

Soustava SI a měření fyzikálních veličin

Obsah:

1. Soustava SI	1
1.1. Historie metrických soustav	1
1.2. Základní jednotky	2
1.3. Doplnkové jednotky	2
1.4. Odvozené jednotky	3
1.5. Násobné a dílčí jednotky	3
1.6. Vedlejší jednotky	4
2. Měření	5
2.1. Měřicí přístroje	5
2.2. Přesnost měření	5
2.3. Chyby měření	5
Použitá literatura	7

1. Soustava SI

1.1. Historie metrických soustav

Od začátku vývoje lidské společnosti bylo potřeba měřit (dobu, vzdálenosti atd.). S postupným rozvojem obchodování bylo nutné ujednotit i měrné systémy. Na území Evropy došlo k rozvoji měrných soustav především na základě měr řeckých a římských.

- † 8. stol.** - Karel Veliký - upravený římský systém, především jednotky délky a hmotnosti
- 1268 - nařízení krále Přemysla Otakara II. o tzv. obnovení měr a vah, tzv. královské míry
- 1358 - Karel IV.- úprava měr, prakt. rozšíření měr pražských
- 1617 - Šimon Podolský z Podolí - soustava „pražských měr“ (1627, 1654, 1715, 1725 - další patenty a nařízení)
- 1765 - přechod na míry dolnorakouské (vídeňské)
- 1789** - ve Francii za Velké francouzské revoluce návrh na vytvoření metrické (od slova metr) soustavy, zavedeno např. i desetinné dělení času ($1t = 10d; 1d = 20h; 1h = 100min$), setinné dělení úhlu
- 1912 - Napoleon Bonaparte obnovil používání starých měr
- 1840 - ve Francii zavedení metru a zakázání nemetrických soustav
- 1855 - zavedení jednotných měr na území Čech (Slezsko - 15. 7. 1856; Morava - 13. 12. 1856)
- 1871 - zákon o zavedení metrické soustavy jednotek na území Rakouska-Uherska
- 1875 - mezinárodní dohoda o užívání metrických jednotek „la Convention du Mètre (metrická konvence)“
- zřízení „Mezinárodního úřadu pro míry a váhy“ („Bureau international des poids et mesures“) se sídlem v Sèvres u Paříže - nejvyšší orgán Generální konference pro míry a váhy
- 1876 - zavedení metrické soustavy jednotek na území 18 států (včetně Rakouska-Uherska)
- 1960** - přijetí nové „Mezinárodní soustavy jednotek“ („Système International d'Unités“) - soustava SI
- 1963 - zavedení jednotek soustavy SI v ČSSR, (z. 35/1962 sb.)
- 1980** - od 1. 1. důsledně používání pouze jednotek SI, soustavy MKSA
- 1989 - po tomto roce vyšlo hned několik zákonů upravujících a doplňujících již dříve přijaté zákony: 505/1990 Sb., 119/2000 Sb., 137/2002 Sb., 226/2003 Sb. a vyhláška 264/2000 Sb.. Úplné znění zákona o metrologii ve znění pozdějších předpisů nebylo doposud oficiálně vydáno.

Do roku 1962 se v tehdejší ČSSR užívaly tři soustavy:

1. MKSA - metr, kilogram, sekunda, ampér
2. CGS - centimetr, gram, sekunda
3. MKpS - metr, kilopond, sekunda

Obsah

1.2. Základní jednotky

Roku 1960 bylo určeno šest základních jednotek: metr, kilogram sekunda. V roce 1954 byly přijaty: ampér, kelvin a kandela. V roce 1971 byla přijata jako základní ještě jednotka pro látkové množství - mol.

jednotka	značka jednotky	veličina	značka veličiny	definice základní jednotky dle z. č. 505/1990 Sb., O metrologii a pozdějších novelizací z. č. 119/2000 Sb. (§ 2 odst. 2)
metr	m	délka	l, s, d	metr je délka dráhy, kterou proběhne světlo ve vakuu za dobu $1/299\,792\,458$ sekundy
kilogram	kg	hmotnost	m	kilogram (kg); kilogram se rovná hmotnosti mezinárodního prototypu kilogramu
sekunda	s	čas	t	sekunda je doba trvání 9 192 631 770 period záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia 133
ampér	A	elektrický proud	I	ampér je stálý elektrický proud, který při průchodu dvěma přímými rovnoběžnými nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu umístěnými ve vakuu ve vzdálenosti 1 metr vyvolá mezi nimi sílu 2×10^{-7} newtonu na 1 metr délky vodičů
kelvin	K	termodynamická teplota	T	kelvin je $1/273,16$ díl termodynamické teploty trojného bodu
kandela	cd	svítivost	I	kandela je svítivost zdroje, který v daném směru vysílá monochromatické záření s kmitočtem 540×10^{12} hertzů a jehož zářivost v tomto směru je $1/683$ wattu na steradián
mol	mol	látkové množství	n	mol je látkové množství soustavy, která obsahuje právě tolik elementárních jedinců (entit), kolik je atomů v 0,012 kilogramu izotopu uhlíku ^{12}C . Při udávání látkového množství je třeba elementární jedince (entity) specifikovat; mohou to být atomy, molekuly, ionty, elektrony, jiné částice nebo blíže určená seskupení částic

Obsah

1.3. Doplnkové jednotky

Jsou to jednotky, které nebyly zařazeny mezi jednotky základní ani odvozené.

jednotka	značka jednotky	veličina	značka veličiny	definice základní jednotky
radián	rad	úhel (rovinný)	α, φ, \dots	rovinný úhel sevřený dvěma polopřímkami, které na kružnici opsané z jejich počátečního bodu vytínají oblouk o délce rovné jejímu poloměru
steradián	sr	prostorový úhel	ω, Ω	prostorový úhel s vrcholem ve středu kulové plochy, který na této ploše vytíná část s obsahem rovným druhé mocnině poloměru této kulové plochy

Obsah

1.4. Odvozené jednotky

Tyto jednotky vznikají pomocí definičních vztahů z jednotek základních a doplňkových. Mohou také vzniknout z jednotek odvozených, které mají samostatné názvy.

Některé odvozené jednotky:

jednotka	značka jednotky	veličina	značka veličiny	rozměr
čtverečný metr	m ²	obsah	S	m ²
krychlový metr	m ³	objem	V	m ³
newton	N	síla	F	m·kg·s ⁻²
watt	W	výkon	P	m ² ·kg·s ⁻³
joule	J	práce, energie, teplo	W, E, Q	m ² ·kg·s ⁻²
volt	V	el. napětí	U	m ² ·kg·s ⁻³ ·A ⁻¹
ohm	Ω	el. odpor	R	m ² ·kg·s ⁻³ ·A ⁻²

Obsah

1.5. Násobné a dílčí jednotky

Tyto jednotky se tvoří pomocí předpon obvykle podle třetí mocniny deseti. Ve výjimečných případech je možno použít i předpon vyjadřující první nebo druhou mocninu deseti. Značka předpony se spojuje se značkou jednotky v jeden celek. Předpona se spojuje s názvem jednotky v jedno slovo. Není možné použít více než jedné předpony.

název	předpona	násobek	příklad použití	původ	překlad
yotta	Y	10 ²⁴			
zetta	Z	10 ²¹			
exa	E	10 ¹⁸			
peta	P	10 ¹⁵			
tera	T	10 ¹²	TW terawatt	teras (řeč.)	nebeské znamení
giga	G	10 ⁹	GJ gigajoule	gigas (řeč.)	obr
mega	M	10 ⁶	MN meganewton	megas (řeč.)	velký
kilo	k	10 ³	kV kilovolt	chilios (řeč.)	tisíc
mili	m	10 ⁻³	mA miliampér	mille (lat.)	tisíc
mikro	μ	10 ⁻⁶	μg mikrogram	mikros (řeč.)	malý
nano	n	10 ⁻⁹	nm nanometr	nano (it.)	trpaslík
piko	p	10 ⁻¹²	pF pikofarad	piccolo (it.)	maličký
femto	f	10 ⁻¹⁵	fm femtometr	femton (švéd.)	patnáct
atto	a	10 ⁻¹⁸		atten (dán.)	osmnáct
zepto	z	10 ⁻²¹			
yokto	y	10 ⁻²⁴			

Výjimečně povolované předpony:

název	předpona	násobek	příklad použití	původ	překlad
hekto	h	10 ²	ha hektar	hekaton (řeč.)	sto
deka	da	10 ¹	dag dekagram	dekas (řeč.)	desítka
deci	d	10 ⁻¹	dl decilitr	decem (lat.)	deset
centi	c	10 ⁻²	cm centimetr	centum (lat.)	sto

Obsah

1.6. Vedlejší jednotky

Jednotky vedlejší nepatří do soustavy SI. Jejich používání však norma povoluje. K většině vedlejších jednotek se může přidávat předpona. Předpony se však nesmějí přidávat k vedlejším jednotkám času a rovinného úhlu, dále pak u astronomické jednotky, světelného roku, dioptrie a atomové hmotnostní jednotky. Je možné kombinovat jednotky vedlejší mezi sebou nebo s jednotkami základními či odvozenými.

Některé vedlejší jednotky:

veličina	jednotka	značka	převod na jednotku SI
délka	astronomická jednotka	AU	$1 AU = 1,49598 \cdot 10^{11} m$
	parsek	pc	$1 pc = 3,0857 \cdot 10^{16} m$
hmotnost	tuna	t	$1 t = 1000 kg$
čas	minuta	min	$1 min = 60s$
	hodina	h	$1 h = 3600 s$
	den	d	$1 d = 86400 s$
teplota	Celsiův stupeň	$^{\circ}C$	$1^{\circ}C = 1 K$
rovinný úhel	úhlový stupeň	$^{\circ}$	$1^{\circ} = \frac{\pi}{180} rad$
	úhlová minuta	'	$1' = \frac{\pi}{10800} rad$
	úhlová vteřina	"	$1'' = \frac{\pi}{648000} rad$
	grad (gon)	$^g (gon)$	$1^g = \frac{1}{200} rad$
obsah	hektar	ha	$1 ha = 10^4 m^2$
objem	litr	l, L	$1 l = 10^{-3} m^3$

2. Měření

Měření určité veličiny je určení její velikosti ve zvolených jednotkách dané veličiny. Danou veličinu můžeme měřit buď bezprostředně nebo získáme výpočtem z jiných naměřených veličin. Získanou informací je tedy naměřená hodnota fyzikální veličiny vyjádřená číselnou hodnotou a jednotkou.

Obsah

2.1. Měřicí přístroje

Měřidla (měřicí přístroje) jsou zařízení na určování velikosti měřené veličiny. Mohou být analogové nebo digitální.

analogové (ručičkové) - naměřenou hodnotu měřené veličiny ukazují pomocí výchylky ručičky ukazující na stupnici s dílky. Výchylka ručičky je obdobou (analogií) velikosti měřené veličiny.

digitální (číslicové) - naměřenou hodnotu měřené veličiny vyjadřují číselným údajem na displeji. Nejmenší možná změna na displeji se nazývá měřicí krok.

U měřidel zjišťujeme různé vlastnosti:

- měřicí rozsah - rozmezí mezi nejmenší a největší hodnotou veličiny, kterou lze měřidlem měřit; některé přístroje mohou mít více nastavitelných rozsahů
- konstanta rozsahu - hodnota, které odpovídá jeden dílek stupnice; určujeme ji jen u analogových přístrojů; u přístrojů s více možnými rozsahy se při změně rozsahu mění i konstanta rozsahu
- citlivost měřidla - udává počet nejmenších dílků stupnice (jednotek), který odpovídá změně měřené veličiny o určitou jednotku, tj. kolik dílků připadá určité jednotce
- dovolená odchylka - kladná veličina určená státní normou nebo uvedená na přístroji výrobcem měřidla (ocelové měřicí pravítka má dovolenou odchylku 0,1 mm)
- maximální odchylka - polovina konstanty rozsahu u ručičkového měřidla (polovina nejmenšího dílku - přečteme hodnotu dílku, který je veličině nejbližší) nebo měřicí jednotka na displeji číslicového měřidla

V případě, že čteme stále stejnou hodnotu, považujeme ji za pravděpodobnou (průměrnou) hodnotu a maximální odchylku čtená za průměrnou odchylku měření (musíme mít však správnou metodu měření a měřidlo jehož dovolená odchylka je menší než maximální odchylka).

Obsah

2.2. Přesnost měření

Při měření může dojít k různým nepřesnostem. Přesnost je závislá na měřicích přístrojích, měřicí metodě a na vlivu vnějších podmínek. Přesnost se určuje pomocí relativní (poměrné) odchylky měření. S rostoucí relativní odchylkou přesnost měření klesá. Přesnějšího měření tedy můžeme dosáhnout, jestliže měřené veličiny dosahují co možná největších hodnot daného rozsahu.

Př: běžné pravítka o délce 20 cm, dělené po mm - rozsah:	200 mm	0,2 m
- konstanta rozsahu:	1 mm	$10^{-3} m$
- citlivost měřidla:	$\frac{1}{1 mm}$	$10^3 m^{-1}$
- maximální odchylka:	$\frac{1}{2} mm$	$0,5 \cdot 10^{-3} m$

Obsah

2.3. Chyby měření

Při měření se dopouštíme chyb hrubých, systematických a náhodných.

Systematické chyby - jsou zapříčiněny vlivem okolních vnějších vlivů, lze je omezit použitím dokonalejšího měřicího přístroje nebo využitím dokonalejší měřicí metody

Hrubé chyby - jsou zapříčiněny tím, kdo měření provádí, např. jeho nepozorností nebo důsledkem jeho omylu.

Náhodné chyby - jsou způsobeny kolísáním okolních rušivých vlivů.

Opakovaným měřením dané veličiny získáme statistický soubor hodnot, ze kterého pak vypočítáme pravděpodobnou hodnotu. Ta se určí jako aritmetický průměr všech naměřených hodnot. Následně vypočítáme

průměrnou odchylku, pomocí které určíme dolní a horní mez intervalu, ve kterém se pravděpodobně nachází skutečná hodnota měřené veličiny.

Postup:

měřená veličina X

počet měření n

naměřené hodnoty x_i tj.: x_1, x_2, \dots, x_n

průměrná hodnota - předběžně se zaokrouhlí tak, že má o jedno desetinné místo víc, než hodnoty zjištěné přímým měřením

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

odchylka - se zaokrouhlí na stejný počet desetinných míst jako má průměrná hodnota

$$\Delta x_i = |\bar{x} - x_i| \quad \text{tj.: } \Delta x_1 = \bar{x} - x_1, \Delta x_2 = \bar{x} - x_2, \dots, \Delta x_n = \bar{x} - x_n$$

průměrná odchylka - se zaokrouhlí na jednu platnou cifru nahoru (jde o přibližné určení)

$$\Delta x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_n}{n}$$

naměřená hodnota - запиše se pomocí průměrné hodnoty a průměrné odchylky, průměrná odchylka se zaokrouhlí na stejný počet desetinných míst jako má průměrná odchylka

$$\underline{\underline{x = (\bar{x} \pm \Delta x)}}$$

relativní odchylka - pomocí ní se určuje přesnost měření

$$\delta_{(x)} = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\%$$

V případě, že veličinu (X) vypočítáváme pomocí měření jiných veličin (A a B), je zatížena chybami měřených veličin. Chyby vypočítávané veličiny (Δx a $\delta_{(x)}$) určíme podle matematických operací mezi měřenými veličinami:

operace s veličinami	průměrná hodnota	relativní odchylka	průměrná odchylka
$X = A + B$	$\bar{x} = \bar{a} + \bar{b}$	$\delta_{(x)} = \frac{\Delta x}{\bar{x}}$	$\Delta x = \Delta a + \Delta b$
$X = A - B$	$\bar{x} = \bar{a} - \bar{b}$	$\delta_{(x)} = \frac{\Delta x}{\bar{x}}$	$\Delta x = \Delta a + \Delta b$
$X = A \cdot B$	$\bar{x} = \bar{a} \cdot \bar{b}$	$\delta_{(x)} = \delta_{(a)} + \delta_{(b)}$	$\Delta x = \delta_{(x)} \cdot \bar{x}$
$X = \frac{A}{B}$	$\bar{x} = \frac{\bar{a}}{\bar{b}}$	$\delta_{(x)} = \delta_{(a)} + \delta_{(b)}$	$\Delta x = \delta_{(x)} \cdot \bar{x}$
$X = A^2$	$\bar{x} = \bar{a}^2$	$\delta_{(x)} = 2\delta_{(a)}$	$\Delta x = \delta_{(x)} \cdot \bar{x}$
$X = \sqrt{A}$	$\bar{x} = \sqrt{\bar{a}}$	$\delta_{(x)} = \frac{1}{2}\delta_{(a)}$	$\Delta x = \delta_{(x)} \cdot \bar{x}$

Při měření elektrického proudu a elektrického napětí se navíc projevuje vliv zapojených měřicích přístrojů. Zapojení ampérmetru do el. obvodu způsobuje zvětšení el. odporu a tím zmenšení měřeného el. proudu, odpor ampérmetru by měl být velmi malý. Naopak el. odpor voltmetru by měl být co možno největší, aby jím procházel co nejmenší el. proud a došlo k co nejmenší změně měřeného el. napětí.

Obsah

Použitá literatura

Chvojka M., Skála J.: Malý slovník jednotek měření. Mladá fronta, Praha 1982

Pešková E., Kropáčková H. a kol.: Fyzika - přehled středoškolského studia. Orfeus, Praha 1992

Vachek J.: Fyzika - přehled učiva základní školy. SPN, Praha 1981

Běloun F. a kol.: Tabulky pro základní školu. Galaxie, Praha 1993

www.cmi.cz/

www.bipm.org

Obsah