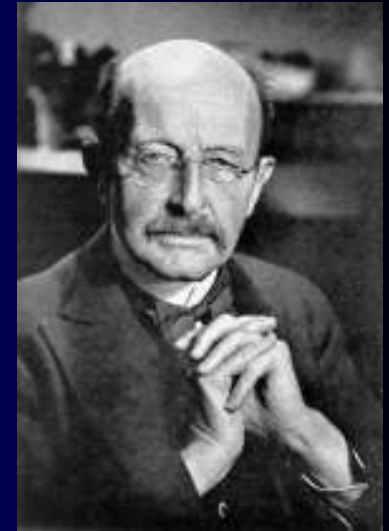


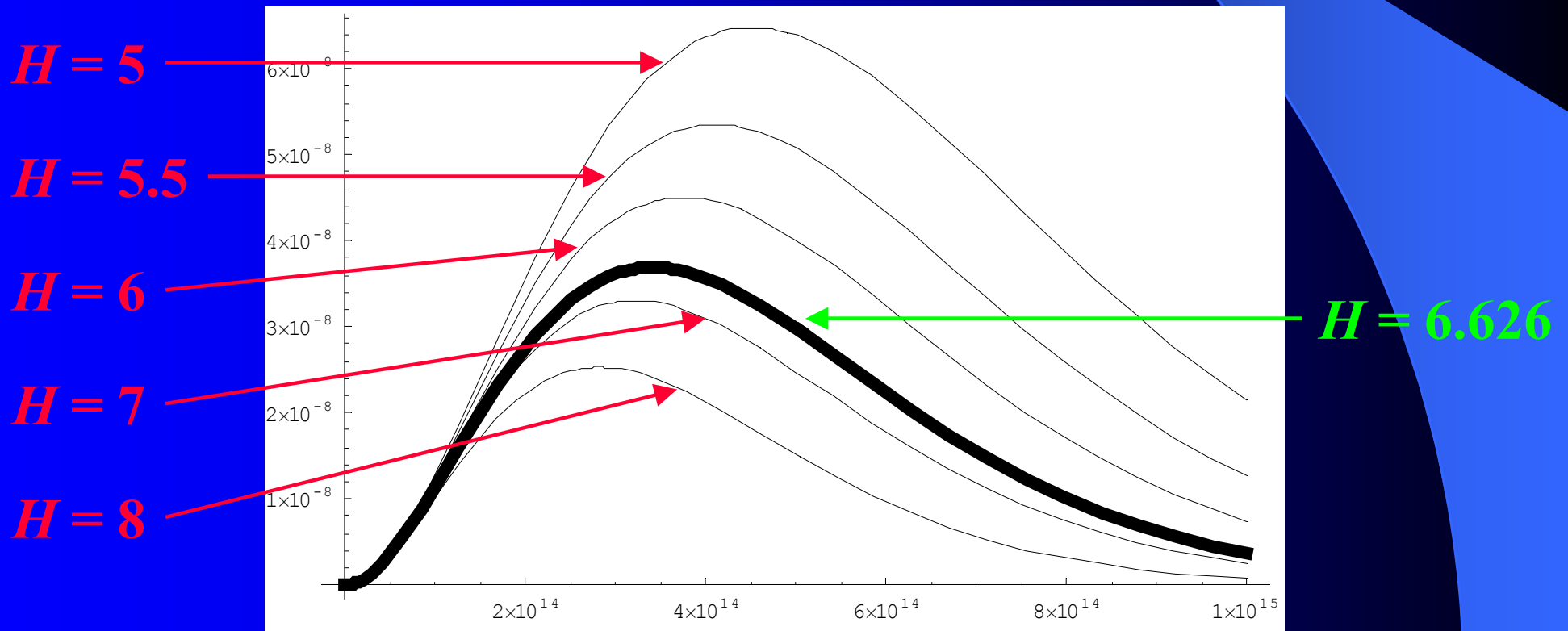
# Planckova konstanta



Planckov zakon:

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

$$H = h \cdot 10^{34} \text{ Js}$$



# Josephsonov efekt

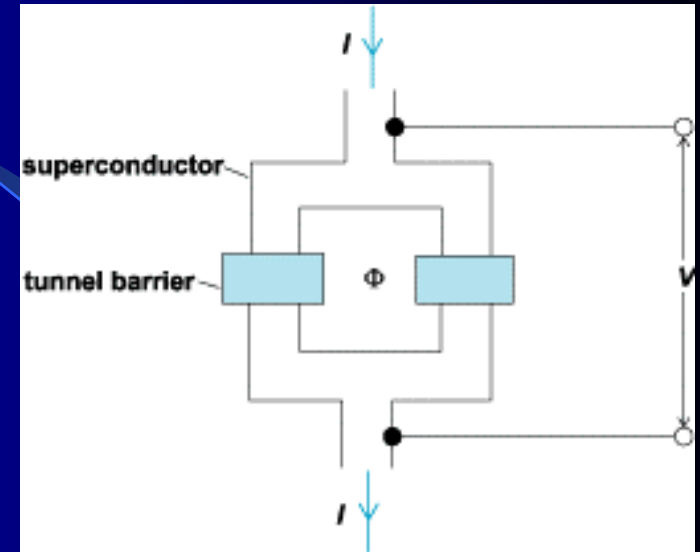
$V$  – istosmjerni napon na Josephsonovom spojištu

$\nu$  – frekvencija induciranih oscilacija struje (zračenja)

Josephsonova konstanta:  $K_J = \frac{2e}{h} = \frac{\nu}{V}$

$$h = \frac{8\alpha}{\mu_0 c K_J^2}$$

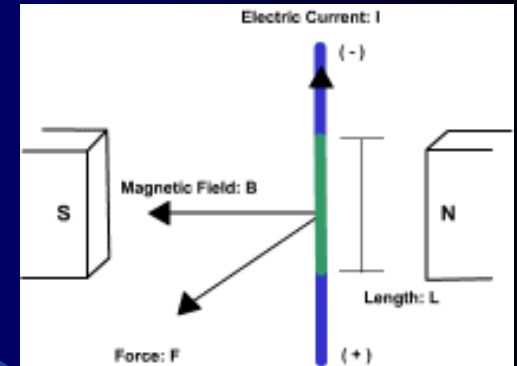
Standardizacija napona:  $V_J = 1 \mu\text{V} \leftrightarrow \nu_J = 483.6 \text{ MHz}$



# Odnos snage (Watt balance)

Mogućnost određivanja Planckove konstante je eksperimentalni “bonus” u sklopu mjerenja odnosa jedinica za snagu između SI i konvencionalnog električnog sustava jedinica.

$$W = UI$$



U sklopu eksperimenta potrebno je precizno izmjeriti napon i struju. Napon se mjeri temeljem Josephsonovog efekta, čime se određuje Josephsonova konstanta:

$$K_J = \frac{2e}{h} = 483\,597.891 \text{ GHzV}^{-1}$$

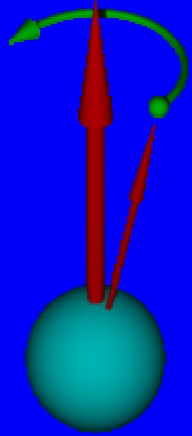
Struja se mjeri temeljem kvantnog Hallovoeg efekta, čime se određuje von Klitzingova konstanta:

$$R_K = \frac{h}{e^2} = 25\,812.808 \, \Omega$$

Na temelju izmjerenih konstanti određuje se vrijednost Planckove:

$$h = \frac{4}{K_J^2 R_K}$$

# Magnetska rezonanca



Ako magnetski moment sustava nije potpuno usmjeren duž vanjskog magnetskog polja, počinje precesirati Larmorovom frekvencijom uz  $\gamma$  kao giromagnetski omjer:

$$\omega_L = \gamma B$$

Za magnetski moment slobodne čestice spina  $\frac{1}{2}$  vrijedi:

$$\mu = \gamma \frac{\hbar}{2}$$

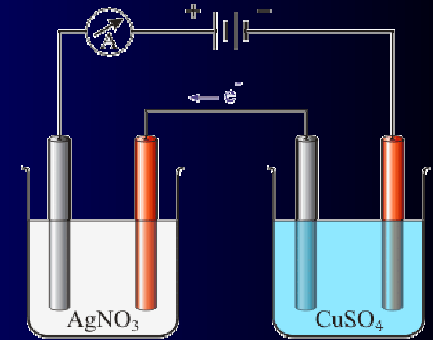
Mjerenjem magnetskih momenata i giromagnetskih omjera čestica poput protona i elektrona određuje se Planckova konstanta:

$$h = 4\pi \frac{\mu_p}{\gamma_p} = -4\pi \frac{\mu_e}{\gamma_e}$$

# Faradayjeva konstanta

Mjerenje naboja jednog mola elektrona u svrhu određivanja Avogadrove konstante:

$$F = eN_A$$



Pažljivim elektrolitičkim eksperimentom mjeri se disocijacija srebra s elektrode u određenom vremenu pri zadanoj električnoj struji.

$$h = \frac{M_e c \alpha^2}{2R_\infty N_A} \quad \begin{cases} M_e \rightarrow \text{molarna masa elektrona} \\ R_\infty \rightarrow \text{Rydbergova konstanta} \end{cases}$$

Da bi se izbjegla potreba za poznavanjem elementarnog naboja elektrona, preciznim mjerenjem struje i napona određuju se Josephsonova i von Klitzingova konstanta:

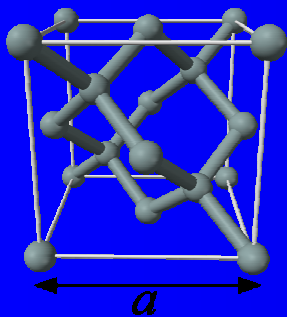
$$h = \frac{M_e c \alpha^2}{R_\infty} \frac{1}{K_J R_K F}$$

# Kristalografija X-zrakama

Određivanje Avogadrove konstante kao omjera volumena jedinične ćelije i molarnog volumena kristalne rešetke silikona (Si):

$$N_A = 8 \frac{V_M(\text{Si})}{V_J(\text{Si})}$$

Jedinična ćelija Si sadrži 8 atoma. Njene dimenzije mjere se difrakcijom X-zraka, kojom se određuje međuravninska udaljenost  $d$ .



$$d = \frac{a}{\sqrt{8}} \Rightarrow V_J = a^3 = 16\sqrt{2}d^3$$

$$h = \frac{M_e c \alpha^2}{R_\infty} \frac{d^3 \sqrt{2}}{V_M(\text{Si})}$$

# Rezultati mjerenja

Metoda	$h \cdot 10^{-34}$ Js
Odnos snage	6.626 068 9
Kristalografija X-zrakama	6.626 074 5
Josephsonov efekt	6.626 067 8
Magnetska rezonanca	6.626 072 4
Faradayjeva konstanta	6.626 065 7
<b>Preporučena vrijednost</b>	<b>6.626 068 96</b>

Rezultati dviju najpouzdanijih metoda – odnosa snage i kristalografije X-zrakama – se ne slažu!

**Hvala na pažnji!**

**Petar Žugec**

**[petar.zugec@gmail.com](mailto:petar.zugec@gmail.com)**