

Kibbleovy váhy "do každé domácnosti"

Koncept stolních wattových vah a řešení prototypu pro FJFI ČVUT

Marek Břečťan¹

¹ Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT
Břehová 7
115 19 Praha 1

Prezentace projektu pro předmět 02FYS1
20.12.2023



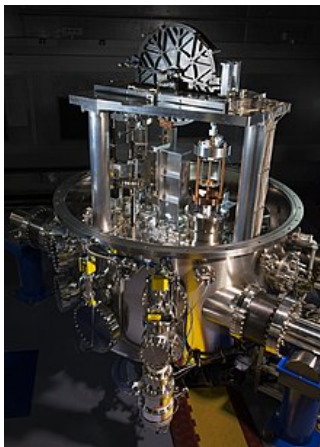
Co jsou Kibbleovy váhy?

- nejpřesnější metoda měření hmotnosti
- $\delta \approx 10^{-8}$
- místo tíhové elektromagnetická síla
- možné díky několika kvantově-mechanickým jevům
- nová definice kilogramu pro SI
- fixovaná hodnota Planckovy konstanty h

$$h = 6.62607015 \cdot 10^{34}$$

$$1 \text{ kg} = \frac{1}{6.62607015 \cdot 10^{34}} h \cdot \frac{1}{9192631770} \Delta \nu_{Cs} \cdot (299792458)^2 \frac{1}{c^2}$$





Obr.: Kibbleovy váhy v NIST¹

¹Zdroj: Wikimedia Commons



- B. Kibble, NPL 1975
- zdokonalení již existujících ampérových vah
- původně pro měření gyromagnetického poměru
- první váhy funkční r. 1978
- druhá verze (fungující i ve vakuu) r. 1990
- 2014 v Kanadě měření h s modifikovanou verzí: $\delta = 1.8 \cdot 10^{-8}$
- 2015 - současnost: první stolní modely na světových univerzitách
- 2019 nová definice kilogramu



- rovnováha mezi F_g a $F_L = I * lB = mg$
- Faradayův zákon: $U = Blv$
- $v_z = \frac{\partial z}{\partial t}$
 $\rightarrow UI = mgv_z$

ve skutečnosti je to však mnohem složitější...

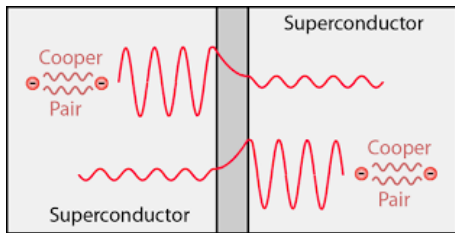


Princip fungování - o něco konkrétněji

Elektromagnetická síla:

$$F_e = UI = rhf_1 f_2 \quad (1)$$

Josephsonův jev:



Obr.: Grafické znázornění Josephsonova jevu²

²Zdroj: Wikimedia Commons



Princip fungování - o něco konkrétněji

Josephsonův čip:

$$U = n \frac{h}{2e} f \quad (2)$$

$$R = r' \frac{h}{e^2} \quad (3)$$

$$I = \frac{U}{R} \quad (4)$$

Tíhová síla vyvážená elektromagnetickou:

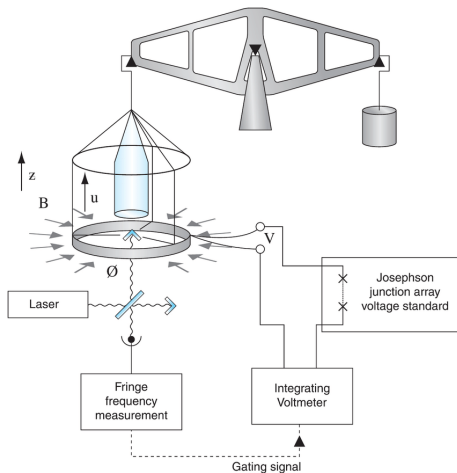
$$F_z = mg = -IN \frac{\partial \Phi}{\partial z} \quad (5)$$

Kibbleovo řešení:

$$U = -N \frac{\partial \Phi}{\partial t}; \quad \frac{mg}{U} = \frac{I}{v_z} \Rightarrow mgv_z = UI$$



³Klaus von Klitzing, 1980



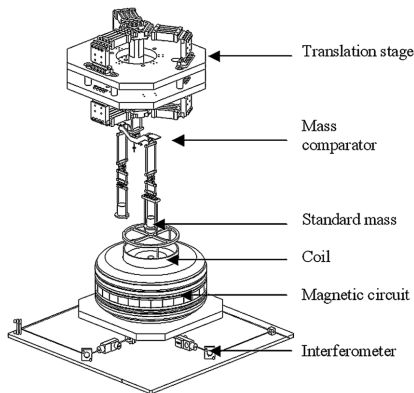
Obr.: Kibbleovy váhy v režimu vážení⁴

⁴Zdroj: Wikimedia Commons



Model univerzity Čching-chua v Pekingu

- namísto rovnoramenné páky princip závěsných vah
- velmi vysoká přesnost (zatím měření s rel. nejistotou 10^{-7})
- stále ještě ve vývoji

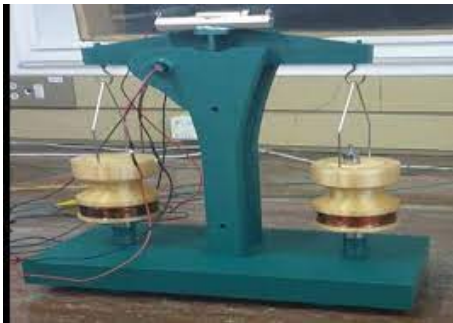


Obr.: Schematický náčrtek, Zdroj: ResearchGate



Model z University of Cape Town

- mnohem jednodušší
- většina součástí 3D tištěná
- snadná opakovatelnost měření
- nižší přesnost (nutná kalibrace)

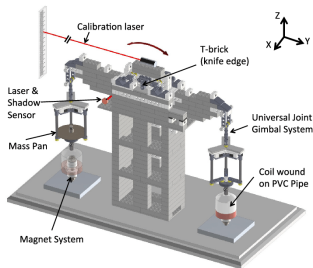


Obr.: 3D tištěný model, Zdroj: University of Cape Town



Improvizovaný model z NIST

- sestavitelný i v domácích podmínkách - konstrukce ze stavebnice LEGO
- měřící software volně k dispozici
- obdobná přesnost jako předchozí model (při vhodném sestavení kalibraci i několikanásobně vyšší)



Obr.: CAD náčrtek modelu z NIST, Zdroj: ResearchGate



Obecné požadavky

- praktické: vysoká přesnost, funkční spolehlivost, dostatečná hmotnostní kapacita
- technické: úspora objemu, vhodný materiál pro supravodiče (ideálně) a izolační bariéru, vhodné detektory a software
- finanční: volba ekonomicky dostupných segmentů (ceny některých dovedou šplhat do astronomických částek)

Motivace

- světová poptávka po Kibbleových vahách na univerzitní půdě
- máme už tokamak, reaktor, mlžnou komoru... proč ne i váhy?



- v únoru 2024
- možné postupy: improvizované váhy podle návodu z NIST vs. plnohodnotné váhy typu model z Tsinghua University

Budu se na vás těšit příští rok ;-)



-  Robinson, Ian A; Schlamminger, Stephan - The watt or Kibble balance: a technique for implementing the new SI definition of the unit of mass; Metrologia, 01/2016, roč. 53, č. 5
-  Schlamminger, Stephan; Haddad, Darine - The Kibble balance and the kilogram; Physique, 01/2019, roč. 20, č. 1-2
-  Chao, L. S.; Schlamminger, S.; Newell, D. B. ; Pratt, J. R.; Seifert, F.; Zhang, X.; Sineriz, G.; Liu, M.; Haddad, D. - A LEGO Watt Balance: An apparatus to demonstrate the definition of mass based on the new SI; American Journal of Physics, 11/2015, roč. 83
-  Stopwatch Calibration in South Africa - NIMSA's Precursor Kibble Watt Balance [cit. 17.12.2023]
-  Li, Shisong; Ma, Yongchao; Zhao, Wei; Huang, Songling; Yu, Xinjie - Design of the Tsinghua Tabletop Kibble Balance; IEEE transactions on instrumentation and measurement, 2023, roč. 72

