



Рedefиниција килограма

Драган Пантић, дипл. физ.



Сребрно Језеро, Јун 3 - 6, 2019.



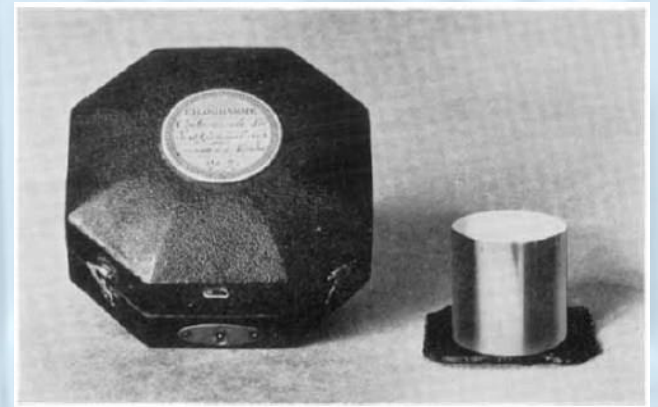
Историја

1793-*grave*

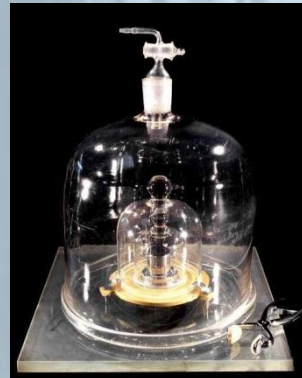


1795-*gram=gravet*

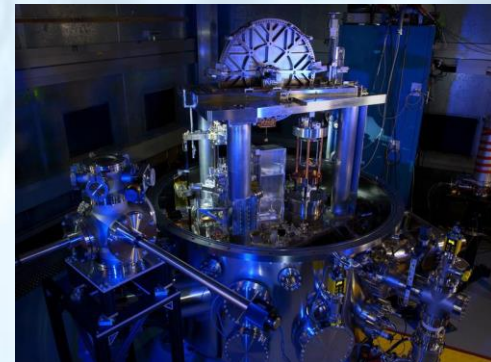
1799-*Kilogramme des Archives*



1875/1899-*IPK*



2019-*Watt (Kibble) Balance*



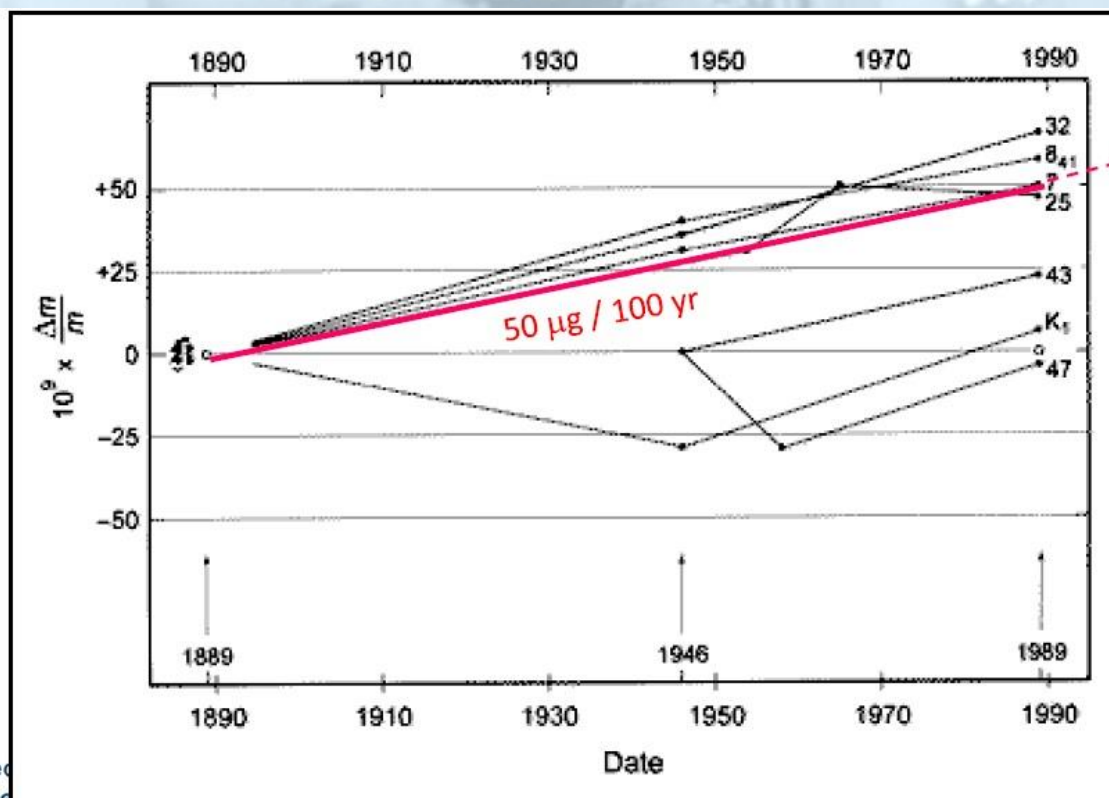


- У раду са међународном еталоном постоје велике опасности услед хабања, оштећења контаминације...
- До сада је само четири пута коришћен у мерењима 1889, 1946, 1989. и 2014 године
- За рад у ВРМ-у користе се радни еталони који се пореде са копијама међународног еталона





- На основу праћења резултата његових поређења са копијама и одабраним националним протитиповима установљено је да је међународни еталон променио своју масу и то $50 \mu\text{g}$ за 100 година





- Због наведених проблема међународна научна заједница у току последњих 35 година покушава да изврши редефиницију килограма и његову вредност повеже са природном константом
- Постојале су разне врсте покушаја, напонска вага (Voltage balance), магнетна левитација, акумулација јона итд.
- Од свих покушаја издвојила су се два, са својим успешним радом, Ватна вага (Watt balance) и силицијумска сфера односно дефинисање килограма преко Планкове и Авогадрове константе



На 24 Генерална конференција за тегове и мере (CGPM) 2011. године донела је резолуцију у којој је навела :

а) Да није обезбеђена дугорочна стабилност међународног еталона масе;

б) Килограм ће наставити да буде јединица за масу, али ће се његова вредност одредити фиксирањем вредности Планкове константе на $6,62606X \times 10^{-34}$ која се у систему (SI) изражава у $m^2 kg s^{-1}$ што је једнако J s;



- Да би се Планкова константа фиксирала консултативни комитет за масу донео је препоруку да:

а) Најмање три независна експеримента, укључујући рад на ватној ваги и силицијумској сфери, треба да остваре упоредиве резултате за Планкову константу са релативном мерном несигурношћу мањом од $5 \cdot 10^{-8}$

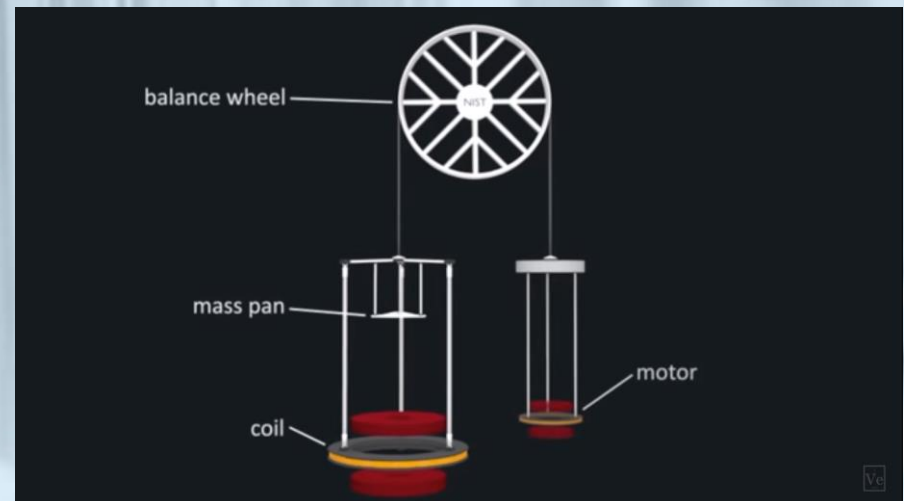
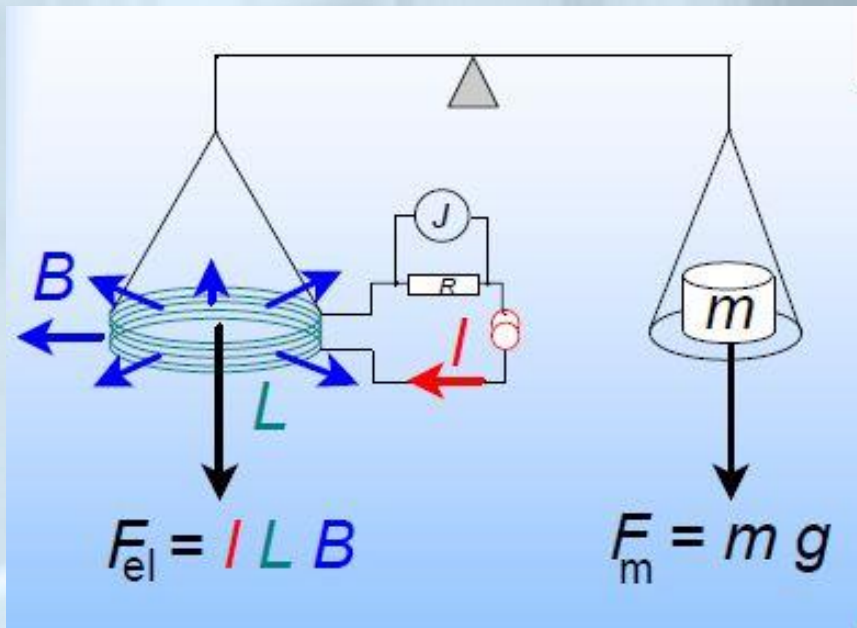
б) Најмање један од ових резултата буде са релативном мерном несигурношћу мањом од $2 \cdot 10^{-8}$



Watt (Kibble) Balance

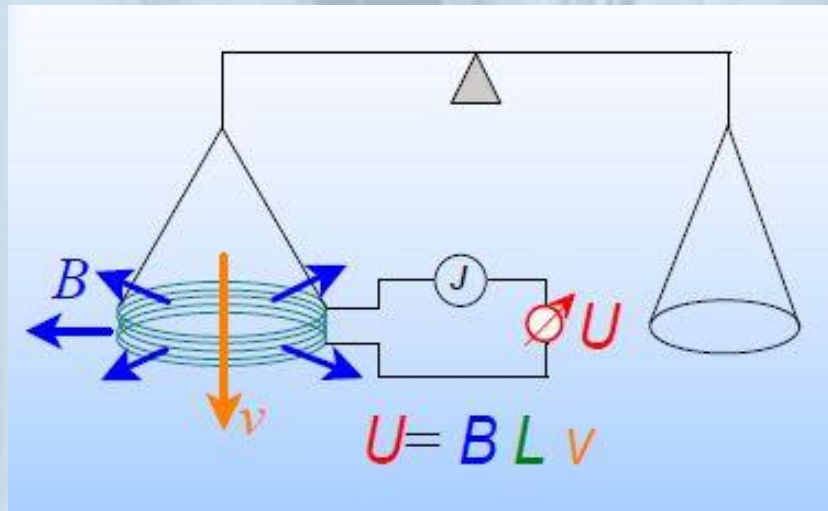
Рад ваге одвија се у два дела:

1. Статичком (WEIGHING mode), у коме се изједначава гравитациона сила еталона масе са електромагнетном СИЛОМ





2. Динамичком (VELOCITY mode), кретањем калема у магнетном пољу сталних магнета ради мерења напона



B- густина
магнетног
флукса
сталних
магнета

L- дужина
намотаја
проводника



$$mg=BLI$$

WEIGHING mode

$$U=BLv$$

VELOCITY mode



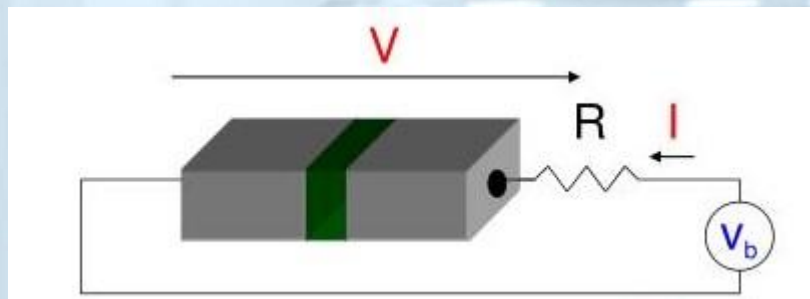
Електрична
снага

Механичка
снага

$$UI = vmg$$



Напон на крајевима калема се мери уз помоћ ефекта Џозефсоновог споја (Josephson junction effect).



$$U = \frac{h\nu}{2e}$$

Џозефсонов еталон за мерење напона се састоји од n Џозефсонових спојева.

$$U = n \frac{h\nu}{2e}$$



$$UI = mgv$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$n \frac{h\nu}{2e}$$

$$n \frac{h\nu}{2e}$$

$$U \frac{U}{R} = mgv$$

Квантни Холов ефект
(quantum Hall effect)

$$R = \frac{h}{pe^2}$$



**Када све ово уврстимо, добијамо
коначну једначину**

$$h = \frac{4gv}{pn^2v^2}m$$

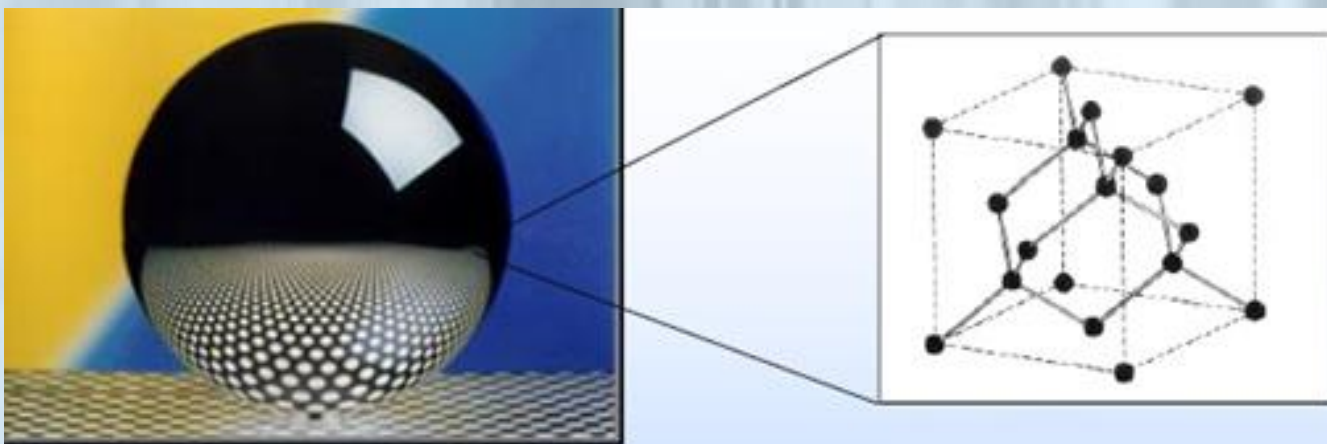


Силицијумска сфера

- Идеја почиње од Авогадрове константе
- Авогадрова константа (N_A) представља број атома у молу чисте супстанце.
- На основу тога дефинисање килограма може се остварити утврђивањем масе једног атома неке чисте супстанце и утрђивањем њиховог броја у једном килограму те супстанце. Један од примера како би се могао дефинисати килограм је $(N_A) \cdot 1000 / 12 \cdot m(^{12}\text{C})$

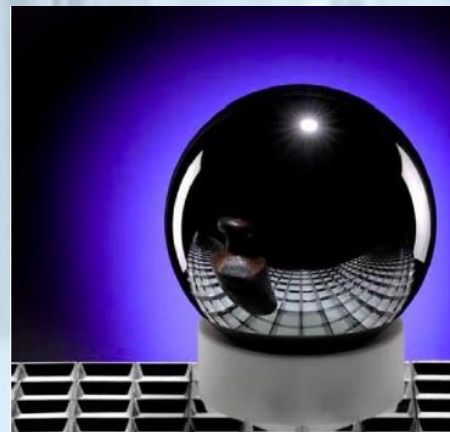
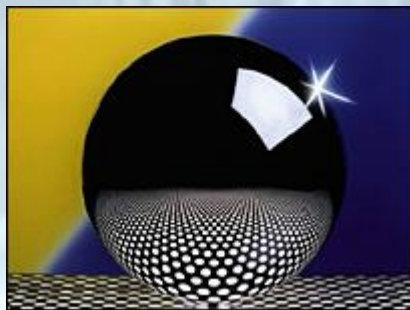


- За чисту супстанцу одабран је изотоп силицијум-28 (silicon-28) као материјал са најбоље познатим карактеристикама, коришћен у полупроводничкој индустрији, који може остварити изузетно високу чистоћу (99,995 %) и који поседује велику и скоро савршену појединачну ћелију кристалне решетке





- Основна идеја је да се на основу измереног пречника (који се мери помоћу два оптичка интерферометра) и измерене стране коцке која представља елементарну ћелију кристалне решетке (која се мере интерферометром са X-зрацима) израчунају запремине сфере и елементарне ћелије. Пошто свака ћелија поседује 8 атома на основу тога се може израчунати број атома у силицијумској сфери



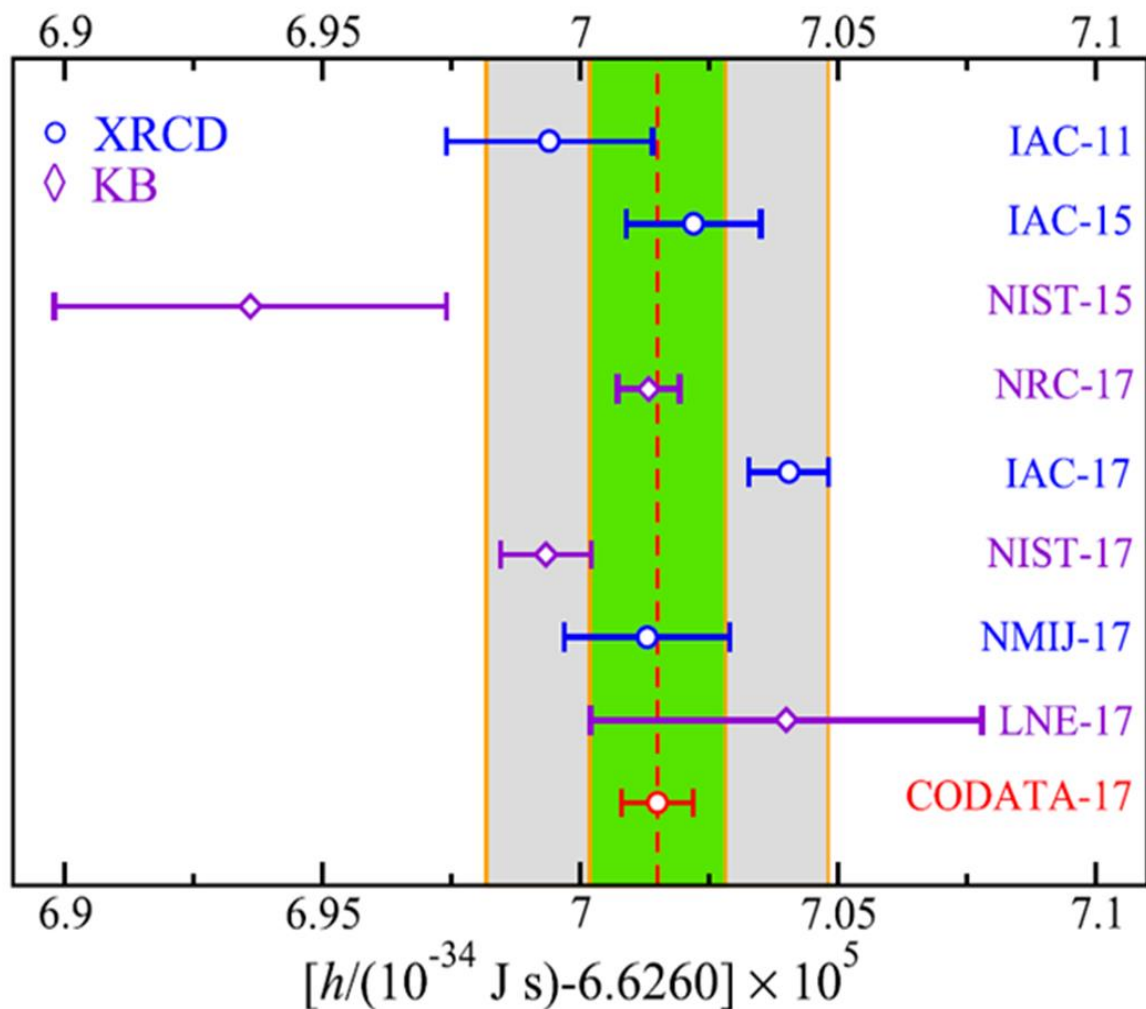


- 2004. године је покренут The International Avogadro Coordination (IAC) пројекат који представља сарадњу Међународног бироа за тегове и мере (BIPM) и 7 националних метролошких института, PTB, NIST, INRIM, NPL, NMIA, NMIJ/AIST и IRMM. Циљ пројекта је да се Авогадрова константа одреди са мерном несигурношћу мањом од $2 \cdot 10^{-8}$





- Дефиниција килограма оствариће се преко Планкове константе а не преко Авогадровог броја
- Ова два на први поглед различита приступа налазе се у вези преко molar Planck константе, $N_a h = 3.990\ 312\ 7115... \times 10^{-10} \text{ Js/mol}$ тако да се без икаквих проблема из израчунате Авогадрове константе може добити Планкова константа
- Ово су у ствари два различита приступа са упоредивим резултатима који воде ка истом резултату, Планковој константи



- Published values for the Planck constant h and the CODATA 2017 value
- XRCD: x-ray-crystal-density
- KB: Kibble balance
- The inner green band is ± 20 parts in 10^9
- The outer grey band is ± 50 parts in 10^9

CODATA $h = 6.626\,070\,150(69) \times 10^{-34} \text{ J s}$
Relative standard uncertainty $\pm 1.0 \times 10^{-8}$



Килограм је SI јединица масе. Дефинисан је узимањем фиксне нумеричке вредности Планкове константе h која износи $6.62607015 \times 10^{-34}$ изражена у јединицама Js односно $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$ где су метар и секунда дефинисани појмовима c и $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.



ХВАЛА НА ПАЖЊИ!