

SI enota za maso

kilogram



Kilogram (kg) je enota za maso in je
ustreza masi mednarodnega prototipa
kilograma.

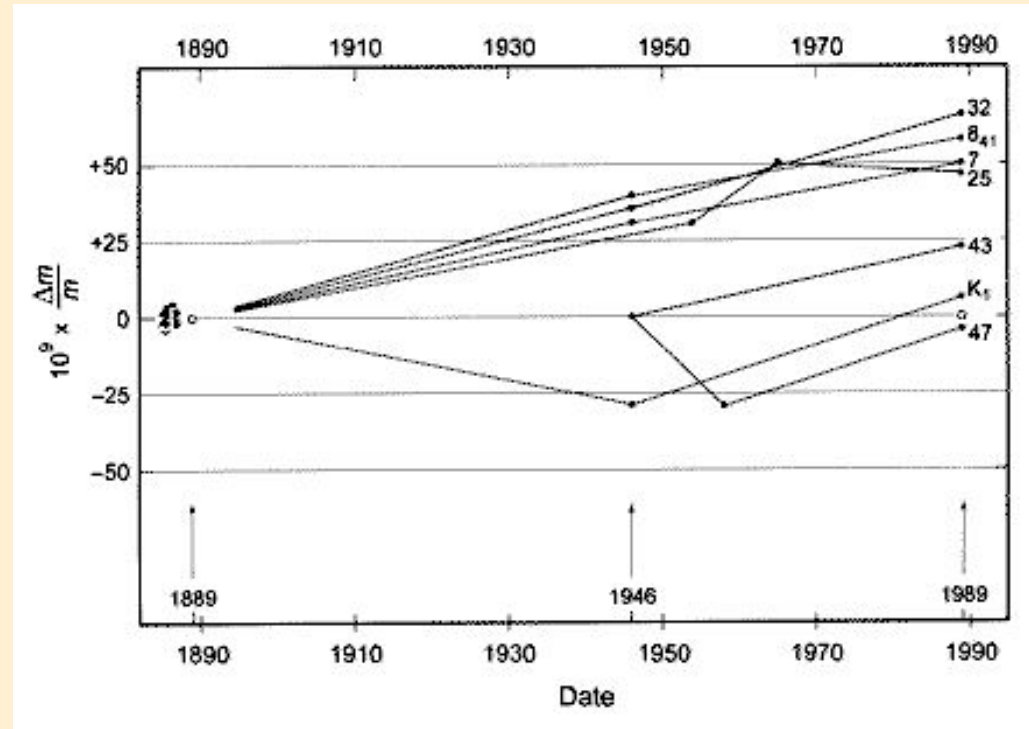


Ta definicija je bila sprejeta leta 1989. Leta 1989 je bila definicija dopolnjena v smislu, da je kilogram enak masi mednarodnega prototipa »takoj po postopku čiščenja po BIPM metodi«.



Spekter uporabe merjenja mase ima ogromen razpon

2 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 kg	2×10^{30} kg	Sonce
7 100 000 kg	$7,1 \times 10^6$ kg	Eifflov stolp
7 500 kg	$7,5 \times 10^3$ kg	afriški slon
635 kg	635 kg	uradno najdebelejši človek
0,006 4 kg	$6,4 \times 10^{-3}$ kg	kovanec za 5 tolarjev
0,000 39 kg	$3,9 \times 10^{-4}$ kg	sponka za papir
0,000 000 000 000 000 000 000 000 001 67 kg	$1,67 \times 10^{-27}$ kg	masa vodikovega atoma



Témoins so bili do sedaj le trikrat primerjani s prakilogramom K. Pri tem je bilo ugotovljeno, da njihove mase proti K v stotih letih povprečno rastejo za okoli 0.5 $\mu\text{g}/\text{leto}$.



K



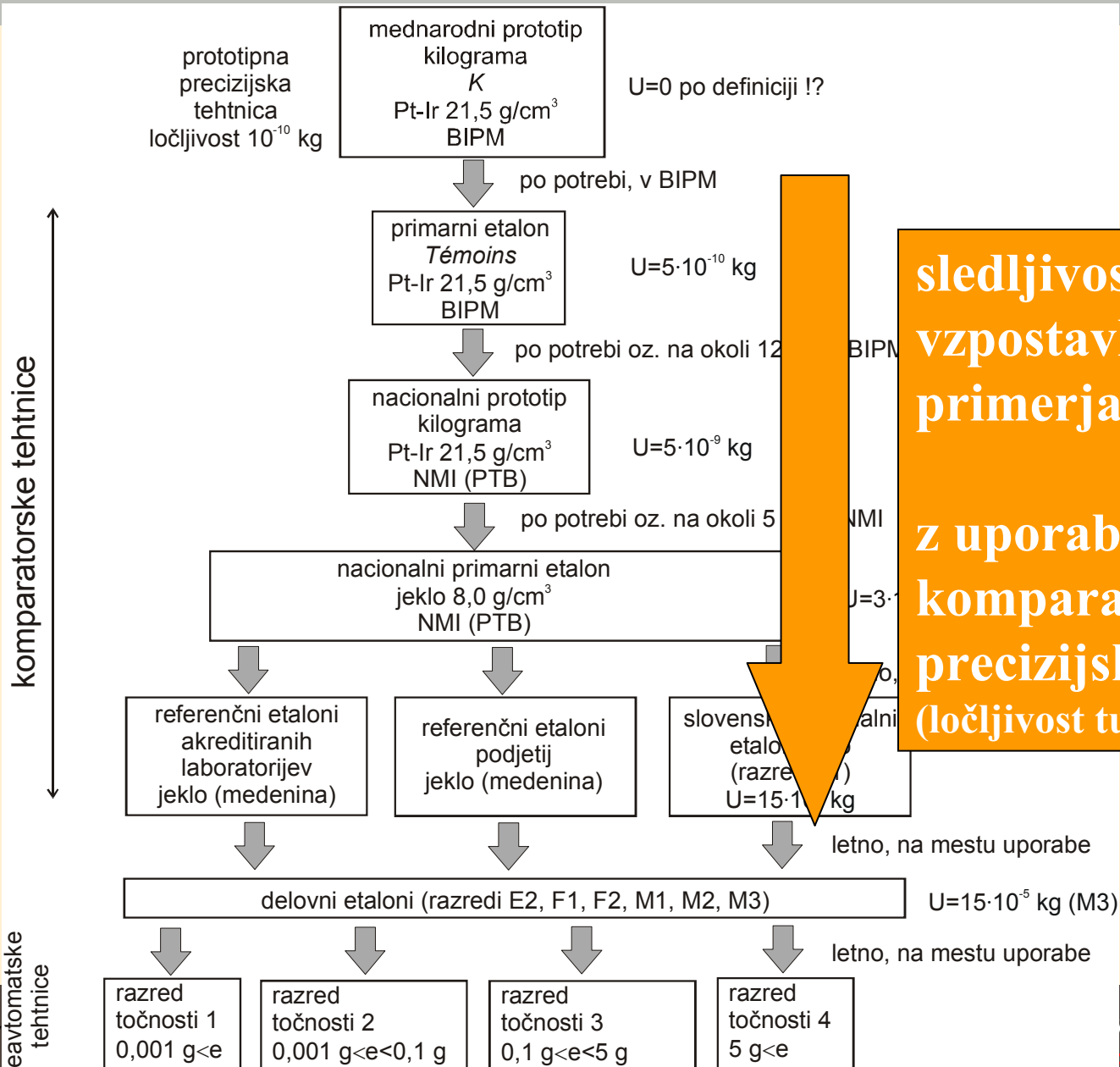
izdelan leta 1879, izbran za K leta 1883

material 90% Pt in 10 % Ir
gostota $21\,500\text{ kg/m}^3$ (jeklo $8\,000\text{ kg/m}^3$)
premer in višina okoli 39 mm

hranjen na temperaturi $19\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$
pod tremi steklenimi zvonci v Parizu

do sedaj le 3x uporabljen v neposredni primerjavi
- leta 1889, 1946 in 1989



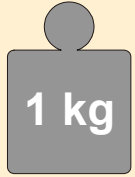
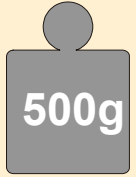






sledljivost se vzpostavlja s primerjalno metodo z uporabo masnih komparatorjev oz. precizijskih tehtnic (ločljivost tudi 10⁻¹⁰)

merilno območje	tip tehtnice	tipični standardni odklon tehtnice (v oklepaju so navedeni najmanjši relativni standardni odkloni)
< 4 g	elektromehanske ultramikro tehtnice	0,2 μg (5×10^{-8})
od 4 g do 50 g	mikrotehtnica	1,5 μg (3×10^{-8})
od 50 g do 200 g	makrotehtnica	8 μg (4×10^{-8})
od 200 g do 50 kg	komparatorska tehtnica	2 μg - 10 μg (2×10^{-7} - 1×10^{-10})
od 50 kg do 500 kg	tehtnica s pomičnimi utežmi	100 mg (2×10^{-7})
od 500 kg do 5 t	gredna tehtnica	200 mg (2×10^{-8})
od 5 t do 100 t	tehtnica za vozila in železniške vagone	1 kg (10^{-5})



Tehtalna shema

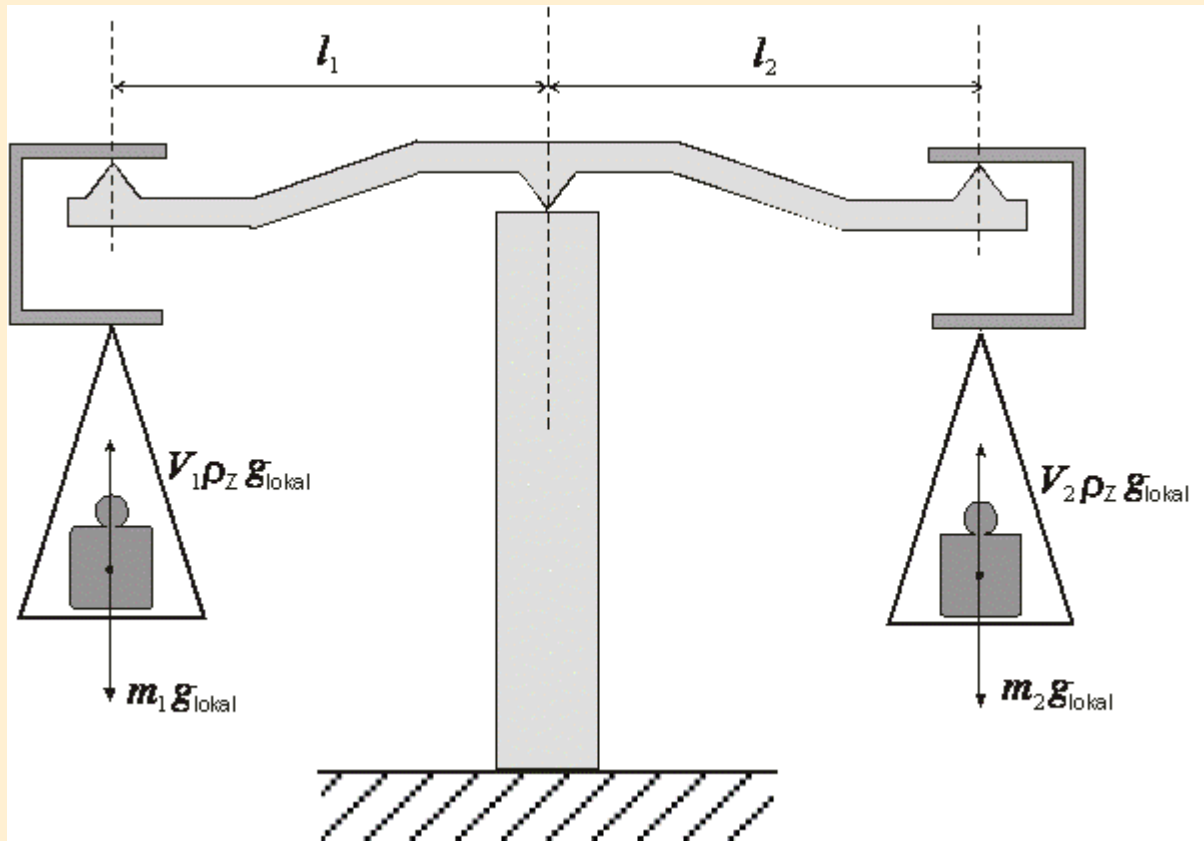
rezultat opazovanja (dekada od 100 g do 1 kg)						
x(1)	+	-	-	-	-	
x(2)		+	-	-		-
x(3)			+	-		
x(4)				+	-	-
x(5)					+	+
x(6)			+		-	-
x(7)		+	-	-	-	



Enostavna tehtalna shema s petimi neznanimi etaloni in sedmimi tehtanji na dekada.

Masa uteži, ki je v tabeli označena s +, je primerjana z masami uteži, ki so označene z -. V prvem opazovanju dekade 100g do 1 kg je primerjan znan kilogram s skupno maso uteži 500 g, 200 g, 200 g in 100 g. Rezultat primerjave je x(1). Odmike posameznih etalonov lahko izračunamo iz sistema 7 enačb s 5 neznankami. Na ta način lahko točno določimo 100 g utež. V naslednji dekadi na enak način 100 gramsko utež primerjamo z neznanimi 50 g, 20 g, 20 g in 10 g in določimo 10 g utež.



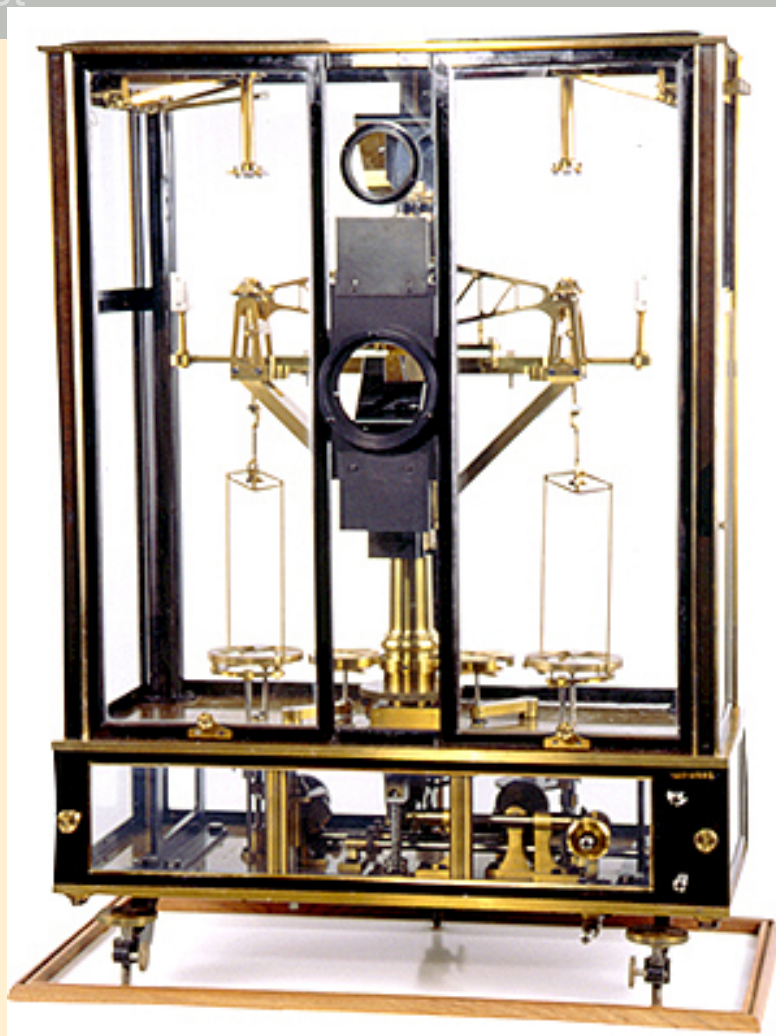


$$m_1 = m_2 \frac{1 - \frac{\rho_Z}{\rho_1}}{1 - \frac{\rho_Z}{\rho_2}}$$

Za tehtnico z enakima krakoma v ravnotežju velja

$$l_1 (m_1 g_{\text{lokal}} - V_1 \rho_Z g_{\text{lokal}}) = l_2 (m_2 g_{\text{lokal}} - V_2 \rho_Z g_{\text{lokal}})$$

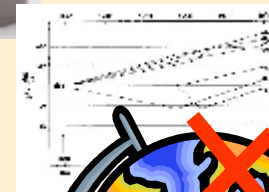




Precizijska enakokraka tehtnica, ki so jo v ameriškem NIST-u uporabljali med leti 1945 in 1960.

Problematika obstoječe definicije kilograma

- K je fizično telo iz kovine (poškodbe)
- časovno spremenljiv (ni točno znano, kako)
- dostopen le na enem mestu na Zemlji



(Nastopa tudi v definiciji ampera, mola in kandelega!)



Realizacija kilograma v prihodnosti

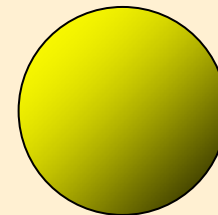
Primerjava mehanskih in električnih veličin

- vatna tehcnica (moč)
- magnetno lebdenje (moč)
- napetostna tehcnica (napetost)

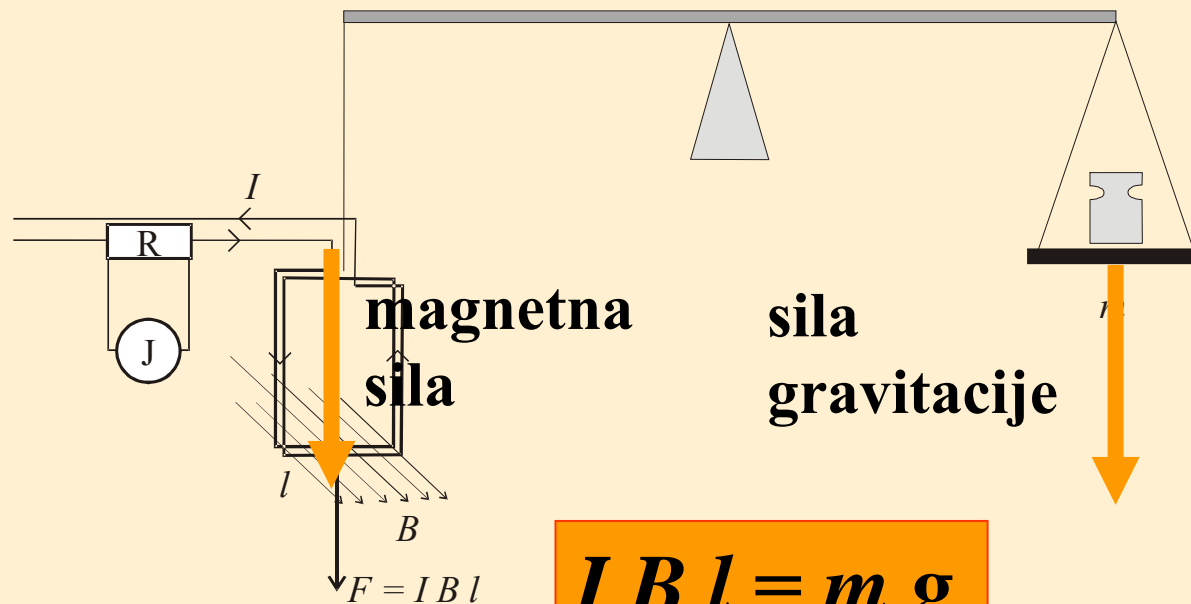


Štetje elementarnih delcev z znano maso

- Avogadrov projekt (silicijevi atomi)
- štetje ionov (ioni zlata)



vatna tehtnica

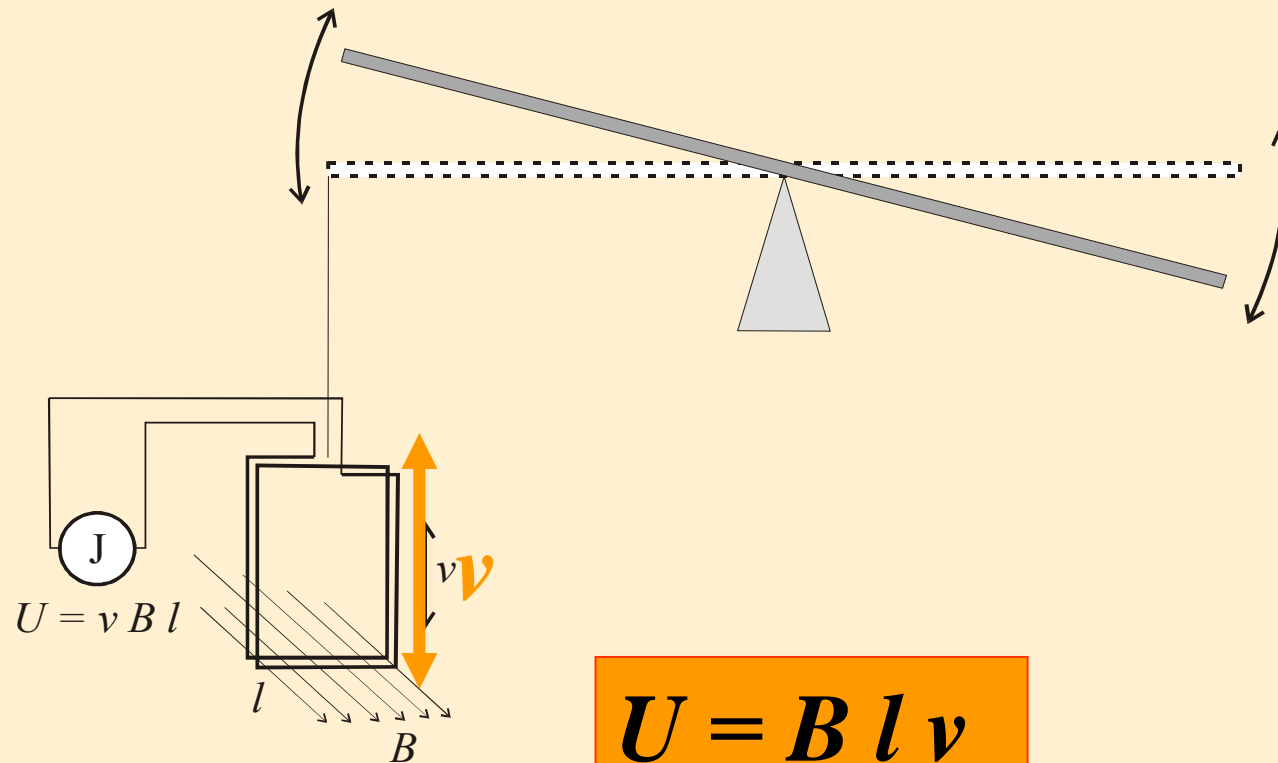


$$I B l = m g$$

I – tok po zanki
 B – gostota magnetnega pretoka
 l – dolžina zanke
 m – masa uteži
 g – gravitacijski pospešek



vatna tehtnica



$$U = B l v$$

U – inducirana napetost zanke
 B – gostota magnetnega pretoka
 l – dolžina zanke
 v – hitrost premika zanke



$$P_{\text{ele}} = P_{\text{meh}}$$



$$U I = m g v$$

U – inducirana napetost v zanki
 I – tok v zanki
 v – hitrost premikanja zanke
 g – gravitacijski pospešek

$$m = \frac{U I}{g v}$$

$$m = C \frac{h f_J^2}{g v}$$

g – gravitacijski pospešek
 C – konstante
 v – hitrost
 h – Planckova konstanta
 f_J – frekvenca Josephsonovega spoja

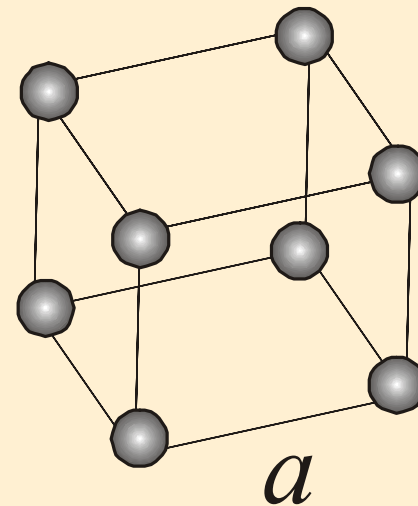
ocenjena
negotovost
metode
10⁻⁸



Avogadrov projekt

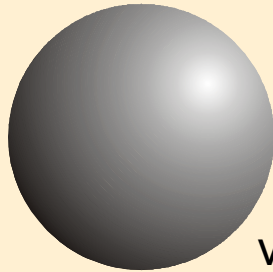


silicijev monokristal v obliki
krogle s premerom 10 cm (= okoli 1kg)

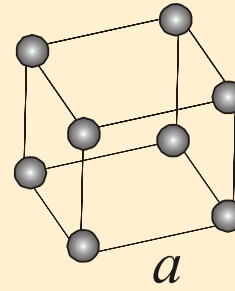


silicijev monokristal ima zelo pravilno
kubično strukturo 8 atomov Si





volumen krogle V



$$n_{Si} = 8 \frac{V}{a^3}$$

$m = m_{Si} n_{Si}$ masa krogle = masa enega Si atoma \times število Si atomov

$$m = 8 \frac{M_{Si}}{N_A} \frac{V}{a^3}$$

M_{Si} - molarna masa Si

V - prostornina

N_A - Avogadrovega število

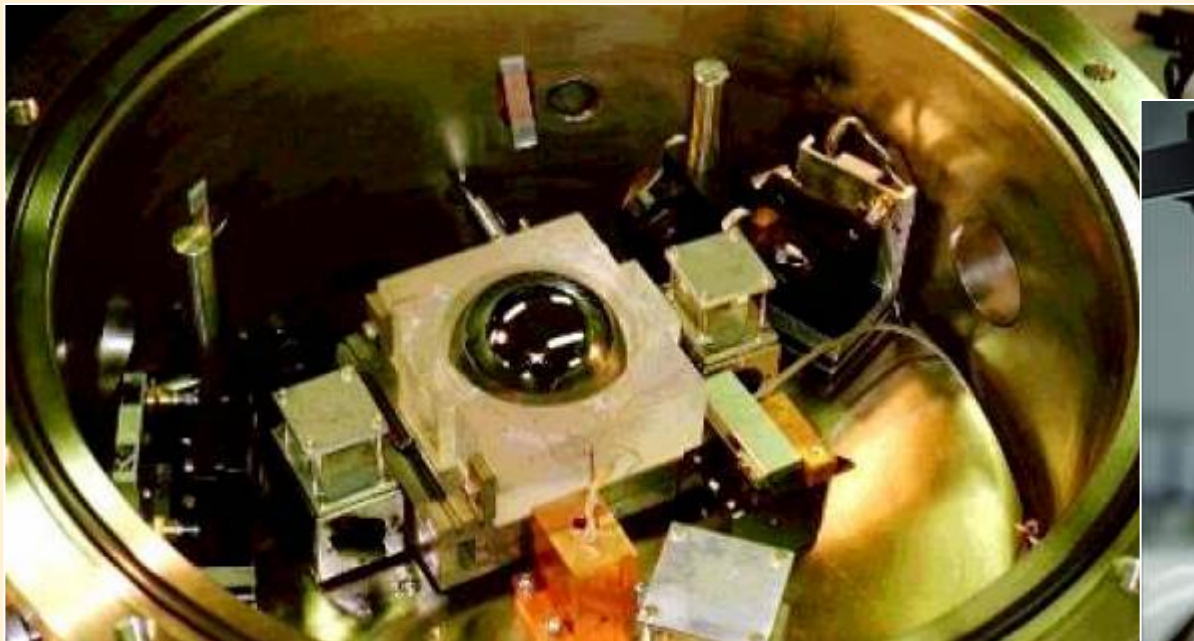
a - stranica kubičnega elementa Si



negotovost
metode

$$2 \times 10^{-7}$$





Merjenje premera silicijeve kroglice z lasersko interferometrijo.
Premer kroglice se lahko določi z relativno negotovostjo 10^{-7}

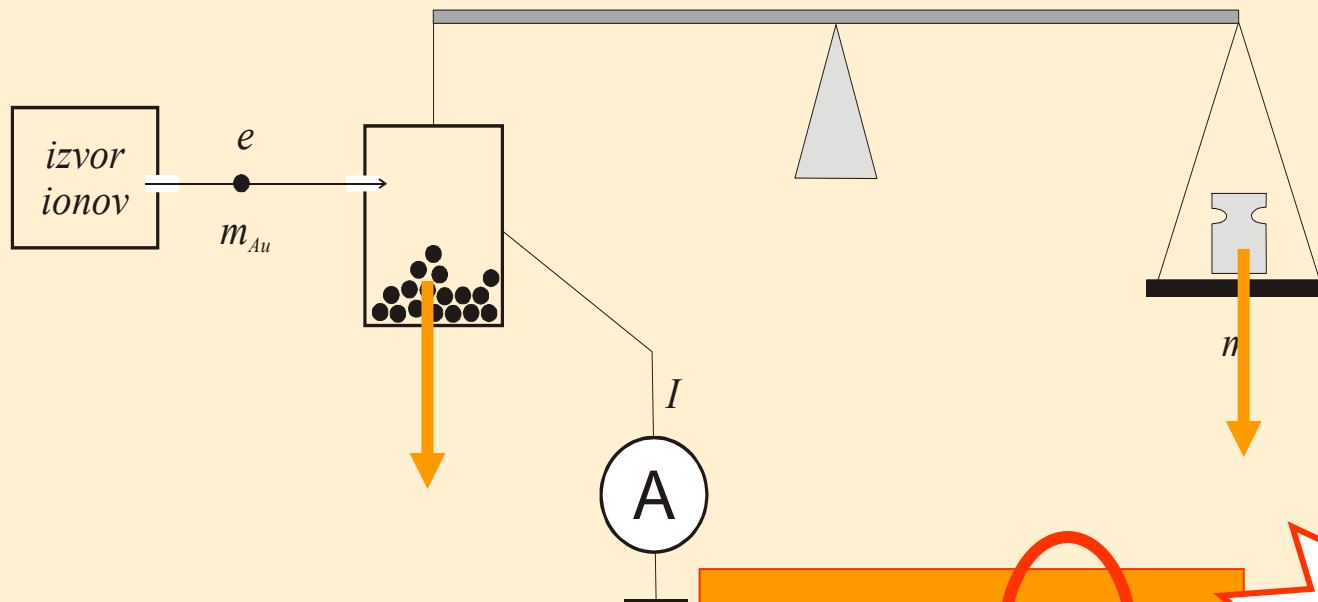


Druge predlagane realizacije kilograma

- štetje ionov
- magnetno lebdenje
- napetostna tehtnica



Druge predlagane realizacije kilograma **štetje ionov**

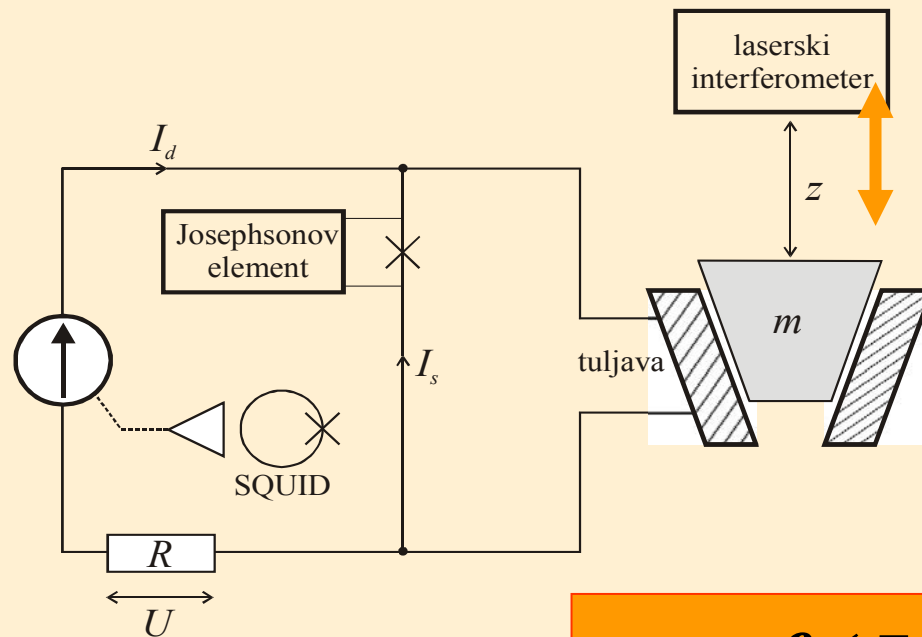


$$I B l = m g$$

I – tok v zanki
 B – gostota magnetnega pretoka
 l – dolžina zanke
 m – masa uteži
 g – gravitacijski pospešek

ocenjeno
 1×10^{-8}

Druge predlagane realizacije kilograma **magnetno lebdenje**



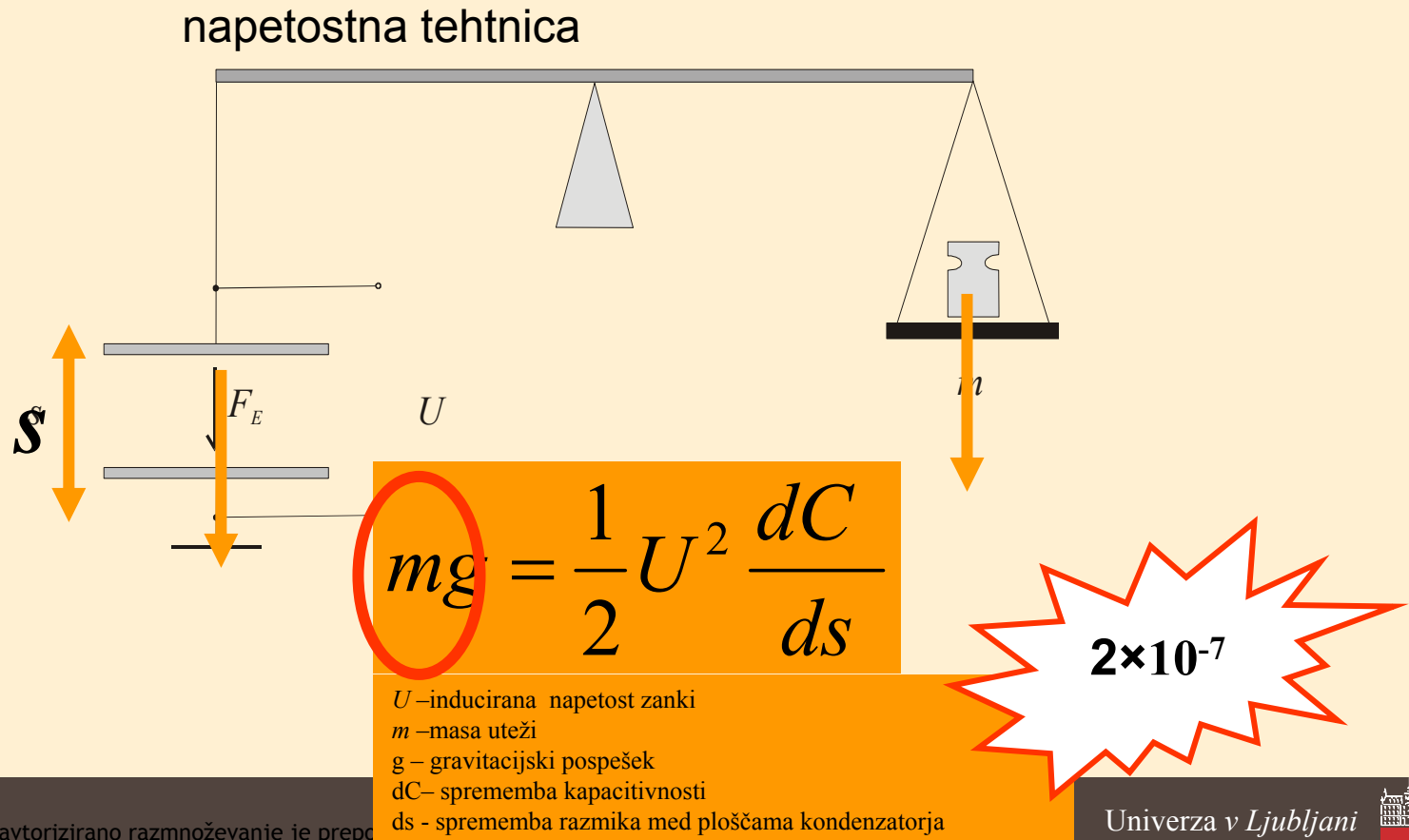
$$m = f(\Phi, z)$$

m – masa uteži
 Φ – kvant magnetnega pretoka
 z – premik uteži

ocenjeno
 10^{-6}



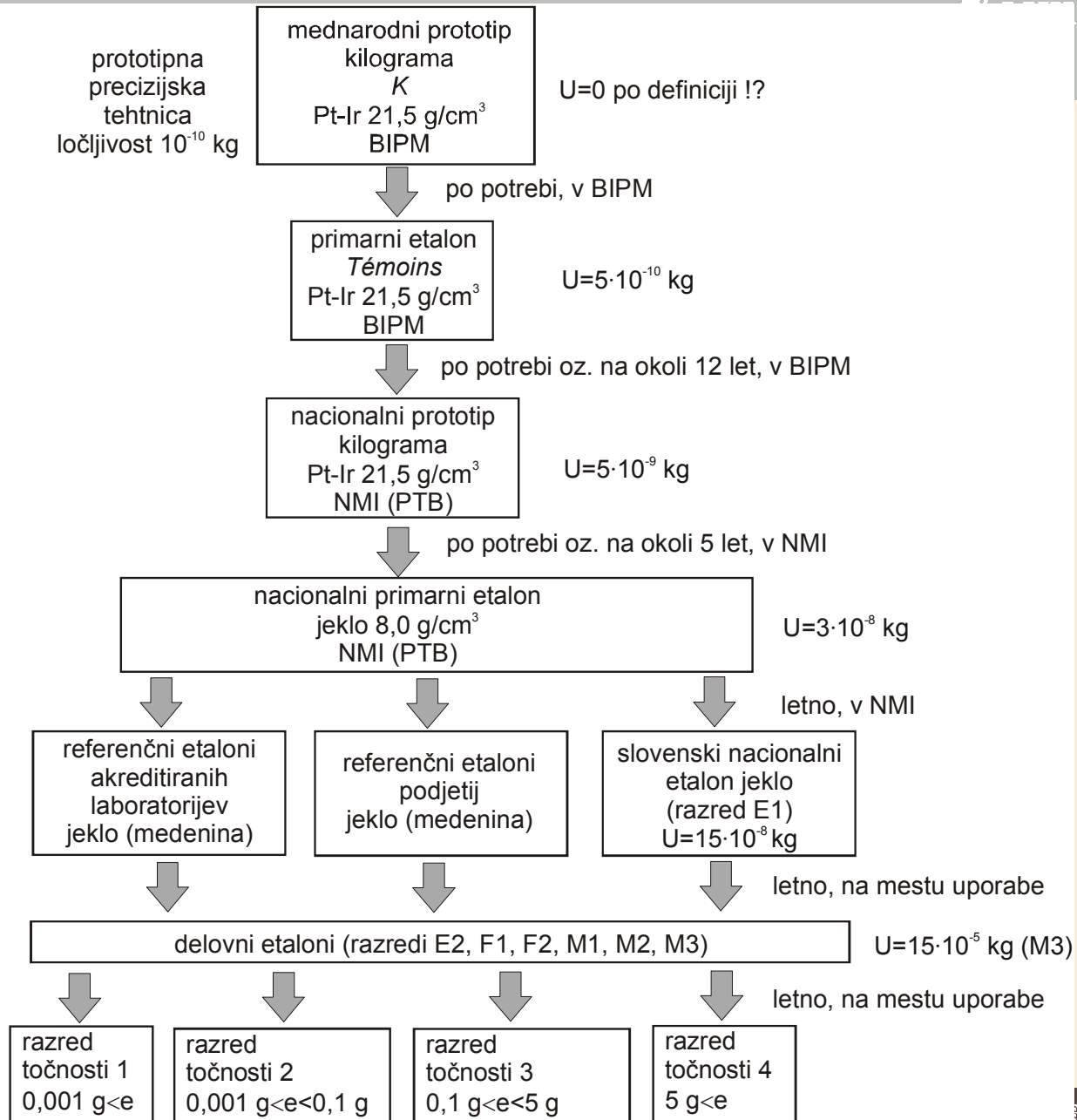
Druge predlagane realizacije kilograma **napetostna tehcnica**



**Diseminacija
enote za maso
s pripadajočimi
časovnimi
intervali
ponovnih
kalibracij
etalonov**

komparatorske tehtnice

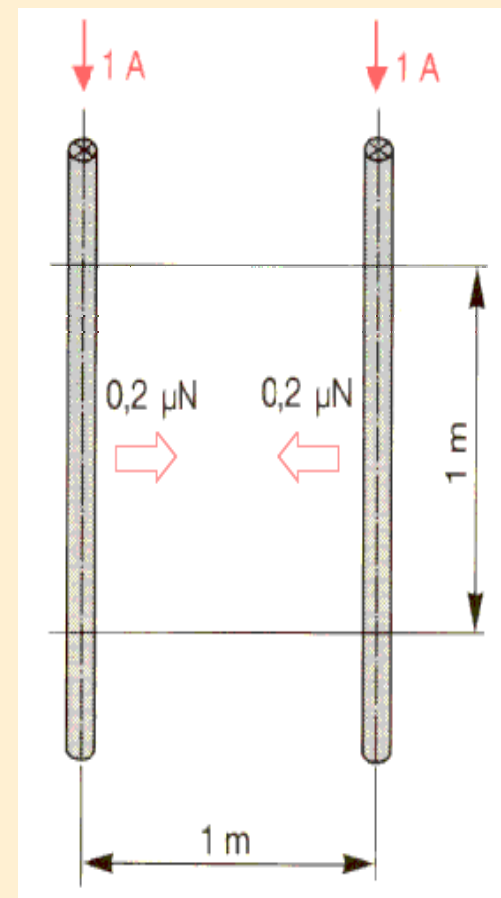
neavtomatske tehtnice



amper



Amper (A) je konstantni enosmerni električni tok, ki povzroča v vakuumu pri prehodu skozi dva ravna, en meter oddaljena, neskončno dolga, vzporedna vodnika z zanemarljivo majhnim krožnim prerezom, silo 2×10^{-7} N/m.



Definicija je bila sprejeta leta 1948.

Realizacija ampere

Neposredne metode

izkoriščajo delovanje elektrodinamičnih pretvornikov tok-sila – tokovnih, vatnih tehtnic.



Posredne metode

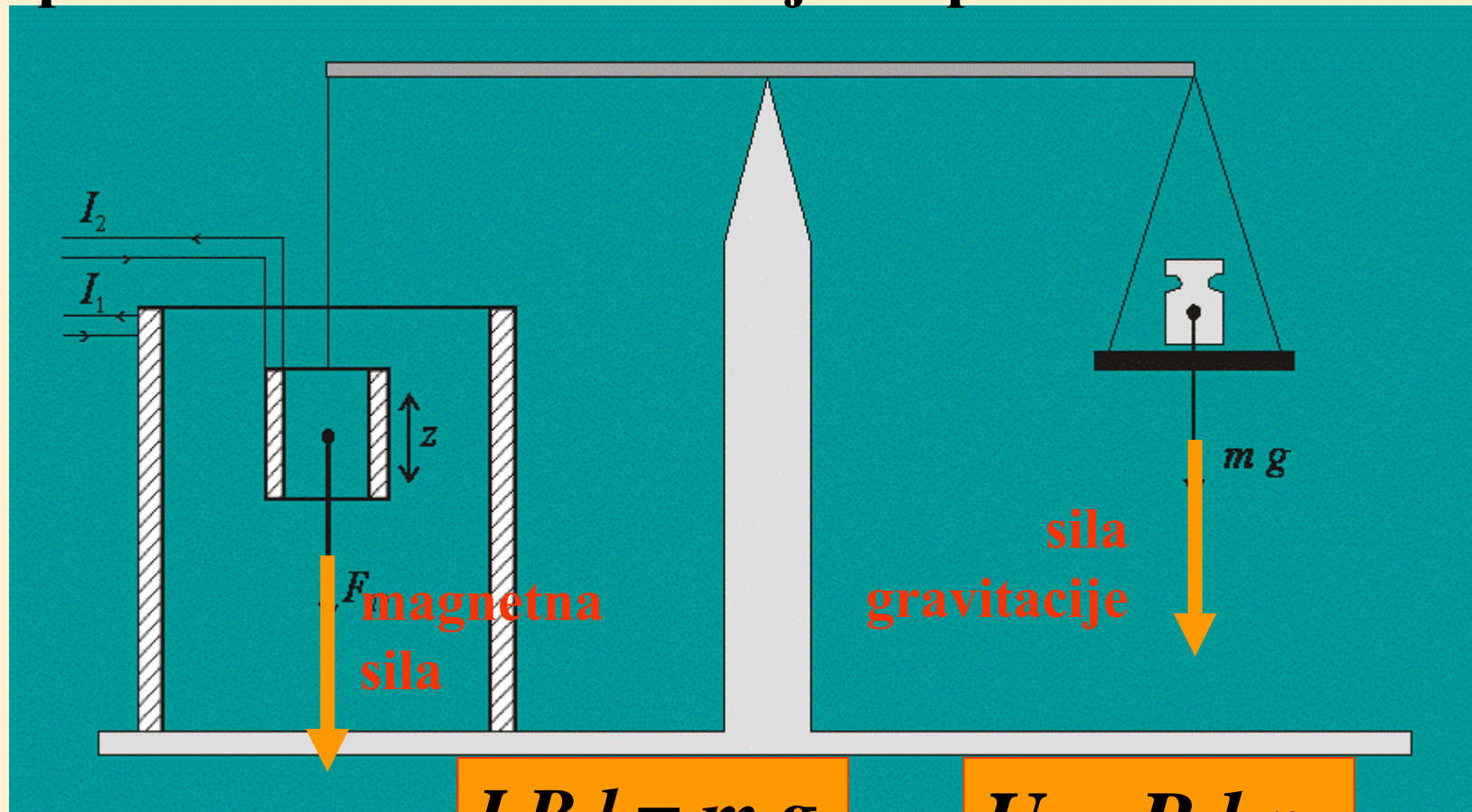
realizirajo enoto električnega toka preko električne napetosti in upornosti z osnovnimi fizikalnimi konstantami.

Posredne metode realizacije, ki izkoriščajo kvantne pojave, imajo neprimerno boljšo negotovost in so primerne za izvedbo v vsakem dobro opremljenem laboratoriju.

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



Neposredne metode realizacije ampera – vatna tehtnica



$$I B l = m g$$

I – tok po zanki
 B – gostota magnetnega pretoka
 l – dolžina zanke
 m – masa uteži
 g – gravitacijski pospešek

$$U = B l v$$

U – inducirana napetost zanki
 B – gostota magnetnega pretoka
 l – dolžina zanke
 v – hitrost premika zanke



$$P_{\text{ele}} = P_{\text{meh}}$$

$$U I = m g v$$

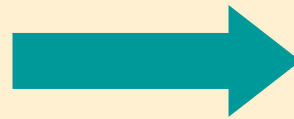
U – inducirana napetost v zanki

I – tok v zanki

v – hitrost premikanja zanke

g – gravitacijski pospešek

m – masa uteži

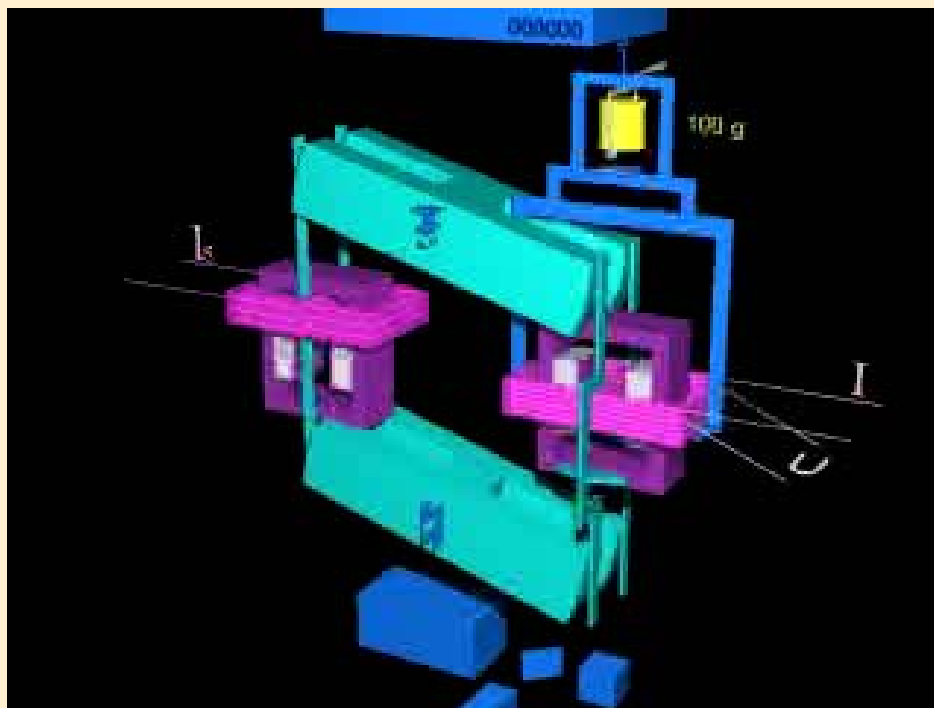


$$I = \frac{m g v}{U}$$

**ocenjena
negotovost
realizacije
 7.7×10^{-8}**



vatna tehtnica



Posredne metode realizacije ampera – kvantne metode

ocenjena
negotovost
realizacije
 4×10^{-8}

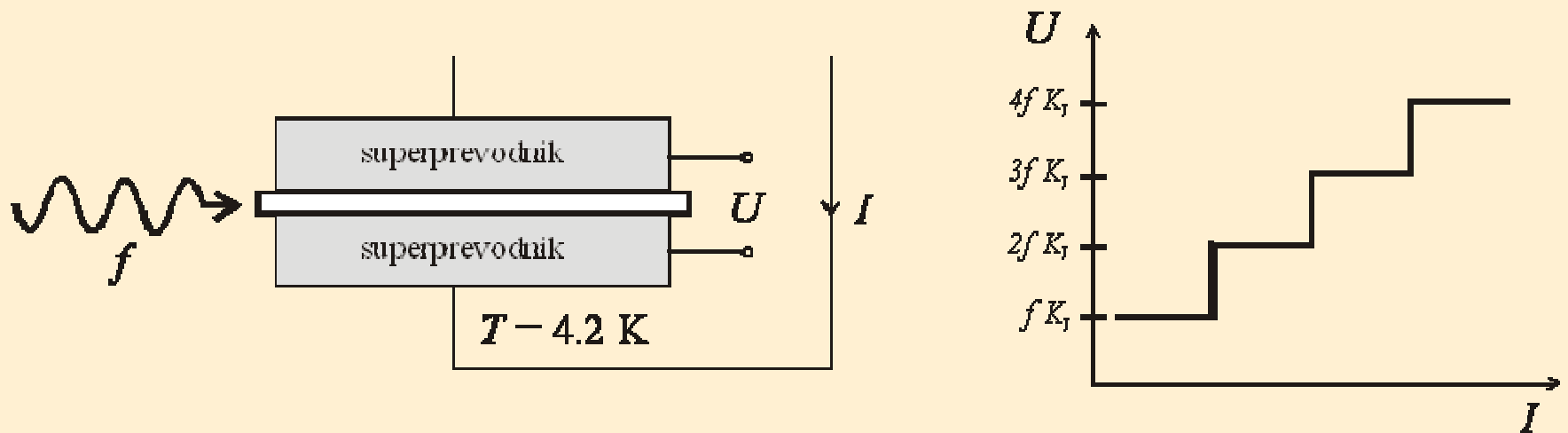
$$I = \frac{U}{R}$$

Josephsonov spoj

kvantni Hallov
pojav



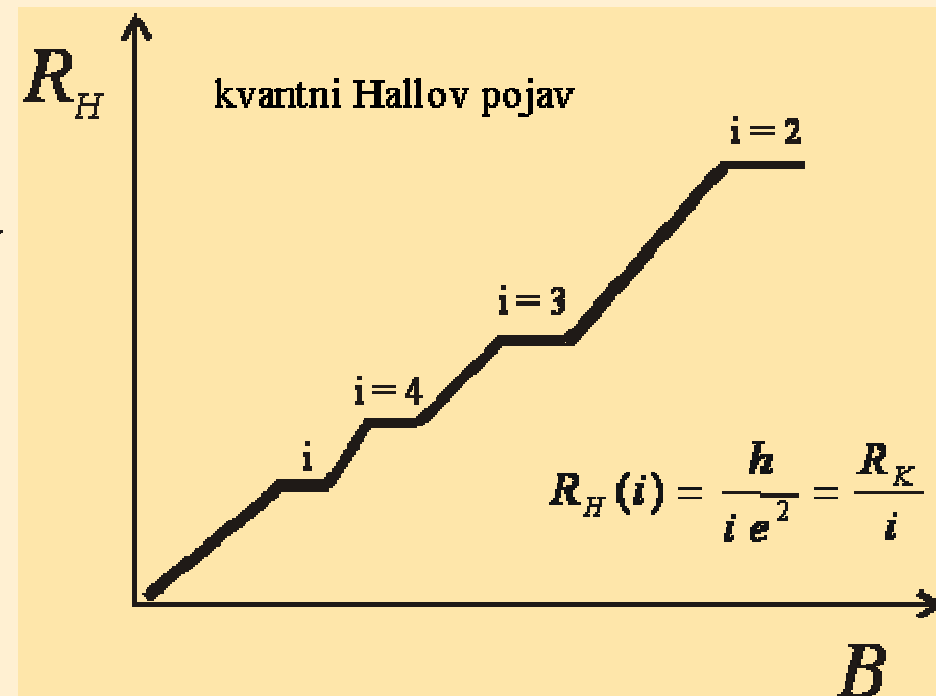
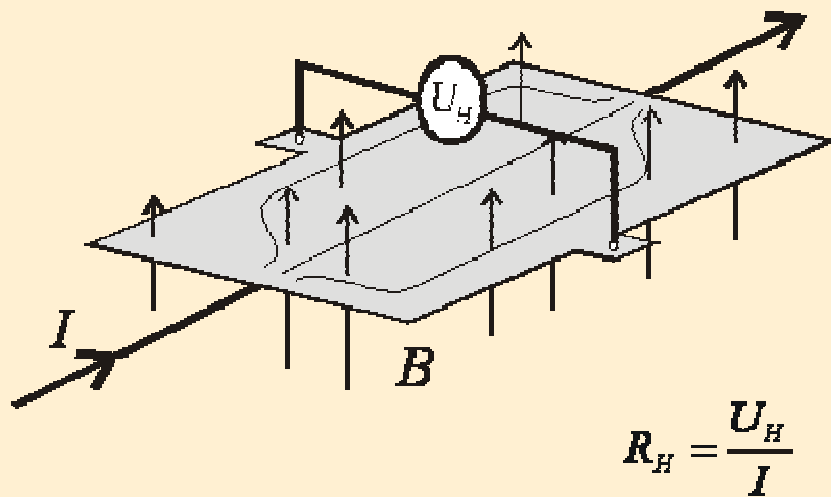
realizacija volta z Josephsonovim spojem



$$K_J = 483597.898 \text{ GHz/V}, \text{ negotovost } 3.9 \times 10^{-8}$$

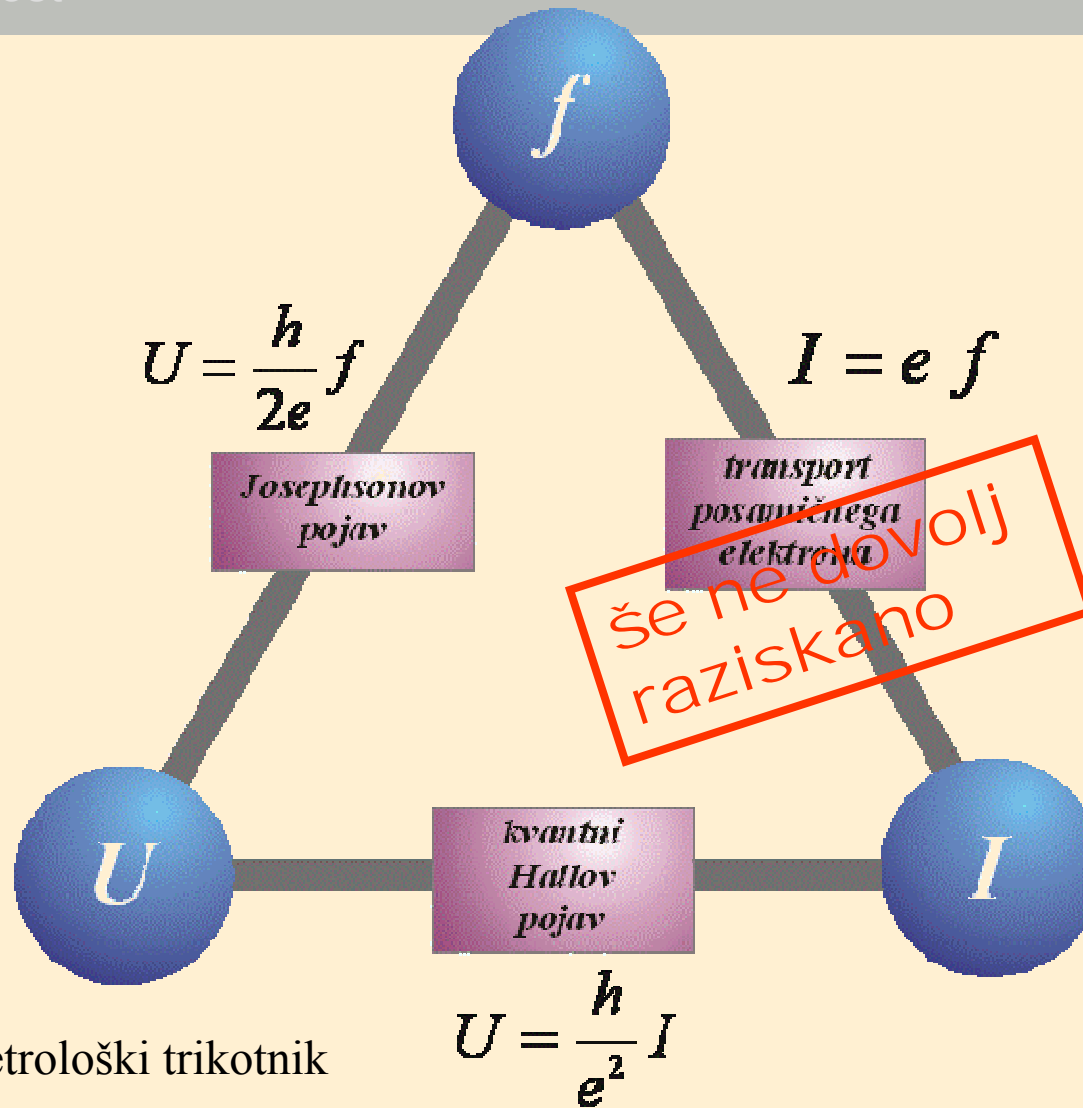


realizacija ohma s kvantnim Hallovim pojavom



$$R_K = 25812.807572 \, \Omega, \text{ negotovost } 3.7 \times 10^{-9}$$



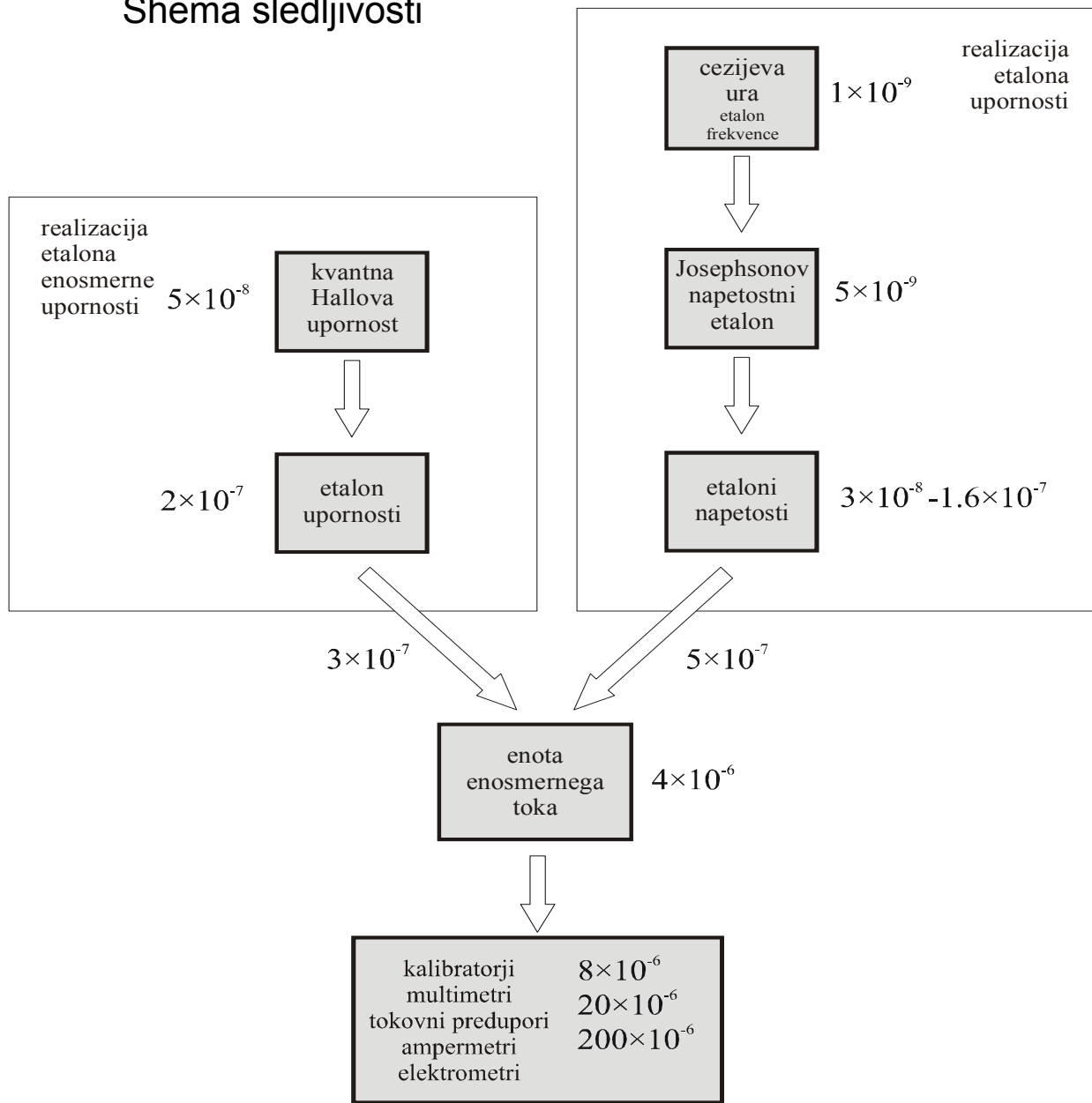


kvantni metrološki trikotnik

$$U = \frac{h}{e^2} I$$



Shema sledljivosti





Definicija ohma

En ohm je električna upornost med dvema točkama prevodnika, če konstantna razlika potencialov obeh točk 1V generira tok enega ampera.

$$1 \Omega = \frac{1 V}{1 A}$$

$$\Omega = \frac{m^2 kg s^3}{A^2}$$



Definicija volta

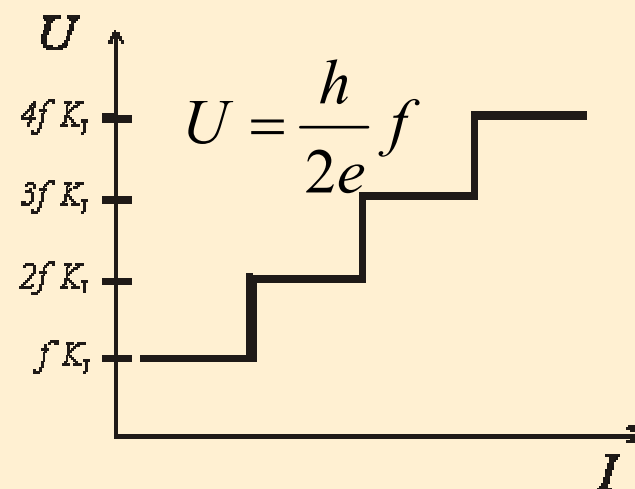
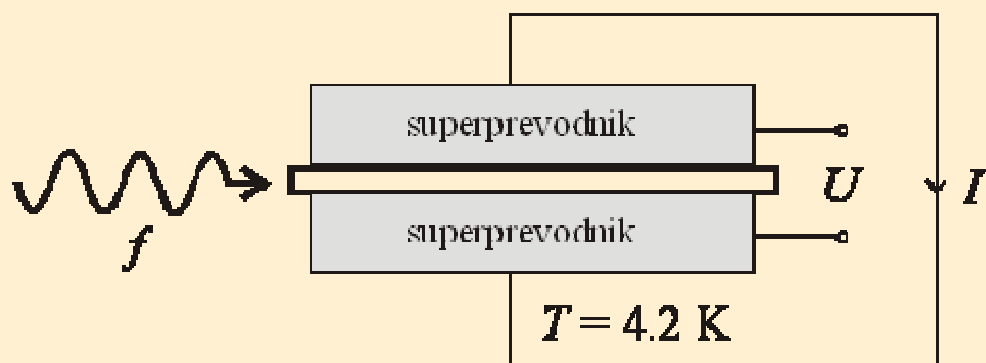
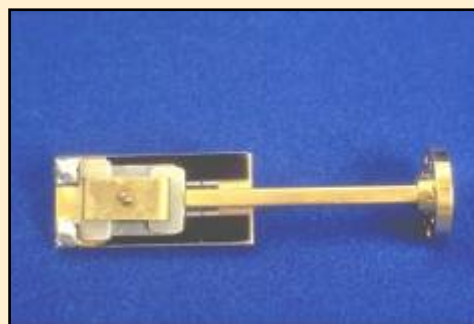
En volt je potencialna razlika med dvema točkama prevodnika, preko katerega teče konstantni tok enega ampera, pri čemer je sproščena moč med obema točkama enaka enemu vatu.

$$1 V = \frac{1 W}{1 A}$$

$$V = \frac{m^2 kg s^3}{A}$$



Realizacija volta z Josephsonovim spojem



U je $150 \mu\text{V}$ pri $f=75 \text{ GHz}$, torej potrebujemo 20 000 spojev za 10 V

$K_J = 483597.898 \text{ GHz/V}$, negotovost 3.9×10^{-8}



Razvoj etalonov za napetost



1908
Westonova celica
 $U = 1,018 \text{ V}$

$2 \cdot 10^{-7}$



1960
polprevodniški etalon
(Fluke732A, Zennerjeve
diode)
 $U = 10 \text{ V}$

$2 \cdot 10^{-7}$



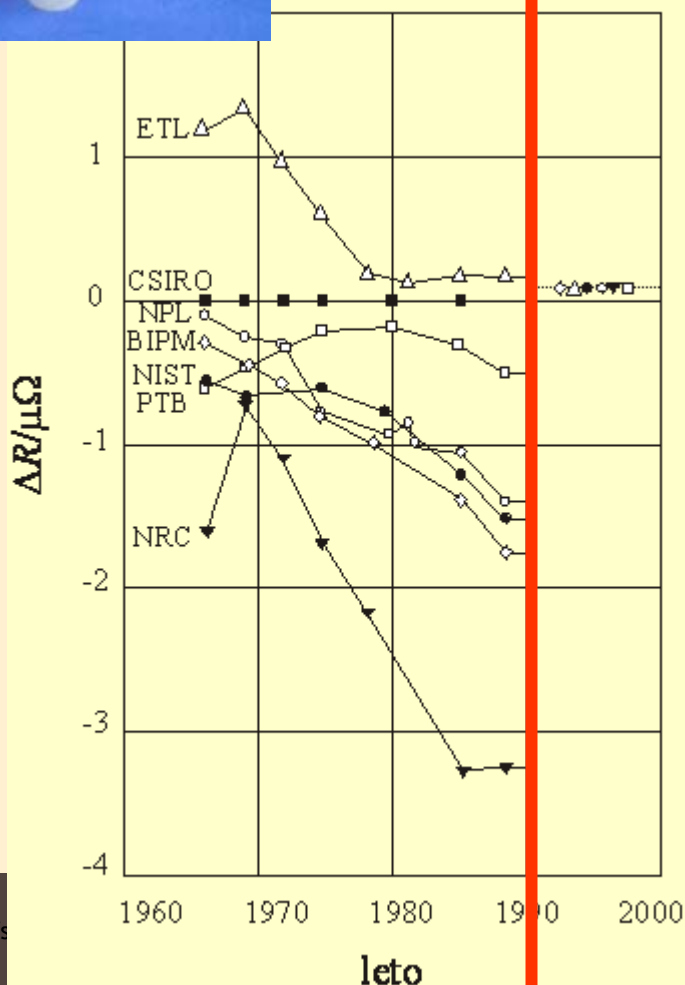
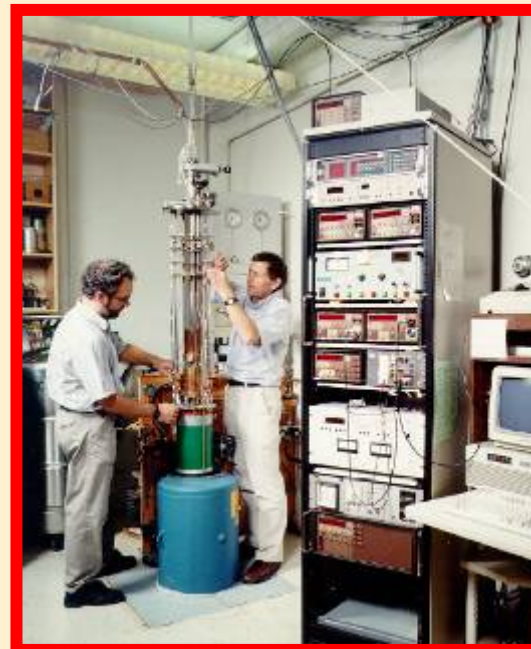
1970
Josephsonov etalonski vir
 $U = 10 \text{ V}$

$4 \cdot 10^{-8}$





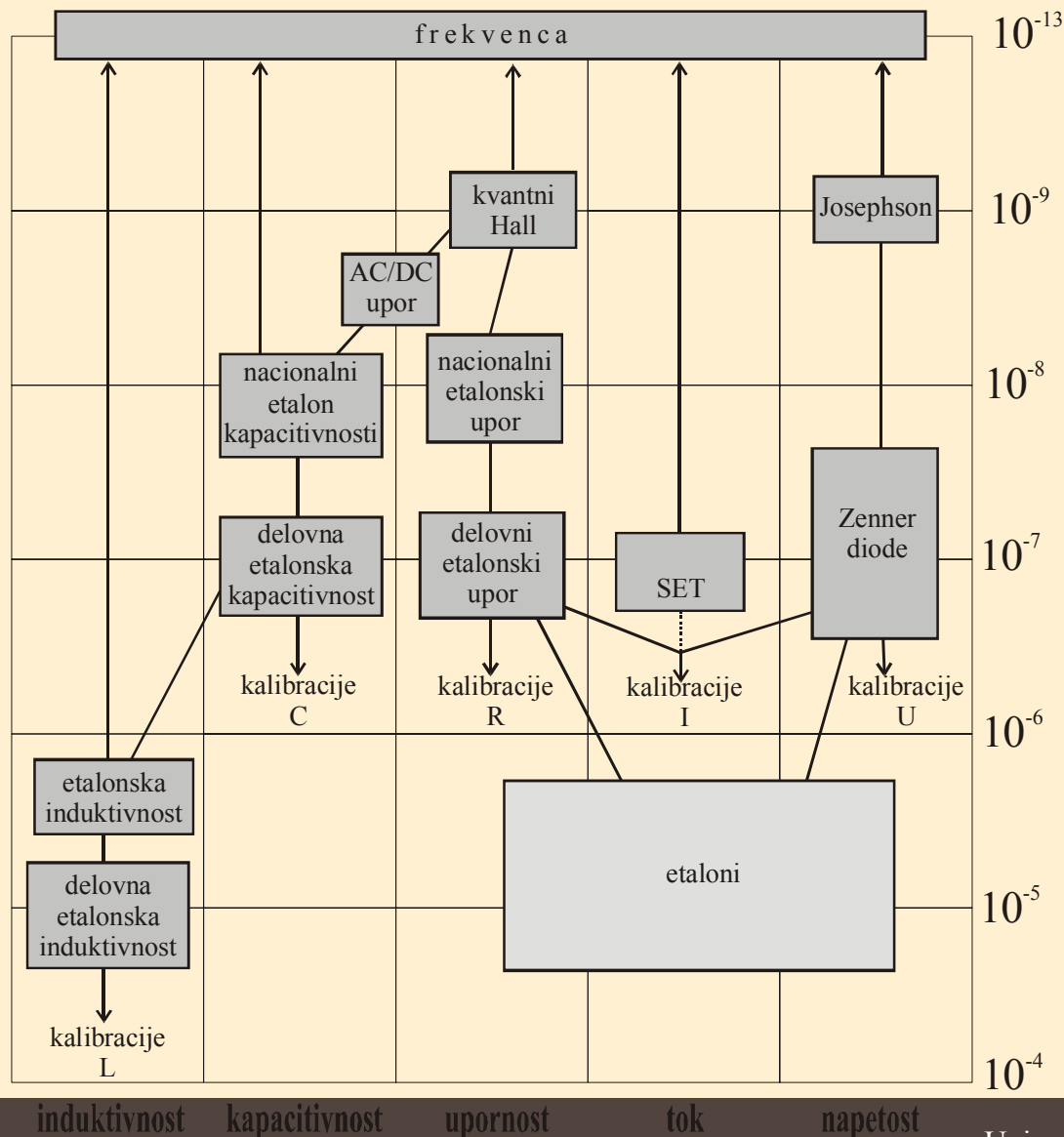
uporaba
kvantnih
pojavov



Vrednosti vzdrževane električne upornosti v različnih metroloških institucijah v odvisnosti od leta (referenca = CSIRO).



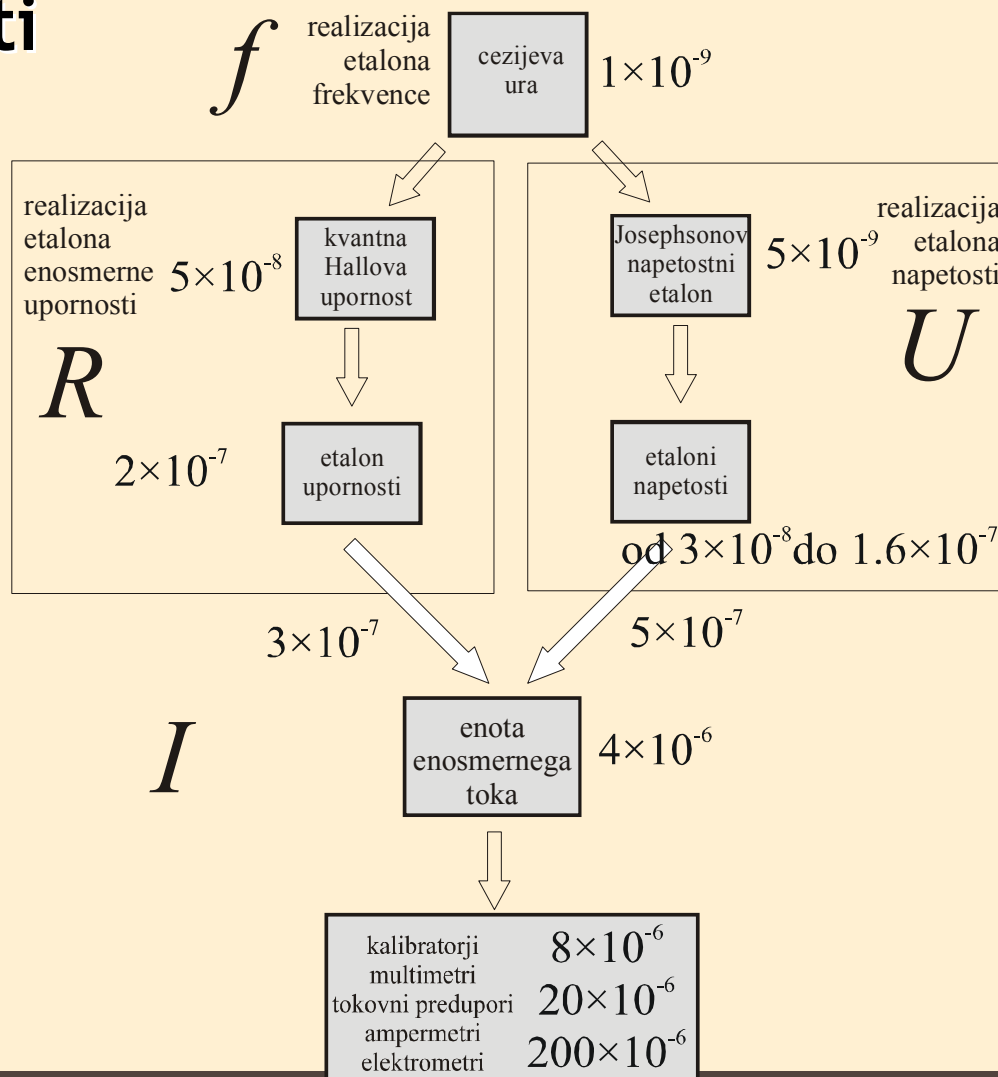
sodobna
metrologija
električnih
veličin in
njihova
navezava na
merjenje
frekvence

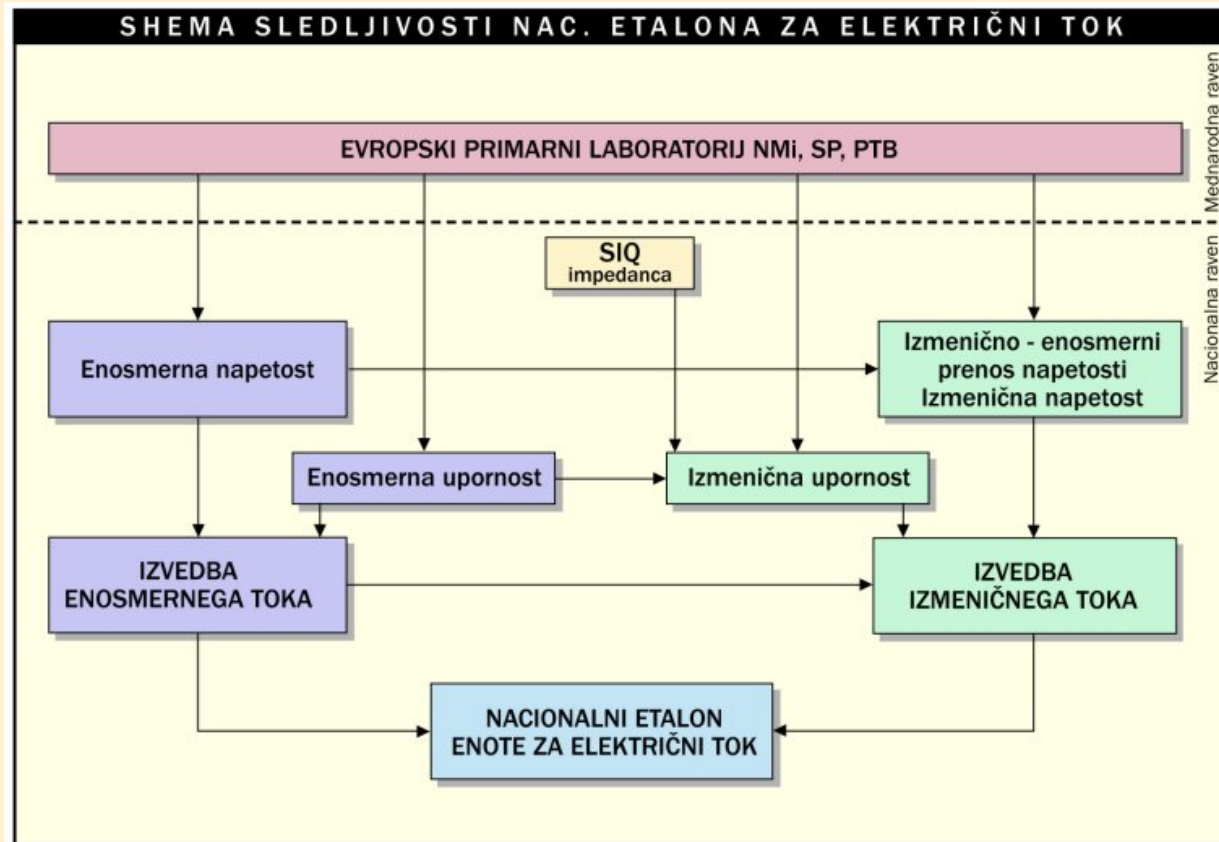


induktivnost kapacitivnost upornost tok napetost



Shema sledljivosti (električni tok)



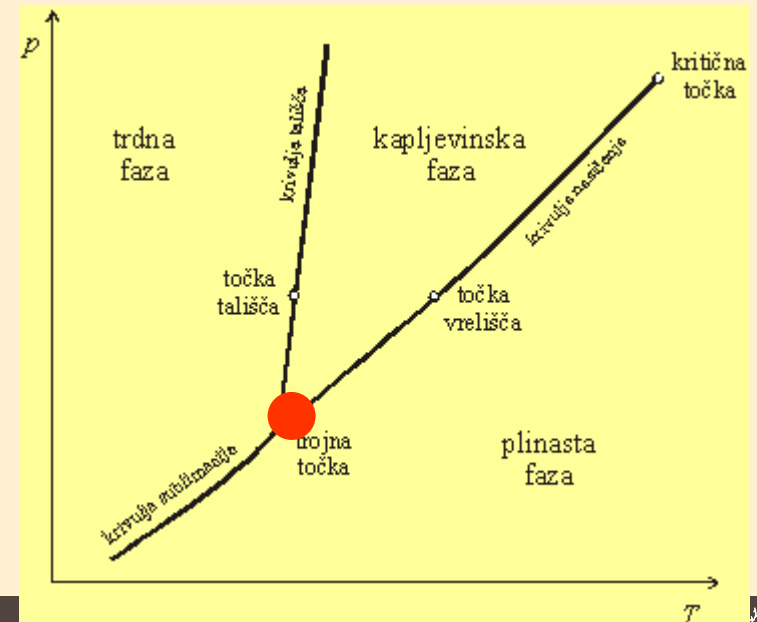


SI enota za temperaturo kelvin

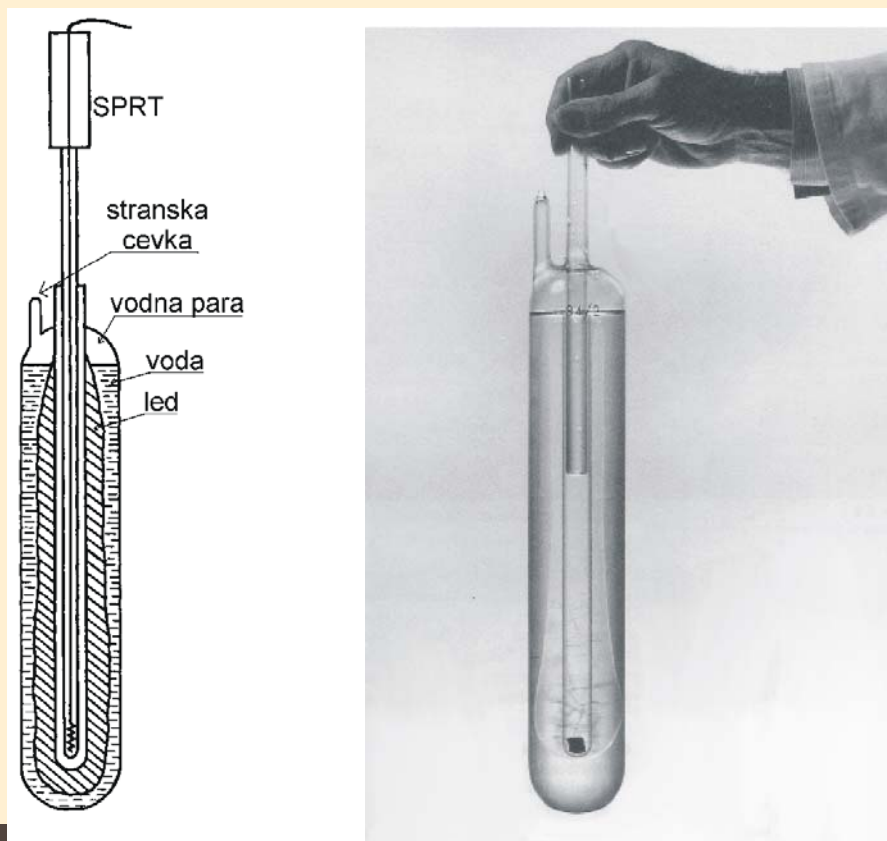


Kelvin (K) je enota termodinamične temperature, ki je enaka $1/273.16$ delu termodinamične temperature trojne točke vode.

Ta definicija je bila sprejeta leta 1967.

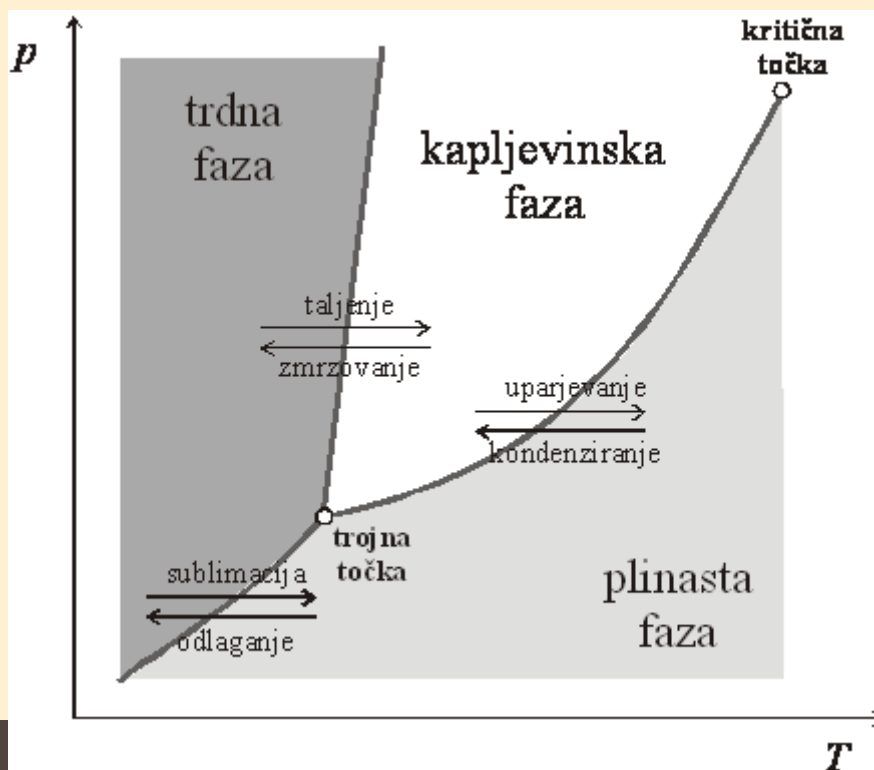


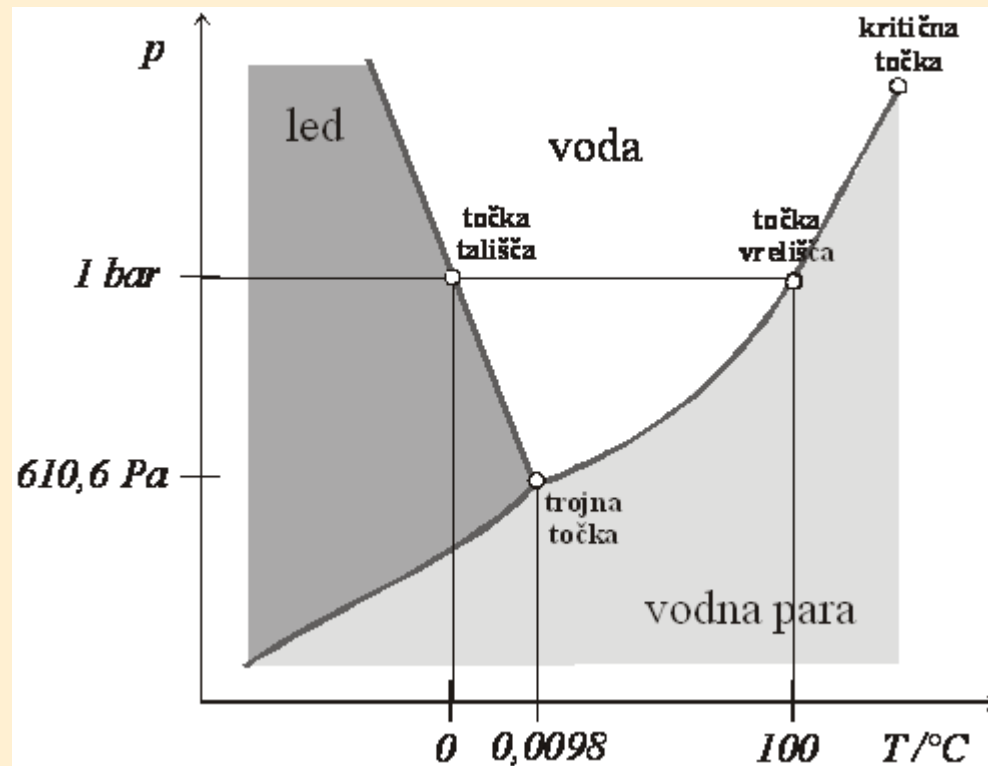
trojna točka vode



Fazni diagram

Fazni diagram je grafični prikaz vpliva temperature in tlaka na agregatno stanje snovi v zaprtem prostoru. Sestavljen je iz treh delov, ki predstavljajo snov v plinasti, tekoči in trdni fazi. Prikazuje temperature in tlake, pri katerih snov prehaja iz ene faze v drugo.





Fazni diagram vode

Razpon temperatur, ki jih danes lahko izmerimo ali ocenimo.

200 000 000 °C	2×10^8 °C	Joint European Torus (JET) – projekt jedrske fuzije
15 000 000 °C	$1,5 \times 10^7$ °C	temperatura v središču Sonca
6000 °C	6×10^3 °C	temperatura na površju Sonca
1500 °C	$1,5 \times 10^3$ °C	taljeno jeklo
1064 °C	$1,064 \times 10^3$ °C	točka tališča zlata
100 °C	10^2 °C	vrelišče vode pri atmosferskemu tlaku
0 °C	0 °C	točka ledišča kemično čiste vode
-89,2 °C	$-0,89 \times 10^2$ °C	do sedaj najnižja izmerjena temperatura zraka
-196 °C	$-1,96 \times 10^2$ °C	kriogeno shranjevanje v tekočem dušiku
-270 °C	$-2,7 \times 10^2$ °C	kozmično sevanje

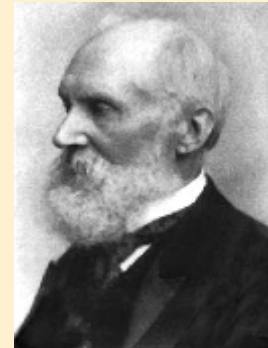
Termodinamična temperatura T

$$p V = k \times T$$

p tlak plina

V prostornina plina

k je konstanta, značilna za plin



William Thomson
Lord Kelvin

$$pV = k \frac{mv^2}{2}$$

p tlak plina

V prostornina plina

k je konstanta, značilna za plin

$mv^2/2$ je kinetična energija atomov plina



J.C. Maxwell J. W. Gibbs L. Boltzmann

Termodinamična temperatura T

$$pV = k \times T \qquad pV = k \frac{mv^2}{2}$$

S primerjavo obeh enačb so ugotovili, da je **temperatura** **proporcionalna povprečni kinetični energiji atomov**, kar je tudi danes osnova razlage narave temperature kot fizikalne veličine.

$$T \text{ } \text{🔔} \text{ } W_k$$



Termodinamično temperaturo merimo s
termodinamičnimi termometri
(plinski, sevalni, akustični, šumni termometer)



tip termometra (princip delovanja)	enačba fizikalnega procesa	merilno območje (K)	merilna negotovost (mK)
plinski termometer (tlak p in prostornina V idealnega plina)	$pV = nRT$ (tlak p in prostornina V plina, množina plina n in temperatura T)	od 2,4 do 700	od 0,3 do 15
akustični termometer (hitrost zvoka v idealnem plinu)	$c_s^2 = \frac{\gamma RT}{M}$ (hitrost zvoka c_s , razmerje specifičnih toplot pri konstantnem tlaku in volumnu γ , molska masa M in temperatura T)	od 2 do 20	od 0,3 do 1
šumni termometer (šumna napetost na električnem uporu)	$V_T^2 = 4kTR\Delta f$ (srednja kvadratična šumna napetost V_T^2 , upornost R , pasovna širina Δf in temperatura T)	od 3 do 1100	od 0,3 do 100
termometer celotnega sevanja (skupno sevanje črnega telesa)	$L = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} T^4$ (totalno sevanje L , temperatura T)	od 200 do 420	od 0,5 do 2
monokromatski sevalni termometer (spektralno sevanje črnega telesa)	$L_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5} \left(e^{\frac{c_2}{T\lambda}} - 1 \right)^{-1}$ (spektralno sevanje L_λ , valovna dolžina λ , prva in druga sevalna konstanta c_1 in c_2 ter temperatura T)	od 1200 do 6000	od 10 do 2000



Lastnosti termodinamičnih termometrov:

+

točnost

-

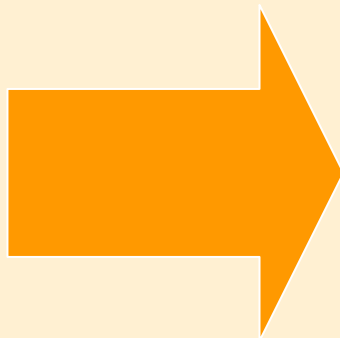
ponovljivost

stabilnost

ozko področje uporabe

cena

praktičnost



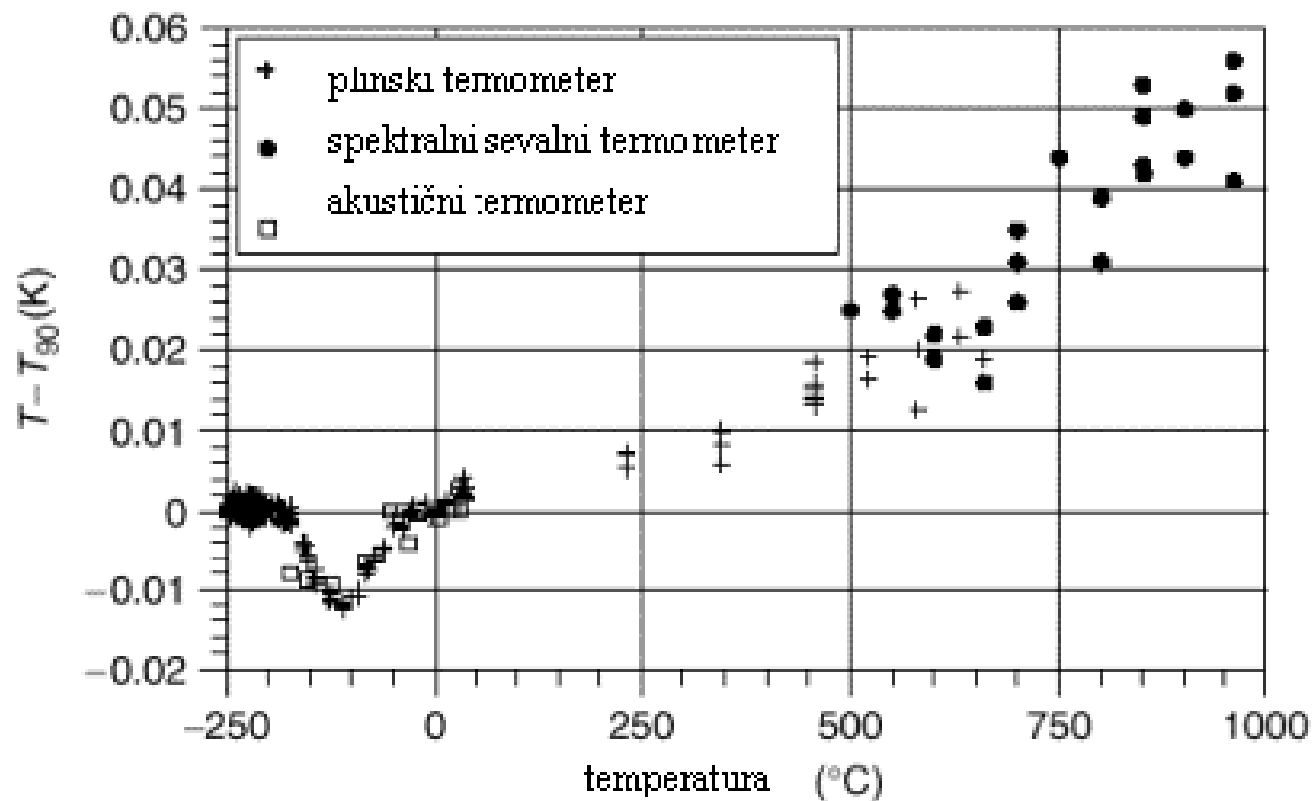
empirična ali praktična temperaturna lestvica

(predstavlja trenutno najboljšo
aproksimacijo termodinamične
temperaturne lestvice)

Primarne termometre zamenjamo z bolj
praktičnimi, a še vedno izredno točnimi
sekundarnimi termometri, pri katerih princip
delovanja opišemo empirično na osnovi meritev
s primarnimi termometri.



Praktična (empirična) temperaturna lestvica



Mednarodna temperaturna lestvica ITS-90

Danes je v veljavi mednarodna temperaturna lestvica ITS-90 (**International Temperature Scale of 1990**), ki je že peta praktična temperaturna lestvica.

ITS-90 pokriva temperaturno območje **od 0,65 K pa do najvišjih praktično merljivih temperatur**. Lestvica je razdeljena na štiri glavna podobmočja, ki se med seboj tudi deloma prekrivajo:

ITS-90

med 0,65 K in 5,0 K je definirana na osnovi povezave temperature s tlakom helijevih par

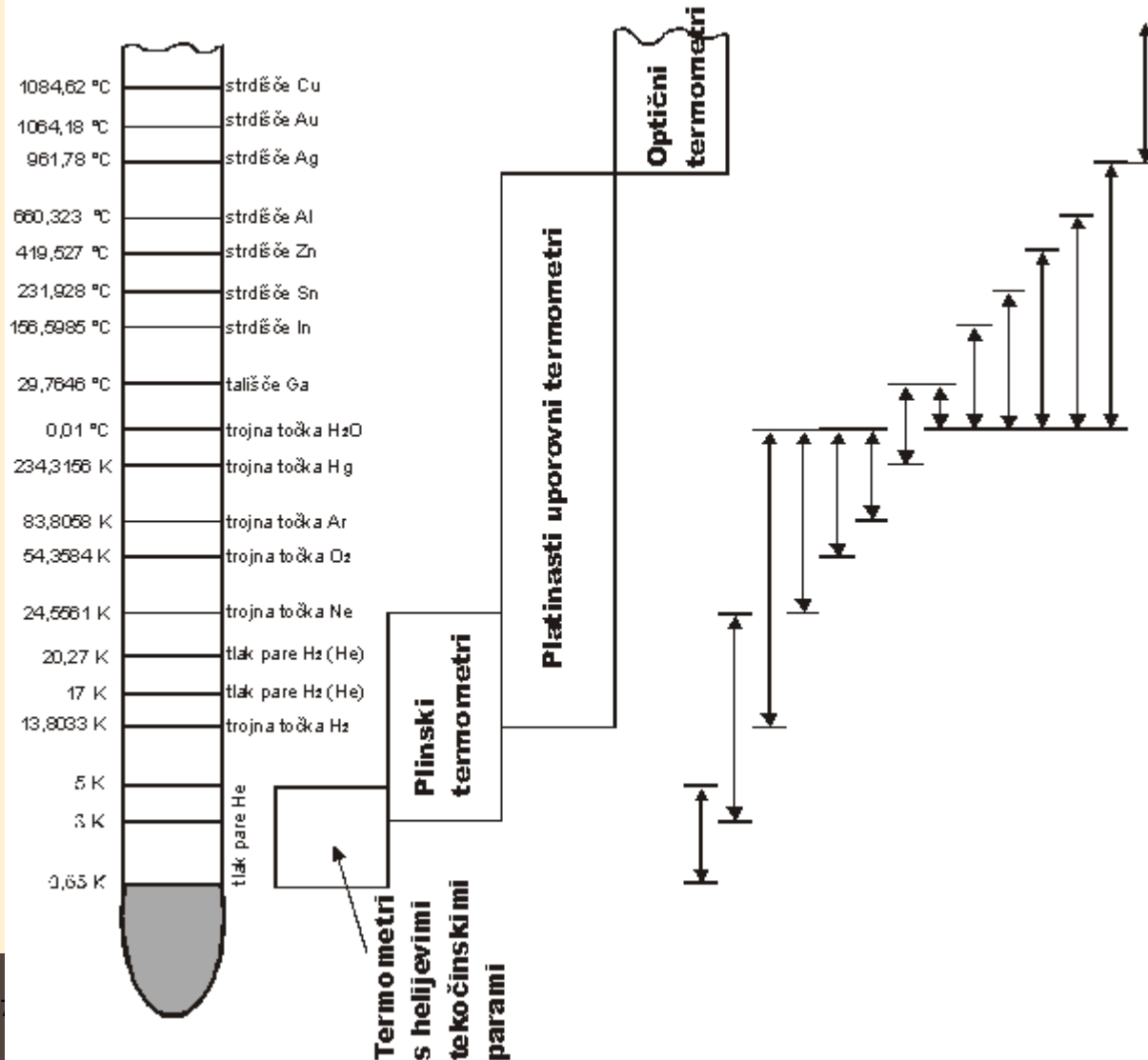
med 3,0 K in trojno točko neona (24,5561 K) je definirana na osnovi helijevega plinskega termometra, kalibriranega v treh temperaturnih točkah s predpisanimi temperaturami in z uporabo predpisanega interpolacijskega postopka.

med trojno točko vodika (13,8033 K) in točko strdišča srebra (961,78 °C) je definirana na osnovi platinastih uporovnih termometrov, kalibriranih v predpisanem naboru fiksnih točk in z uporabo prepisanih interpolacijskih postopkov.

nad strdiščem srebra (961,78 °C) je definirana na osnovi predpisane fiksne točke (strdišče srebra, zlata ali bakra) in Planckovega sevalnega zakona.



Fiksne točke **Termometri** **Interpolacijska območja**

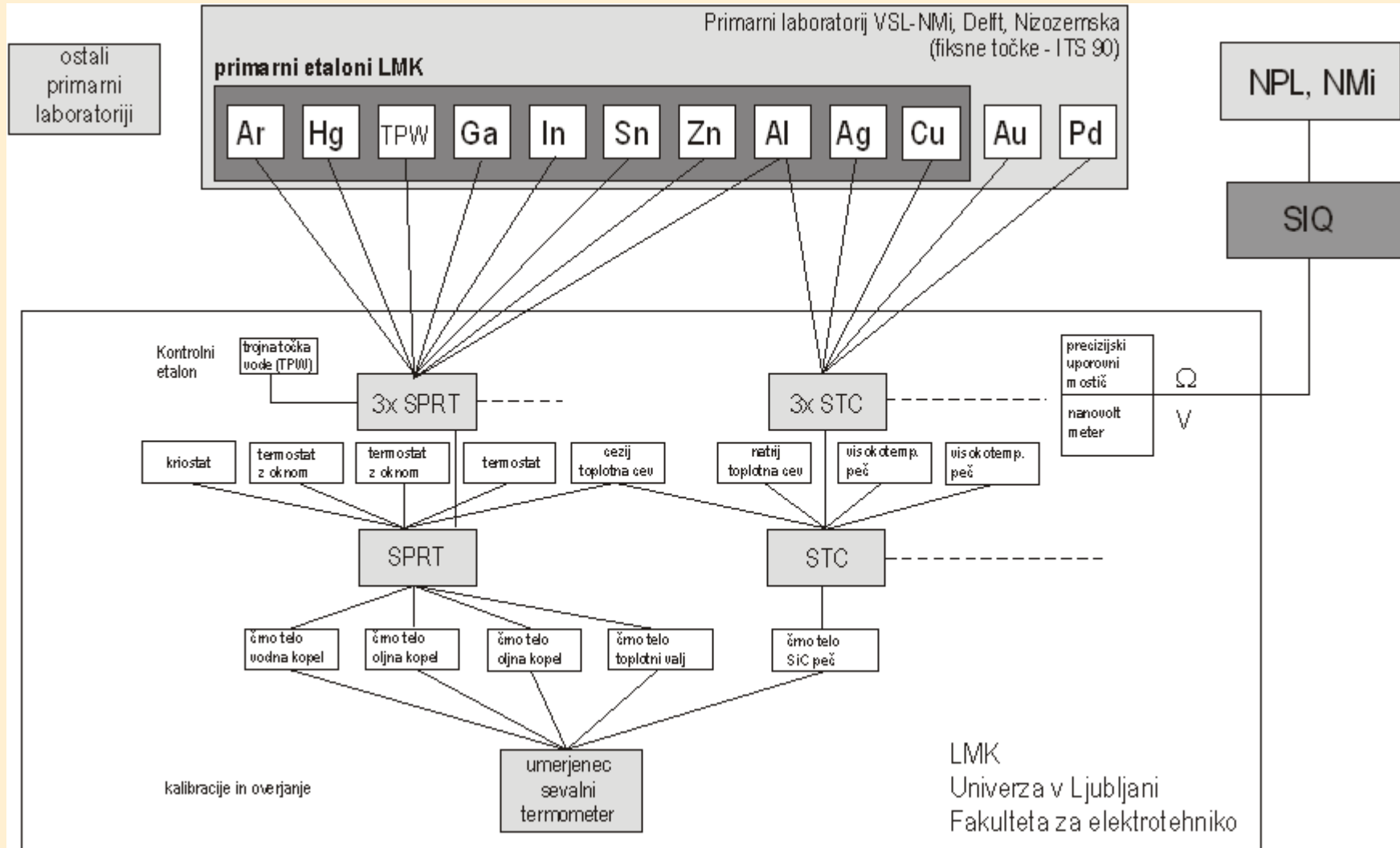


št. točke	Temperatura		Snov	Stanje
	T_{90} [K]	t_{90} [°C]		
1	3 do 5	-270,15 do -268,15	He	P
2	13,8033	-259,3467	e-H ₂	T
3	≈17	-256,15	e-H ₂ (ali He)	P ali PL
4	≈20,3	-252,85	e-H ₂ (ali He)	P ali PL
5	24,5561	-248,5939	Ne	T
6	54,3584	-218,7916	O ₂	T
7	83,8058	-189,3442	Ar	T
8	243,3156	-38,8344	Hg	T
9	273,16	0,01	H ₂ O	T
10	302,9146	29,7646	Ga	TA
11	429,7485	156,5985	In	ST
12	505,078	231,928	Sn	ST
13	692,677	419,527	Zn	ST
14	933,473	660,323	Al	ST
15	1234,93	961,78	Ag	ST
16	1337,33	1064,18	Au	ST
17	1357,77	1084,62	Cu	ST

Fiksne točke ITS-90 in njihove vrednosti.

P – para, PL – plin, T - trojna točka, TA - tališče
(pri tlaku 101,325 kPa), ST - strdišče (pri tlaku
101,325 kPa).

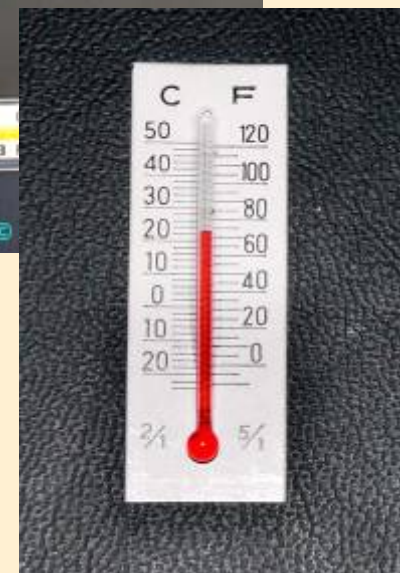
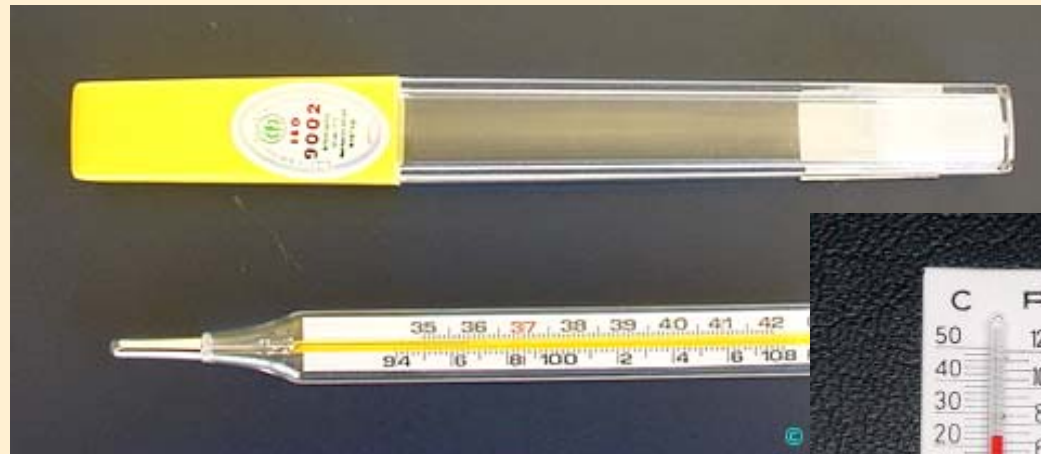
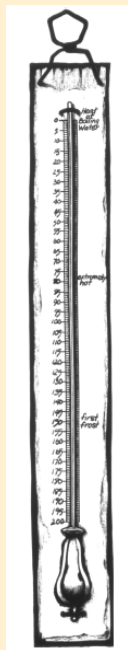




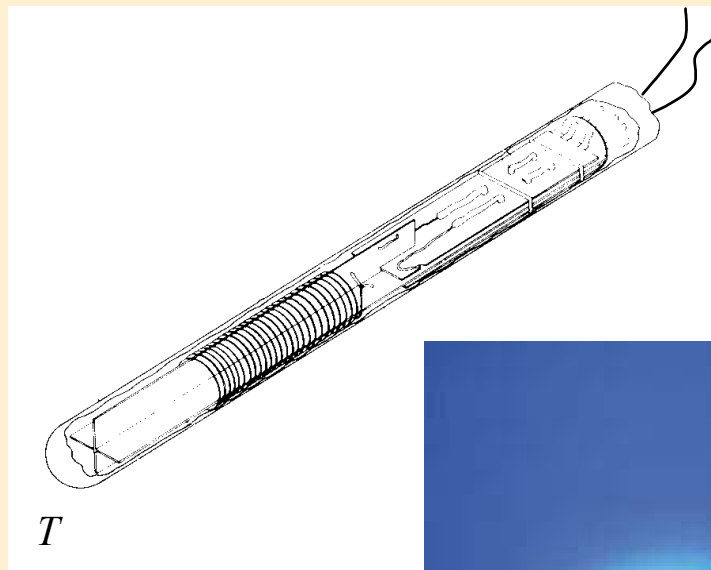
Diseminacija enote za temperaturo v običajnem območju od 14 K do 962 °C poteka s pomočjo kalibracije uporovnih senzorjev v fiksnih točkah metroloških institucij. Izven tega območja se diseminacija izvaja z uporabo drugih termometrov (plinski, akustični, šumni, magnetni).



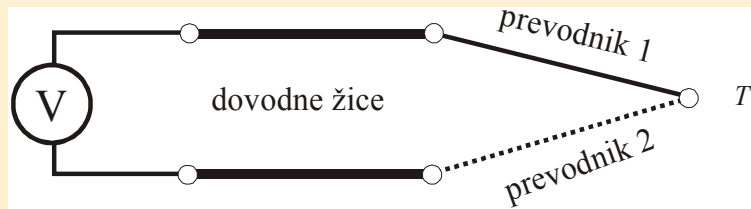
Tekočinski termometri



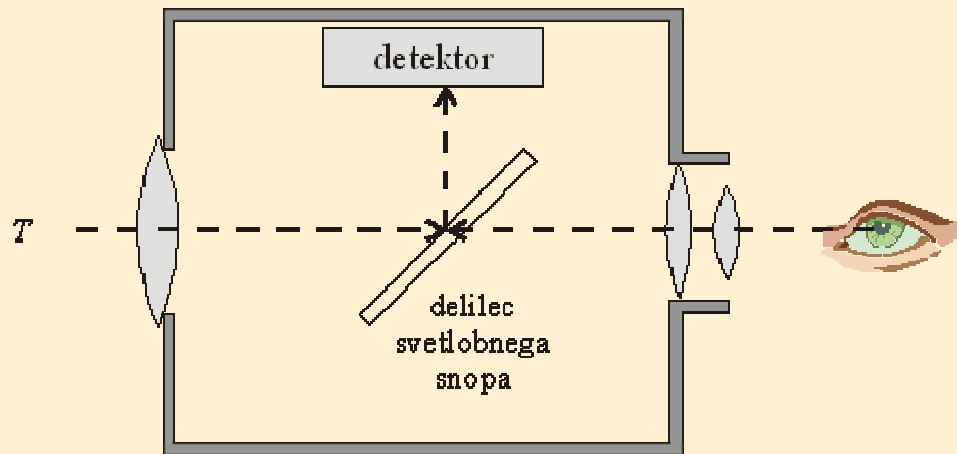
Platinasti uporovni termometri

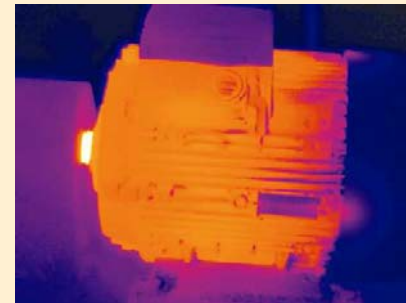
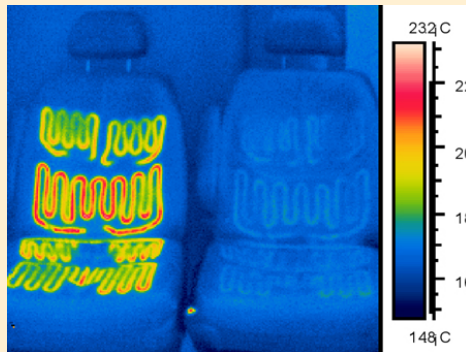
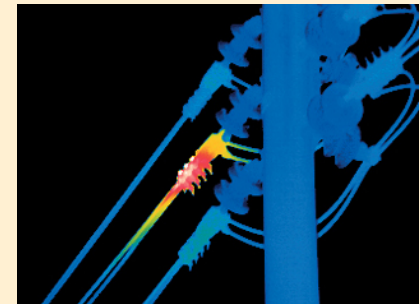
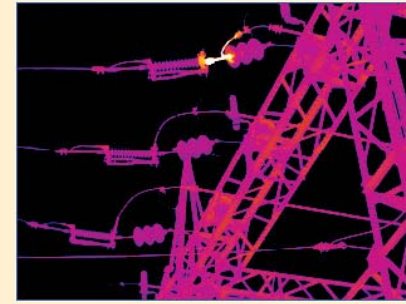
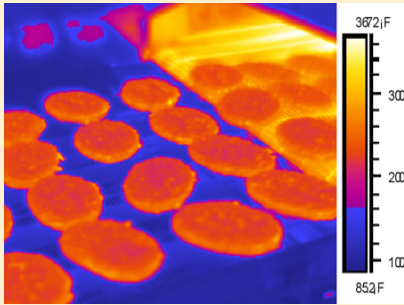


Termočleni



Sevalni termometri



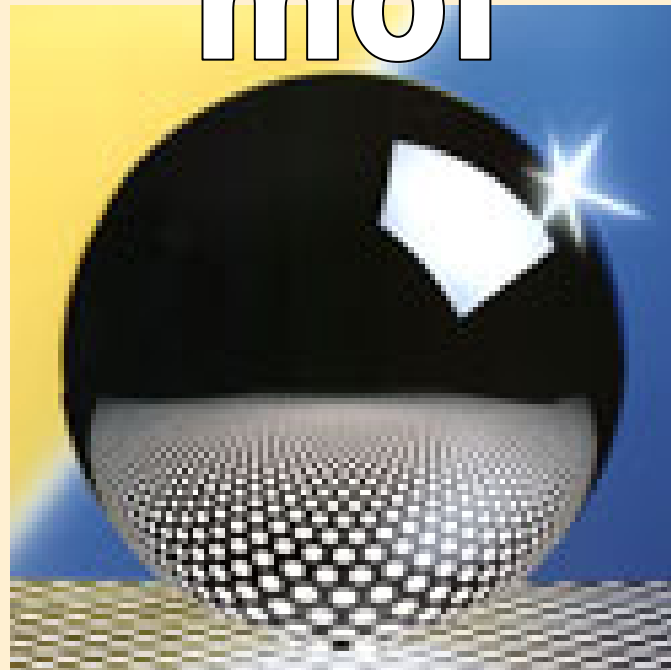


uporabnost termovizijske kamere

LMK, FE, UNI-LJ © 2007 Vsako neavtorizirano razmnoževanje je prepovedano. Vsebinske napake so mogoče.



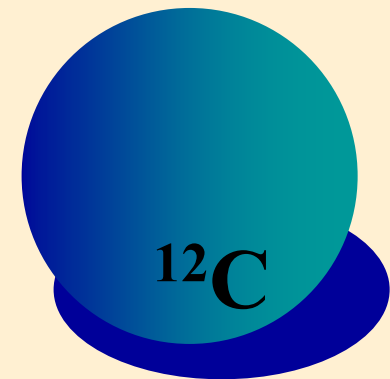
SI enota za množino snovi mol

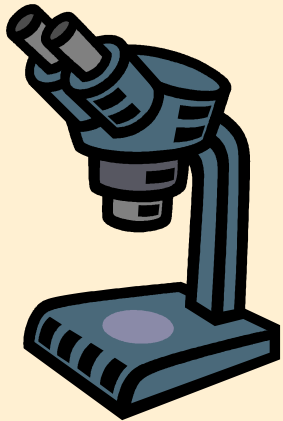


Mol (mol) je množina snovi sistema, ki vsebuje toliko elementarnih enot, kolikor je atomov v 0.012 kg ogljika ^{12}C .

Ogljik mora biti v nevezanem stanju, v mirovanju in v osnovnem stanju. Kadar uporabljamo enoto mol morajo biti elementarne enote točno označene ter so lahko atomi, molekule, ioni, elektroni ali drugi delci ali skupine delcev.

Ta definicija je bila sprejeta leta 1971.





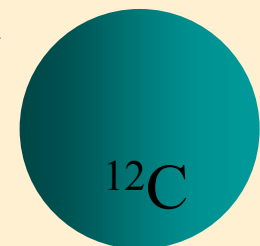
Problematika merjenja množine snovi

- nepredstavljivo veliko število delcev
- nepredstavljivo majhna masa delcev

1960

IUPAC in IUPAP se dogovorita o skali, ki opisuje relativne atomske mase glede na ta izotop ogljika C 12, ki so mu pripisali vrednost 12.

IUPAP (International Union of Pure and Applied Physics)
IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry)



*Mol (mol) je množina
snovi sistema, ki
vsebuje toliko
elementarnih enot,
kolikor je atomov v
0.012 kg ogljika ^{12}C .*

Avogadrovo število
 N_A

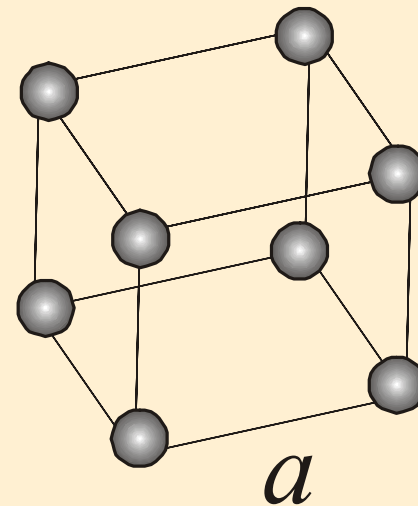
$$N_A = 6.022\,141\,99 \times 10^{23} \text{ /mol}$$

realizacija mola = določanje N_A

določanje Avogadrovega števila



silicijeva krogla s premerom 10 cm

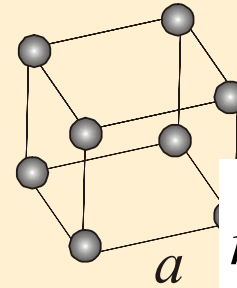


silicijev monokristal ima zelo pravilno
kubično strukturo 8 atomov Si





prostornina krogle V



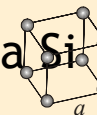
$$n_{Si} = 8 \frac{V}{a^3}$$

$$m = m_{Si} n_{Si}$$

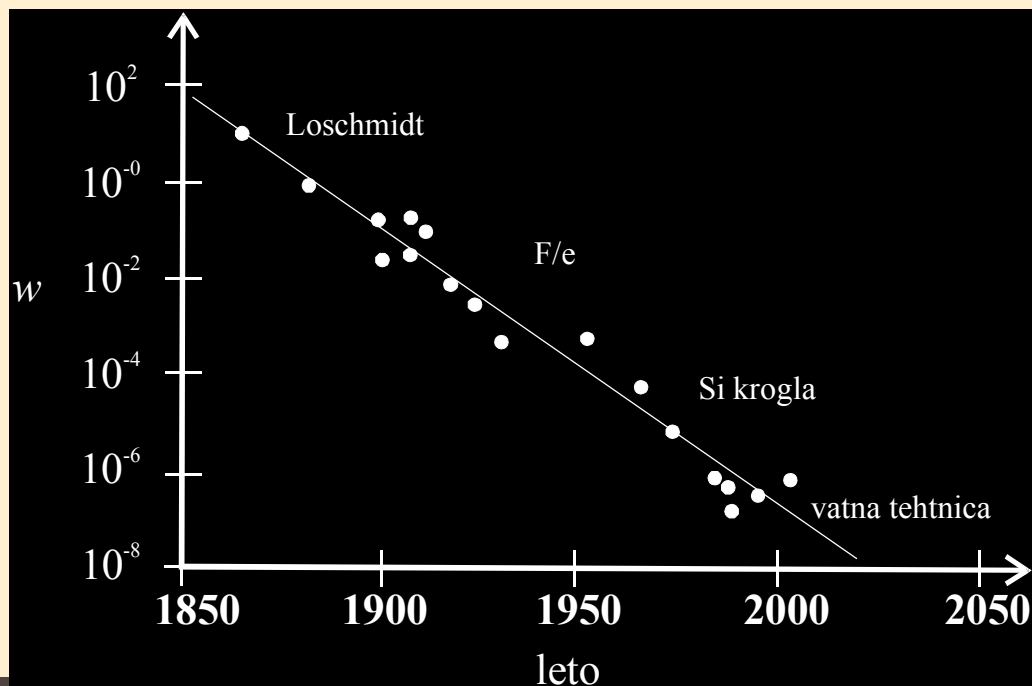
masa krogle = masa enega Si atoma \times število Si atomov

$$N_A = 8 \frac{M_{Si}}{m} \frac{V}{a^3}$$

M_{Si} - molarna masa Si
 V - prostornina krogle
 m - masa krogle
 N_A - Avogadrovega število
 a - stranica kubičnega elementa Si



Izboljševanje relativne negotovosti določevanja Avogadrovega števila N_A v odvisnosti od leta. Pripisane so osnovne metode določevanja N_A od prve, ki jo je izvedel Loschmidt, razmerja med Faradayevo konstanto in osnovnim nabojem do novjših poskusov s silicijevo kroglo in vatno tehtnico



Referenčni material

Referenčni material (RM) je definiran kot material ali snov, ki je dovolj homogena in katere ena ali več lastnosti je dovolj dobro ugotovljenih, da se lahko uporablja za umerjanje naprave, ocenjevanje merilne metode ali za pripisovanje vrednosti materialom [VIM]. Referenčni material je lahko v obliki čistega plina, kapljevine ali trdne snovi, lahko pa je tudi mešanice vseh.

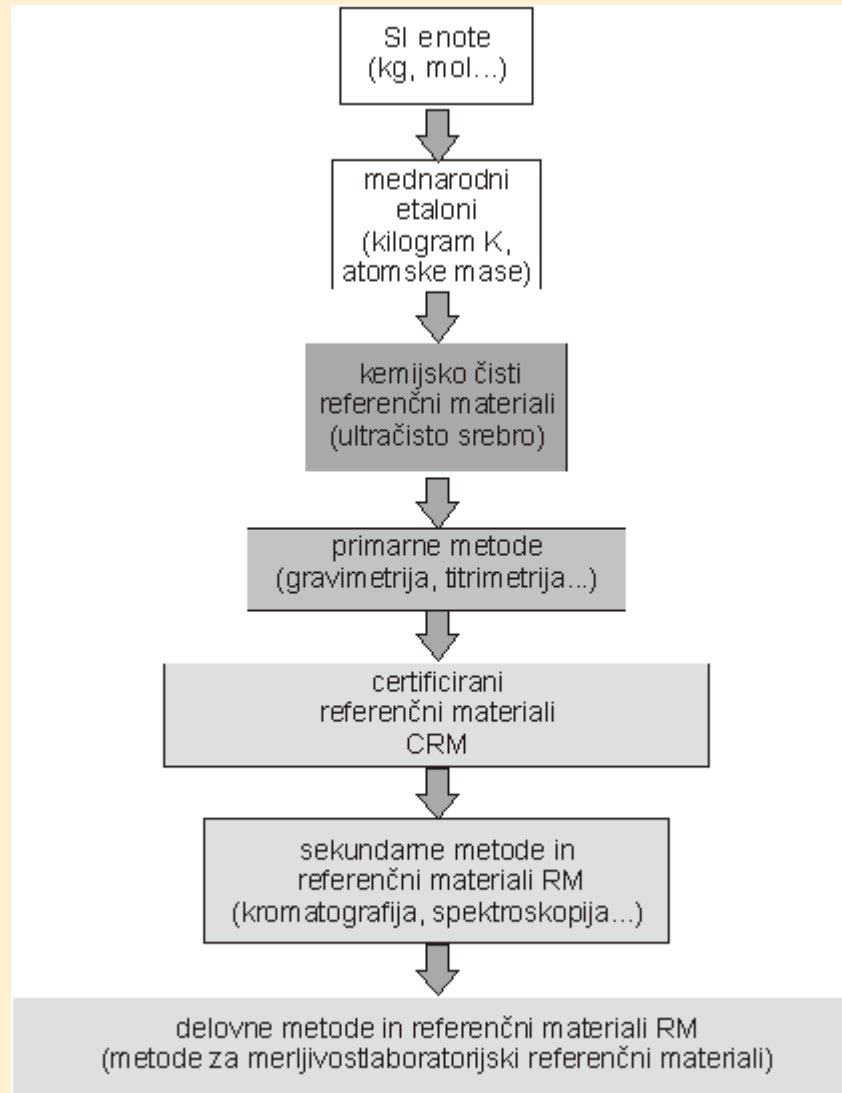
RM: raztopine, ki se uporabljajo za umerjaje v kemični analizi, voda za umerjanje viskozimetrov itd.

Certificirani referenčni material

Certificirani referenčni material (CRM) je definiran kot RM s priloženim certifikatom, katerega ena ali več vrednosti določene lastnosti je certificiranih s postopkom, ki vzpostavlja sledljivost do točne realizacije enote, v kateri so vrednosti te lastnosti izražene, in pri kateri vsako certificirano vrednost spremlja negotovost z navedeno stopnjo zaupanja [VIM].

CRM : trojna točka vode v termometriji (CRM je v tem primeru čista voda v stekleni celici), prepustni filter (CRM je steklo z znano optično gostoto), objektno stekelce mikroskopa (CRM so kroglice enake zrnatosti) itd.

Sledljivost meritev v kemiji



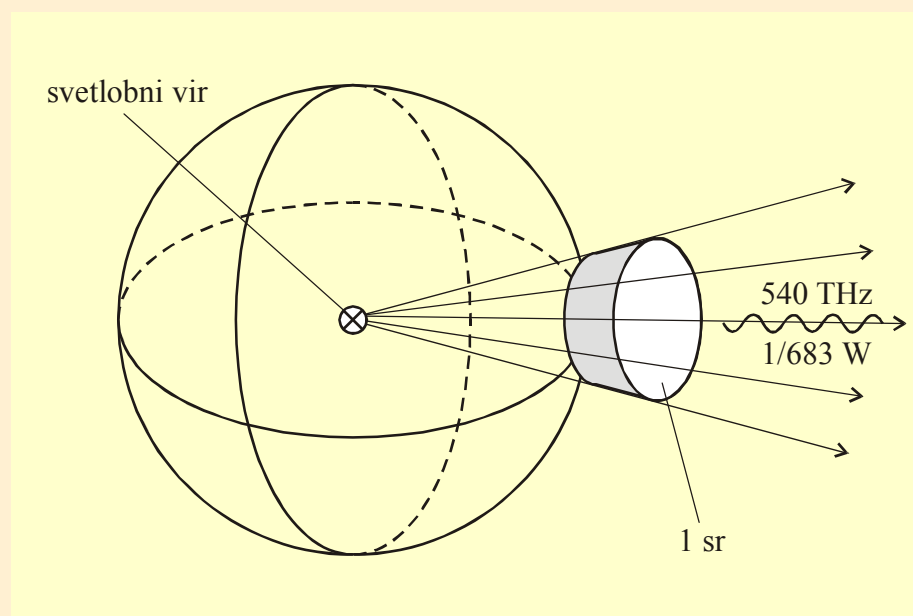
SI enota za svetilnost

kandela



Kandela (cd) je svetilnost vira sevanja, ki v določeno smer oddaja monokromatsko sevanje s frekvenco 540 THz in ima v tej smeri energijsko jakost sevanja $1/683$ vatov na steradian.

Ta definicija je bila sprejeta leta 1979.



radiometrija



merjenje fizikalnih lastnosti
sevanja/svetlobe
(svetilnost, energijska jakost)

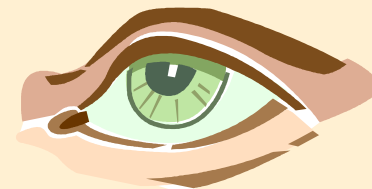
radiometrija

+

lastnosti človeškega očesa

(selektivna občutljivost – rumena se nam zdi
svetlejša od modre)

fotometrija



fotometrične enote – kandela (cd), lux (lx), lumen (lm)



realizacija kandelega

radiometrični etaloni

- **Absolutni detektorji sevanja** (kriogeni radiometer)
(primerjajo sevalno energijo vira z električno energijo segrevanja).
- **Svetilke z žarilno nitko**
(izredna stabilnost (0.02 %) in obnovljivost)



Nekatero izpeljane veličine SI sistema



Sila

Po drugem Newtonovem zakonu

$$F = m a$$

velja, da je sila F , ki deluje na telo, odvisna od mase telesa m in od njegovega pospeška a .



Realizacija enote za silo

Enota za silo je realizirana s etalonskimi napravami, ki izkoriščajo nosilnost, gravitacijsko silo in hidravlično ter vzvodno ojačevanje sile. Te naprave realizirajo sile v širokem območju in omogočajo generiranje serije rastočih ali padajočih sil brez vmesnih razbremenitev in brez spreminjanja smeri obremenitve.

Merjenje sile

Sile lahko merimo in med seboj primerjamo s pomočjo **nateznih in tlačnih pretvornikov sile** (na primer uporovni lističi), ki jih uporabljamo tudi kot prenosniške etalone.



Etalonske naprave za realizacijo sile

Princip etalonske naprave za silo	območje	rel. negotovost	metoda	prispevki negotovosti
nosilnost	od 0,1 N do 2 MN	2×10^{-5}	sila znane mase v gravitacijskem polju Zemlje	masa, vzgon zraka, lokalno gravitacijsko polje
hidravlika	> 1 MN	5×10^{-4}	izenačevanje hidravlične sile in sile znane mase v gravitacijskem polju Zemlje (razmerje od 10:1 do 1000:1)	geometrija, lastnosti olja, trenje
vzvod	≤ 3 MN	4×10^{-4}	vzvodno ojačevanje sile (razmerje od 10:1 do 2000:1)	geometrija, trenje



Tlak

Tlak p z enoto pascal ($\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$) je definiran kot razmerje normalne komponente sile F na tekočino na površini A .

Merjenje tlaka

V osnovi ločimo dva osnovna načina merjenja tlaka. Prvi je merjenje tlaka kot razmerja med silo in površino, na katero sila deluje. Drugi pa je merjenje tlaka p na dnu stolpca tekočine z gostoto ρ in višino h .

$$p = \frac{F}{A} \quad p = \rho g h$$



Osnovne merilne metode za merjenje tlaka

merjenje višine tekočinskega stolpca znane gostote

(živo srebro)

merjenje mehanske deformacije membran, open, Bourdonovih cevi, itd

(uporaba vzvodov, uporovnih lističev, kapacitivnih merilnikov, spremembe resonančne frekvence merilnega elementa...)

posredne metode

(merjenje fizikalnih lastnosti, kot je toplotna prevodnost, ionizacija plina, viskoznost)

> 1 bar

< 1 bar

Realizacija pascala

- manometri s tekočinskimi stolpci
- tlačne tehtnice

$$p = \rho g h$$

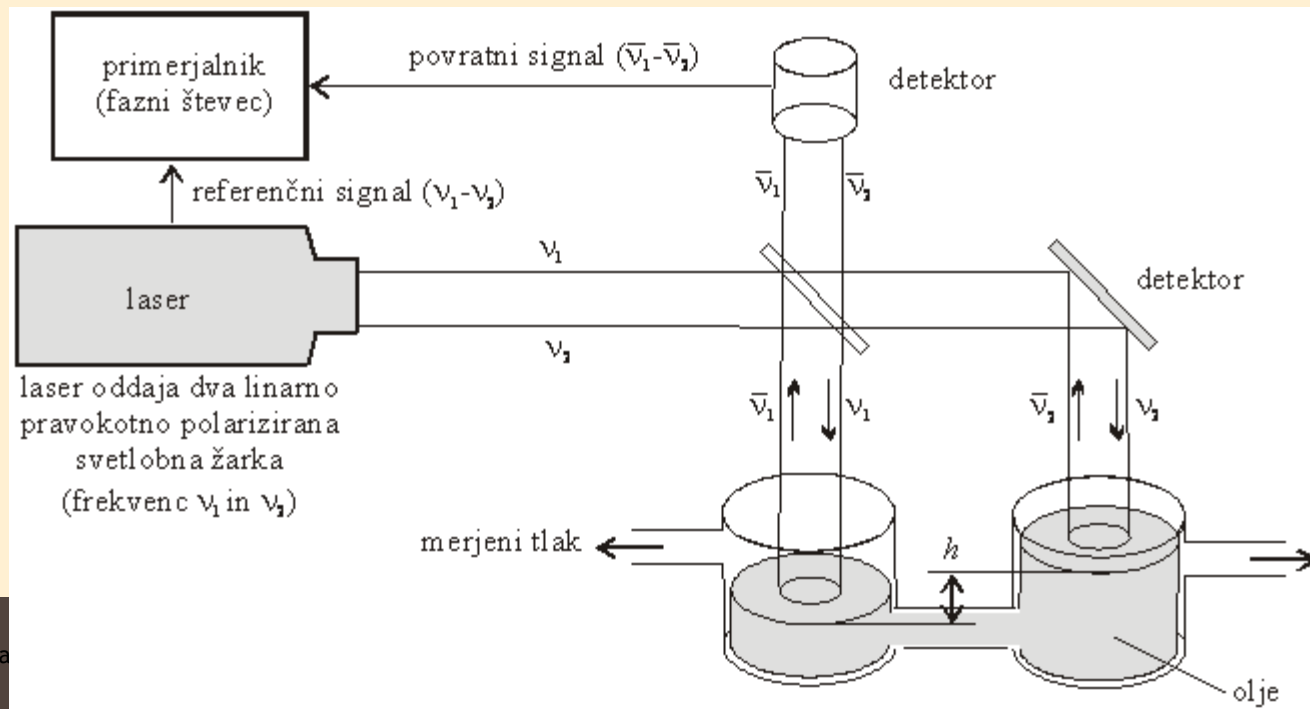
$$p = \frac{F}{A}$$



manometri s tekočinskimi stolpci

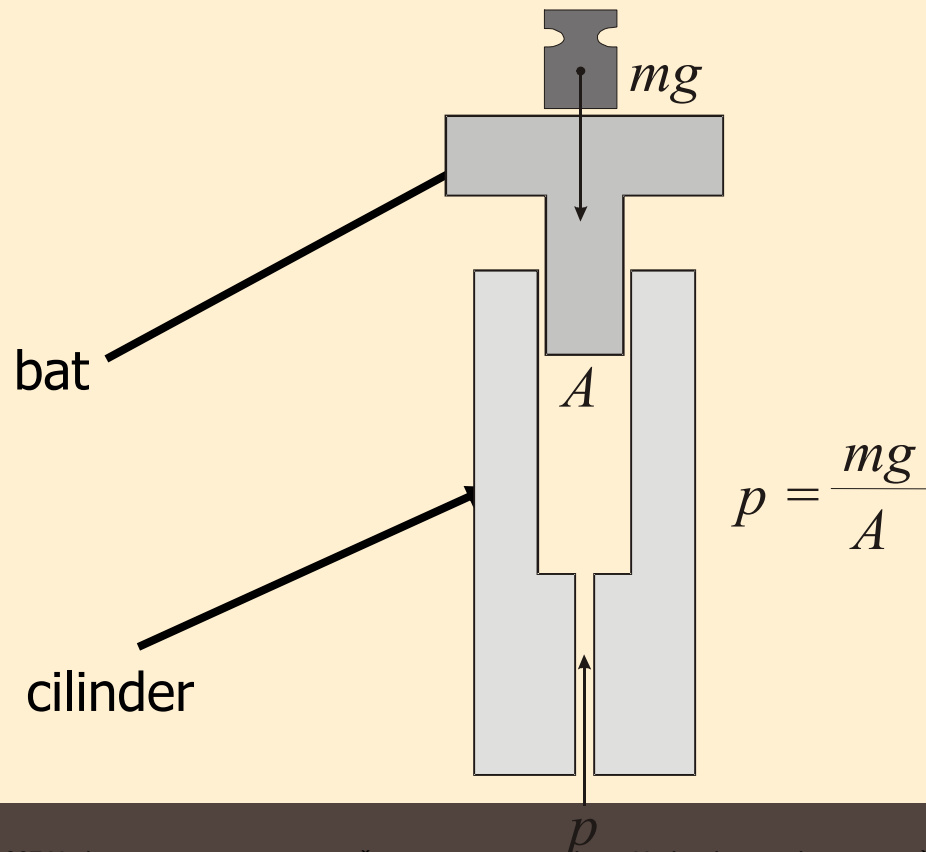
sledljivost neposredno na SI enote za površino in silo

$$p = \rho g h$$



tlačne tehtnice

sledljivost neposredno na SI enote za površino in silo



tlačna tehnica

uteži

bat in cilinder

