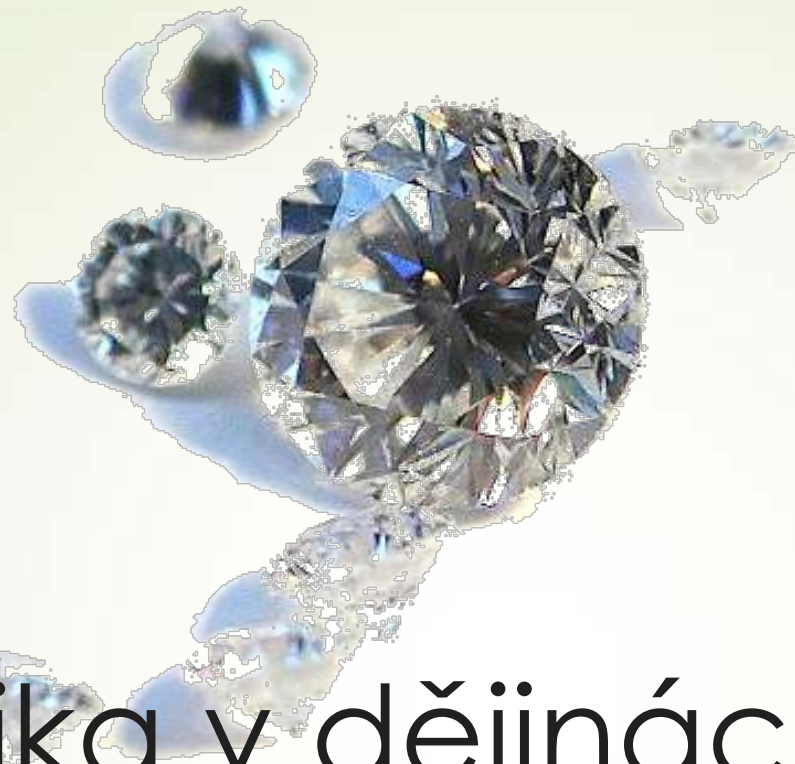


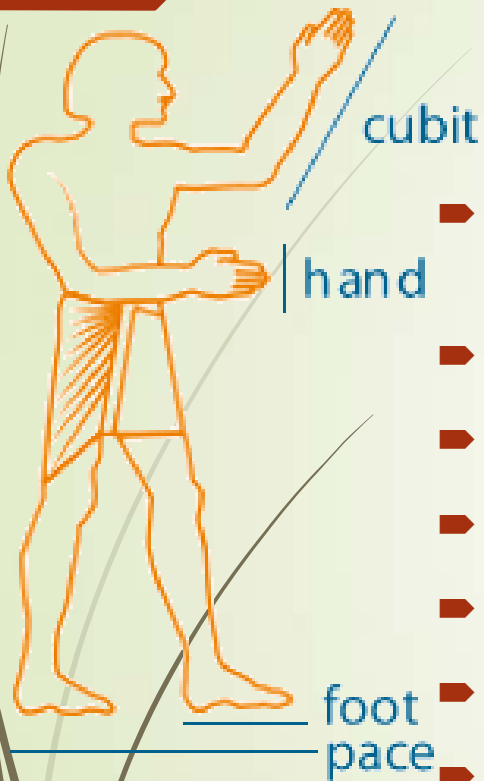


Fyzika v dějinách aneb proč jsme začali dělat vědu

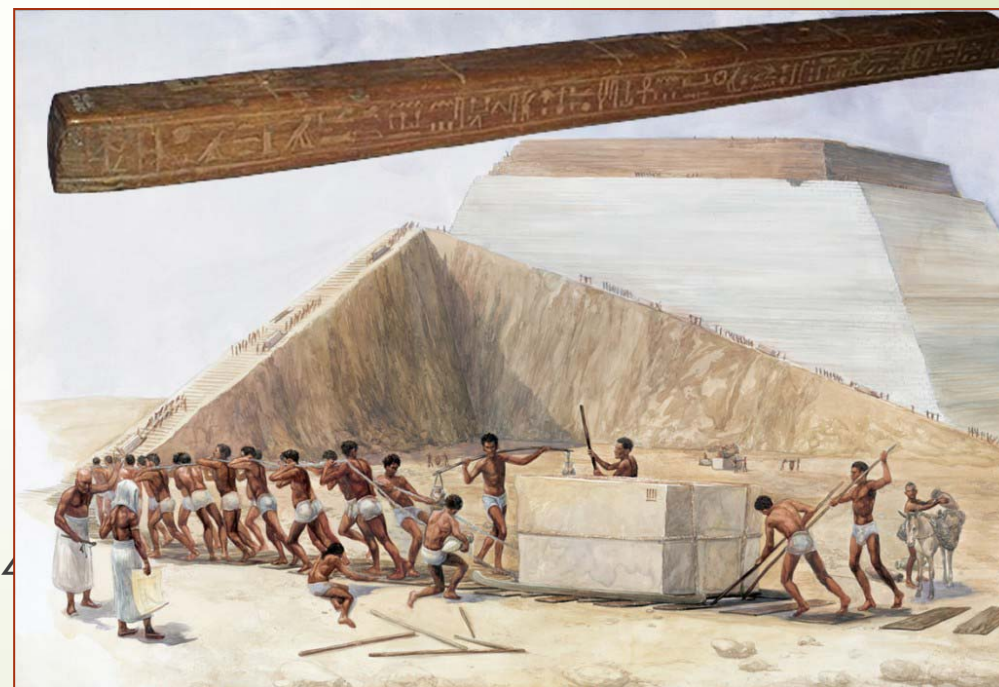
Vladimír Kopecký Jr., Vojtěch Kapsa

Fyzikální ústav MFF UK, Katedra chemické fyziky a optiky

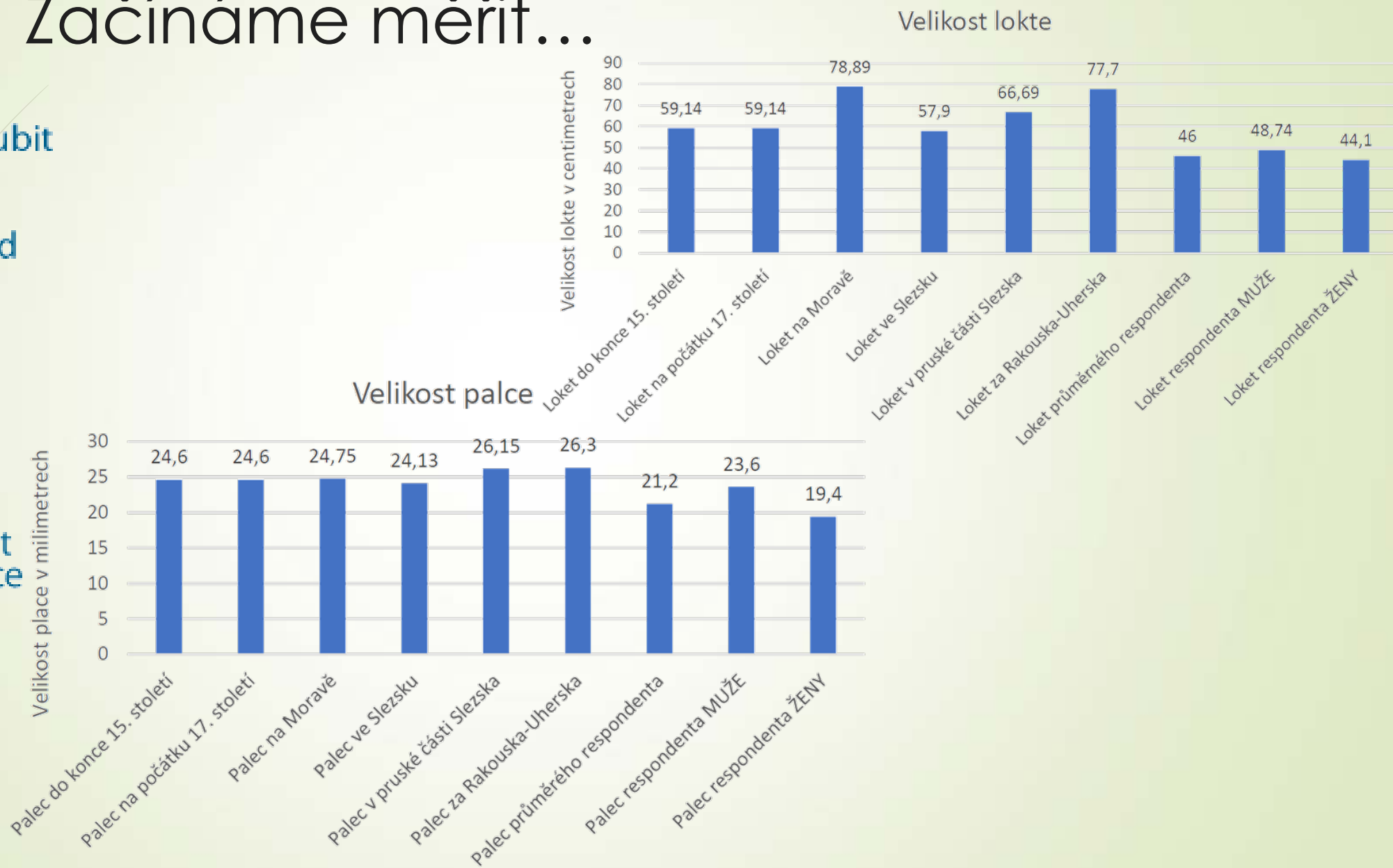
Začínáme měřit...



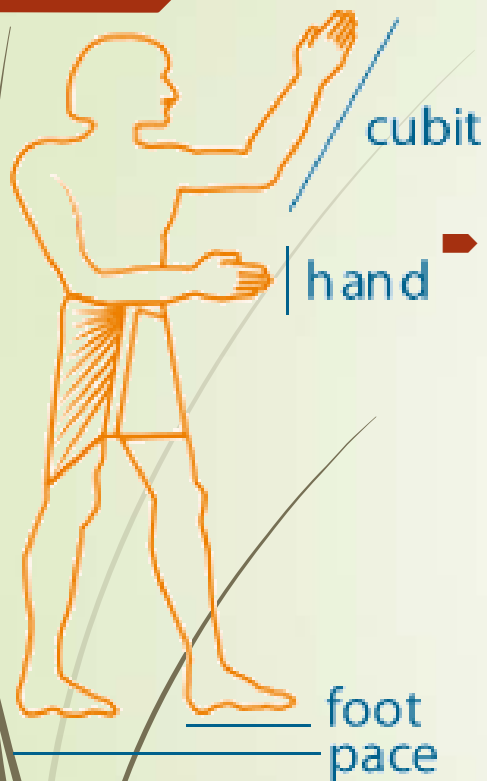
- **Délkové míry** nutné pro stavebnictví a zavlažování odvozené od lidského těla
- Nutnost definovat standard a soustavu
- Zrno = 0,00492 m
- Prst = 4 zrna (ječmene) = 0,0197 m
- Palec = 5 zrn = 0,0246 m
- Dlaň = 4 prsty = 0,0788 m
- Pěst = 4 palce = 0,0985 m
- Píd' = 8 palců = 0,1971 m
- Stopa = 12 palců = 0,2957 m
- Český loket = 3 pídě = 30 prstů = 0,5914 m
- Sáh = 3 lokty = 1,7745 m



Začínáme měřit...



Začínáme měřit...



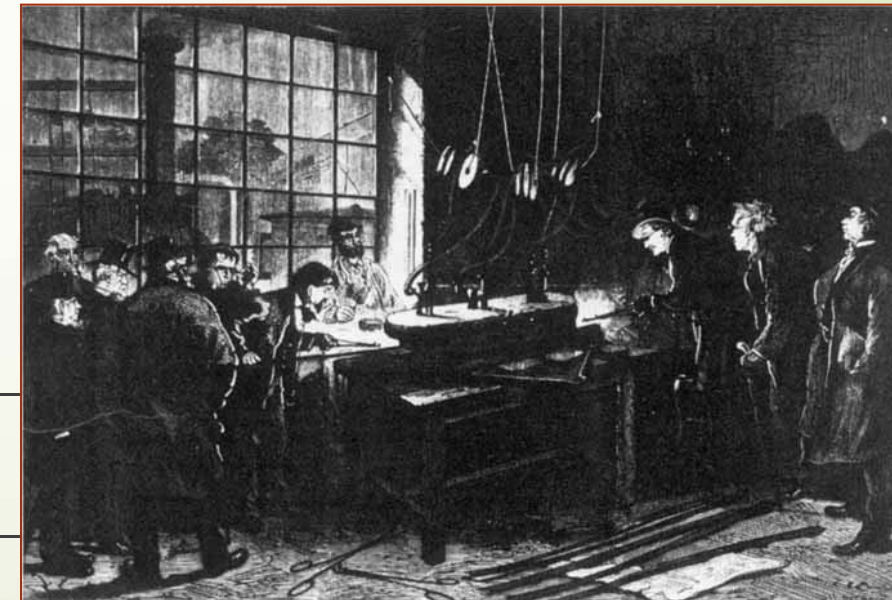
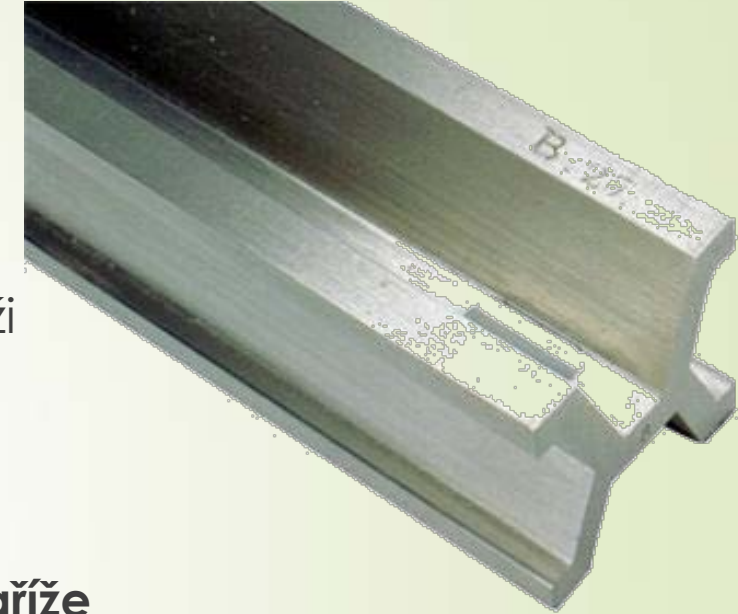
- 1268 – Přemysl Otakar II. stanovuje **pražský loket** = 591,4 mm, „by každý maje k tomu přístup volný, jistou míru tohoto lokte pražského sobě vzíti mohl“



Jak jsme k metru přišli...



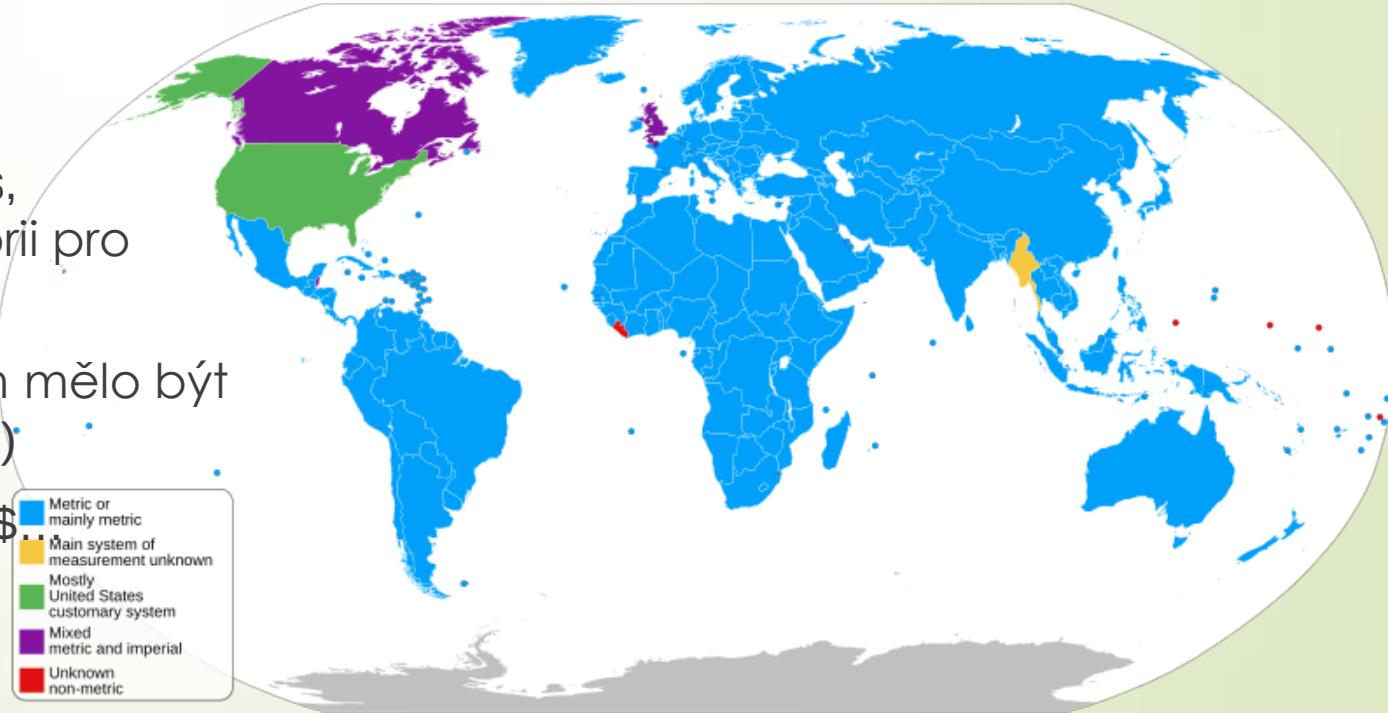
- Různé délkové standardy → **nutnost veřejně dostupného standardu, který odvodí každý**
- 1791 – Ústavodárné národní shromáždění v Paříži definuje metr = 1/desetimiliontina kvadrantu zemského
- **1799 – vyroben prototyp**
- **1875 – Mezinárodní ústav měr a vah v Sèvres u Paříže**
- **1889 – nový platino-iridiový (9:1) prototyp**
- Hrozí stále změna délky užíváním či ztráta
- 1960 – daný počet vlnových délek emisní čáry kryptonu-86
- 1983 – vzdálenost, kterou světlo urazí ve vakuu za 1/299 792 458 s
- 2019 – přeformulováno a sekunda udána jako frekvenční kmity cesia



Není metr jako metr...



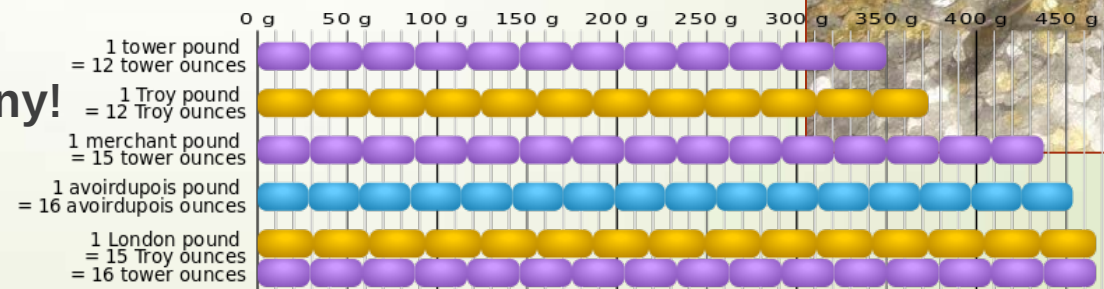
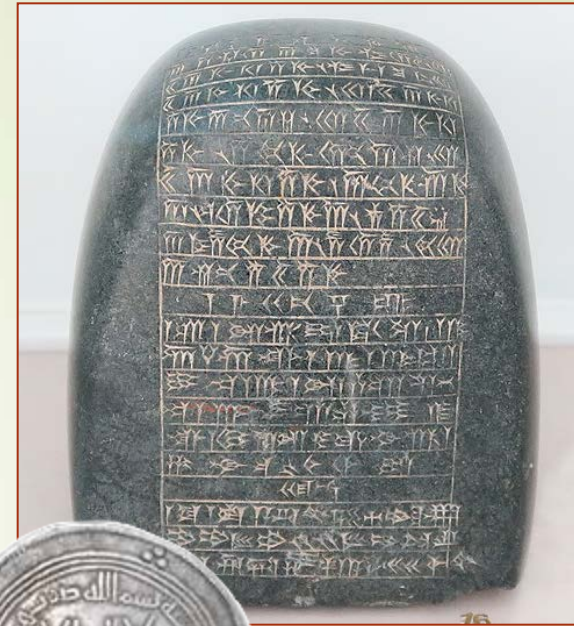
- **Imperiální jednotky**
- stále užívá Velká Británie, USA a Kanada
- Nyní odvozen od metrického systému
- Mars Climate Orbiter – start 11. 12. 1998, shořel v atmosféře Marsu v roce 1999
- Tah trysek udával Lockheed Martin v lb/s, NASA počítala trajektorii pro tah v N/s
- Faktor 4,45× (perigeum mělo být 226 km, ale bylo 57 km)
- Sonda stála ca. 571 M\$



Jak jsme ke kilogramu přišli...



- Starověk – různé hmotnostní standardy → **kámen** (dodnes imperiální jednotka ~6,35 kg), **barrique** (soudek 340–540 kg)
- Různá semínka → **bákila (fazole)** = $\frac{3}{4}$ dirhamu = 2,34 g → v Evropě **zrno (z ječmene)** (i délková míra $\frac{1}{4}$ prstu) → ve starém Římě **trojská unce = 480 zrn** → **12 uncí = libra**
- Běžně dostupné standardy → **mince**
- Různé unce:** římská 37,4 g, Marie Terezie 28,1 g, španělská 28,7 g, francouzská 30,6, trojská 31,1 g, holandská 100 g
- Standard pro všechny!**



Jak jsme ke karátu přišli

- **Vážení zlata, drahých kamenů a diamantů**
- Odvozen od **hmotnosti semen Rohovníku obecného – karobu**
- **Užíván zřejmě od starověku (staré Řecko)**
- 1 ct diamant brilliantové brusu má průměr 6 mm
- Nestandardní karát
 - Od Kypru 187 mg až po Livorno 215,99 mg
- 1555 – první písemná zmínka o karátu
- 1871 – ct = 205 mg navržen Spolkem pařížských zlatníků, přijat 1877
- 1907 – **metrický karát ct = 200 mg** přijat na 4. generální konferenci o mírách a váhách



Rohovník obecný (*Ceratonia siqua* L.)

- **Stálezelený strom nebo keř, až 10 m vysoký**
- **Rozšíření:** původně **východní Středomoří**, dnes celý **Mediterrán**, hojně vysazován
- **Plod:** **10–30 cm dlouhý** tmavě hnědý srpovitě zahnutý (*keratós* = roh) **dosti tvrdý lusk**, dozrávající až 2. rokem, obsahuje až 40 % sacharidů, znám jako **svatojánský chléb**, pražené jako náhražka kávy, lisované na sirup – **carob**

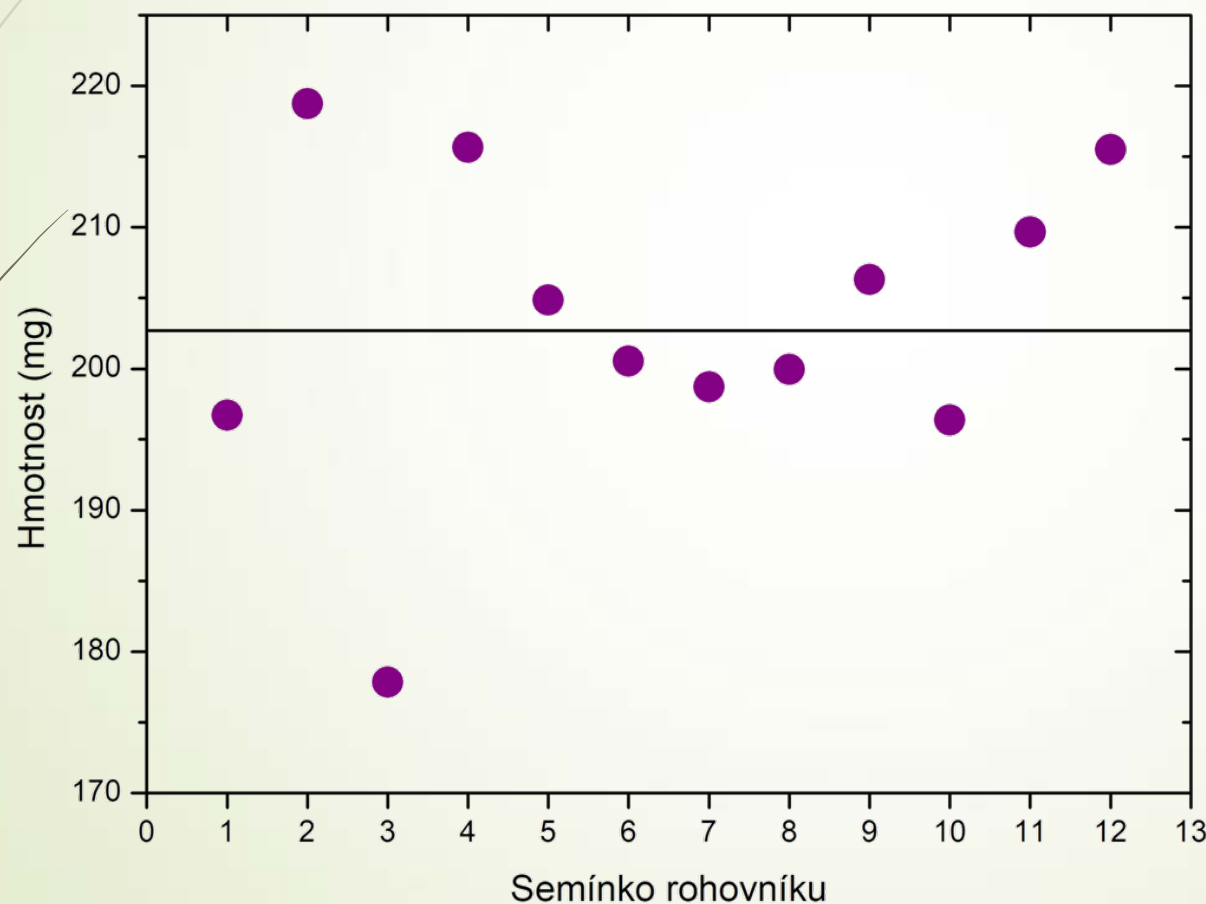


Vážení na analytických váhách a výpočty

- Analytické váhy AG245 (Mettler Toledo), přesnost vážení $\pm 0,03 \text{ mg}$
- Pokusy s hmotností a s přijímáním vlhkosti semínek
- **Průměrná hmotnost M** ze známých hmotností semínek $m_1, \dots, m_n$
 - $M = (m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n) / n$
- **Směrodatná odchylka** hmotnosti
 - $s = \sqrt{\{[(m_1 - M)^2 + \dots + (m_n - M)^2] / (n-1)\}}$
 - Udává jak moc jsou si hmotnosti jednotlivých semínek blízké
- **Medián** dělí soubor na $\frac{1}{2}$ hodnot $>, <$
- Výsledné měření udáváme jako $M \pm s$



Rohovník obecný – vážení (*Ceratonia siqua* L.)



- Průměrná hmotnost: **203,40 mg**
- Medián: **202,70 mg**
- Směrodatná odchylka: 11,17 mg,
tj. **5,5 %** průměrné hmotnosti

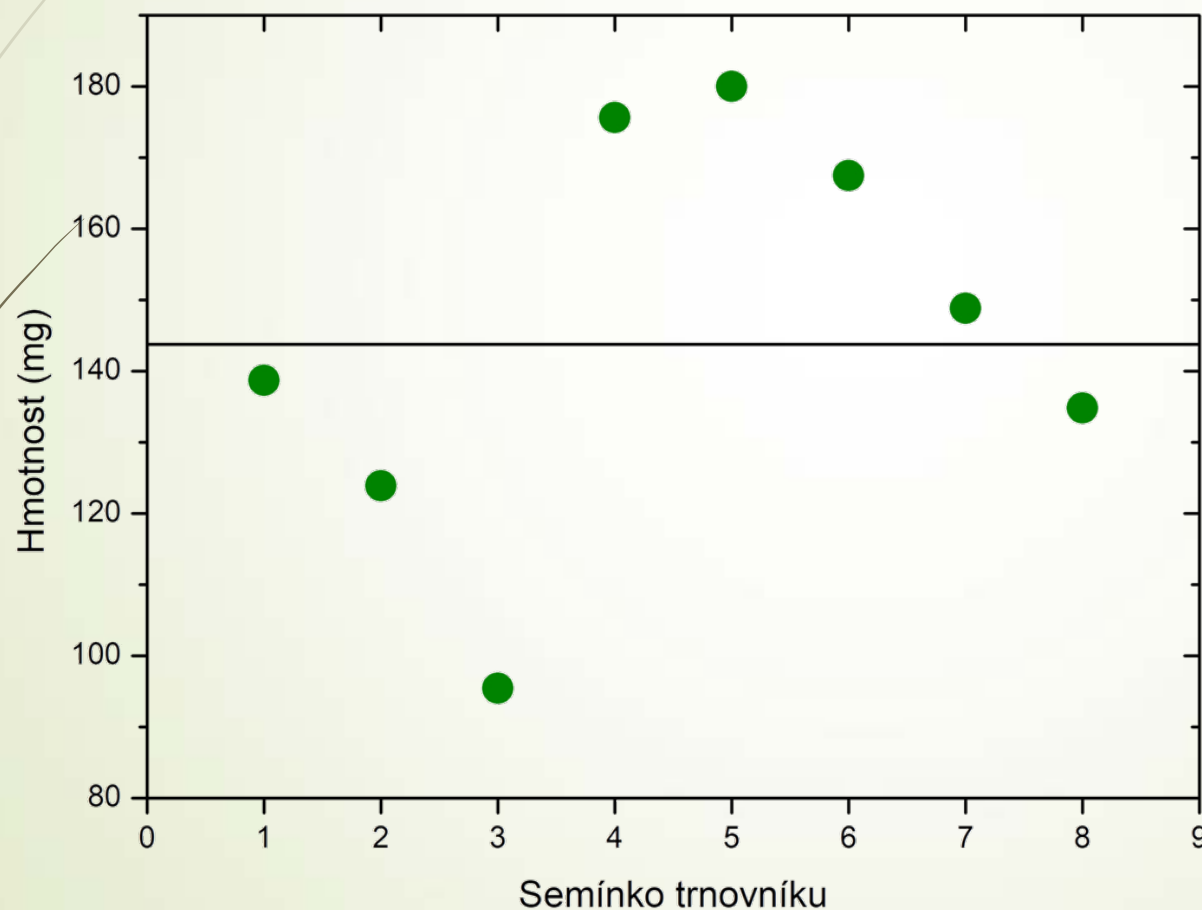
Trnovník akát

(*Robinia pseudoacacia* L.)

- **Opadavý nenáročný strom**, vysoký až 25 m, s odolným dřevem, palisty jsou někdy proměněné v trny, kromě květů je **jedovatý**
- Rozšíření: původně **východ Severní Ameriky**, 1640 dovezen do Evropy, rozšířen i v Asii
- Plod: **5–10 cm dlouhý tmavohnědý lusk**, vyrůstající v hroznovitých trsech, které zůstávají na stromech značně dlouho



Trnovník akát – vážení semínek (*Robinia pseudoacacia* L.)



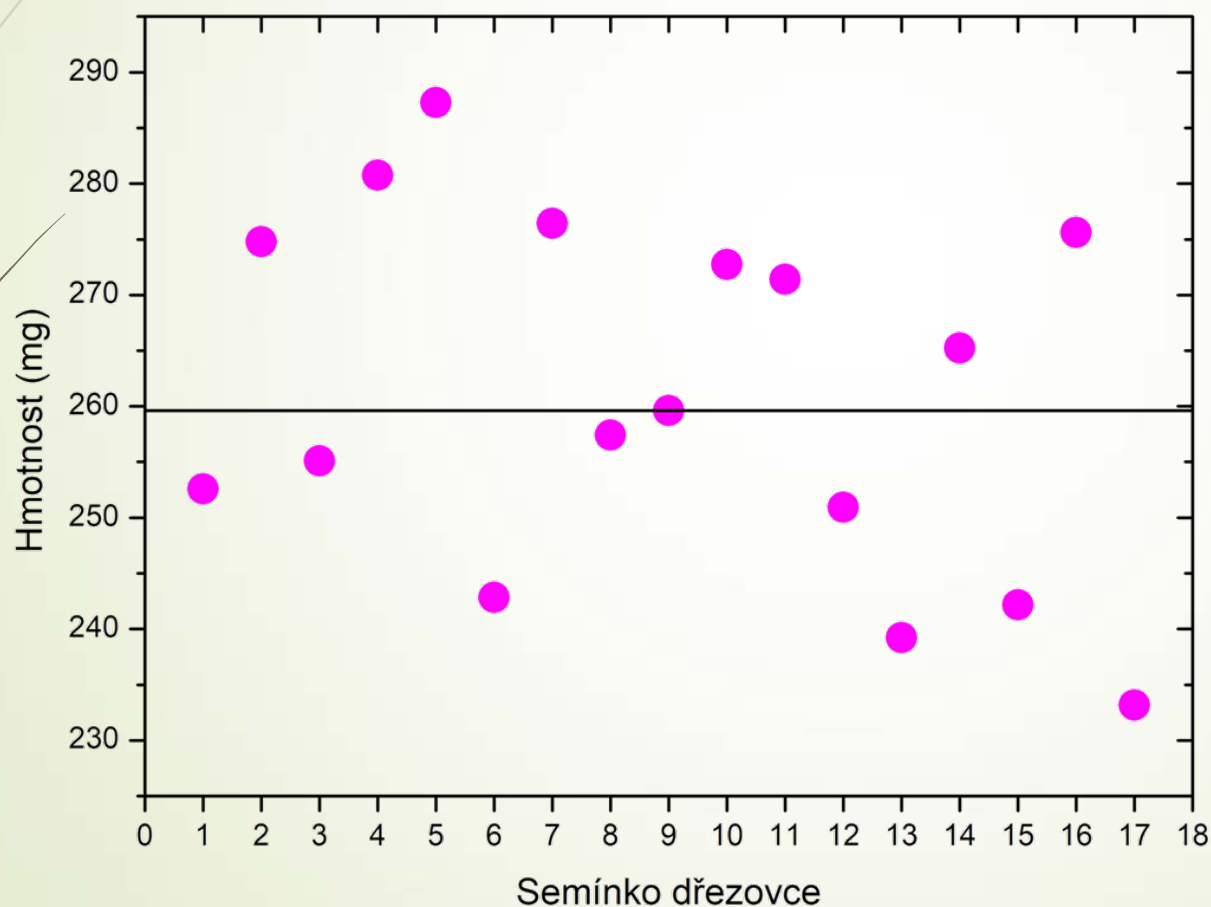
- Průměrná hmotnost: **145,62 mg**
- Medián: **143,78 mg**
- Směrodatná odchylka 28,60 mg, tj. **19,6 %** průměrné hmotnosti

Dřezovec trojtrnný (*Gleditsia triacanthos* L.)

- **Opadavý listnatý strom**, až 40 m vysoký, z kmene vyrůstající až 20cm trny vyrůstající většinou po 3
- Rozšíření: **východ Severní Ameriky**, zejména při ústí řeky Mississippi, dnes užíván jako parkový okrasný strom
- Plod: 2–3 cm široký a až 40 cm dlouhý **tmavohnědý kožovitý lusk**, semena **jedlá** za syrova, pražená slouží jako **kávová náhražka**



Dřezovec trojtrnný – vážení (*Gleditsia triacanthos* L.)



- Průměrná hmotnost: **261,02 mg**
- Medián: **259,63 mg**
- Směrodatná odchylka: 16,09 mg, tj. **6,2 %** průměrné hmotnosti

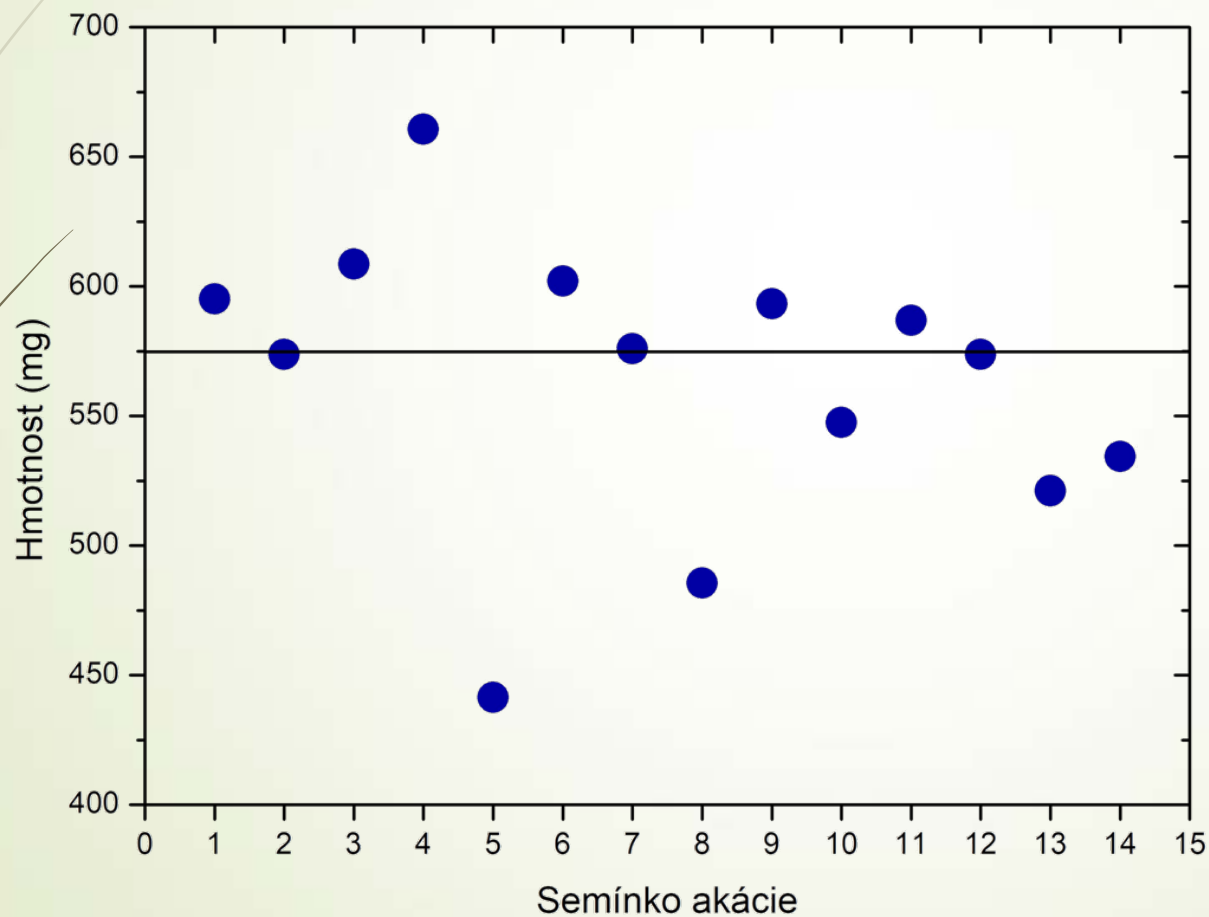
Akácie

(*Vachelia erioloba* E. May)

- **Listnatý strom**, až 20 m vysoký, pomalu rostoucí, otrněný, známý pod přezdívkou „velbloudí /žirafí osten“
- Rozšíření: suché oblasti **Jižní Afriky** s písčnou půdou
- Plod: **9–12 cm dlouhý šedohnědý kožovitý lusk**, pražená semena se užívají jako náhražka kávy

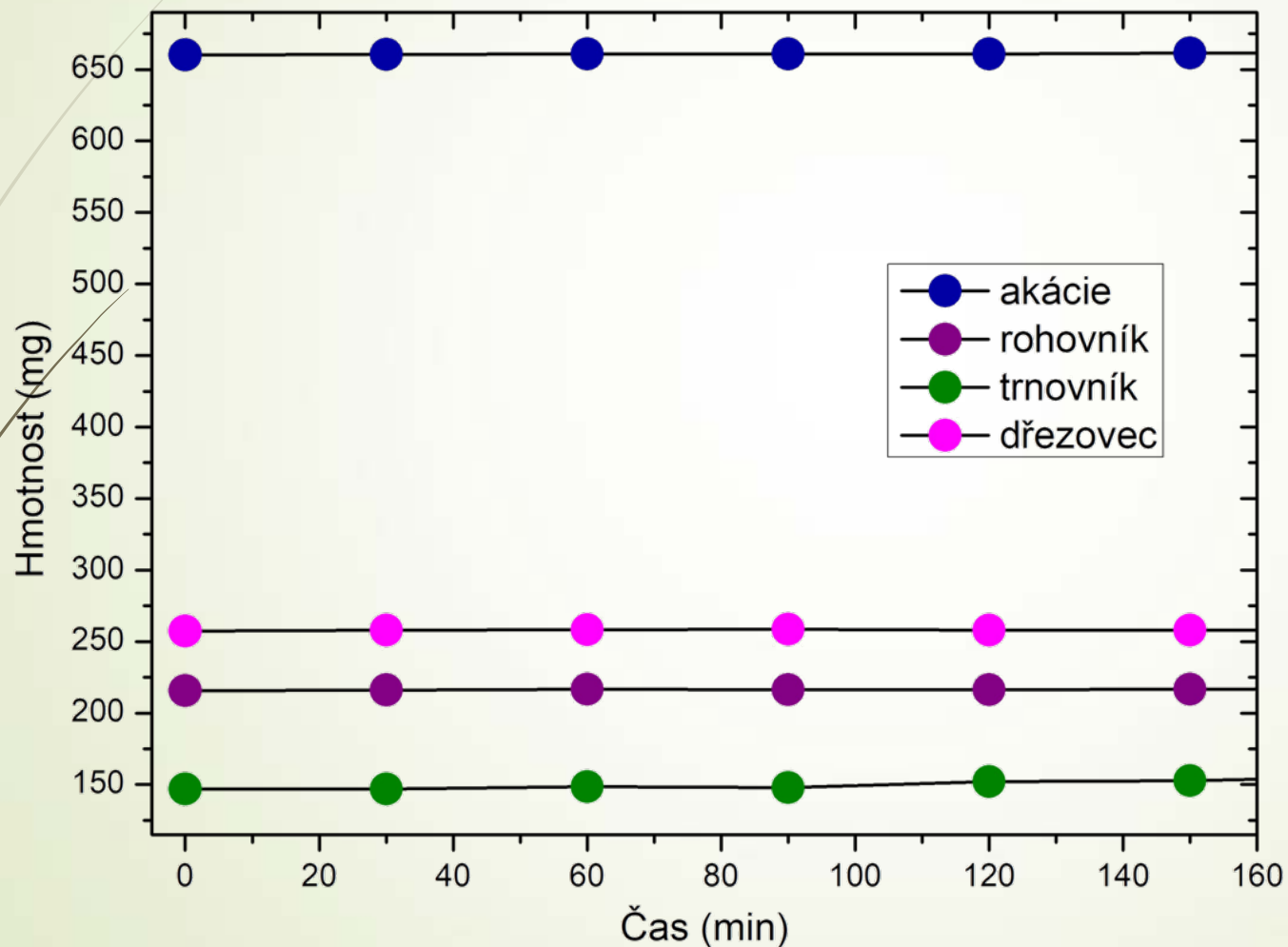


Akácie – vážení semínek (*Vachelia erioloba* E. May)



- Průměrná hmotnost: **564,32 mg**
- Medián: **574,86 mg**
- Směrodatná odchylka: 55,21 mg, tj. **9,8 %** průměrné hmotnosti

Vlhčení semínek



- Hmotnost semínek všech druhů se během 150 minut na vodou nasáklé buničité vatě téměř nezměnila
- Změna max. +1 mg (u akátu + 6 mg)
- Vliv vzdušné vlhkosti je tedy zanedbatelný
- Po 24 hodinách semínka karátu + 25 mg a akátu + 129 mg klíčí

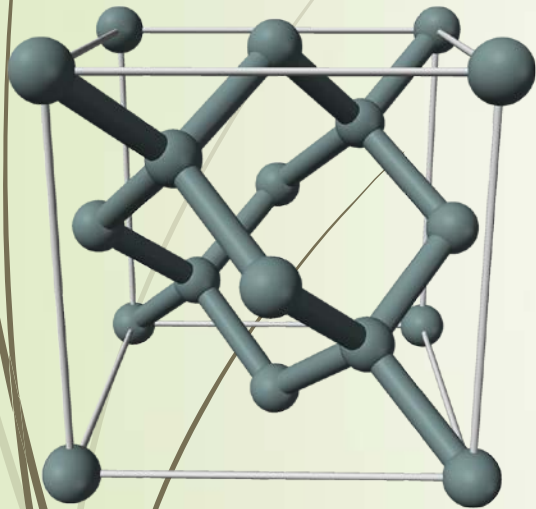
Jak jsme ke kilogramu přišli...



- 1790 – 1 metr (fr. míra) = desetimilióntina kvadrantu zemského (sev. pól až rovník po pařížském poledníku)
- 1793 – **1 kg** (řec. tisíc) = hmotnost **1 litru vody (1 dm³)**
- 1795 – **1 g** (latin. malá hmotnost) = **1 cm³ vody o teplotě tajícího ledu**
- 1799 – prototyp **grave** = 1 dm³ vody **při 4 °C**, kdy je voda nejhustší
- 1875 – metrický systém → 1879 – **mezinárodní platino-iridioý prototyp kg** → uložen v Sevres u Paříže v Mezinárodním úřadu pro míry a váhy → změna hmotnosti za 100 let až 50 μg

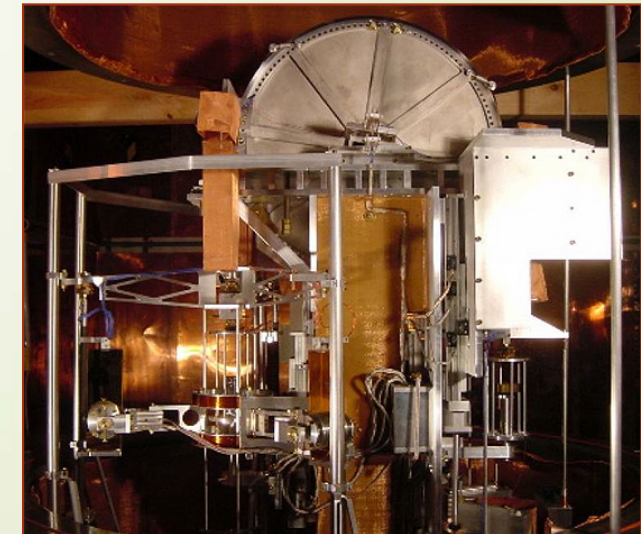


Jak jsme ke kilogramu přišli



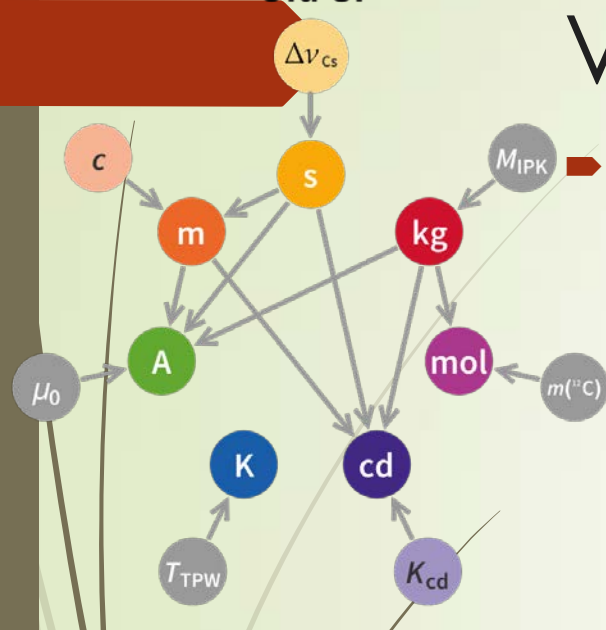
➤ Mezinárodní projekt Avogadro

- Rusko – tyč ze superčistého křemíku (5 kg)
- Německo – přetavení na monokrystal
- Austrálie – vybroušeny 2 koule o průměru 93,6 mm s odchylkou max. 50 nm (při velikosti Země max. 2 m)
- Určení objemu koule + určení mřížky křemíku → spočtení atomů křemíku
- **Avogadrova konstanta $N_A = 6,0221476(12) \times 10^{23} / \text{mol}$**
- Použití **Kibblových vah**, které magnetickou silou vyrovnávají hmotnost závaží
- 2011 – 24. konference pro míry a váhy definuje kg pomocí Planckovy konstanty (odvozené od předchozích metod)



Veličiny a jak fungují

Old SI



Leonard Euler, Algebra, 1765:

- Veličinou rozumíme vše to, co se může zvětšovat nebo zmenšovat, nebo to, k čemu můžeme něco přidat či od toho něco ubrat.
- Existují veličiny různého druhu, jejichž studiem se zabývají různé oblasti vědy. Každá oblast vědy má své charakteristické veličiny.
- **Měření je srovnání dané veličiny s vybranou veličinou téhož druhu (jednotkou).**

ELEMENTS OF ALGEBRA,

BY

LEONARD EULER,

TRANSLATED FROM THE FRENCH,

by *Francis Horner*

WITH THE

NOTES OF M. BERNOULLI, &c.

AND THE

ADDITIONS OF M. DE LA GRANGE.

THIRD EDITION,

CAREFULLY REVISED AND CORRECTED.

BY THE REV. JOHN HEWLETT, B.D. F.A.S. &c.

TO WHICH IS PREFIXED

A Memoir of the Life and Character of Euler,

BY THE LATE

FRANCIS HORNER, ESQ., M. P.

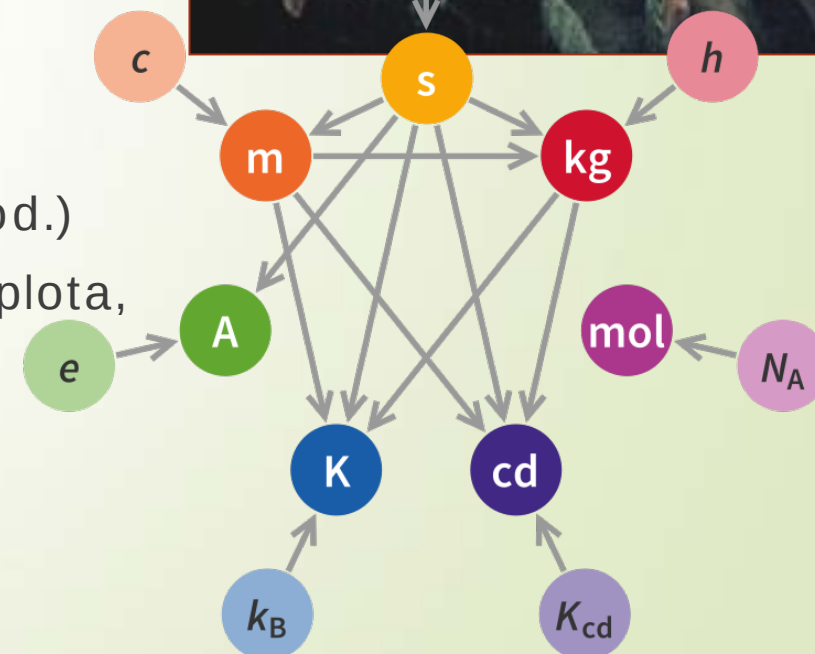
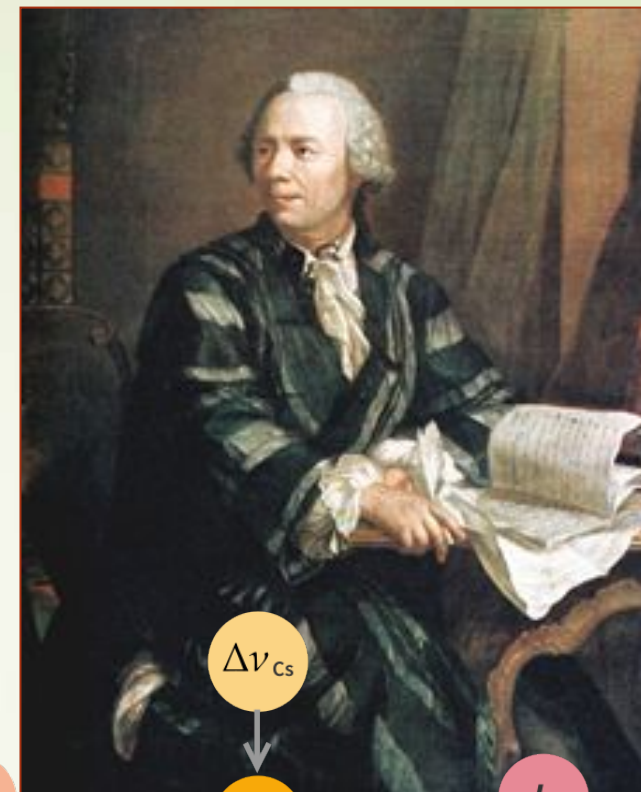
LONDON:

PRINTED FOR LONGMAN, HURST, REES, ORME, AND CO.

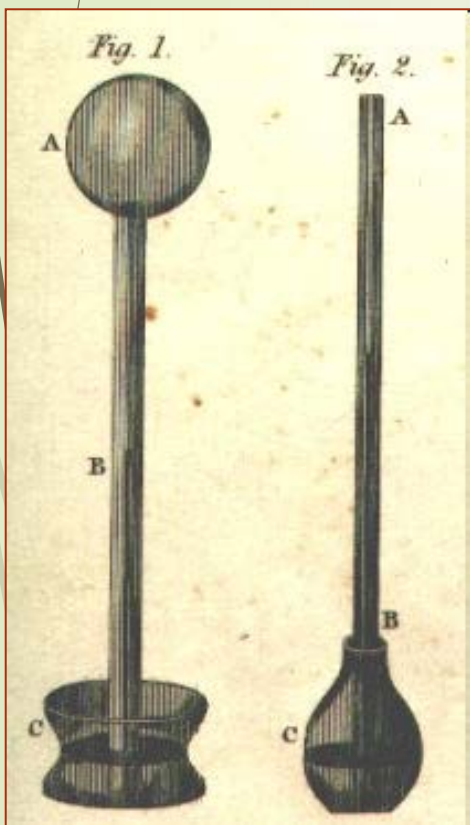
PATERNOSTER-ROW.

1802.

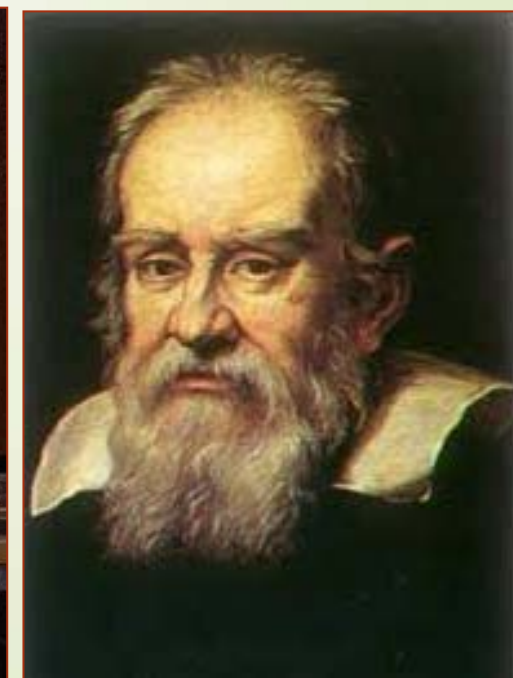
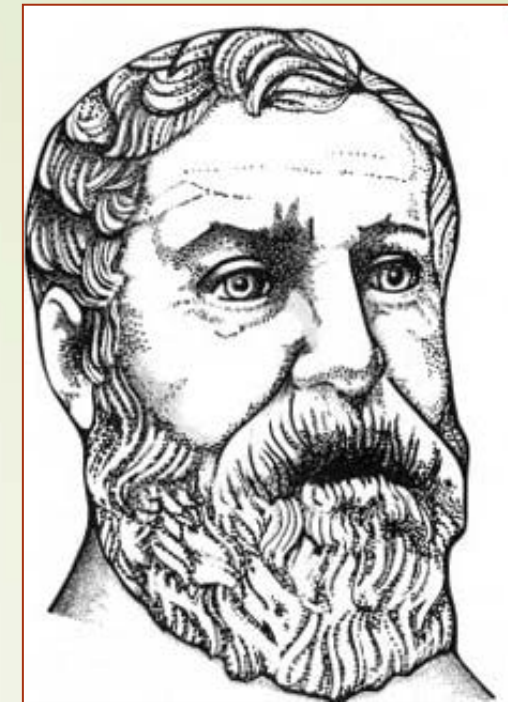
- **Extenzivní** – kvantitativní, obecně aditivní (hmotnost, délka, objem, el. náboj, teplo apod.)
- **Intenzivní** – kvalitativní, neaditivní, stavové (teplota, tlak, elektrické napětí apod.)
- **Protenzivní** – stále plynoucí (čas)
- Jednotky základní a odvozené



Teplota – stavová veličina...

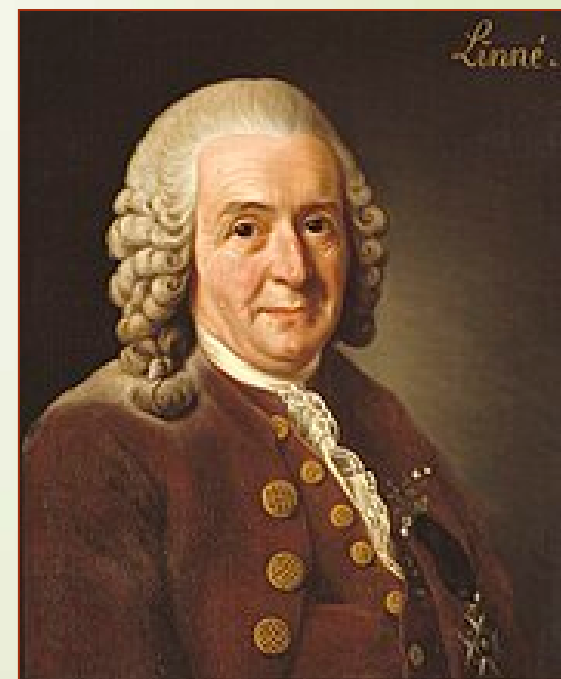


- Hérón Alexandrijský (10–75) – v Alexandrii vynalézá první **termoskop**
- Galileo Galilei (1564–1642) – na základě Hérónových zápisků konstruuje termoskop
- Teploměrné trubice – převod změny objemu na změnu délky
- **Kvantitativní měření teploty**
= stupnice stavů
- Robert Boyle (1627–1691) –
roce 1664 stanovuje první hrubou stupnici
 - 1.) *Teplota tajícího ledu*
 - 2.) Teplota tání másla
 - 2.) Teplota v podpaží zdravého muže...

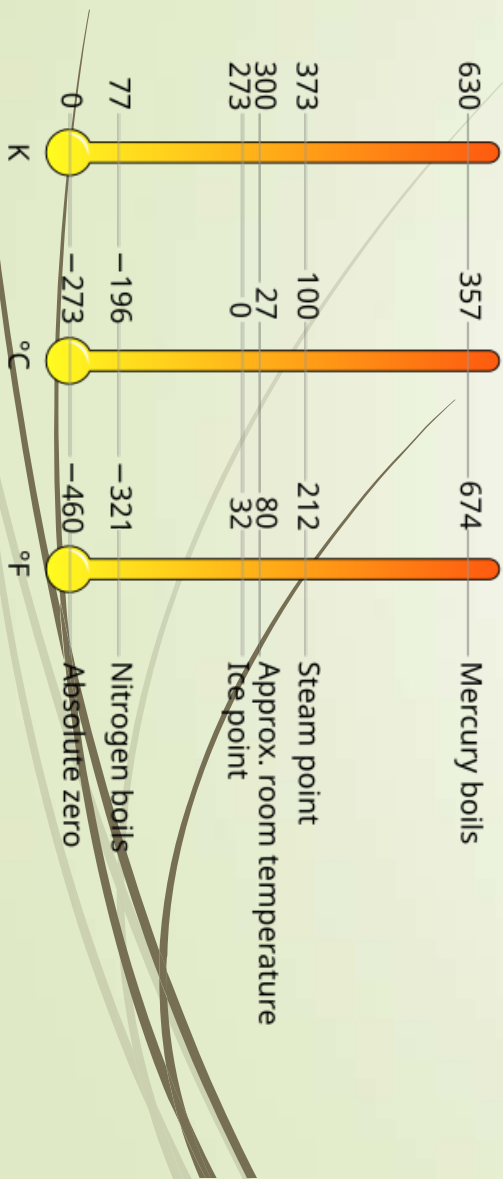


Teplota – stavová veličina...

- Daniel Gabriel Fahrenheit (1686–1736) – **první normalizace teplotní stupnice**
 - $0\text{ }^{\circ}\text{F}$ = solný roztok ledu a salmiaku (NH_4Cl) = $-17,78\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $4\text{ }^{\circ}\text{F}$ = bod tání ledu
 - $12\text{ }^{\circ}\text{F}$ = teplota zdravého lidského těla
- Příliš hrubé $\rightarrow 1/8 \rightarrow$ tání ledu $32\text{ }^{\circ}\text{F}$, tělo $96\text{ }^{\circ}\text{F}$
- 1742 – Ander Celsius (1701–1744)
 - $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ = bod varu vody za normálního tlaku
 - $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ = tání ledu
- 1745 – Carůl Linnaeus (1707–1778) – otáčí stupnici
- Výška stupnice prohlášena lineární



Teplota – stavová veličina



- 1848 – William Thompson, 1. lord Kelvin (1842–1907) přichází s **absolutní termodynamickou stupnicí**

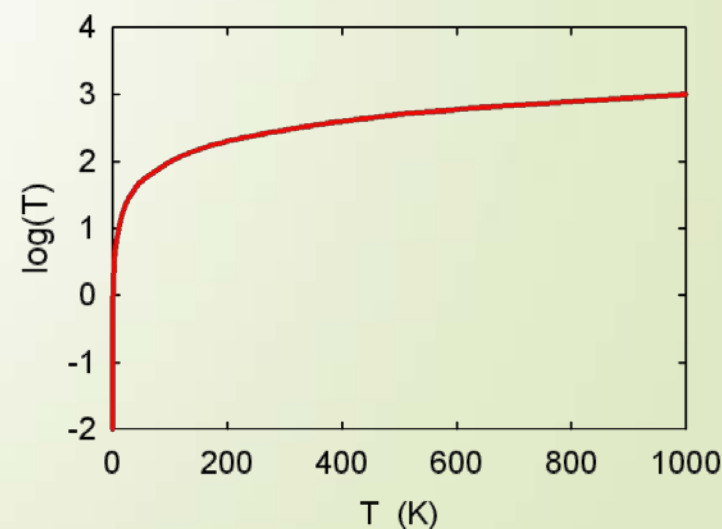
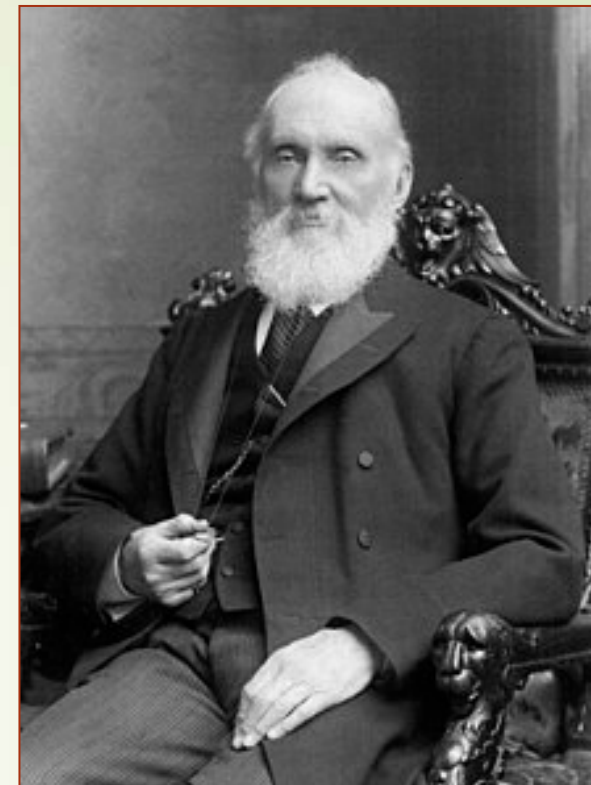
- Teplotní roztažnost či rozpínavost různých plynů je téměř stejná

- při teplotě $-273,15\text{ °C}$ (0 K) by dosáhl nulového objemu

- Uvažuje i škálu logaritmickou → zavrženo

- Teplota je veličina, která nabývá stejné hodnoty ve dvou systémech ve vzájemném tepelném kontaktu, u nichž nedochází k žádnému přenosu tepla

- Jakákoli intenzivní termodynamická veličina, je **měřitelná a měřená** jen na základě **dohodnuté stupnice** kalibrované pomocí dohodnutých „pevných bodů“ **a interpolace intervalu** pomocí dohodnutých vztahů **s omezenou platností, s konečnou přesností, v omezeném intervalu.**



Poděkování a literatura

Poděkování:

- Ing. Mgr. Janě Pilátové (PřF UK) za semínka akácie a podporu projektu
- Vladimíru Kopeckému III. za poctivé vážení na analytických váhách
- RNDr. Kateřině Hofbauerové, Ph.D. (MFF UK) za pomoc při kreslení grafů

Literatura:

- Max von Laue: Dějiny fyziky. Orbis, Praha 1963.
- Ivan Štoll: Dějiny fyziky. Prometheus, Praha 2010.
- Ivo Kraus: Fyzika v kulturních dějinách Evropy. ČVUT, Praha 2007.
- Ivo Kraus: Fyzika od Tháleta k Newtonovi. Academia, Praha 2007.
- Václav Zelený: Rostliny Středozeemí. Academia, Praha 2005.
- Jan Obdržálek: Obtíže s hmotností. Vesmír 97 (2018), č. 12, str. 704–705.
- Jan Obdržálek: Nový kilogram v SI. Čes. Čas. Fyz. 69 (2019) č. 4, str. 244–246.
- L. A. Turnbull a kol.: Seed size variability... *Biology Letters* 2 (2006) 397–400.
- K. Blahová: Vývoj měř a vah v českých zemích. Bc. práce, PF MUNI, Brno 2020.

