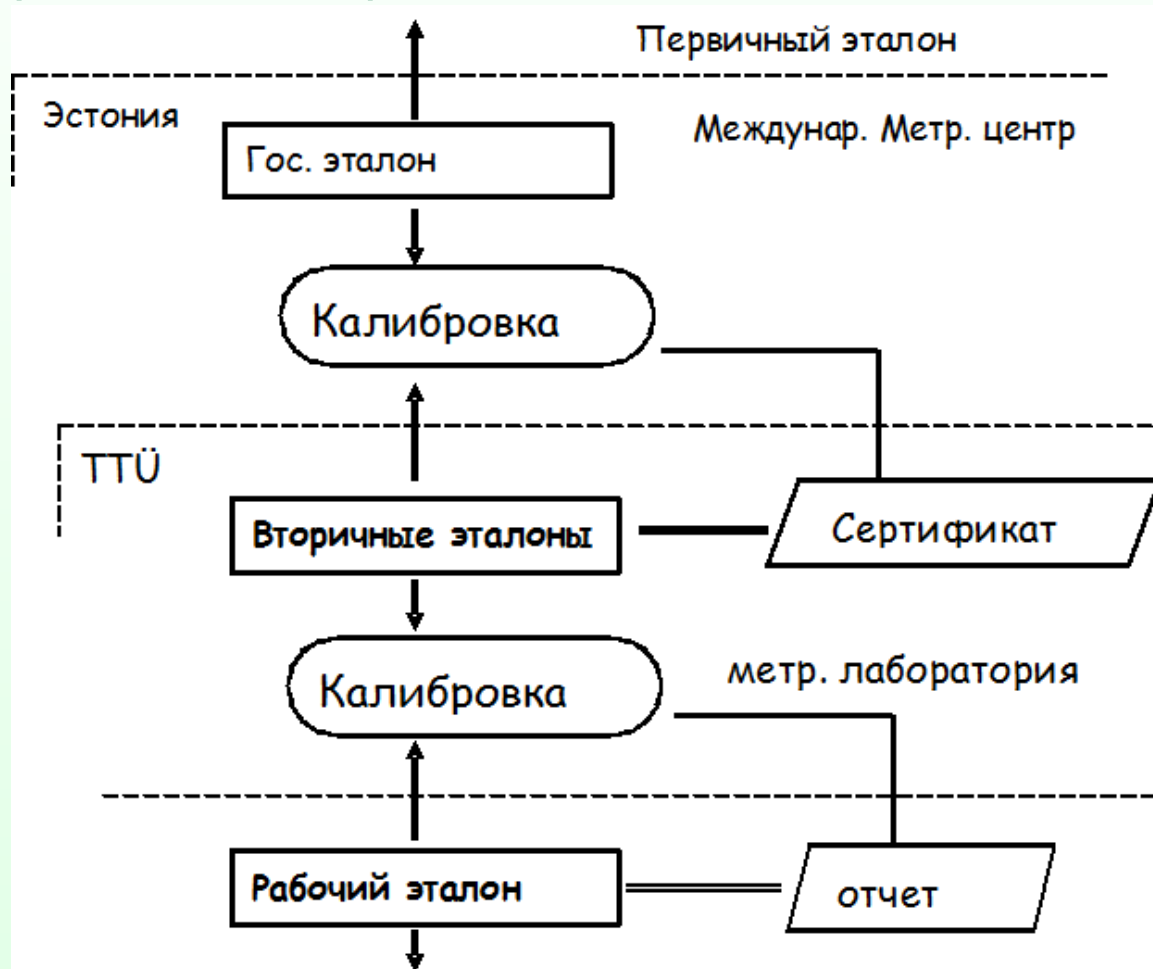
Масса

Время

Сила тока

Температура

Эталон / **etalon** / **primary standard** - средство для реализации физической величины



# Эталоны

- Поверка
- **Эталоны**

Длина

Масса

Время

Сила тока

Температура

Эталоны являются официальными, их определяют и строят.

- Они сертифицированы, аттестированы и лицензированы.
- Но НЕ являются лучшими!

Юридический документ намного важнее реального значения(!), ответственность делегируется эталонам (неправильное измерение  $\Rightarrow$  решение суда  $\Rightarrow$  претензии).

Эталоны - согласованные величины  
 $\Rightarrow$  наименование сохранилось, а определение и построение изменялось.

- Поверка
- Эталоны

### Длина

- Длина метр (m)
- Современный метр

Масса

Время

Сила тока

Температура

A diagram illustrating the concept of length. It consists of two parallel horizontal lines. The top line has a vertical tick mark at its left end and a vertical tick mark at its right end. The bottom line also has a vertical tick mark at its left end and a vertical tick mark at its right end. The word "Длина" is centered between these two lines.

Длина

# Длина метр (m)

- Поверка
- Эталоны

Длина

• **Длина метр (m)**

- Современный метр

Масса

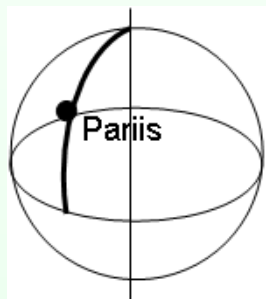
Время

Сила тока

Температура

Франция конец XVIII века (возможности):

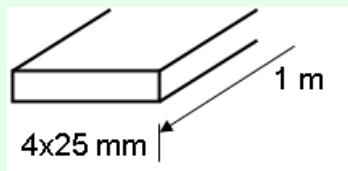
1. маятник такой длиной, чтобы  $\frac{1}{2}T = 1$  s (НО:  $g$  - меняется);
2. размеры Земли (постоянная и неразрушаемая).



В 1794 г. 1 м — одна десятимиллионная часть четверти дуги парижского меридиана (земля приплюснута).

Проблема: как сравнивать, если возникнет необходимость? Точность  $\pm 0.2$  mm

1799 г. первая реализация (кованая).



Патиновая линейка (при  $T = 0^\circ C$ ), “архивный метр”. Точность:  $\pm 10^{-5}$  m

При последующем измерении установили, что:

- короче на  $\frac{1}{5}$  mm чем по определению
- земля эллипсоид

# Современный метр

- Поверка
- Эталоны

Длина

- Длина метр (m)
- Современный метр

Масса

Время

Сила тока

Температура

1875 г. подписали Метрическую



конвенцию. В 1889 г. был изготовлен 31 эталон: Pt + Ir, 0 °C –теплоустойчивый –устойчив к механическим воздействиям

Действовал 85 лет, хранится до сих пор в Международном бюро мер и весов. Точность:  $\pm 10^{-7}$  m

В 1960 г. перешли к спектру. Число 1 650 763,73 умноженное на длину волны оранжевой линии спектра, излучаемого изотопом криптона в вакууме.

Точность:  $\pm 5 \cdot 10^{-9}$  m

(Точность измерения времени выше!)

В 1983 г. связали с эталоном времени.

**Метр** - это длина пути, проходимая светом в вакууме за  $1/299792458$  секунды.

Точность:  $\pm 5 \cdot 10^{-10}$  m

- Поверка
- Эталоны

Длина

**Масса**

- Масса  
килограмм (kg)
- Будущее  
килограмма

Время

Сила тока

Температура



Масса

# Масса килограмм (kg)

- Поверка
- Эталоны

Длина

Масса

● **Масса килограмм (kg)**

● Будущее килограмма

Время

Сила тока

Температура

В 1794 г. килограмм - масса  $1 \text{ dm}^3$  чистой воды при температуре  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  и стандартном атмосферном давлении на уровне моря.

С 1889 года эталон цилиндрической



формы (90% Pt + 10% Ir). Хранится в Международной палате мер и весов под 3 колпаками, проверяется каждые 10 лет. **NB!** за 120 лет потерял  $3 \cdot 10^{-8}$  своей массы. На данный момент единственная единица СИ, определенная при помощи “артефакта”.

(все остальные определяются уже при помощи фундаментальных физических свойств и законов).

# Будущее килограмма

- Поверка
- Эталоны

Длина

Масса

● Масса килограмм (kg)

● Будущее килограмма

Время

Сила тока

Температура

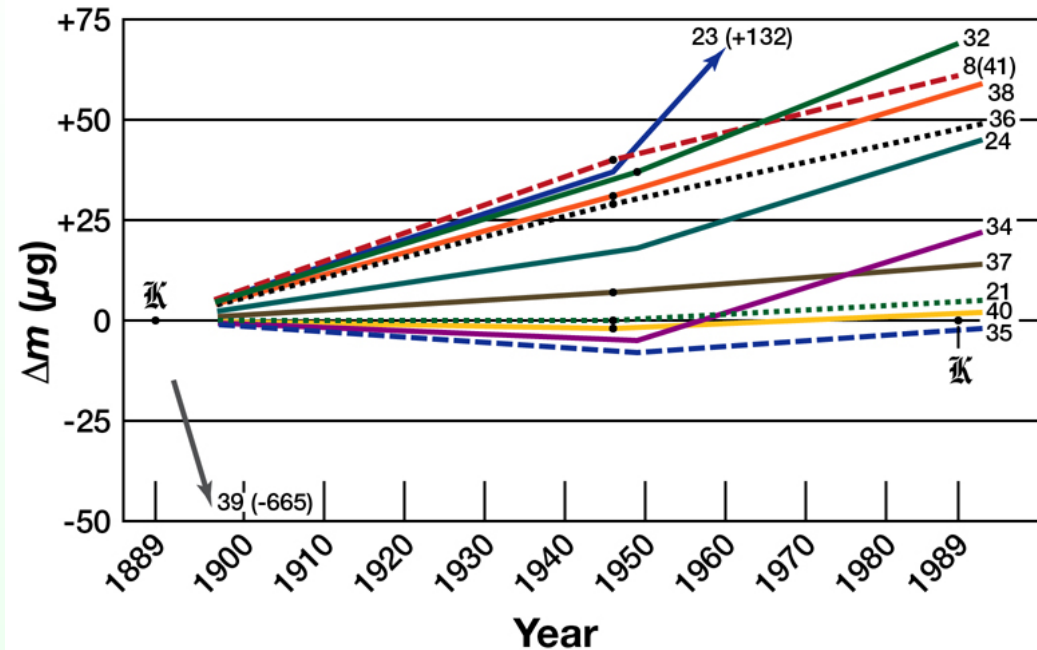


Рис. 1: Дрейф массы копий эталона. (Взято из Wikipedia)

Определение массы эталона ждут изменения:

- ✓ Он необходим для определения физических постоянных ампер и моль.
- ✓ Один из возможных вариантов нахождения через постоянную Планка (утверждение в этом году!).

- Поверка
- Эталоны

Длина

Масса

**Время**

- Время - секунда (s)
- Астрономическая временная шкала
- Сутки
- Всемирное время
- Обороты
- Атомное время
- JILA
- UTC
- Синхронизация

Сила тока

Температура



# Время

# Время - секунда (s)

- Поверка
- Эталоны

Длина

Масса

Время

- **Время - секунда (s)**

- **Астрономическая временная шкала**

- Сутки
- Всемирное время
- Обороты
- Атомное время
- JILA
- UTC
- Синхронизация

Сила тока

Температура

Время - естественный стабильный периодический процесс *сутки*.

Еще ассирийские и вавилонские звездочеты установили - (24h - 60 min - 60 s).

Перехода на десятичную систему не произошло (французская революция предложила).

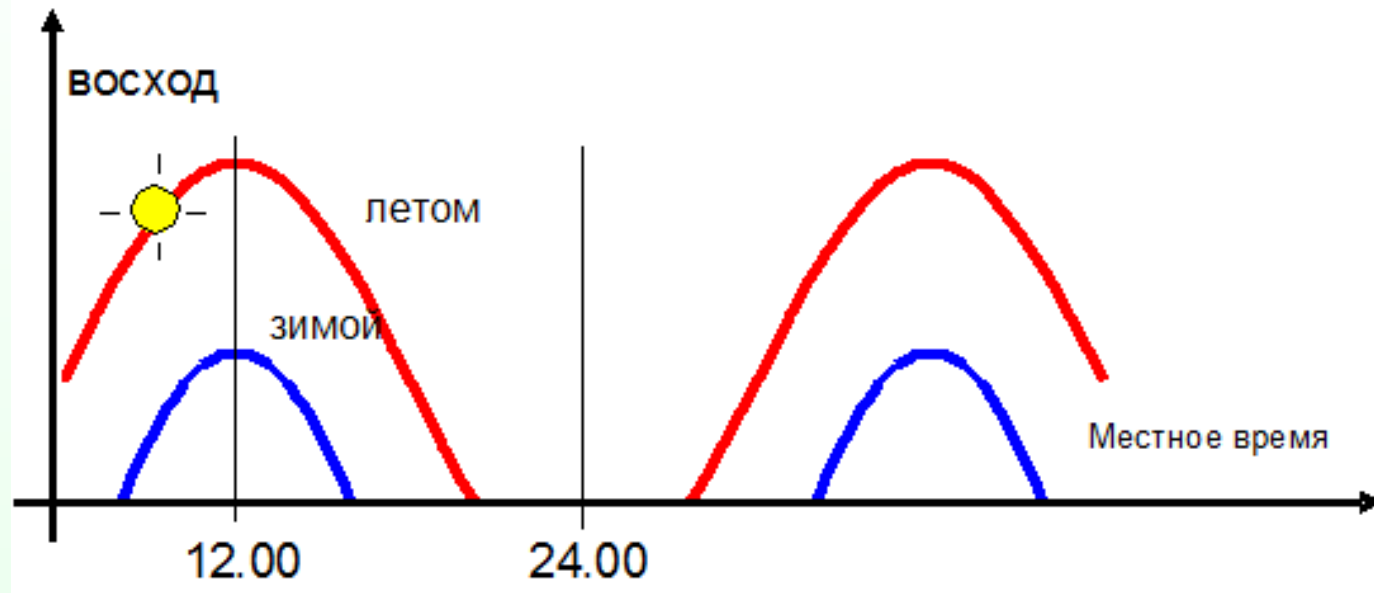
Используется два понятия:

- момент времени или “эпоха”(который час);
- интервал времени (возраст, длительность).

Используется две шкалы: *астрономическое* и *атомное время*.

# Астрономическая временная шкала

Солнечное время (сутки) - (24h - 60 min - 60 s).



*Истинное солнечное время* - определяется положением солнца, т.е. в полдень, когда солнце пересекает меридиан места, где мы находимся.

Нарва - 12:07

Тарту - 12:13

Таллинн - 12:21

Вильсанди - 12:33

- Поверка
- Эталоны

Длина

Масса

Время

- Время - секунда (s)

● Астрономическая временная шкала

● Сутки

● Всемирное время

● Обороты

● Атомное время

● JILA

● UTC

● Синхронизация

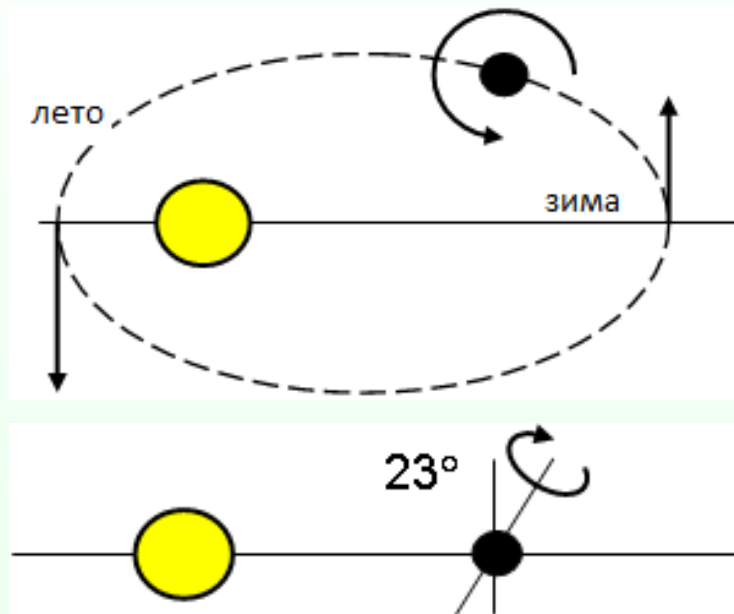
Сила тока

Температура

# Сутки

Солнечные сутки - непостоянная величина! Так

как траектория Земли - эллипс: зимой сутки на 16 с длинее, чем летом;



Из-за вертикального отклонения: в марте и сентябре сутки на 20 с

короче.

временная точность:

час XIII век

минута XVII век

секунда 1720

- Поверка
- Эталоны

Длина

Масса

Время

- Время - секунда (s)

●  
Астрономическая временная шкала

● Сутки

● Всемирное время

● Обороты

● Атомное время

● JILA

● UTC

● Синхронизация

Сила тока

Температура

# Всемирное время

- Поверка
- Эталоны

Длина

Масса

Время

- Время - секунда (s)
- 
- Астрономическая временная шкала
- Сутки
- **Всемирное время**
- Обороты
- Атомное время
- JILA
- UTC
- Синхронизация

Сила тока

Температура

Является современной заменой среднего времени по Гринвичу (GMT). Все версии всемирного времени основаны на вращении Земли относительно небесных объектов.

**UT0** универсальное время, определяемое с помощью наблюдений суточного движения звезд, а также Луны. Не является равномерным. Время на мгновенном гринвичском меридиане.

**UT1** основная версия всемирного времени. Пренебрегая некоторыми незначительными поправками одинаково везде на Земле. Также является неравномерным. Время на среднем гринвичском меридиане. Учитывает движение земных полюсов.(современная версия GMT)

**UT2** сглаженная версия UT1, в которой фильтруются периодические сезонные возмущения во вращении Земли, так и возмущения из-за приливов. Представляет исторический интерес, так как редко где используется.

# Обороты

- Поверка
- Эталоны

Длина

Масса

Время

- Время - секунда (s)

●  
Астрономическая временная шкала

- Сутки
- Всемирное время

● **Обороты**

● Атомное время

● JILA

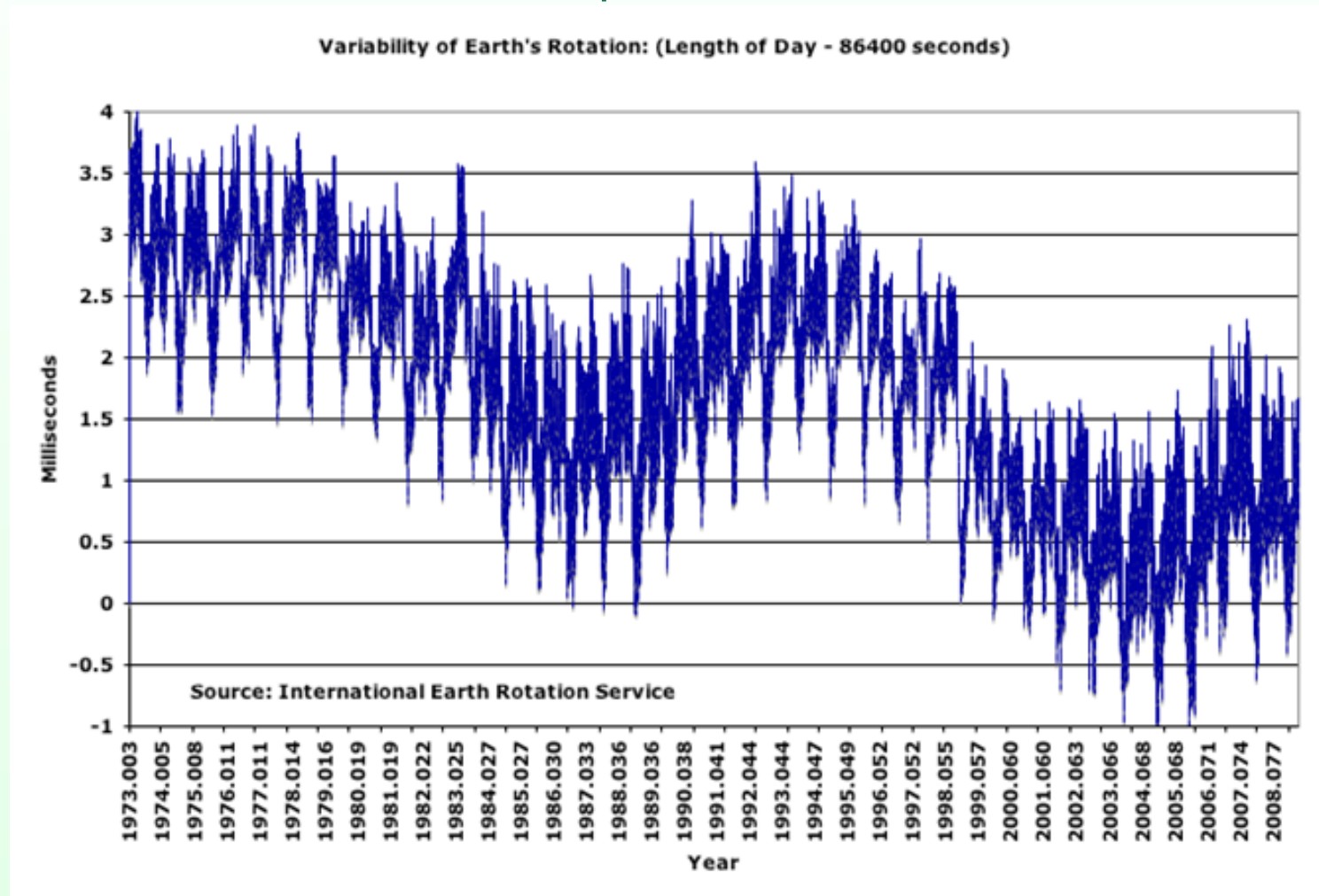
● UTC

● Синхронизация

Сила тока

Температура

## Земля замедляет свое вращение



за год накапливается разница около 1 s.

# Атомное время

Устойчивый периодический процесс

Время, в основу измерения которого положены электромагнитные колебания, излучаемые атомами или молекулами при переходе из одного энергетического состояния в другое.

В 1967 г. TAI (**Temps Atomique International**) - 1 атомная секунда = 9192631770 периодов излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Эталон атомного времени не имеет ни суточных, ни вековых колебаний, не стареет и обладает достаточной определенностью, точностью и воспроизводимостью.

- Поверка
- Эталоны

Длина

Масса

Время

- Время - секунда (s)

- Астрономическая временная шкала

- Сутки
- Всемирное время
- Обороты

- **Атомное время**

- JILA
- UTC
- Синхронизация

Сила тока

Температура

# JILA

Можно ли повысить точность?

NPL-CsF2 (National Physical Laboratory) - наиболее точные часы на 2011 год. Используются сейчас в Англии. Теряют одну секунду в 100 миллионов лет.

JILA strontium atomic clock - наиболее точные часы (2014 год). Теряют одну секунду в 5 миллиардов лет.

Несмотря на то, что стронциевые часы JILA имеют самую высокую на сегодняшний день точность, их поведение в течение длительного времени остается еще неизвестной величиной. Именно это является причиной тому, что в качестве эталонов времени люди продолжают использовать проверенные временем цезиевые часы.

- Поверка
- Эталоны

Длина

Масса

Время

- Время - секунда (s)

●

Астрономическая временная шкала

- Сутки
- Всемирное время
- Обороты
- Атомное время
- **JILA**
- UTC
- Синхронизация

Сила тока

Температура

# UTC

- Поверка
- Эталоны

Длина

Масса

Время

- Время - секунда (s)
- 

Астрономическая  
временная шкала

- Сутки
- Всемирное время
- Обороты
- Атомное время
- JILA
- **UTC**
- Синхронизация

Сила тока

Температура

## Всемирное координированное время UTC

Это международный стандарт, на котором базируется гражданское время. Это атомная шкала времени, аппроксимирующая среднее солнечное время.

- временной промежуток получают на основе атомного времени TAI
- синхронизируется с астрономическим временем UT1.
  - разницу держат в промежутке  $|UTC - UT1| < 0.95 \text{ s}$
  - при необходимости корректируют  $\pm 1 \text{ s}$  2 раза в год: 30.06 и 31.12

# Синхронизация

- Поверка
- Эталоны

Длина

Масса

Время

- Время - секунда (s)
- Астрономическая временная шкала
- Сутки
- Всемирное время
- Обороты
- Атомное время
- JILA
- UTC
- Синхронизация

Сила тока

Температура

- точные временные сигналы по радио:  $5 \times 0.1 \text{ s} + 0.5 \text{ s}$  с интервалом в  $1 \text{ s}$



- Координированные сигналы времени
  - Специальные радиостанции: точная частота и время  $\pm 1 \text{ ms}$
- Синхронизация часов компьютеров через Интернет
  - NTP - Internet Network Time Protocol  $\pm 10 \text{ ms}$
- GPS сигналы времени  $\pm 10 \text{ ns}$

- Поверка
- Эталоны

Длина

Масса

Время

**Сила тока**

- Сила тока 1 (A)
- Токовые весы
- Напряжение (U)
- Современный 1 V
- Сопротивление

Температура

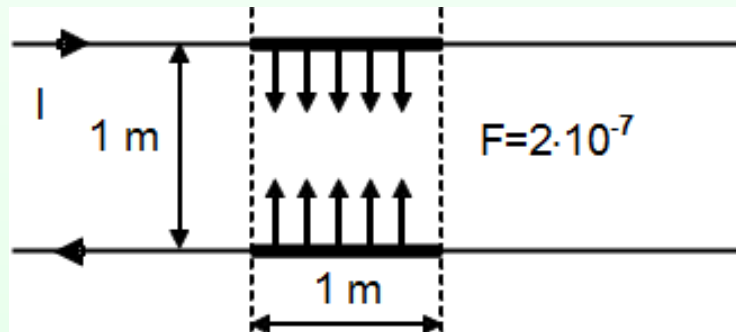
# Сила тока

# Сила тока 1 (А)

В 1880 г. существовало 5 различных единиц измерения для тока и 8 е.и для напряжения;

1893 г. Сила неизменяющегося эл. тока, который проходя через водный раствор азотокислого серебра выделяет 1.11800 mg серебра в 1 s (вещественный эталон).

1948 г. Через механическую силу уравнения Максвелла



Сила постоянного тока, текущего в каждом из двух параллельных бесконечно длинных бесконечно малого

кругового сечения проводников в вакууме на расстоянии 1 метр, и создающая силу взаимодействия между ними  $2 \cdot 10^{-7}$  ньютонов на каждый метр длины проводника.

- Поверка
- Эталоны

Длина

Масса

Время

Сила тока

- **Сила тока 1 (А)**

- Токовые весы
- Напряжение (U)

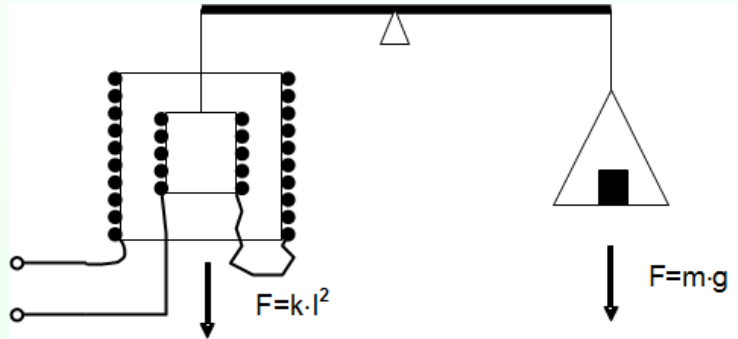
- Современный 1 V

- Сопротивление

Температура

# Токовые весы

Прибор для воспроизведения единицы силы тока - ампера



Сила тока определяется по силе электродинамического взаимодействия двух проводников, выполненных в виде

коаксиальных однослойных соленоидов, по которым протекает один и тот же ток. Сила взаимодействия соленоидов уравновешивается весом гирь,

$$I = \sqrt{\frac{mg}{k}},$$

где  $I$  — сила тока,  $m$  — масса гирь,  $g$  — ускорение свободного падения,  $k$  — коэффициент, зависящий от размеров соленоидов и учитывающий особенности взаимодействия соленоидов по сравнению с взаимодействием прямолинейных проводников.

- Поверка
- Эталоны

Длина

Масса

Время

Сила тока

- Сила тока 1 (A)

- **Токовые весы**

- Напряжение (U)

- Современный 1 V

- Сопротивление

Температура

# Напряжение (U)

- Поверка
- Эталоны

Длина

Масса

Время

Сила тока

- Сила тока 1 (A)
- Токовые весы
- **Напряжение (U)**
- Современный 1 V
- Сопротивление

Температура

Единица измерения - Вольт (V);  
размерность:  $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$

$U = P/I$  - через понятие мощности, но эталон в 1 W  
очень трудно реализуем, поэтому  
 $1 V = 1 W / 1 A$  для реализации не используется

## *Нормальный элемент Вестона*

применяется в качестве источника опорного  
напряжения либо напряжения при воспроизведении и  
измерении постоянных напряжений.

$$U_n = 1.01854 V \dots 1.01873 V \quad 0.001\%$$

дрейф  $< 50 \mu V/$ , температурный коэффициент

- 1908 г. “международный вольт”  $\pm 3 \cdot 10^{-4}$
- 1948 г. “абсолютный вольт”  $\pm 10^{-6}$

# Современный 1 V

- Поверка
- Эталоны

Длина

Масса

Время

Сила тока

- Сила тока 1 (A)
- Токовые весы
- Напряжение (U)
- **Современный 1 V**

- Сопротивление

Температура

Эталон основанный на *эффекте Джозефсона* (квантовые эффекты) 1973 г.

$$U = \frac{h}{2e} \cdot f, \quad \pm 10^{-8}$$

где  $e$  - заряд электрона,  $h$  - постоянная Планка при температуре  $T = 4$  К.

В Эстонской Республике:  $U = 1 \text{ mV} \dots 1000 \text{ V}$   
 $\pm 0.001\%$

# Сопротивление

- Поверка
- Эталоны

Длина

Масса

Время

Сила тока

- Сила тока 1 (A)
- Токовые весы
- Напряжение (U)
- Современный 1 V

- **Сопротивление**

Температура

Единица измерения Ом ( $\Omega$ );

размерность:  $R = L^2 \cdot M \cdot T^{-3} \cdot I^{-2}$  или V/A

- 1908 г. “международный ом”  $\pm 5 \cdot 10^{-4}$
- 1948 г. “абсолютный ом”  $\pm 10^{-6}$

Квантовый эффект Холла открыт Клаусом фон Клитцингом.

Применяется в качестве стандарта сопротивления. Поэтому, начиная с 1990 г.,

$$R_h = \frac{h}{e^2} = 25812,807 \pm 10^{-8}.$$

значение ома изменилось на  $-1.6 \cdot 10^{-6}$

В Эстонской Республике:  $R = (10^{-3} \dots 10^{+8}) \Omega$   
 $\pm 0.005\% \dots \pm 0.01\%$

- Поверка
- Эталоны

Длина

Масса

Время

Сила тока

**Температура**

- Температура (К)

Температура

# Температура (К)

Абсолютная шкала температуры называется так, потому что мера основного состояния нижнего предела температуры — наиболее низкая возможная температура, при которой в принципе невозможно извлечь из вещества тепловую энергию.

- Поверка
- Эталоны

Длина

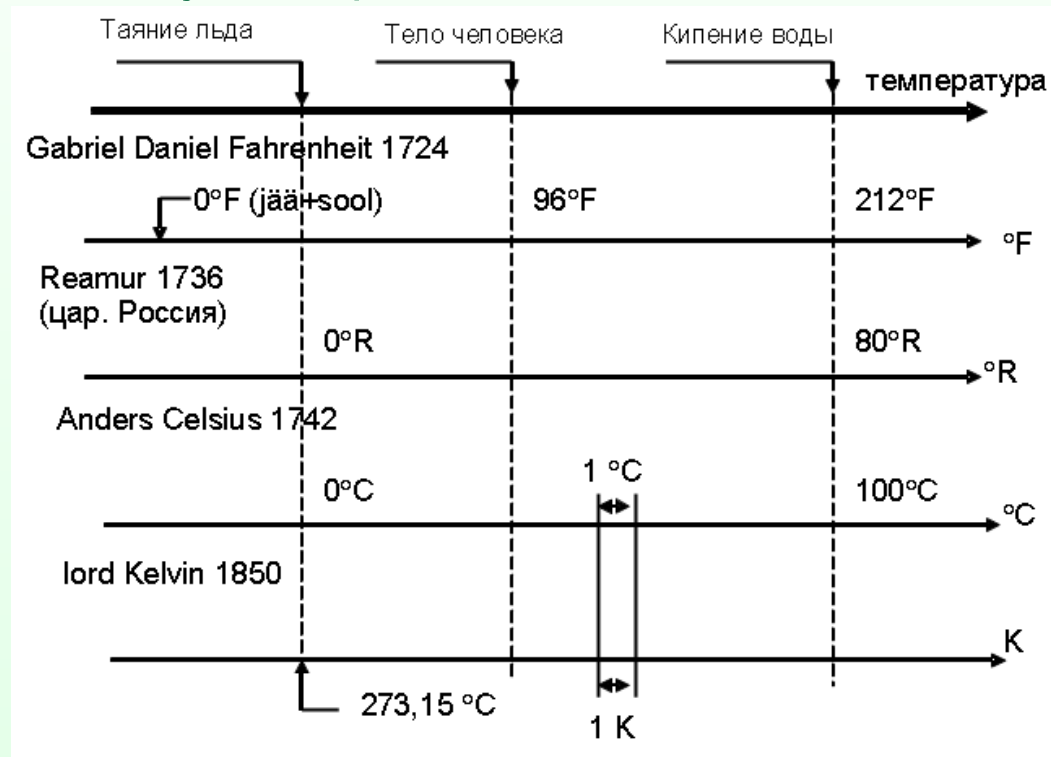
Масса

Время

Сила тока

Температура

- Температура (К)



Абсолютный ноль определён как 0 К, что равно 273.15 °С (точно).