

Fyzika Zeme

- Úvodný kurz pre poslucháčov prvého ročníka bakalárskych programov v rámci odboru geológie
- doplňujúca prednáška:
definície základných SI jednotiek

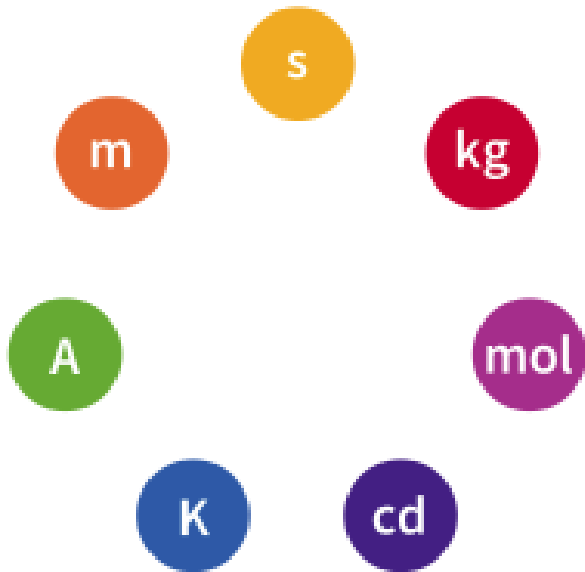
Definície základných jednotiek SI sa v histórii niekoľko krát zmenili.

V ostatnom období vyvolával veľký problém najmä prototyp kilogramu, ktorý strácal časom svoju hmotnosť v porovnaní s jeho kópiami (za 100 rokov stratil hmotnosť cca 100 μg !).

Dňa 16. novembra 2018 zasadala "Generálna konferencia pre váhy a miery" a prijala nové definície základných jednotiek SI.

Tieto sú platné od dňa 5. mája 2019, dňa 144. výročia zavedenia metrického systému. Hlavné zmeny sa týkali definícií 4 z nich: kg, A, mol a K.

Súčasná koncepcia sa snaží prepojiť tieto definície na základné fyzikálne konštanty, ktoré vieme merať s relatívne vysokou presnosťou (v rozdielnych laboratóriách po celej Zemi).



Sedem základných jednotiek SI

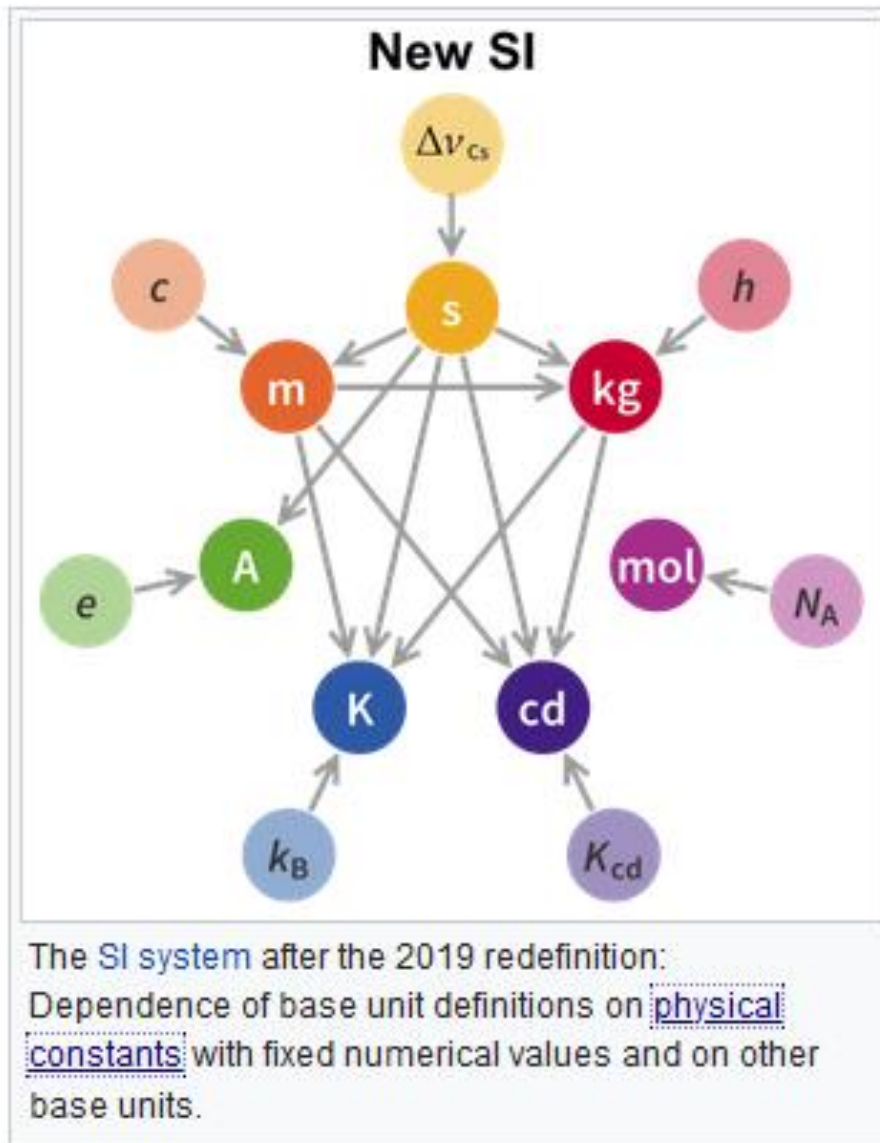
Symbol	Názov	Veličina
K	kelvin	termodynamická teplota
s	sekunda	čas
m	meter	dĺžka
kg	kilogram	hmotnosť
cd	kandela	svietivosť
mol	mól	látkové množstvo
A	ampér	elektrický prúd

Súčasná koncepcia sa snaží prepojiť tieto definície na základné fyzikálne konštanty, ktoré vieme merať s relatívne vysokou presnosťou (v rozdielnych laboratóriách po celej Zemi).

Quantity	Symbol	Value ^[23]	Relative standard uncertainty
Avogadro constant	N_A, L	$6.022\,140\,76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ^[24]	0
Boltzmann constant	k, k_B	$1.380\,649 \times 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$ ^[25]	0
elementary charge	e	$1.602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ C}$ ^[26]	0
Newtonian constant of gravitation	G	$6.674\,30(15) \times 10^{-11} \text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$ ^[27]	2.2×10^{-5}
Planck constant	h	$6.626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ ^[28]	0
speed of light in vacuum	c	$299\,792\,458 \text{ m/s}$ ^[9]	0
vacuum electric permittivity	$\epsilon_0 = 1/\mu_0 c^2$	$8.854\,187\,8128(13) \times 10^{-12} \text{ F}\cdot\text{m}^{-1}$ ^[7]	1.5×10^{-10}
vacuum magnetic permeability	μ_0	$1.256\,637\,062\,12(19) \times 10^{-6} \text{ N}\cdot\text{A}^{-2}$ ^[29]	1.5×10^{-10}
electron mass	m_e	$9.109\,383\,7015(28) \times 10^{-31} \text{ kg}$ ^[30]	3.0×10^{-10}
proton mass	m_p	$1.672\,621\,923\,69(51) \times 10^{-27} \text{ kg}$ ^[31]	3.1×10^{-10}
fine-structure constant	$\alpha = e^2/2\epsilon_0 hc$	$7.297\,352\,5693(11) \times 10^{-3}$ ^[32]	1.5×10^{-10}
Josephson constant	$K_J = 2e/h$	$483\,597.8484\dots \times 10^9 \text{ Hz}\cdot\text{V}^{-1}$ ^[33]	0
molar gas constant	$R = N_A k_B$	$8.314\,462\,618\dots \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ^[34]	0
Rydberg constant	$R_\infty = \alpha^2 m_e c/2h$	$10\,973\,731.568\,160(21) \text{ m}^{-1}$ ^[35]	1.9×10^{-12}
von Klitzing constant	$R_K = h/e^2$	$25\,812.807\,45\dots \Omega$ ^[36]	0

Súčasná koncepcia sa snaží prepojiť tieto definície na základné fyzikálne konštanty, ktoré vieme merať s relatívne vysokou presnosťou (v rozdielnych laboratóriách po celej Zemi).

Quantity	Symbol
Avogadro constant	N_A, L
Boltzmann constant	k, k_B
elementary charge	e
Newtonian constant of gravitation	G
Planck constant	h
speed of light in vacuum	c
vacuum electric permittivity	$\epsilon_0 = 1/\mu_0 c^2$
vacuum magnetic permeability	μ_0
electron mass	m_e
proton mass	m_p
fine-structure constant	$\alpha = e^2/2\epsilon_0 hc$
Josephson constant	$K_J = 2e/h$
molar gas constant	$R = N_A k_B$
Rydberg constant	$R_\infty = \alpha^2 m_e c/2h$
von Klitzing constant	$R_K = h/e^2$



Základné jednotky SI

Meno	Symbol	Veličina
meter	m	dĺžka
kilogram	kg	hmotnosť
sekunda	s	čas
ampér	A	elektrický prúd
kelvin	K	termodynamická teplota
mól	mol	látkové množstvo
kandela	cd	svietivosť

Základné jednotky SI

Meno	Symbol	Veličina
meter	m	dĺžka
kilogram	kg	hmotnosť
sekunda	s	čas
ampér	A	elektrický prúd
kelvin	K	termodynamická teplota
mól	mol	látkové množstvo
kandela	cd	svietivosť

Meter je definovaný tak, že numerická hodnota rýchlosti svetla vo vákuu c je presne 299 792 458, keď je vyjadrená v jednotke m/s, kde sekunda je definovaná pomocou $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Do roku 2019:
je dĺžka dráhy, ktorú prejde svetlo vo vákuu za $1/299\,792\,458$ sekundy

Historická definícia:

Meter je $1 / 10\,000\,000$ časť vzdialenosti medzi zemským rovníkom a severným pólom, meranej pozdĺž poludníka, prechádzajúcim cez Paríž.

Základné jednotky SI

Meno	Symbol	Veličina
meter	m	dĺžka
<u>kilogram</u>	kg	hmotnosť
sekunda	s	čas
ampér	A	elektrický prúd
kelvin	K	termodynamická teplota
mól	mol	látkové množstvo
kandela	cd	svietivosť

Kilogram je definovaný tak, že numerická hodnota Planckovej konštanty h je presne $6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$, keď je vyjadrená v jednotke $J\ s$, ktorá sa rovná $kg\ m^2\ s^{-1}$, kde meter a sekunda sú definované pomocou c a $\Delta\nu_{Cs}$.

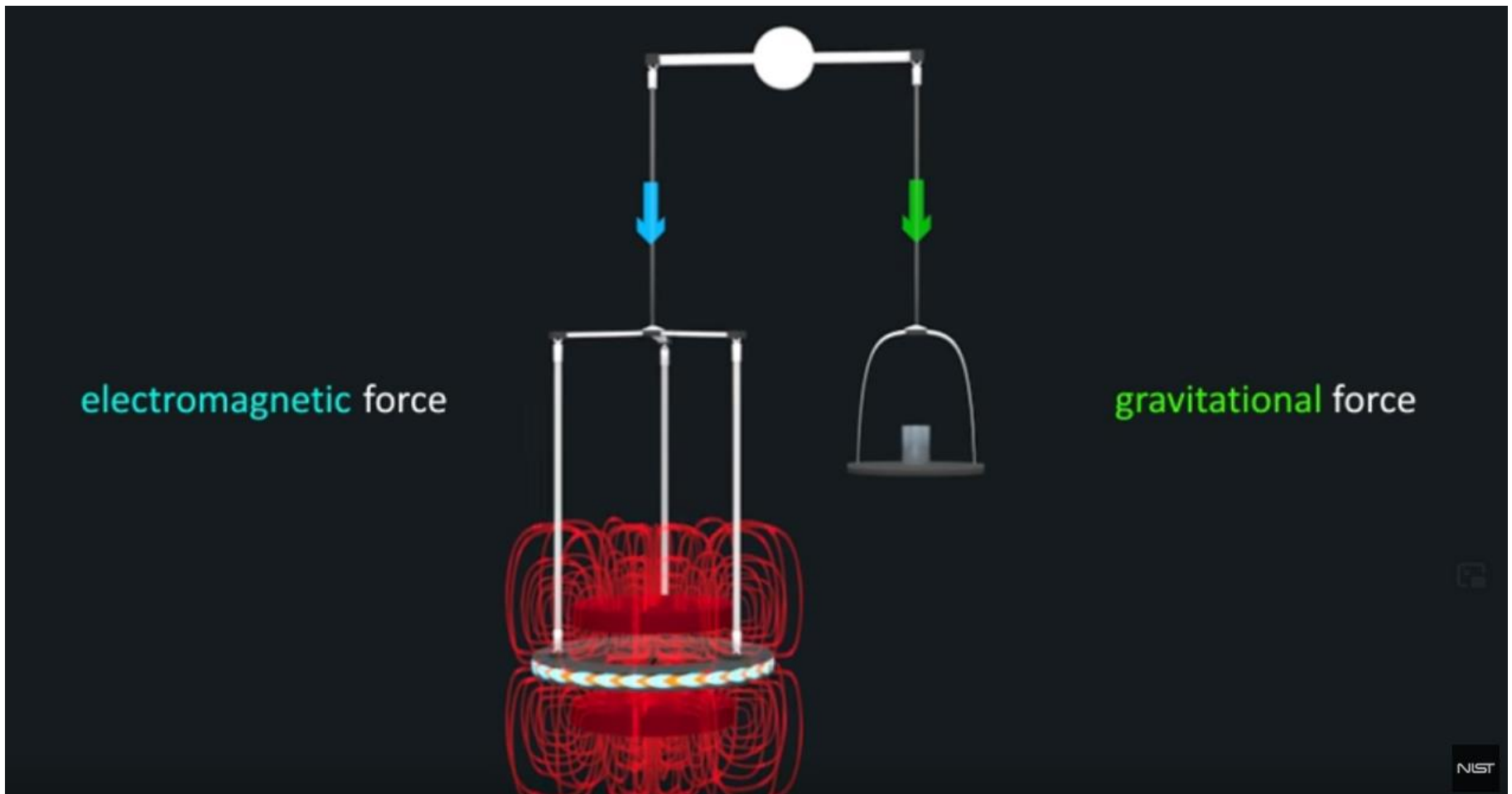
Jednotka $J\cdot s$ opisuje sumáciu energie v určitom systéme v čase. Meria sa pomocou Kibblových (wattových) váh, kde sa tiažová sila telesa porovnáva pomocou rovnoramennej páky s magnetickou silou pôsobiacou na cievku s určitým elektrickým prúdom.

Staršia definície (do 2019):

Kilogram sa rovná hmotnosti medzinárodného prototypu kilogramu (platino - irídiový valec), ktorý je umiestnený v Medzinárodnom úrade pre miery a váhy v Paríži.

Ešte staršia definícia (historická):

Kilogram sa rovná hmotnosti 1 litra vody pri teplote topiaceho sa ľadu. Liter je tisícina kubického metra.



<https://www.youtube.com/watch?v=bMYvVgsotlk>

Tzv. Kiblove váhy, ktoré dávajú do rovnováhy tiažovú a elektromagnetickú (magnetickú) silu. A práve pri meraní elektrického napätia (pomocou tzv. Josephsonovho javu) a elektrického prúdu (pomocou kvantového Hallovho javu) hrá dôležitú úlohu Planckova konštanta h .

Základné jednotky SI		
Meno	Symbol	Veličina
meter	m	dĺžka
kilogram	kg	hmotnosť
<u>sekunda</u>	s	čas
ampér	A	elektrický prúd
kelvin	K	termodynamická teplota
mól	mol	látkové množstvo
kandela	cd	svietivosť

Sekunda je definovaná tak, že numerická hodnota frekvencie $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, frekvencie hyperjemného prechodu základného stavu atómu cézia 133 je presne 9 192 631 770, keď je vyjadrená v jednotke Hz, ktorá sa rovná s^{-1} .

Historické definície:

Historicky vznikla sekunda delením jedného dňa slnečného času na 24 hodín, 1 hodiny na 60 minút a 1 minúty na 60 sekúnd.

Začiatok 20. stor.:

1/31 556 925,9747 tropického roku pre 12 hodín 0. januára 1900 efemeridového času.

Do roku 2019:

Sekunda je trvanie presne 9 192 631 770 periód žiarenia, ktoré zodpovedá prechodu medzi dvoma hladinami veľmi jemnej štruktúry základného stavu cézia (^{133}Cs) pri teplote 0 kelvinov.

Základné jednotky SI		
Meno	Symbol	Veličina
meter	m	dĺžka
kilogram	kg	hmotnosť
sekunda	s	čas
<u>ampér</u>	A	elektrický prúd
kelvin	K	termodynamická teplota
mól	mol	látkové množstvo
kandela	cd	svietivosť

Ampér je definovaný tak, že numerická hodnota elementárneho náboja e je presne $1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$ keď je vyjadrená v jednotke C, ktorá sa rovná $A\ s$, kde sekunda je definovaná pomocou $\Delta\nu_{Cs}$.

Staršia definícia (do 2019):

Ampér je stály elektrický prúd, ktorý pri prechode dvoma priamymi rovnobežnými nekonečne dlhými vodičmi zanedbateľného kruhového prierezu, umiestnenými vo vákuu vo vzdialenosti 1 m od seba, vyvolá silu 2×10^{-7} newtonu na 1 meter dĺžky vodičov.

Základné jednotky SI		
Meno	Symbol	Veličina
meter	m	dĺžka
kilogram	kg	hmotnosť
sekunda	s	čas
ampér	A	elektrický prúd
<u>kelvin</u>	K	termodynamická teplota
mól	mol	látkové množstvo
kandela	cd	svietivosť

Kelvin je definovaný tak, že numerická hodnota Boltzmannovej konštanty k je presne $1,380\,649 \times 10^{-23}$, keď je vyjadrená v jednotke J K^{-1} , ktorá sa rovná $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$, kde kilogram, meter a sekunda sú definované pomocou h , c a $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Staršia definícia (do 2019):

Kelvin je $1/273.16$ termodynamickej teploty trojného bodu vody.

Táto definícia sa vzťahuje na vodu, ktorá má izotopické zloženie vymedzené týmito pomermi látkového množstva:

0,00015576 molu ^2H na mol ^1H ;

0,0003799 molu ^{17}O na mol ^{16}O

a 0,0020052 molu ^{18}O na mol ^{16}O .

Základné jednotky SI

Meno	Symbol	Veličina
meter	m	dĺžka
kilogram	kg	hmotnosť
sekunda	s	čas
ampér	A	elektrický prúd
kelvin	K	termodynamická teplota
<u>mól</u>	mol	látkové množstvo
kandela	cd	svietivosť

Mól. Jeden mól obsahuje presne $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ elementárnych entít. Tento počet je fixovanou numerickou hodnotou Avogadrovej konštanty, N_A , keď je vyjadrená v jednotke mol^{-1} a nazýva sa Avogadrovo číslo. Látkové množstvo n systému je mierou počtu špecifikovaných elementárnych entít. Týmito entitami môžu byť atómy, molekuly, ióny, elektróny, iné častice alebo špecifikované skupiny častíc.

Staršia definícia (do 2019):

Mól je látkové množstvo sústavy, ktorá obsahuje práve toľko elementárnych jedincov (entít), koľko je atómov v 0.012 kg čistého uhlíka (^{12}C). Pri udávaní látkového množstva treba elementárne častice (entity) špecifikovať; môžu to byť atómy, molekuly, ióny, elektróny, iné častice alebo bližšie určené zoskupenia častíc. Ide približne o $6.02214199 \times 10^{23}$ entít.

Základné jednotky SI		
Meno	Symbol	Veličina
meter	m	dĺžka
kilogram	kg	hmotnosť
sekunda	s	čas
ampér	A	elektrický prúd
kelvin	K	termodynamická teplota
mól	mol	látkové množstvo
<u>kandela</u>	cd	svietivosť

Kandela je definovaná tak, že numerická hodnota spektrálnej svetelnej účinnosti monochromatického žiarenia s frekvenciou 540×10^{12} Hz, K_{cd} , je presne 683, keď je vyjadrená v jednotke lm W^{-1} , ktorá sa rovná cd sr W^{-1} alebo $\text{cd sr kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3$, kde kilogram, meter a sekunda sú definované pomocou h , c a $\Delta\nu_{Cs}$.

Staršia definícia (do 2019):

Kandela je svietivosť zdroja, ktorý v danom smere vysiela monochromatické žiarenie s frekvenciou 540×10^{12} hertzov, a ktorého žiarivosť v tomto smere je $1/683$ wattu na steradián.