



XXXVII Републички семинар о настави физике

Нови Међународни систем јединица - SI редефиниција килограма, ампера, мола и келвина

*Драгана Милићевић, Борис Лаштро, Јасмина Лазаревић, Славица Симић,
Јелена Бебић, Јасмина Павловић, др Јелена Пантелић-Бабић, Предраг Ђурић*





- ❑ Дирекција за мере и драгоцене метале - ДМДМ је орган управе у саставу Министарства привреде и национална метролошка институција, активна у многим међународним организацијама: EURAMET, WELMEC, OIML, IAOO, EURACHEM

- ❑ Обавља послове који се односе на:
 - употребу законских мерних јединица,
 - развој, остваривање проглашавање и усавршавање еталона Републике Србије,
 - обезбеђење метролошке следивости,
 - испитивање претходно упакованих производа
 - спровођење метролошког надзора,
 - оцењивање усаглашености мерила, израду метролошких прописа,
 - обезбеђење метролошких информација, дистрибуцију времена и друге послове из области метрологије
 - И друге послове у вези метрологије



Мисија Дирекције за мере и драгоцене метале

ДМДМ развија и осигурава примену одговарајуће инфраструктуре мерења која обезбеђују тачна, поуздана и поштена мерења у циљу доприноса просперитета, унапређења квалитета живота грађана и повећања конкурентности привреде

Визија Дирекције за мере и драгоцене метале

ДМДМ као препознатљива, водећа и међународно призната национална метролошка институција у региону обезбеђује све потребне метролошке услуге крајњим корисницима у Републици Србији и узима учешће у развојним и иновативним пројектима мерења којима се унапређују друштвени живот, привреда и одрживи развој



Историја

❑ Метарска конвенција 20. мај 1875.

Потписана метарска конвенција од представника 17 нација.

Основан ВІРМ са задатком да: обезбеди јединство мера, успоставља и чува међународне еталоне, врши поређења, осигура координацију у методама мерења и координира истраживања у вези са физичким (природним) константама које су од значаја за остваривање еталона

❑ Кнежевина Србија приступила Метарској конвенцији 21. 09. 1879. и преузела обавезе да:

- уведе SI
- остварује националне еталоне у складу са дефиницијама које утврђује Генерална конференција за тегове и мере (CGPM), као врховни управни орган Конвенције.



Историја – прве прамере

□ 1891 Прва генерална конференција за тегове и мере

Prototype du metre No 30 и **Prototype du kg No 11**

Краљевина Србија је преузела од ВІРМ као своје прве прамере првог реда.

m No 30 се чува у ДМДМ, није више национални еталон – ту улогу преузео ласер



kg no 11 1925. замењен протипом kg no 29, који је изгубљен у току Другог светског рата, а нови (од нерђајућег челика) no 33 је набављен 1956. и ова прамера је и данас национални еталон РС

1880. наш први еталон kg од позлаћеног месинга
2018. kg no 33 национални еталон РС

138 година традиције





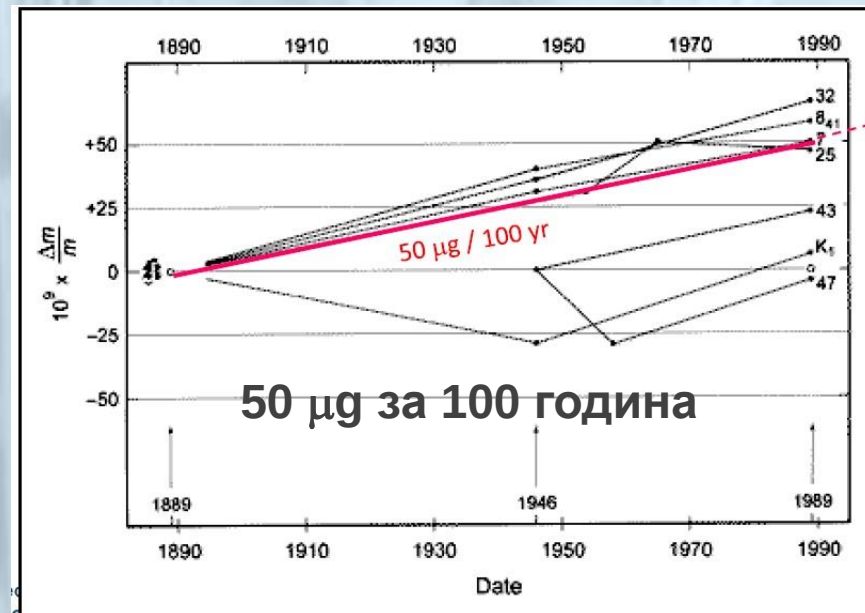
МАТЕРИЈАЛИЗОВАНА ТРАМЕРА kg



Јединица масе kg = маси међународног прототипа килограма

Од седам основних мерних јединица у SI само је kg још увек дефинисан као материјализована мера

Велике опасности услед хабања, оштећења контаминације... само четири пута вађен из сефа ради мерења 1889, 1946, 1989. и 2014. За рад у ВІРМ-у користе се радни еталони који се пореде са копијама међународног еталона

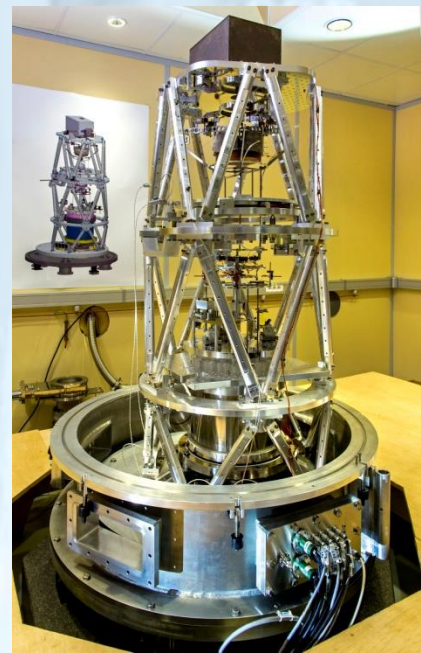




РЕДЕФИНИЦИЈА ЈЕДИНИЦЕ kg

35 година рада на редифиницији и повезивању са природном константом

Од свих покушаја издвојила су се два успешна: Watt balance и силицијумска сфера / дефинисање kg преко Планкове и Авогадрове константе





Watt (Kibble) Balance

Рад ваге одвија се у два дела:

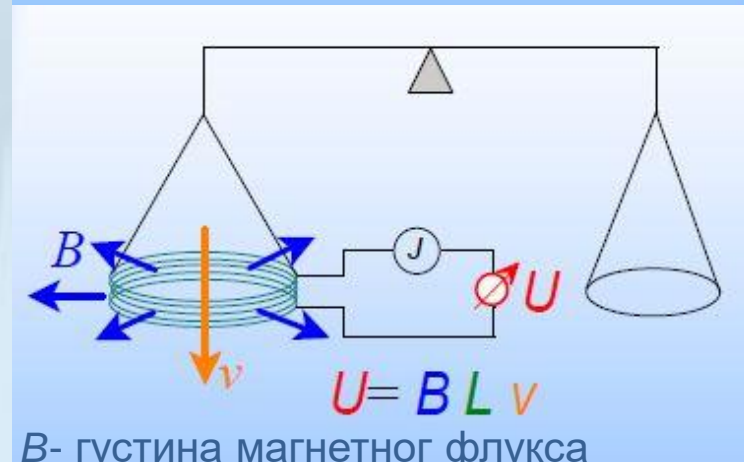
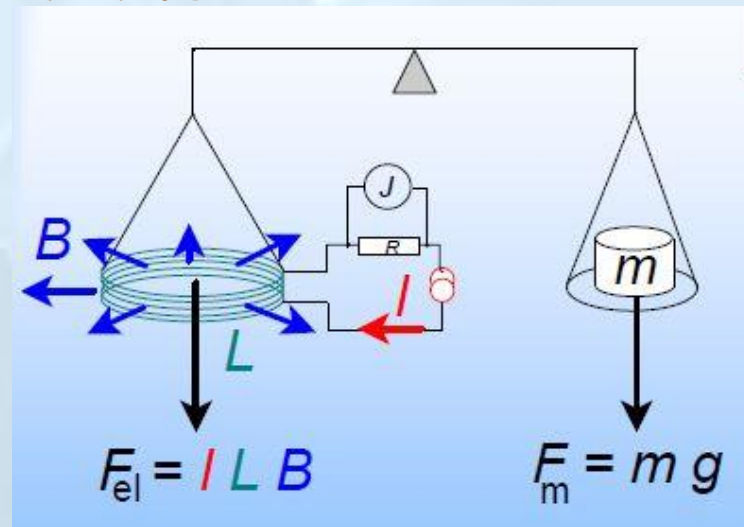
1. Статичком, у коме се изједначава гравитациона сила еталона масе са електромагнетном силом
2. Динамичком, кретањем калема у магнетном пољу сталних магнета ради мерења напона

Комбинацијом ових експеримената добија се формула којом се изједначавају електрична и механичка снага које се мере у W па одатле назив Watt Balance

$$U \cdot I = m \cdot g \cdot v$$

U - Josephson effect
 R - Quantum Hall effect

$$m = \frac{h}{4} \frac{1}{g v} Q_w$$



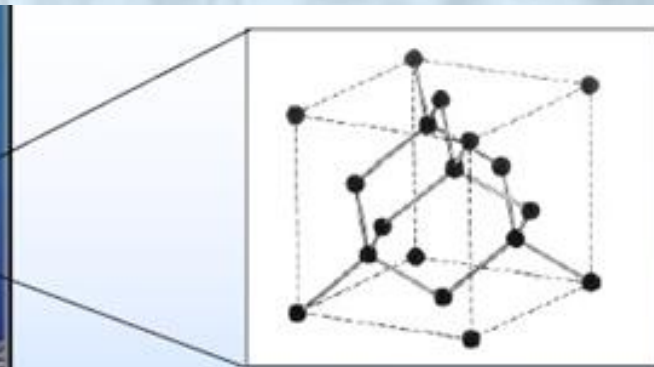
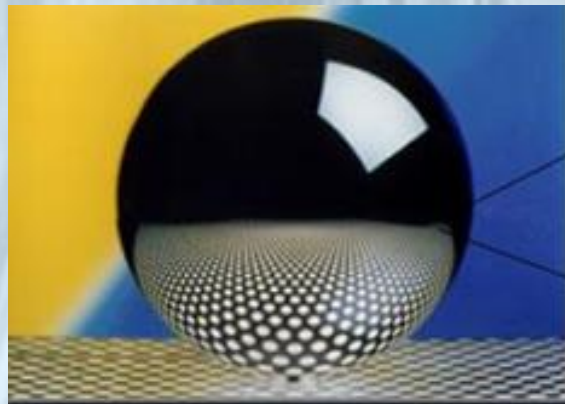
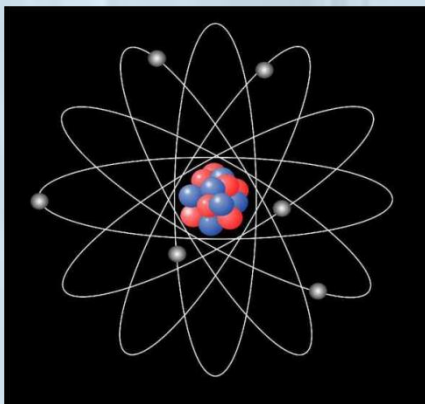
B - густина магнетног флукса

L - дужина намотаја проводника



Силицијумска сфера

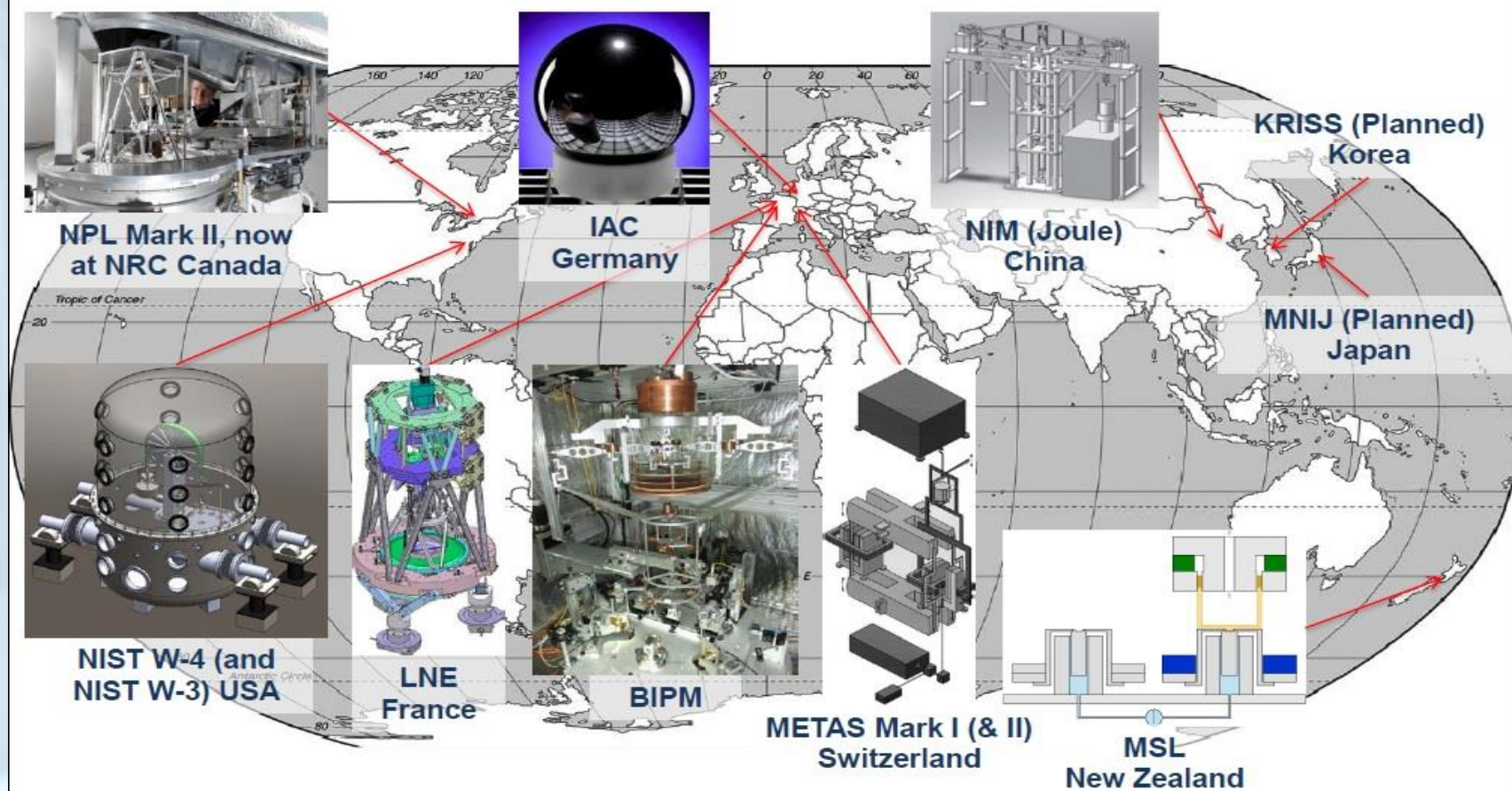
- Идеја од Авогадрове константе N_A = број атома у молу чисте супстанце (званично број атома у 12 g изотопа угљеника ^{12}C)
- На основу тога дефинисање килограма може се остварити утврђивањем масе једног атома неке чисте супстанце и утврђивањем њиховог броја у једном килограму те супстанце
- За чисту 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 поседује велику и скоро савршену појединачну ћелију кристалне решетке





НОВА ЈЕДИНИЦА МАСЕ ОД 20.05.2019.

Вредност јединице масе kg - одређена фиксирањем вредности h $6,62606 \times 10^{-34}$ која се у SI изражава у $m^2 kg s^{-1}$ што је једнако $J s$





МЕРА ТЕМПЕРАТУРЕ



Материјални артефакт – ћелија за реализацију температуре тројне тачке воде



Температурна скала из 1990

— 961.7800 °C / Тачка очвршћавања сребра

— 660.3230 °C / Тачка очвршћавања алуминијума

— 419.5270 °C / Тачка очвршћавања цинка

— 231.9280 °C / Тачка очвршћавања калаја

— 156.5985 °C / Тачка очвршћавања индијума

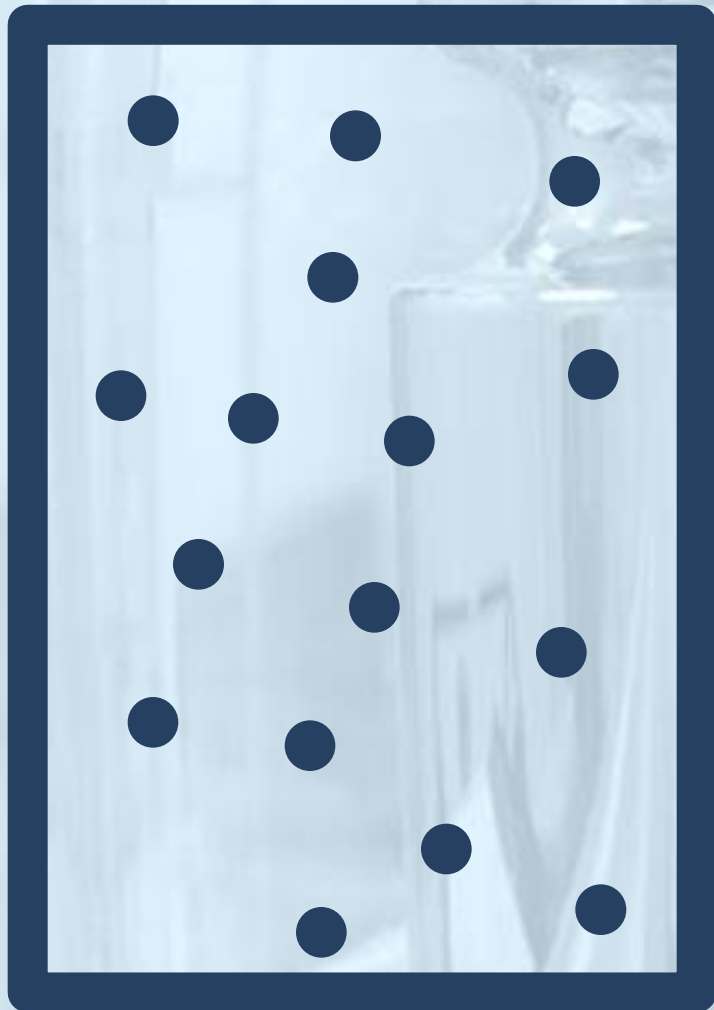
— 29.7646 °C / Тачка топљења галијума

— 0.01 °C / Тројна тачка воде

— -38.8344 °C / Тројна тачка живе

— -189.3442 °C / Тројна тачка аргона





T је функција E - свака честица појединачно има кинетичку енергију једнаку енергији квантног стања


$$\frac{1}{2} m V_z^2 = \frac{1}{2} kT$$
$$\frac{1}{2} m V_y^2 = \frac{1}{2} kT$$

$$\frac{1}{2} m V_x^2 = \frac{1}{2} kT$$

$$\frac{1}{2} m (V_x^2 + V_y^2 + V_z^2) = \frac{3}{2} kT$$

$$9/5 c^2$$

$$3/5 m c^2 = kT$$

$$T/T(\text{TPW}) = c^2(T) / c^2(\text{TPW})$$

Топлија тела - већа енергија квантног стања и обрнуто. Коефицијент сразмерности је Болцманова константа

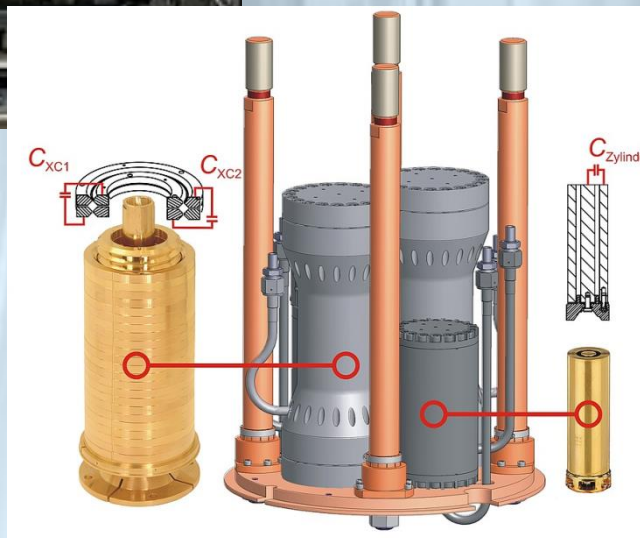


Bolzmannova konstanta k - DCGT



Vaga pritiska do 7MPa
U PTB $u = 4 \times 10^{-6}$ ($k=1$).

Мерење
dielektrične
konstante u PTB

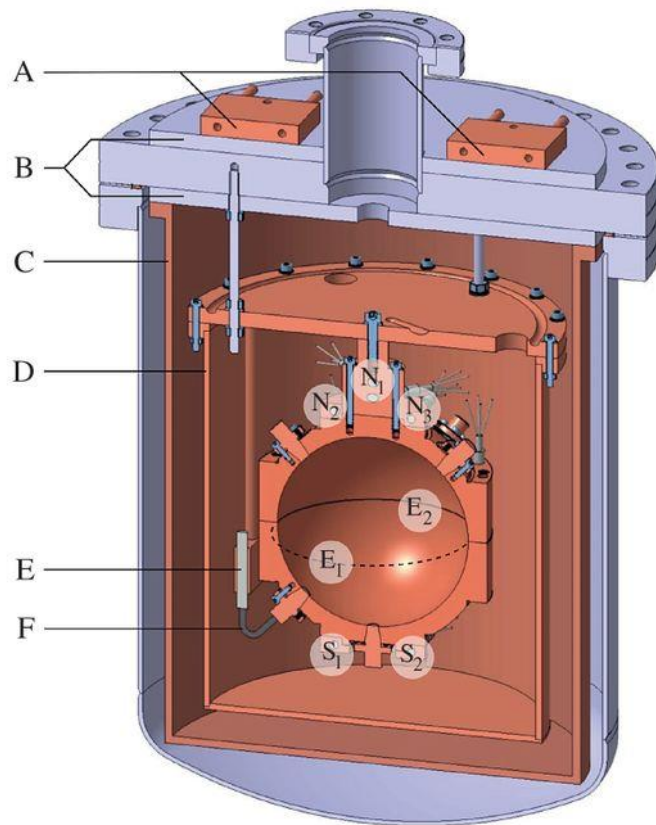


Bose-Einsteinov
kondenzator na niskim
temperaturama He



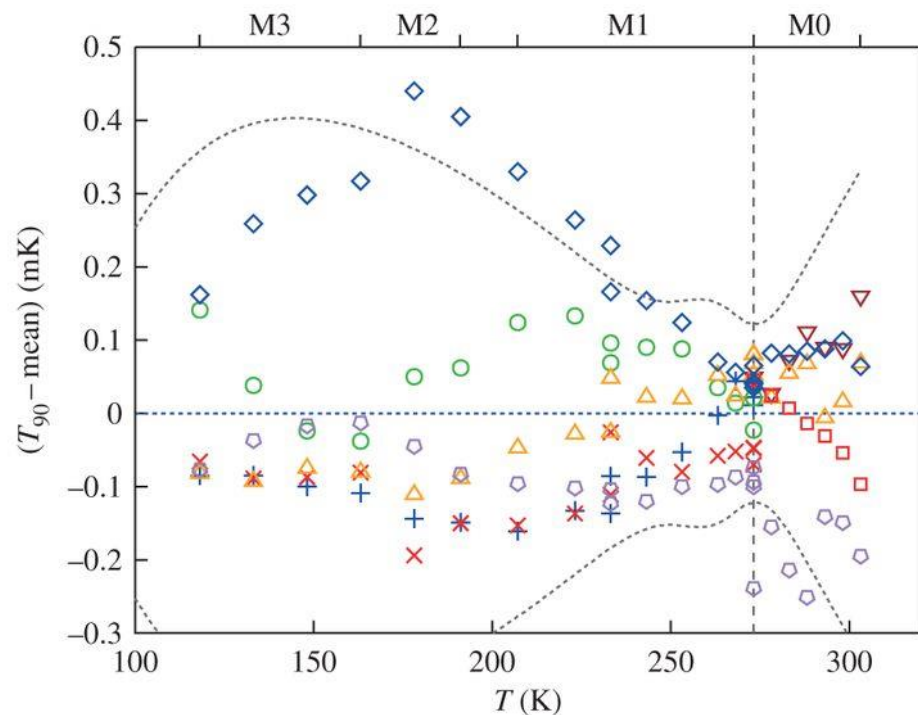
Bolzmannova konstanta k - Акустични гасни термометар

(a)



(b)

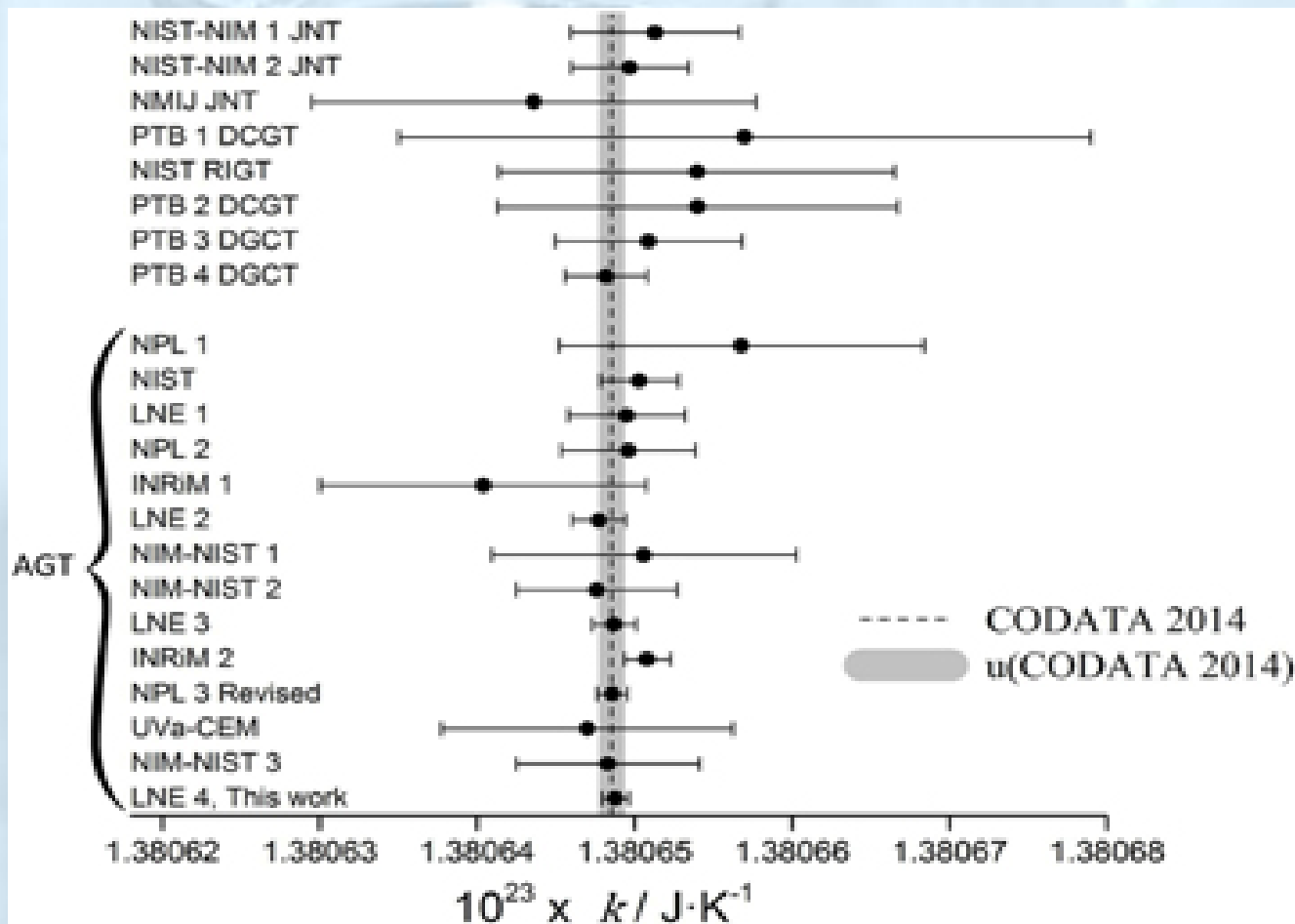
serial no. (loc1, loc2) 1676928 (-, S₁) + B396 (S₂, N₃) $\triangle$
1832689 (-, N₂) $\times$ B409 (E₂, -) $\square$
221476 (-, E₂) $\circ$ B436 (N₁, S₂) $\diamond$
B385 (S₁, -) ∇ B442 (E₁, E₁) $\diamond$



f осциловања осцилатора на t тројне тачке хелијума у функцији температуре



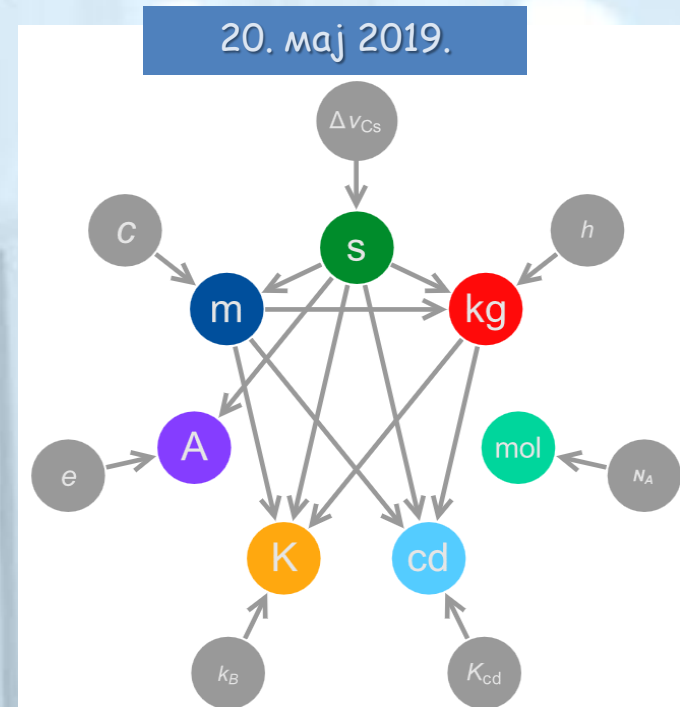
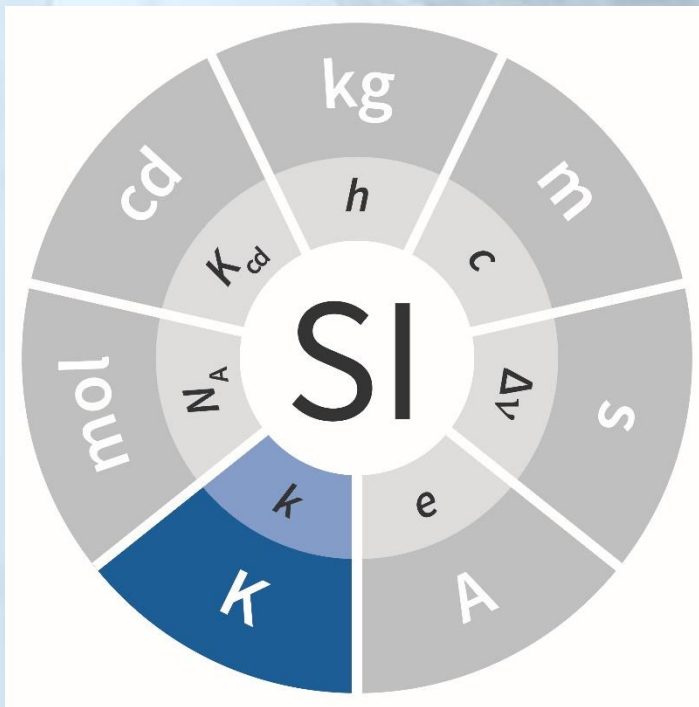
Bolzmanova konstanta rezultati мерења



Резултати са најмањом мерном несигурношћу са различитим методама



НОВА SI ЈЕДИНИЦА ТЕМПЕРАТУРЕ



Келвин се дефинише коришћењем фиксне нумеричке вредности
Болцманове константе k која износи $1,380649 \times 10^{-23} \text{ J/K (kg m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-1})$
где су
 kg , m и s дефинисани преко h , c , $\Delta\nu_{\text{Cs}}$



ИМПАКТ

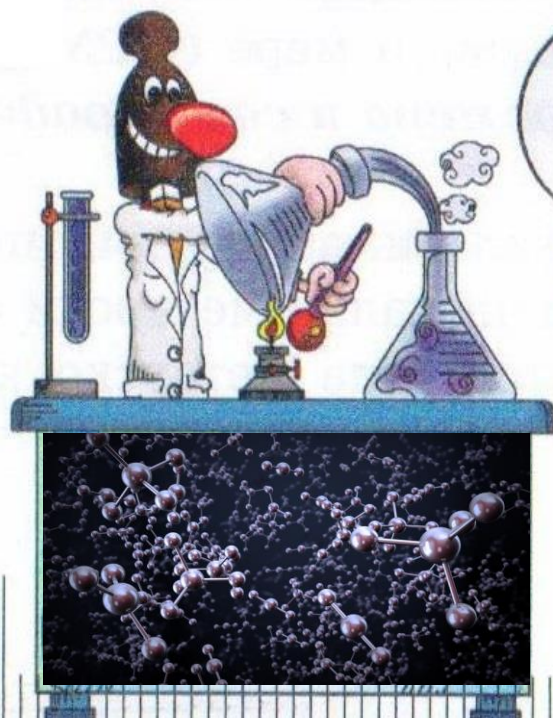
Очекивани допринос није тренутно видљив али се очекује



Развој нових техника мерења и реализација посебно у екстремно ниским температурама које ће имати импакт на мерења у климатологији, истраживањима квантних ефеката (квантни интернет, квантни рачунар и друго), у многим областима медицине, астрономије, свемирских технологија и другим областима истраживања пред нама.



КОЛИЧИНА СУПСТАНЦЕ



Мол је количина супстанције која садржи онолико елементарних јединица (атома, молекула, електрона или јона) колико има атома у 12 g угљениковог изотопа C-12

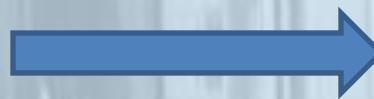
Моларна маса угљеника C-12 износи тачно 12 g/mol



Рedefиниција SI јединице mol

Мол је јединица за количину супстанце састављене од елементарних честица (атома, молекула, јона, електрона и др.) чија је нумеричка вредност дефинисана Авогардовом константом која има вредност приближно $6,022 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol}$.

$$u(M_u)=0$$
$$u(N_A)=2 \times 10^{-8}$$



$$u(M_u) < 7 \times 10^{-10}$$
$$u(N_A) = 0$$

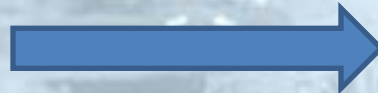


1 mol банана = $6,022141 \times 10^{23}$ банана
1 mol јабука = $6,022141 \times 10^{23}$ јабука
1 mol шљива = $6,022141 \times 10^{23}$ шљива
1 mol купуса = $6,022141 \times 10^{23}$ купуса
1 mol грашка = $6,022141 \times 10^{23}$ грашка



Мерне несигурности јединице mol Прелазак на нови SI

$$u(M_u)=0$$
$$u(N_A)=2 \times 10^{-8}$$



$$u(M_u) < 7 \times 10^{-10}$$
$$u(N_A)=0$$

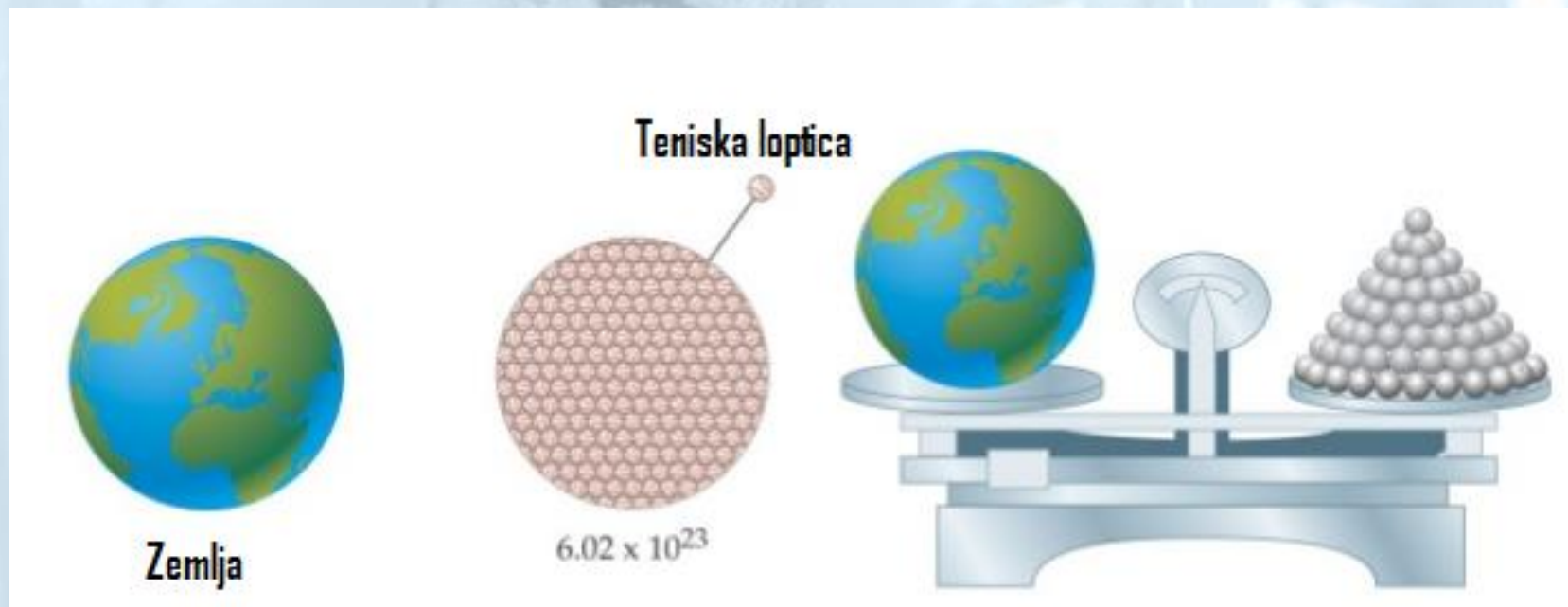
$u(M_u)$ – мерна несигурност моларне масе угљениковог изотопа C_{12} .
Она је сада 0, пошто је та маса дефинисана да је 12 g.

$u(N_A)$ - мерна несигурност Авогардове константе, како је сада одређено, са најбољим мерним несигурностима тренутно.

- Када се примени дифиниција, Авогадрова константа ће бити фиксирана вредност и мерна несигурност јој постаје 0.
 - Мерне несигурности молекулске масе од тог момента па надаље нису нула.
- Вредност молекулских маса неће бити промењене редеофиницијом



Koliko je veliki 1 mol?



Запремина коју заузима 1 mol тениских лоптица
одговара величини планете Земље.

Маса 1 mol-а олимпијских кугли одговара маси планете Земље.



Предложен начин мерења Авогардове константе

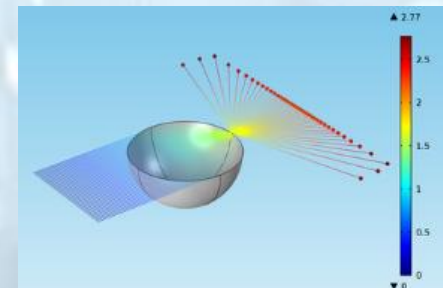


Мултиколектор ICPMS

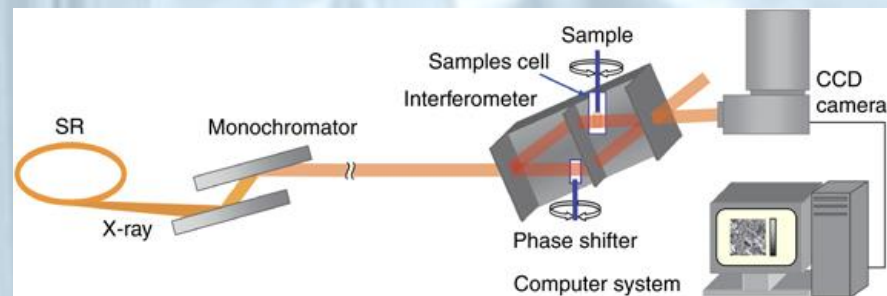


Масени компаратор

Оптички сферни интерферометар



$$N_A = \frac{8 \times M \times V_{sfera}}{m_{sfera} \times a^3}$$



Х-Рај интерферометар



Redefinicijom jedinice mol ona postaje nezavisana od mase !!!!!

$$N_A h = \frac{c A_r(e) M_u \alpha^2}{2 R_\infty}$$

$$n = \frac{N}{N_A}$$

N_A - Avogadrova konstanta

h - Plankova konstanta

c - brzina svetlosti

α - strukturna konstanta

R - Ridbergova konstanta

e - elementarno naelektrisanje

M_u - molarna masena konstanta
(1×10^{-3} kg/mol)

n - број молова

N - број честица

c , h , N_A - konstante čije su vrednosti fiksirane definicijom m, kg i mola
 α i R - ostaju nezavisne merne veličine

A_r i M_u - su zavisne merne veličine od α i R



АМПЕР

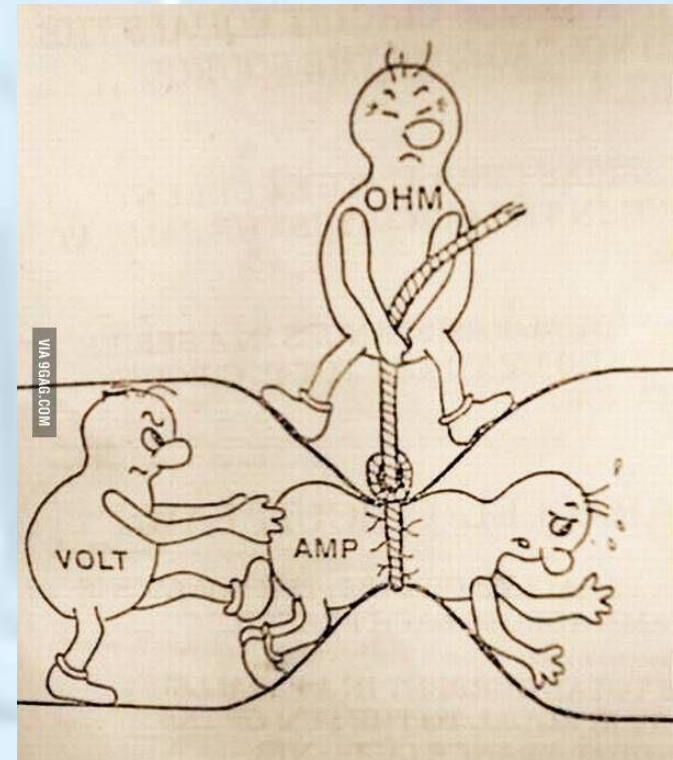
ЈЕДИНИЦА ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

Стара дефиниција:

Ампер је стална електрична струја која би, када би се одржавала у два права паралелна проводника, **неограничене дужине** и **занемарљиво малог** кружног пресека, који се налази у вакууму на међусобном растојању од једног метра, проузроковала међу тим проводницима силу једнаку 2×10^{-7} Њутна по метру дужине (CIPM (1946), Résolution 2 CGPM (1948)).

Нова дефиниција:

Ампер се редеофинише тако што се усваја тачна нумеричка вредност елементарног наелектрисања $e = 1,602176634 \times 10^{-19}$ C ($1C = 1A \cdot 1s$).





Транспорт електрона - Single electron transport (SET)

<https://www.nist.gov/news-events/news/2016/08/counting-down-new-ampere>

Single electron transport pumping



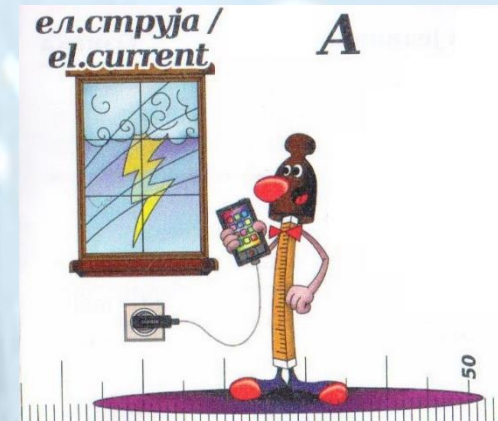
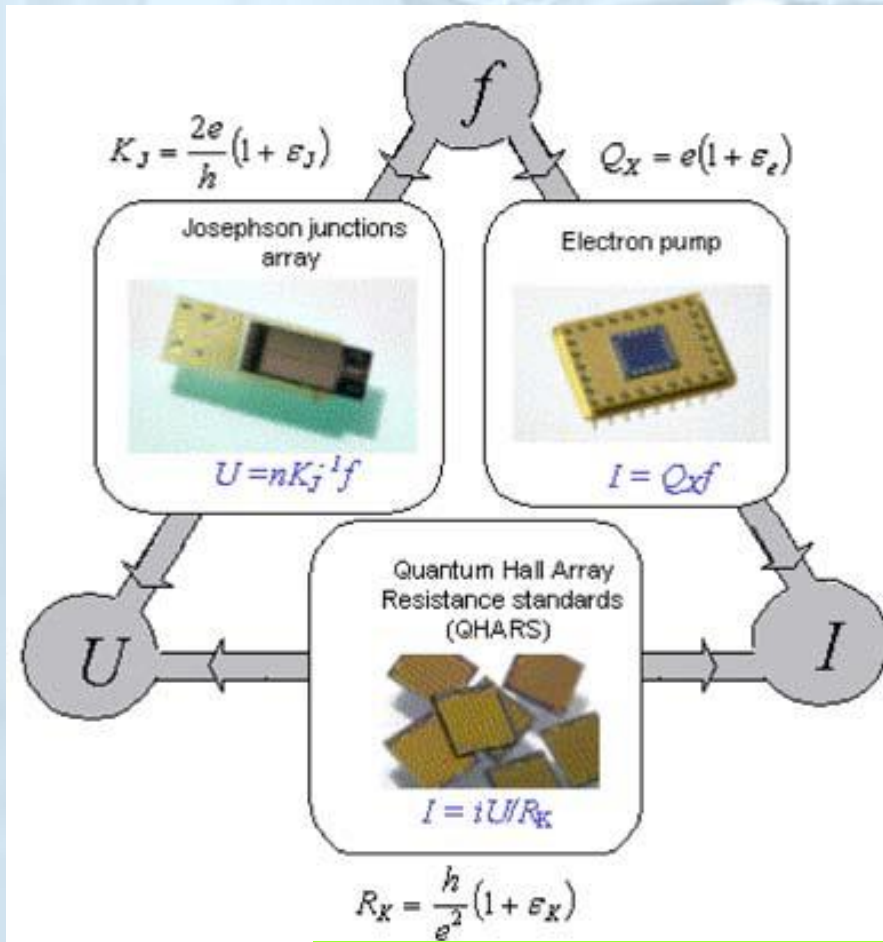


Квантна једносмерна електрична струја





Експеримент квантног метролошког троугла



Квантни Ohm-ов закон

$$V_J = R_H * I_{SET}$$

V_J - Josephson напон

R_H - Hall отпорност

I_{SET} - струја коју генерише SET

Принцип квантног метролошког троугла.

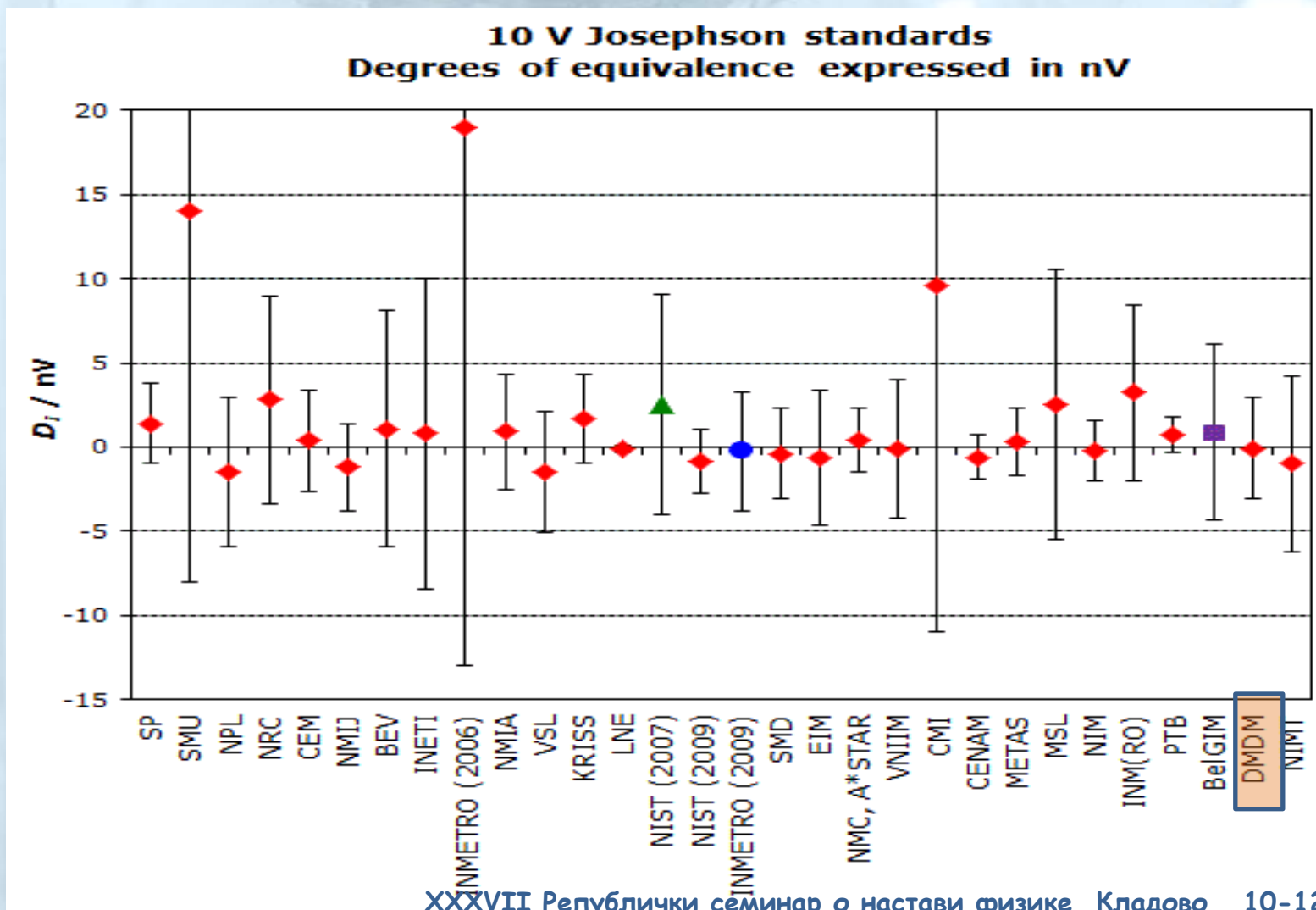


Национални/примарни еталон једносмерног електричног напона заснован на Џозефсоновом ефекту





BIPM.EM-K10.b, SIM.EM.BIPM-K10.b, SIM.EM.BIPM-K10.b.1, and COOMET.EM.BIPM-K10.b





Основа редефинисаних SI јединица природне константе

- Фреквенција прелаза између два непертурбована хиперфина нивоа основног стања атома Цезијума 133
 $\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9192631770 \text{ Hz}$
- Брзина светлости у вакууму $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$
- Планкова константа $h = 6,62607015 \times 10^{-34} \text{ J/s}$
- Елементарно наелектрисање $e = 1,602176634 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Болцманова константа $k = 1,380649 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
- Авогадрова константа $N_A = 6,02214076 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- Светлосна ефикасност K_{cd} монохроматског зрачења фреквенције $K_{\text{cd}} = 540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ од 683 lm/W

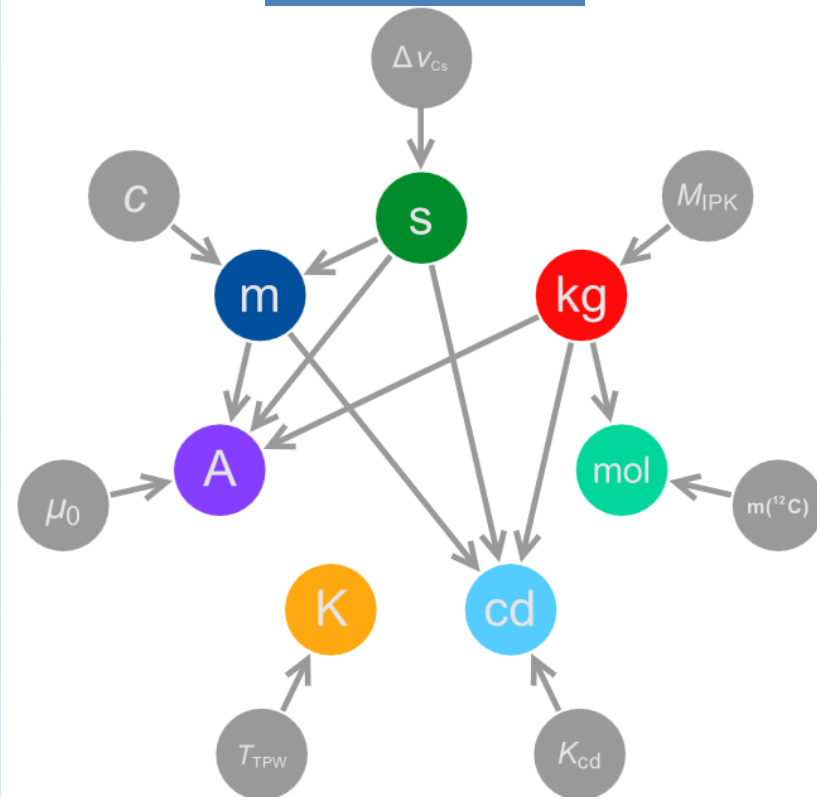


Стари SI

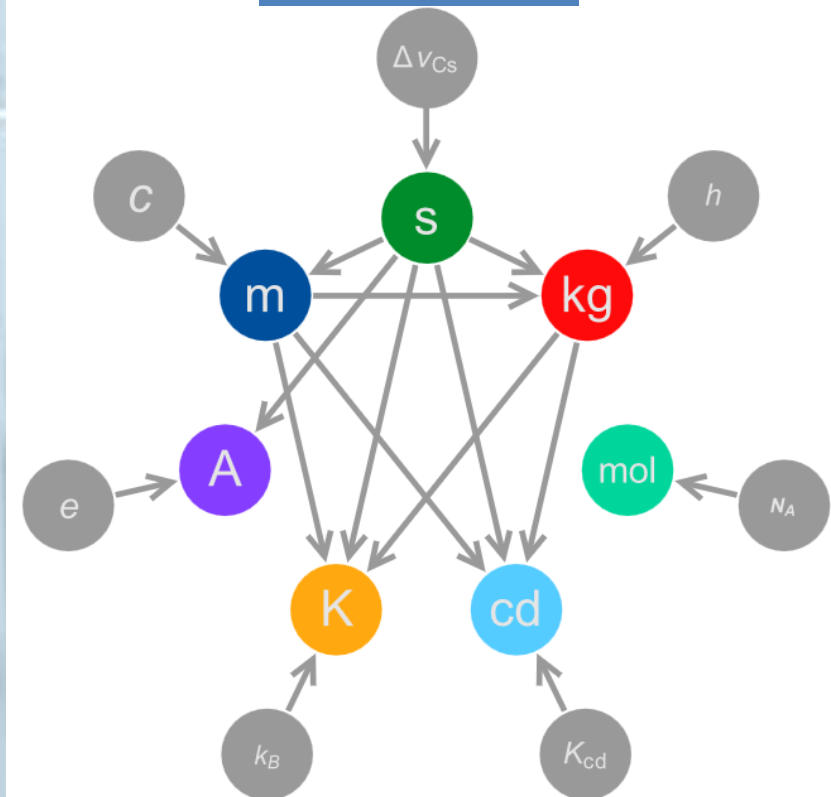


Нови SI

19. мај 2019.



20. мај 2019.





Хвала на пажњи !