Det nya kilogrammet

Ett modernt kilogram för en modern värld

Karin Cedergren

20 maj 2020

För exakt ett år sedan fick kilogrammet en ny definition

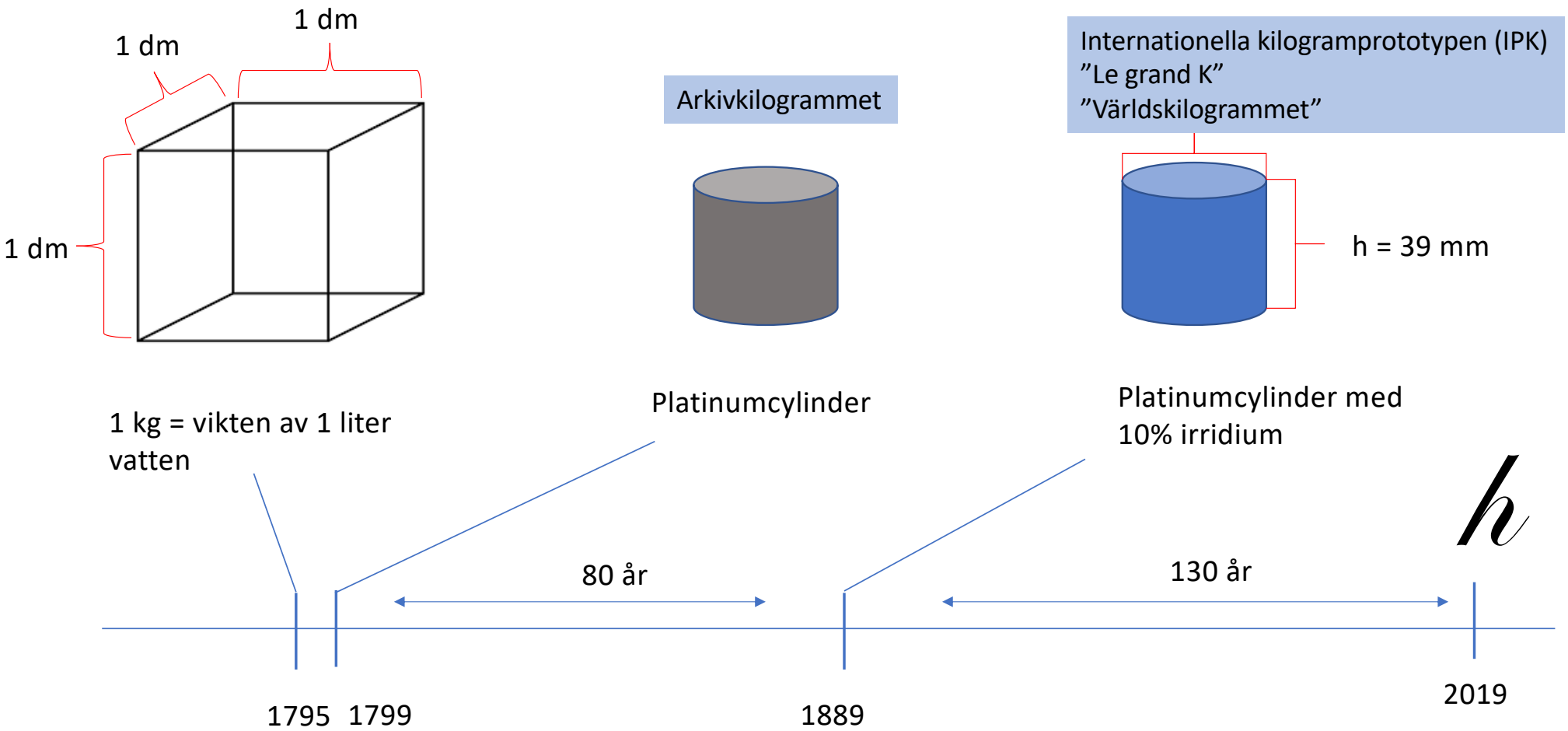
Kilogrammet definieras inte längre av den internationella kilogramprototypen, ”världskilogrammet” i Paris, utan av Plancks konstant.

IPK

$$\longrightarrow \quad h$$

Vad har omdefinieringen betytt och hur kommer den att påverka oss i framtiden?

Hur kilot definierats sedan 1795

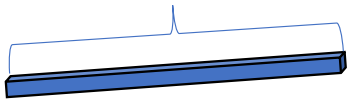


Andra enheter i SI-systemet har utvecklats och omdefinierats under årens lopp

Låt oss titta på de två andra enheterna som var med från början, nämligen *metern* och *sekunden*

Hur metern har definierats sedan 1975

Börjar på samma sätt som för kilot…

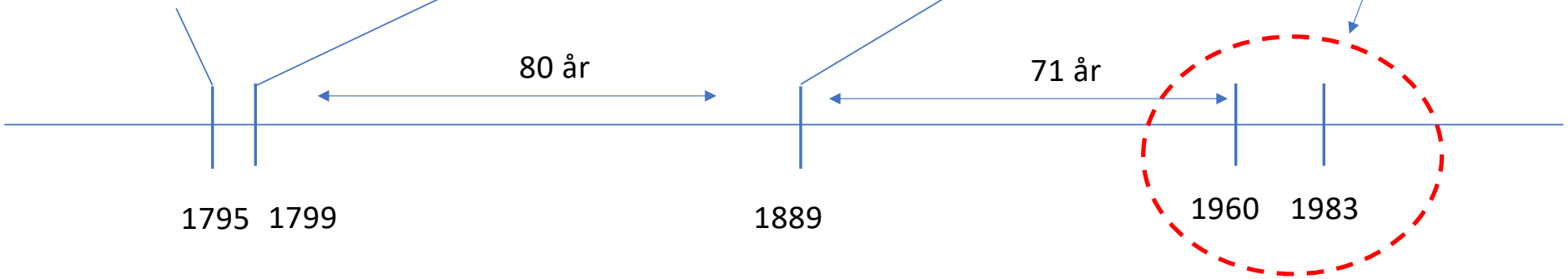


Sedan händer något

1 m = 1/10’000’000 av avståndet mellan nordpolen och ekvatorn

Platinumstav

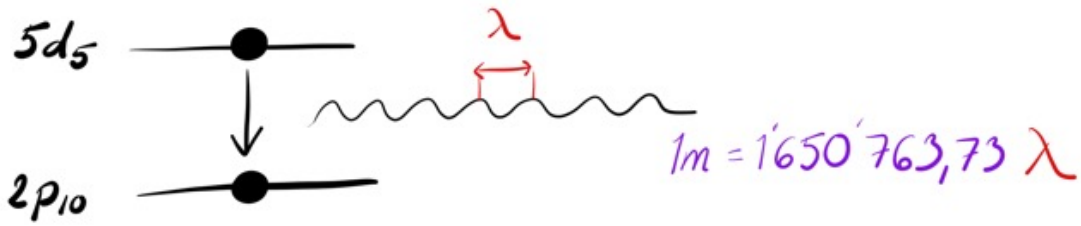
Platinumstav med 10% irridium



Metern

Resolution 6 of the 11th CGPM (1960)

The metre is the length equal to 1 650 763,73 wavelengths in vacuum of the radiation corresponding to the transition between the levels $2p_{10}$ and $5d_5$ of the krypton 86 atom.



Argument för den nya definitionen:

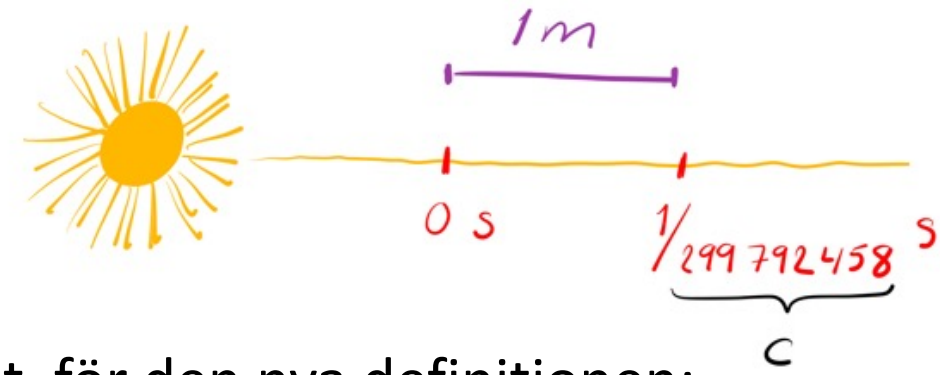
- **Noggrannheten** i den gamla definitionen är inte tillräcklig för metrologins behov

- Önskvärt med en ”naturlig” och **oförstörbar** standard

Metern

Resolution 1 of the 17th CGPM (1983)

The metre is the length of the path travelled by light in vacuum during a time interval of 1/299 792 458 of a second.



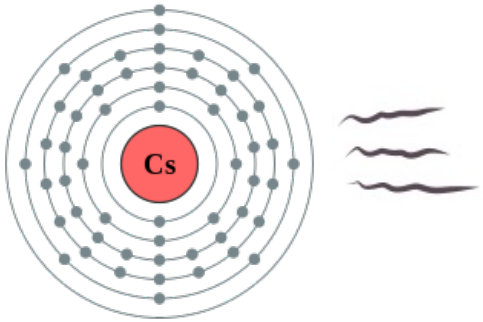
Argument för den nya definitionen:

- **Precisionen** i den gamla definitionen är inte tillräcklig för metrologins behov

Sekunden

Resolution 1 of the 13th CGPM (1967)

The second is the duration of 9 192 631 770 periods of the radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of the caesium 133 atom.



$\nu = 9\,192\,631\,770$ Hz

1 s = 9 192 631 770 perioder

Argument för den nya definitionen:

- Den tidigare definitionen är **otillräcklig** för dagens behov

Slutsats:

Tidigare omdefinieringar av SI-systemets enheter har framför allt drivits av ett *behov* realterat till enheten självt

- framför allt har detta handlat om:

- Bättre noggranhet i realiseringen,
- Enklare realisering

? ? ? ?

Kan ett kilogram vägas upp med större noggrannhet än före omdefinitionen? -Nej!

Blir realiseringen enklare? – Nej!

Är kilogrammet lika tungt som förut? –Ja!

Så varför gör vi det här?

- Mycket bra fråga!

Det är nu det blir intressant!

Problemet med kilot har varit att det inte varit stabilt!

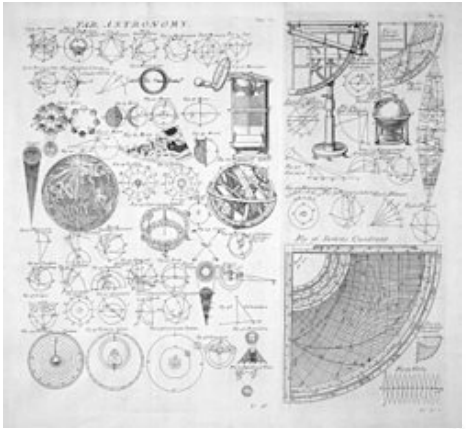
För flera av våra naturkonstanter såg det fram till föra året ut såhär…

Konstanterna ändras inte, de är ju *konstanta*, men det *numeriska värde* vi använder för att beskriva dem ändras – eftersom kilot ändras.

Låter det konstigt? Det är det också!

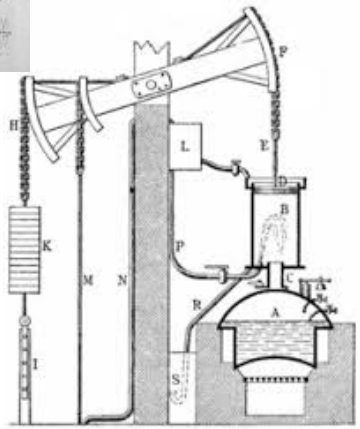
SI-systemet före 2019 var inte gjort för vår moderna värld!

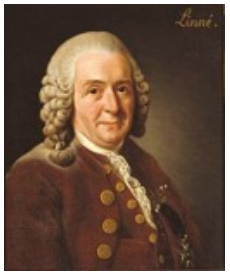
När idéerna om det metriska systemet växte fram såg världen ut såhär:

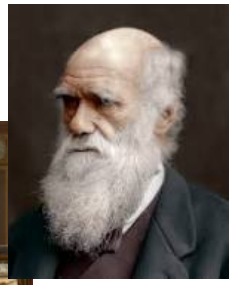


Fokus låg på jorden och tanken om dess upplevda oföränderlighet i tiden

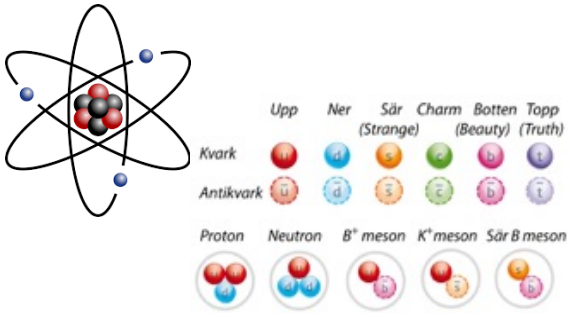
SI-systemet baserades på **naturmått relaterade till jorden**



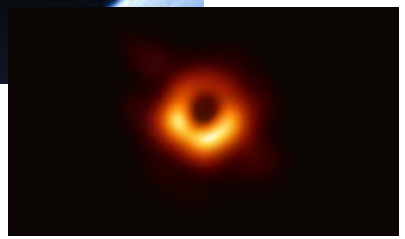




I dag ser världen ut såhär:

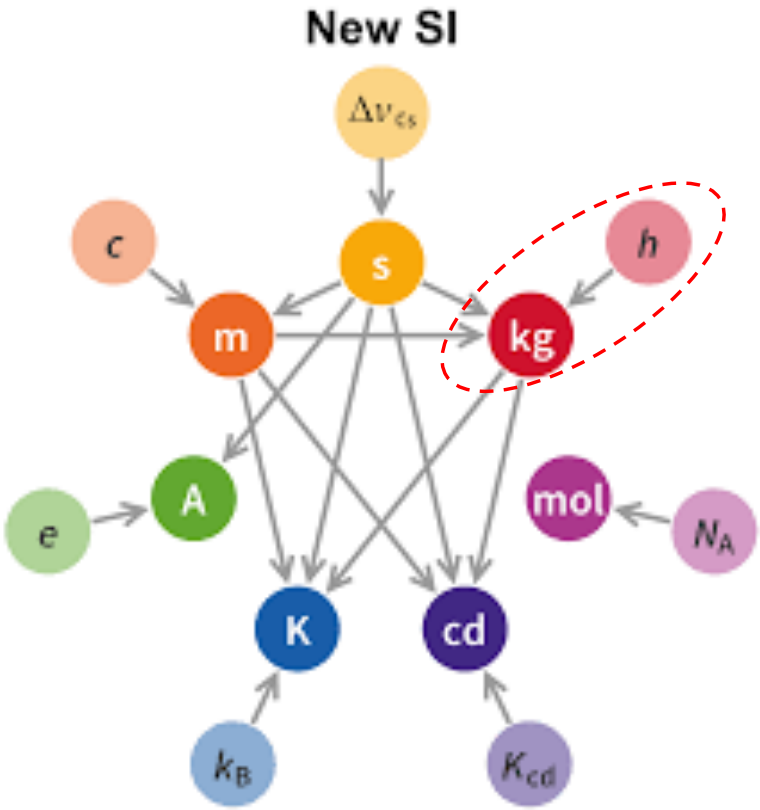


Fokus ligger på det mikroskopiska,
även i astronomiska sammanhang



SI-systemet baseras på de mest
grundläggande och oföränderliga egenskaper
hos vårt universum som vi känner till i dag,
våra **fundamentala naturkonstanter**

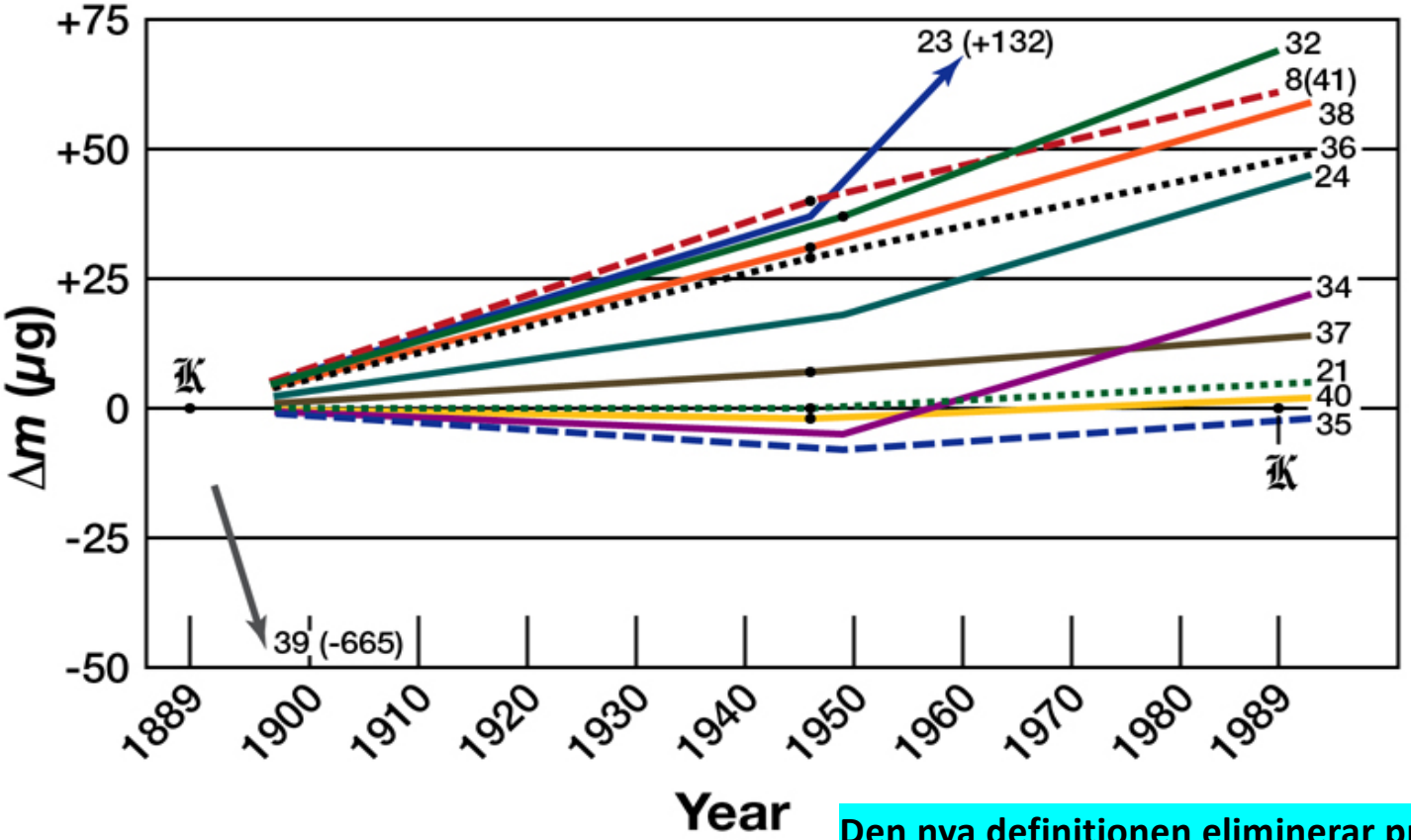
Sedan 20 maj 2019 har vi ett nytt SI-system där *alla* SI-enheter definieras av naturkonstanter



IPK (världskilogrammet i Paris) väger *alltid* 1 kg

$$M_{IPK} + M_X = M_{IPK}$$

$\neq 0$



Vad säger det här diagrammet?

1. I stort sätt alla kopior har lagt på sig vikt under tidens gång

2. Upp till 70 μg !!!

Är 70 μg mycket?

Ja, med tanke på att kalibrering av rikskilot mot IPK görs med en noggrannhet på ± 5 μg

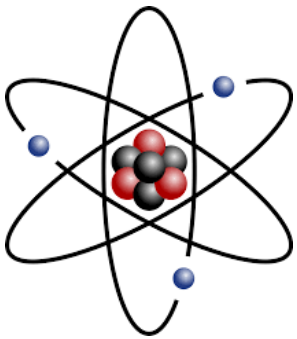
Den nya definitionen eliminerar problemet med drift!
Plancks konstant har nu ett fastställt numeriskt värde och kilot definieras av Plancks konstant. – Definitionen är stabil!

Det finns även andra fördelar med kilogrammets nya definition!

Definitionen bygger inte längre på en artefakt som kan förstöras

Realiseringen av viktenheten kan göras *var som helst* av vem som helst.

Realiseringen av viktenheten skulle kunna göras i vilket *viktintervall* som helst.



Realiseringen kan göras med vilken *metod* som helst som härleder kilot från Plancks konstant

- Så länge det kan göras med tillräckligt hög noggrannhet

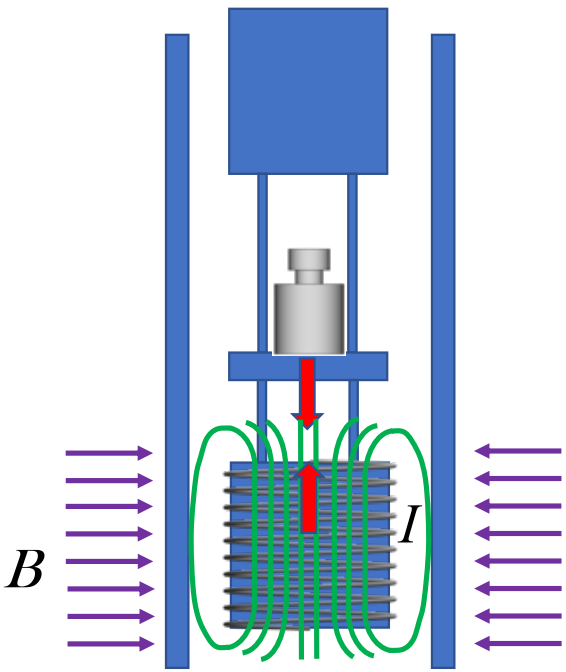
Kiselsfär

Kibblevåg

image supplied by the national physical laboratory

Realisering av kilogrammet med kibblevåg

image supplied by the national physical laboratory



$$\left.\begin{aligned} F &= m \cdot g \\ F &= I \cdot l \cdot B \\ U &= B \cdot l \cdot v \end{aligned}\right\} \quad \boxed{m = \frac{I \cdot U}{v \cdot g}}$$

Hur kommer Plancks konstant in i ekvationen?

Josephsoneffekten: $U = n \cdot \frac{hf}{2e}$

Kvanthalleffekten: $R = \frac{h}{i \cdot e^2}$

Ohms lag: $U = I/R$

Sveriges kibblevåg

Mäter i intervallet 100 – 500 g

Optimerad runt 200 – 250 g

Mätosäkerhet i realiseringen med kibblevågen : säg $3 \cdot 10^{-8}$ Dvs. ± 30 µg på 1 kg

Kalibrering av rikskilogrammet mot IPK: $\leq$ $5 \cdot 10^{-9}$ Dvs. ± 5 µg på 1 kg

Kommer vi att klara kraven från industrin?

Gamla sättet att kalibrera 200 g

IPK
(Världskilogrammet)

K40
(Svenska rikskilogrammet)

Mätosäkerhet $\leq$ $5 \cdot 10^{-9}$

K40
(Svenska rikskilot)

1 kg
(Huvudnormal)

+Mätosäkerhet

+Mätosäkerhet

1 kg
(Huvudnormal)

500 g – 100 g
(Huvudnormaler)

+Mätosäkerhet

200 g
(Huvudnormal)

200 g
(Arbetsnormal)

+Mätosäkerhet

200 g
(Arbetsnormal)

200 g
(Kunds normal)

Mätosäkerhet $\leq$ $7{,}5 \cdot 10^{-8}$

Nya sättet att kalibrera 200g

200 g
(Huvudnormal)

Mätosäkerhet $\leq$ $3 \cdot 10^{-8}$

200 g
(Huvudnormal)

200 g
(Arbetsnormal)

Mätosäkerhet

Påslag på kanske 100%, säg 150%

200 g
(Arbetsnormal)

200 g
(Kunds normal)

Mätosäkerhet $\leq$ $7{,}5 \cdot 10^{-8}$ (?)

Utveckling av RISEs Kibblevåg i samarbete med NPL

RISE Research Institutes of Sweden

Transport & Safety

Mätteknik

National Physical Laboratory

Den svenska marken är tillbaka!

Den tidigaste dokumenterade skandinaviska viktenheten var **mark**

Under vikingatiden vägde en mark lite drygt 200 g

1 mark ?

Tack för mig!

karin.cedergren@ri.se