

Fyzikální veličiny, soustava jednotek SI

Fyzikální veličiny.

Fyzikální pojmy jsou definovány ve vztahu k materiálním objektům a pozorovaným dějům. Základním nástrojem k získání informací o kvantitativních a kvalitativních vlastnostech studovaných dějů a objektů je fyzikální experiment.

Číselné vyjádření množství dané vlastnosti (kvantita) spojené s fyzikální jednotkou (kvalita) nazýváme **fyzikální veličina**:

$$X = \{X\}[X]$$

X je fyzikální veličina

$\{X\}$ je velikost fyzikální veličiny

$[X]$ je fyzikální jednotka (rozměr)

Definice:

Fyzikální veličina je jednotou kvantity a kvality, jejíž je mírou. (Fyzika, Horák, Krupka 1981.)

Jednotky měření.

Množství určité experimentálně změřené fyzikální veličiny zjistíme, porovnáním s definitoricky zavedeným množstvím, **standardem**. Příkladem je vážení, standardní jednotkou s níž porovnáváme každé zvážené množství jakékoliv látky je 1 kilogram.

Ve fyzice je zavedeno velké množství fyzikálních veličin spojených s různými fyzikálními ději, neznamená to však, že každá fyzikální veličina má zaveden svůj zvláštní standard.

Ukazuje se, že skutečně nezávislých veličin je pouze několik. Mechanika vystačí pouze se třemi základními jednotkami: **délkou, časem a hmotností**.

Pro zbytek „nemechanických fyzikálních veličin“ potřebujeme znát pouze standardní jednotku **elektrického proudu**.

Jednotky ostatních veličin lze vyjádřit pomocí **základních standardních jednotek**.

Mezinárodní systém jednotek (SI).

V roce 1971 na 14. Konferenci o váhách a mírách bylo vybráno 7 základních jednotek, které tvoří Systém základních jednotek SI soustavy.

Základních jednotky mezinárodní metrické soustavy SI.

Fyzikální veličina	Značka	Jednotka	Značka
Délka	l	Metr	m
Hmotnost	m	Kilogram	kg
Čas	t	sekunda	s
Teplota (termodynamická)	T	Kelvin	K
Látkové množství	n	Mol	mol
Elektrický proud	I	Ampér	A
Svítivost	I	Kandela	cd

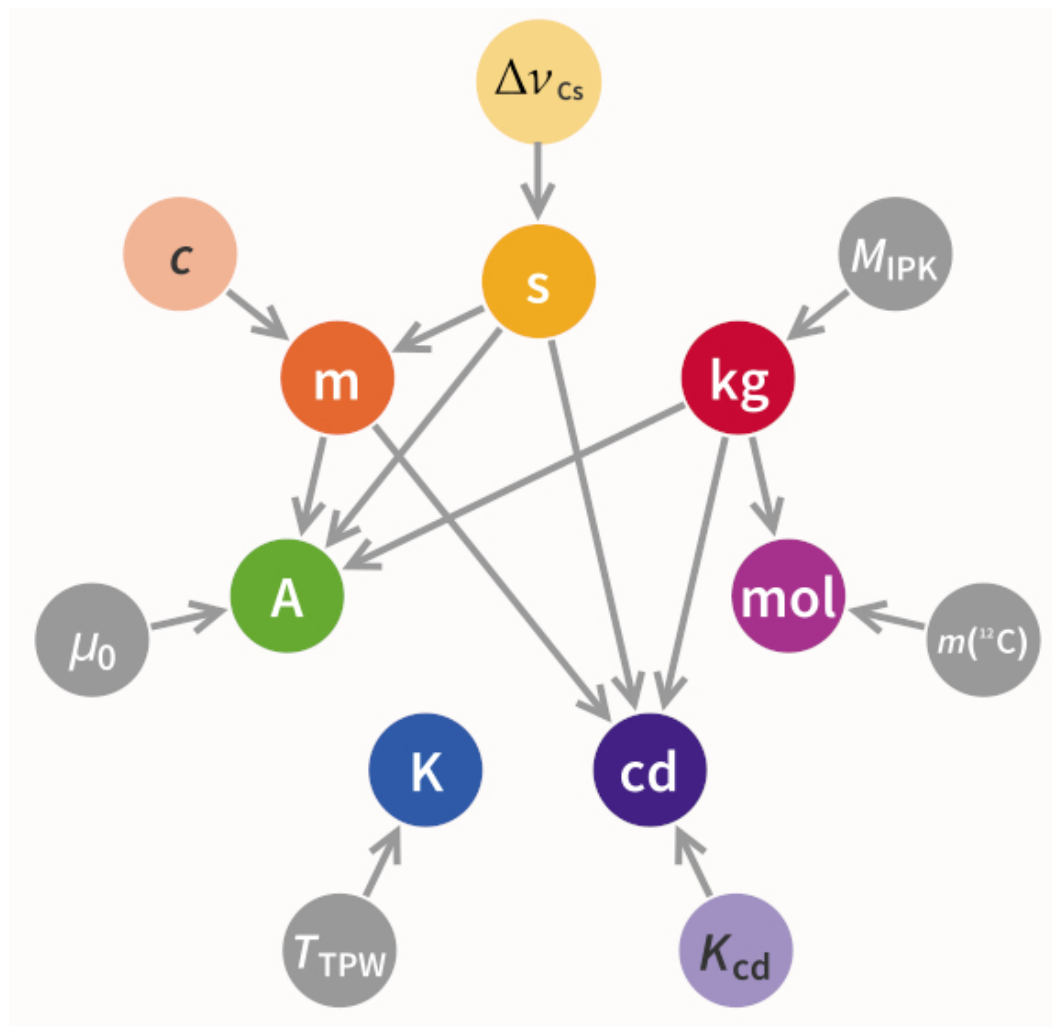
Prefixy jednotek SI soustavy.

Prefixes for SI Units

Factor	Prefix ^a	Symbol
10^{24}	yotta-	Y
10^{21}	zetta-	Z
10^{18}	exa-	E
10^{15}	peta-	P
10^{12}	tera-	T
10^9	giga-	G
10^6	mega-	M
10^3	kilo-	k
10^2	hecto-	h
10^1	deka-	da
10^{-1}	deci-	d
10^{-2}	centi-	c
10^{-3}	milli-	m
10^{-6}	micro-	μ
10^{-9}	nano-	n
10^{-12}	pico-	p
10^{-15}	femto-	f
10^{-18}	atto-	a
10^{-21}	zepto-	z
10^{-24}	yocto-	y

^aThe most frequently used prefixes are shown in bold type.

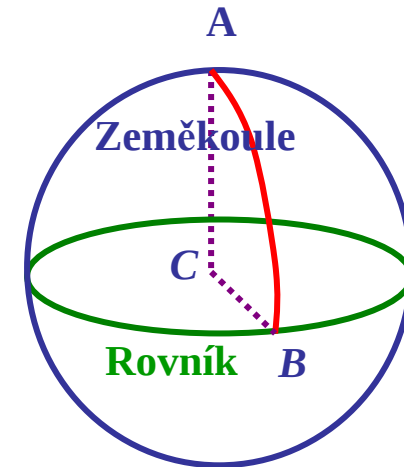
Staré definice – vztahy v SI soustavě.



Staré definice – metr.

Jednotkou délky je 1 metr, značka 1m. Do roku 1792 byl metr definován jako jedna-desetimilióntina vzdálenosti od severního pólu a rovníku.

$$1 \text{ m} \equiv \frac{AB}{10^7}$$



Z praktických důvodů byla později definice metru změněna a metr byl definován jako vzdálenost rysek na platino-iridiovém standardu metru.

Od roku 1983 je jeden metr definován:

1 metr, 1 m, je délka dráhy, kterou urazí světlo ve vakuu za 1/299 792 458 sekundy.



Staré definice – kilogram.

Jednotkou hmotnosti je 1 kilogram, značka 1 kg. Realizací 1 kilogramu je platino-iridiovým válcový standard.

Jednotkou hmotnosti vhodnou především pro „vážení“ na atomární a molekulární úrovni je atomová hmotnostní jednotka 1 u, 1 atomová hmotnostní jednotka je definována jako (1/12) hmotnosti izolovaného izotopu atomu ^{12}C v klidu a v základním stavu. $1 \text{ u} = 1,66053886 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

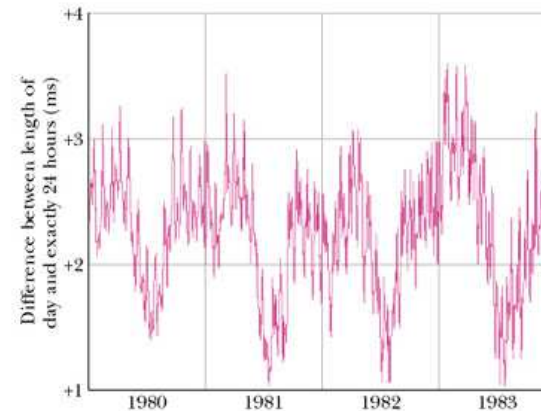


Staré definice – sekunda.

Jednotkou času je 1 sekunda, značka 1s. Dříve byla sekunda definována jako:

$$1 \text{ s} \equiv \frac{1}{24 \times 60 \times 60}$$

doby za kterou se Země otočí jednou dokola okolo své osy.



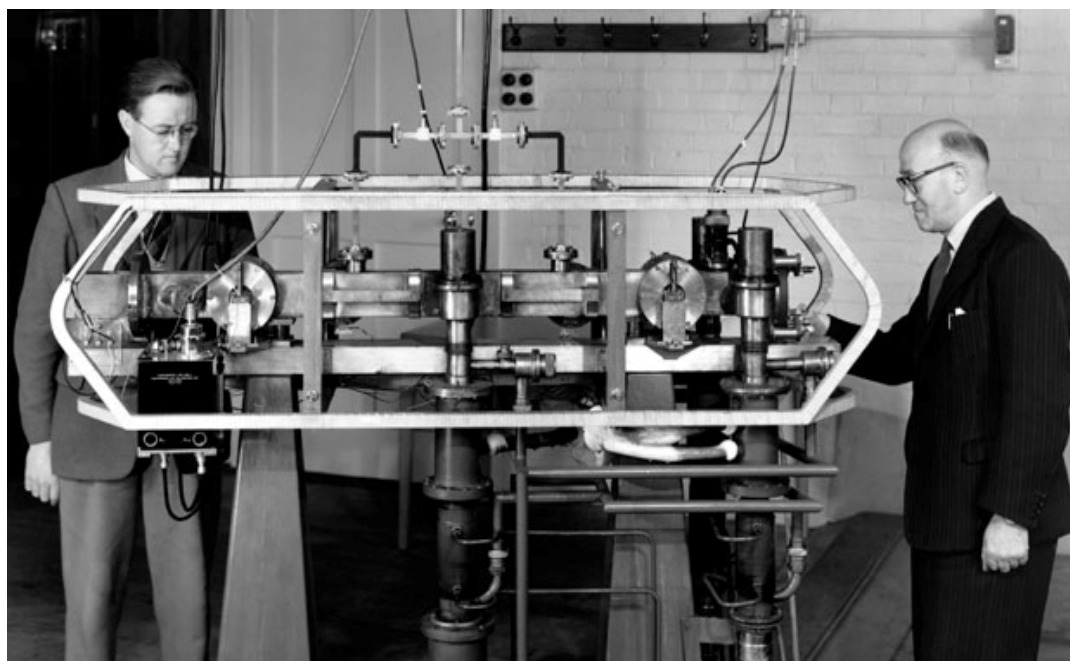
Problém s touto definicí je, že rychlost otáčení Země není konstantní.

Nová definice (1967):

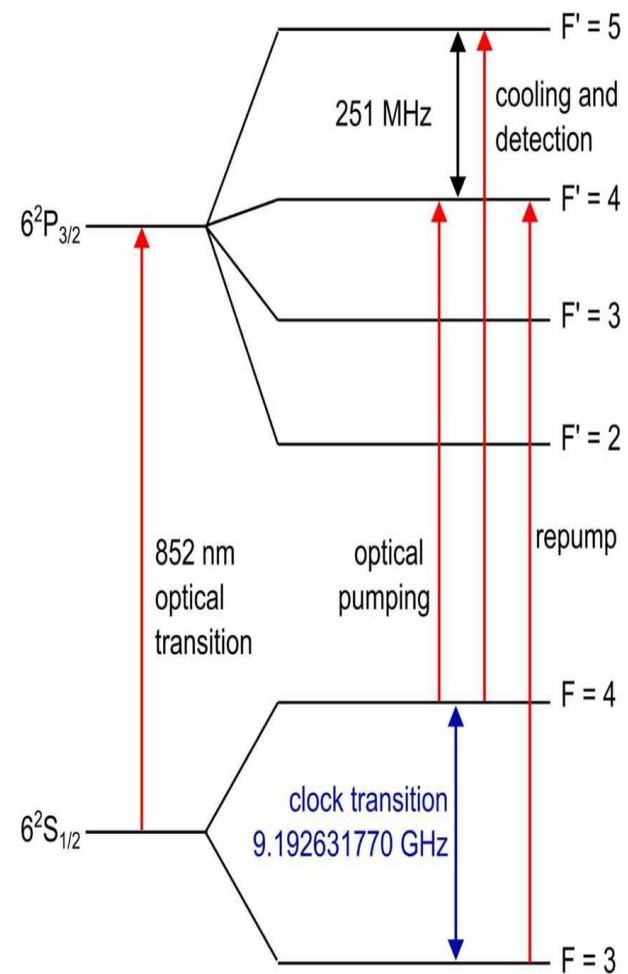
1 sekunda je definována jako doba trvání **9192631770 oscilací světla emitovaného atomem cesia-133.**

Tato definice je natolik přesná, že dvojce cesiové atomové hodiny by se za 6000 let rozešly pouze o 1 sekundu.

Staré definice – sekunda.

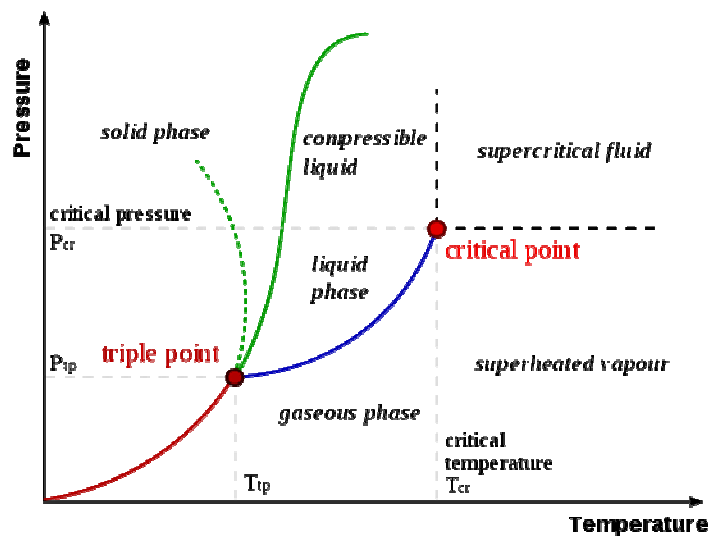


První ^{133}Cs atomové hodiny, 1955, National Physical Laboratory, England.



Staré definice – kelvin.

Jednotkou termodynamické teploty je 1 Kelvin, značka 1K. Kelvin je definován jako $1/273,16$ část termodynamické teploty trojného bodu vody.



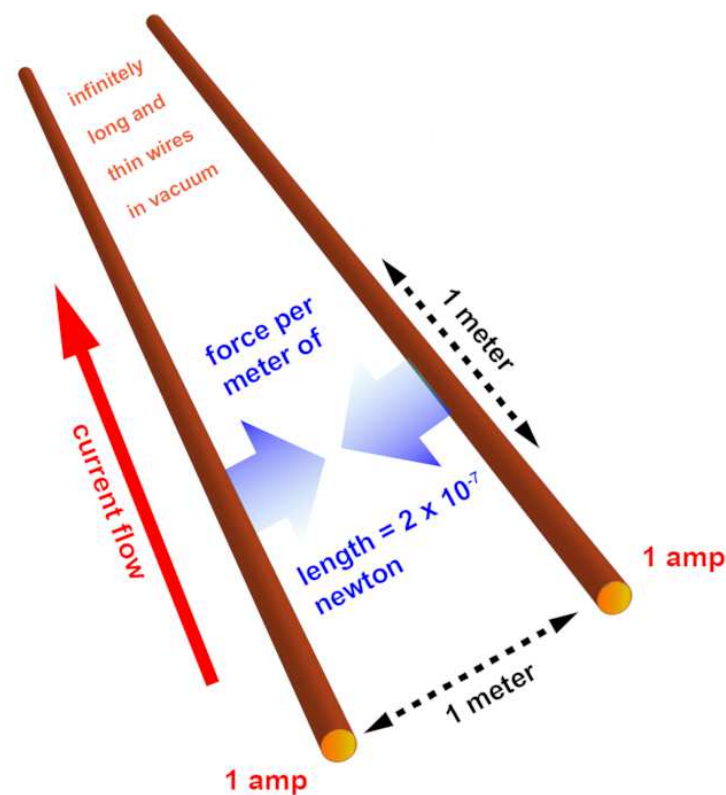
Standardní cela ke stanovení teploty trojného bodu.

Staré definice – ampér.

Jednotkou elektrického proudu je 1 ampér, značka 1A, je takový elektrický proud, který ve dvou přímých rovnoběžných vodičích o nekonečné délce a zanedbatelném průřezu vzájemně vzdálených ve vakuu jeden metr, vyvolá mezi těmito vodiči sílu rovnou 2×10^{-7} N na jeden metr délky.



Amperovy váhy, muzeum NIST.



Staré definice –látkové množství.

Jednotkou látkového množství je 1 mol, značka 1M, je to takové množství látky, které obsahuje tolik elementárních částic, kolik je atomů obsažených ve 12 g uhlíku ^{12}C .

Avogadrova N_A konstanta udávající počet elementárních částic v 1 molu látky:

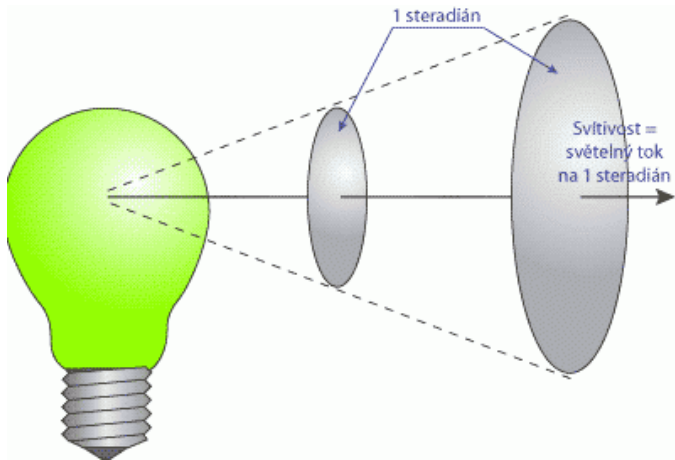
$$N_A = 6,02214179 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$



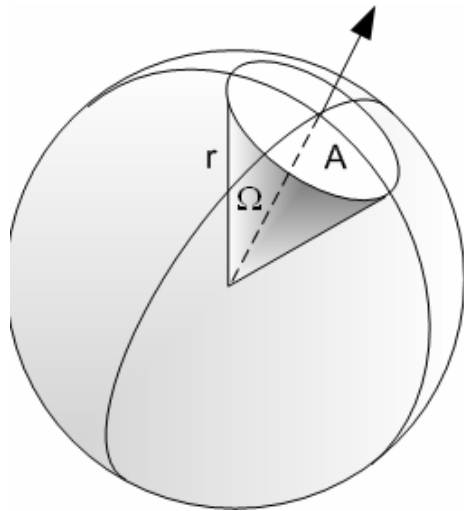
Koule z křemíku, použita k stanovení Avogadrovy konstanty.

Staré definice – candela.

Jednotkou svítivosti v soustavě SI je 1 candela, značka **1cd**, je to svítivost monochromatického zdroje o frekvenci 540×10^{12} Hz, jehož zářivost v daném směru činí $1/683 \text{ W sr}^{-1}$.

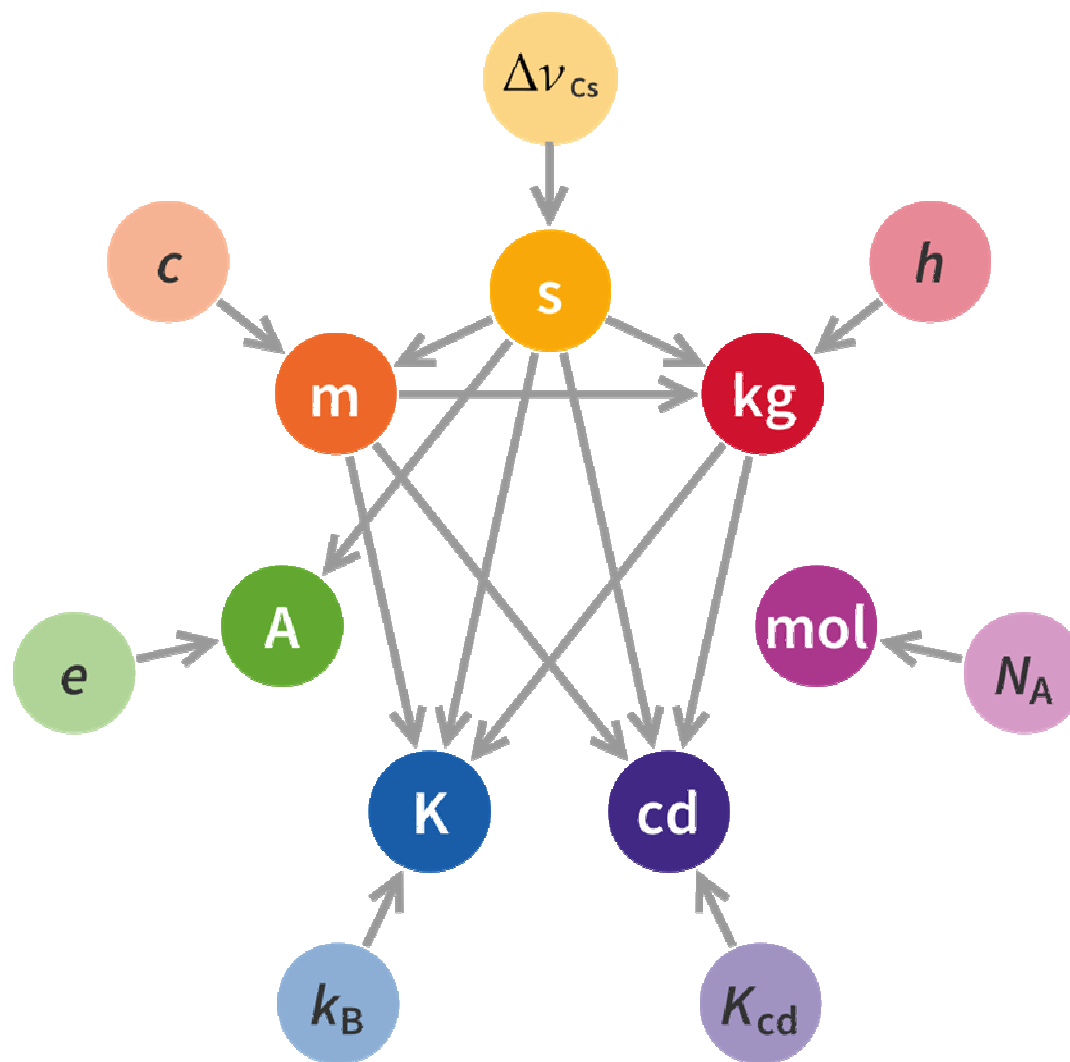


Jednotka prostorového úhlu v soustavě SI, 1 steradián. 1 sr je prostorový úhel, který vymezí ze středu na jednotkové kouli jednotkovou plochu (nebo na kouli o poloměru r plochu r^2).



500 Watt wolframová žárovka plněná inertním plynem používaná jako intenzitní standard v 70 letech 20 století.

Nové definice – konstanty.



Nové definice – konstanty.

ZÁKLADNÍ VELIČINY A FIXOVANÉ KONSTANTY			
základní veličina	definující konstanta	význam konstanty	hodnota
frekvence	ν_{Cs}	frekvence přechodu mezi dvěma hyperjemnými hladinami základního stavu atomu ^{133}Cs .	9 192 631 770 Hz
rychlost	c	rychlost světla ve vakuu	$299\,792\,458\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
moment hybnosti	h	Planckova konstanta	$6,626\,070\,15 \times 10^{-34}\,\text{J}\cdot\text{s}$
elektrický náboj	e	elementární náboj	$1,602\,176\,634 \times 10^{-19}\,\text{C}$
tepelná kapacita	k_{B}	Boltzmannova konstanta	$1,380\,649 \times 10^{-23}\,\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$
látkové množství	N_{A}	Avogadrova konstanta	$6,022\,140\,76 \times 10^{23}\,\text{mol}^{-1}$
svítivost	K_{cd}	světelná účinnost zdroje, který vysílá monochromatické záření frekvence $540 \times 10^{12}\,\text{Hz}$	$638\,\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$.

Nové definice – sekunda, metr.

Sekunda je jednotka času (symbol s), jejíž hodnota je definována pevnou numerickou hodnotou frekvence $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ přechodu mezi energetickými hladinami hyperjemné struktury nenarušeného základního stavu atomu Cesia -133, $\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770\,s^{-1}$, tedy $1\,s$ je dána vztahem

$$1\,s = \frac{9\,192\,631\,770}{\Delta\nu_{\text{Cs}}}$$

Je to doba trvání 9 192 631 770 period záření odpovídajícího frekvenci přechodu mezi dvěma hladinami hyperjemné struktury nenarušeného základního stavu ^{133}Cs .

Metr je jednotka délky, jejíž hodnota je definována pevnou numerickou hodnotou rychlosti světla ve vakuu $c = 299\,792\,458\,ms^{-1}$, kde je již sekunda zadefinována frekvencí $\Delta\nu_{\text{Cs}}$. Tato definice je ekvivalentní dosavadní definici metru. $1\,m$ je dán vztahem

$$1\,m = \frac{c}{299\,792\,458}\,s = \frac{9\,192\,631\,770}{299\,792\,458} \frac{c}{\Delta\nu_{\text{Cs}}} \approx 30.663319 \frac{c}{\Delta\nu_{\text{Cs}}}$$

Nové definice – kilogram, ampér.

Kilogram, symbol kg je Si jednotkou hmotnosti, symbol m . Je definován pevně zafixovanou hodnotou Planckovy konstanty $h = 6,626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$, kde metr a sekunda jsou definovány hodnotami c a $\Delta\nu_{\text{Cs}}$. 1 kilogram je dán vztahem:

$$1 \text{ kg} = \frac{h}{6.626\,070\,15 \times 10^{-34}} \text{ m}^2 \text{ s} = \frac{299\,792\,458^2}{9\,192\,631\,770 \times 6.626\,070\,15 \times 10^{-34}} \frac{h \Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2}$$

$$\approx 1.475\,5214 \times 10^{40} \frac{h \Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2}$$

Ampér, symbol A je Si jednotkou elektrického proudu. Je definován pevně zafixovanou numerickou hodnotou elementárního náboje $e = 1.602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ C}$, $\text{C} = \text{As}$, vyjádřeného v jednotkách Coulomb C , ekvivalentně A s , kde sekunda je definována pomocí $\Delta\nu_{\text{Cs}}$. 1 ampér je dán vztahem:

$$1 \text{ A} = \frac{e}{1.602\,176\,634 \times 10^{-19}} \text{ s} = \frac{299\,792\,458^2}{9\,192\,631\,770 \times 1.602\,176\,634 \times 10^{-19}} e \Delta\nu_{\text{Cs}}$$

$$\approx 6.789\,6868 \times 10^8 e \Delta\nu_{\text{Cs}}$$

Nové definice – kelvin, mol.

Kelvin, symbol K je **Si** jednotkou termodynamické teploty. Je definován pevně zafixovanou hodnotou **Boltzmanovy konstanty** $k = 1.380\,649 \times 10^{-23} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ K}^{-1}$, kde kilogram, metr a sekunda jsou definovány hodnotami h , c a $\Delta\nu_{\text{Cs}}$. **1 Kelvin** je dán vztahem:

$$\begin{aligned} 1 \text{ K} &= \frac{1.380\,649 \times 10^{-23}}{k} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} = \frac{1.380\,649 \times 10^{-23}}{9\,192\,631\,770 \times 6.626\,070\,15 \times 10^{-34}} \frac{h \Delta\nu_{\text{Cs}}}{k} \\ &\approx 2.266\,6653 \frac{h \Delta\nu_{\text{Cs}}}{k} \end{aligned}$$

Mol, symbol **mol**, je **Si** jednotkou látkového množství, n . Je definován pevně zafixovanou hodnotou **Avogadrovy konstanty** $N_A = 6.022\,140\,76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ elementárních jednotek. **1 mol** je dán vztahem:

$$1 \text{ mol} = \frac{6.022\,140\,76 \times 10^{23}}{N_A}$$

Nové definice – candela.

Candela, symbol **cd** je **Si** jednotkou svítivosti (zářivé intensity) v daném směru. Je definován pevně zafixovanou hodnotou světelné účinnosti světelného zdroje K_{Cd} vysílajícího monochromatické záření o frekvenci $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$, světelná účinnost K_{Cd} je zafixována na hodnotě:

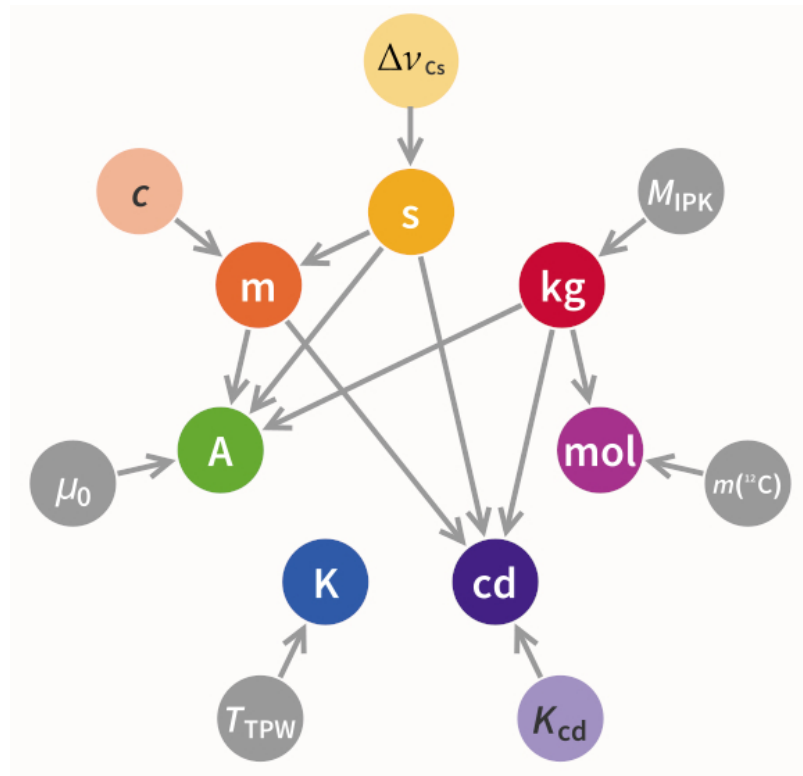
$$K_{Cd} = 683 \text{ lmW}^{-1} = 683 \text{ cd sr kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^3$$

Kde kilogram, metr a sekunda jsou definovány hodnotami h , c a $\Delta\nu_{Cs}$. **1 Candela** je dán vztahem:

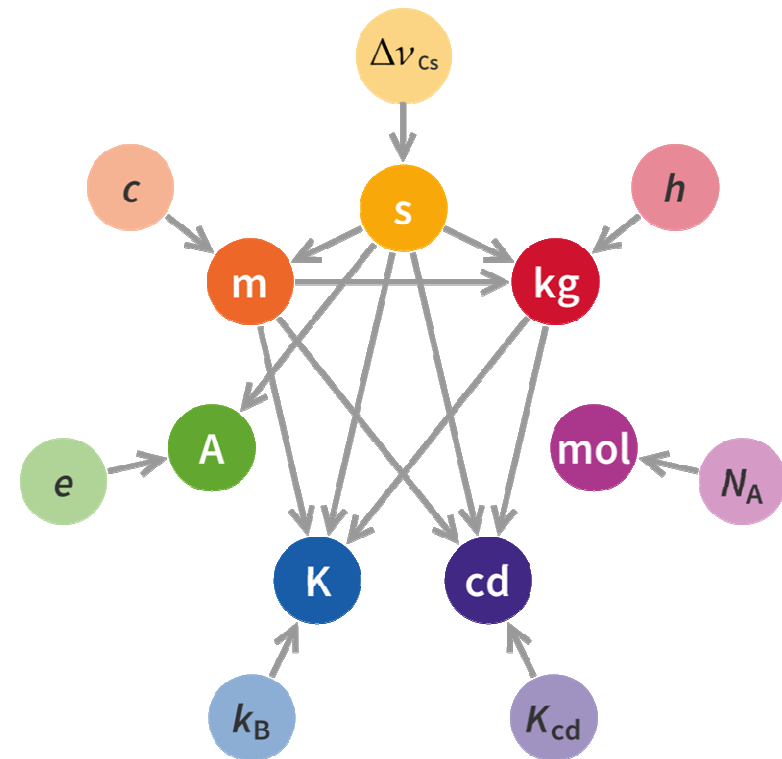
$$\begin{aligned} 1 \text{ cd} &= \frac{K_{Cd}}{683} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-3} \text{ sr}^{-1} = \frac{1}{683 \times 9\,192\,631\,770^2 \times 6.626\,070\,15 \times 10^{-34}} K_{Cd} h \Delta\nu_{Cs}^2 \\ &= 2.614\,8305 \times 10^{10} K_{Cd} h \Delta\nu_{Cs}^2 \end{aligned}$$

Candela je tedy zářivá intenzita světelného zdroje světelné účinnosti $K_{Cd} = 683 \text{ lmW}^{-1}$ emitujícího monochromatické záření frekvence $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ do prostorového úhlu **1 steradiánu**, (**1sr**).

Porovnání starých a nových definic SI jednotek.



Staré definice SI - vztahy mezi jednotkami.



Nové definice SI - vztahy mezi jednotkami.

Některé vedlejší jednotky SI.

NĚKTERÉ VEDLEJŠÍ JEDNOTKY SI		
veličina	jednotka	zkratka
síla	newton	$N = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
tlak	pascal	$\text{Pa} = \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
energie	joule	$J = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
výkon	watt	$W = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$
elektrický náboj	coulomb	$C = A \cdot s$
elektrické napětí	volt	$V = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \cdot A^{-1}$
elektrická kapacita	farad	$F = \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^4 \cdot A^2$
elektrický odpor	ohm	$\Omega = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \cdot A^{-2}$
elektrická vodivost	siemens	$S = \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^3 \cdot A^2$
magnetická indukce	tesla	$T = \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot A^{-1}$
magnetický tok	weber	$\text{Wb} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot A^{-1}$
indukčnost	henry	$H = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot A^{-2}$
světelný tok	lumen	$\text{lm} = \text{cd} \cdot \text{sr}$
osvětlení	lux	$\text{lx} = \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$

Internetové zdroje k SI soustavě

NIST

<https://www.nist.gov/si-redefinition/turning-point-humanity-redefining-worlds-measurement-system>

Bureau International des Poids et Mesures

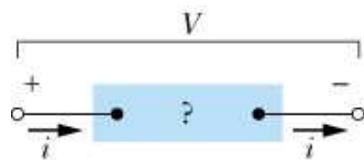
<https://www.bipm.org/en/measurement-units>

Fyzikální zákon.

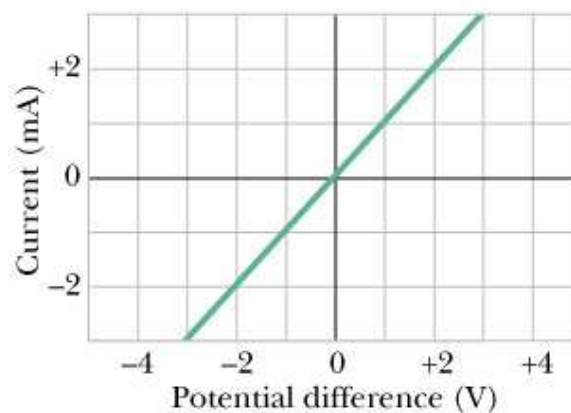
Úkolem fyziky je nejen shromažďovat a zaznamenávat pozorované skutečnosti reprezentované fyzikálními veličinami, ale především najít a zorganizovat v logický systém- **vztahy mezi fyzikálními veličinami**. Vztahy mezi fyzikálními veličinami zapisujeme formou matematických rovnic a označujeme je “**fyzikální zákony**”. Příkladem je **Ohmův zákon**.

Ohmův zákon vyjadřuje souvislost mezi velikostí elektrického proudu I procházejícího elektrickým odporem R v závislosti na změně elektrického napětí U na obou svorkách odporu. Matematickým vyjádřením této závislosti je **Ohmův zákon**:

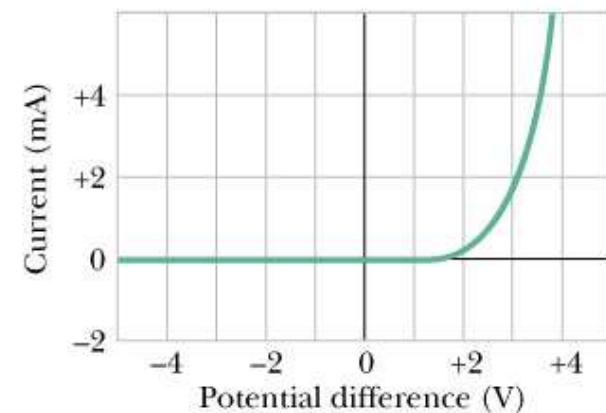
$$R = \frac{V}{I} = \text{const.}$$



(a)



(b)



(c)