

# 1. Měření ve fyzice, soustava jednotek SI

**Fyzika** je vědní obor, který zkoumá zákonitosti přírodních jevů.

Poznámka: Získávání poznatků ve fyzice:

1. **pozorování** - sledování určitého jevu v jeho přirozených podmínkách, aniž by pozorovatel do průběhu jevu zasahoval
  2. **experiment** (pokus) - sledování jevu v uměle připravených podmínkách v laboratoři. Při pokusu vyvoláme určitý jev uměle, měníme počáteční podmínky a sledujeme vliv těchto počátečních podmínek na průběh jevu.
  3. **vytváření hypotéz** - buď na základě pozorování a experimentu nebo na základě základních znalostí daného jevu vytváříme vědecky zdůvodněnou představu o průběhu a příčinách zkoumaného jevu, jejíž pravdivost vždy ověřujeme
- Vyjádříme-li průběh experimentu nebo pozorování matematickými prostředky, provádíme fyzikální měření. Jestliže během něho získáme zákonitý vztah mezi podmínkami a výsledkem pozorování či experimentu, docházíme k **fyzikálnímu zákonu**. Pozorování a pokus jsou zdrojem tzv. empirického poznání, tj. poznání založeného na empirii (zkušenosti).
- Ověřená hypotéza tvoří **fyzikální teorii**. Vytváření a ověřování hypotéz patří k teoretickým metodám fyziky.

## Fyzikální veličina

Fyzikální veličina je měřitelná vlastnost tělesa, látky nebo jevu.

**Fyzikální veličině  $X$**  přiřazujeme určitou **číslnou hodnotu  $\{X\}$** . Hodnota (velikost) dané veličiny je udávána prostřednictvím srovnání s pevně zvolenou hodnotou veličiny stejného druhu, kterou volíme za měřicí jednotku.

Číselná hodnota fyzikální veličiny je závislá na volbě měřicí jednotky, kterou nazýváme **jednotka fyzikální veličiny  $[X]$** .

Formální zápis je  $X = \{X\}/[X]$ , např.  $m = 123 \text{ kg}$ ,  $d = 12 \text{ m}$  apod.

Příklad:

Číselná hodnota velikosti síly  $\{F\} = \{m\} \cdot \{a\} = 3.6 = 18$

Jednotka síly v základních jednotkách SI  $[F] = [m] \cdot [a] = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

**Fyzikální veličiny:** charakterizují fyzikální vlastnosti, stavy nebo změny a dělíme je na

- **skalární** (jsou zadány číselnou hodnotou a jednotkou – hmotnost, teplota)
- **vektorové** (jsou zadány číselnou hodnotou, jednotkou a směrem – rychlost, zrychlení)

Poznámka (rozšíření): Fyzikální veličiny označujeme jako veličiny **extenzivní** nebo **intenzivní**.

Typickou vlastností **extenzivních veličin** je jejich aditivnost – jednotlivé části dají celek, jehož velikost možno spočítat pouhým sečtením, a naopak celek je možno zase dělit na části. Typickými zástupci extenzivních veličin jsou charakteristiky prostoru (délka, obsah plochy, objem, hmotnost). Například dvě tělesa o hmotnosti 1 kg mohou dohromady vytvořit jedno těleso o hmotnosti 2 kg. Lze je měřit přímým srovnáním s nějakým vzorkem anebo vzájemně mezi sebou – například dvoumetrová tyč je stejně dlouhá jako vedle ležící dvě metrové, srovnané za sebou.

Naproti tomu např. u teploty nelze v žádném případě říci, že dvě tělesa o teplotě 50 °C dají dohromady jedno těleso o teplotě 100 °C – zkrátka výsledné těleso po jejich spojení bude mít sice váhu danou součtem jejich vah, ale teplota tělesa nebude prostým součtem. Veličinu s takovou vlastností – v tomto ukázkovém případě teplotu – nazveme veličinou **intenzivní**. Tyto veličiny musíme měřit nepřímou – přes nějakou jinou, extenzivní veličinu: například rtuťovým teploměrem měříme teplotu pacientova těla na základě měření objemu rtuti, která se tepelně roztahuje.

### Měření fyzikálních veličin:

Měření je soubor experimentálních činností, jejichž cílem je stanovit hodnotu měřené veličiny.

Rozdělení měřicích metod:

- 1) - *přímé* (délka, teplota, ...)  
- *nepřímé* (hustota, měrná tepelná kapacita, ...) – užitím fyzikálních vztahů z hodnot jiných naměřených veličin
- 2) - *statické* (hodnota veličiny – z klidového stavu systému)  
- *dynamické* (hodnota veličiny – z pohybu systému)

### Chyby měření:

- *systematické* (soustavné) ... nedokonalost smyslů, měřidel, měřicích metod
- *hrubé* ... omyl, únava, ... (vyřazení z naměřených hodnot)
- *náhodné* ... působení náhodných vlivů (nedá se vyloučit)

Každá měřená veličina je zatížena nepřesností měření.

### Určení hodnoty fyzikální veličiny přímým měřením:

(jedna z možností užívaná při dostatečném počtu měření)

1. Určení aritmetického průměru  $\bar{x}$  z naměřených hodnot  $x_1, x_2, \dots, x_n$ :

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

2. Absolutní odchylka:

$$\Delta x = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n}$$

3. Zápis výsledku:  $x = \bar{x} \pm \Delta x$

4. Relativní odchylka:  $\delta x = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\%$

5. Zápis výsledku měření:

$$x = (\bar{x} \pm \Delta x) \text{ s relativní odchylkou } \delta x = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\%$$

Průměrná hodnota i průměrná odchylka musí být zaokrouhleny na stejný počet desetinných míst (u odchylky se zaokrouhluje na 1 platnou číslici) a obě veličiny musí mít stejnou fyzikální jednotku).

---

### Příklad určení tloušťky $x$ skleněné desky:

Číslo měření	Naměřené hodnoty $x$	Absolutní odchylka $x$ od $\bar{x}$ $\Delta x = x - \bar{x}$
	<i>mm</i>	<i>mm</i>
1.	2,32	-0,018
2.	2,35	0,012
3.	2,37	0,032
4.	2,33	-0,008
5.	2,33	-0,008
6.	2,36	0,022
7.	2,35	0,012
8.	2,34	0,002
9.	2,33	-0,008
10.	2,30	-0,038
$\Sigma$	23,38	0,160
$\phi$	2,338	0,0160

- V měření se nevyskytuje hrubá chyba, proto není nutné vyřadit některé naměřené hodnoty.
- Jednotlivé naměřené hodnoty mají stejný počet desetinných míst, průměrná hodnota vždy o jedno desetinné místo více.
- Absolutní odchylka musí být zaokrouhlena na jednu platnou číslici a podle toho musí být zaokrouhlena průměrná hodnota na stejný počet desetinných míst.

**Zápis výsledku měření:  $x = (2,34 \pm 0,02) \text{ mm}$**

- Relativní odchylka:  $\delta x = \frac{\Delta \bar{x}}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{0,0160}{2,338} \cdot 100\% = 0,68\% \doteq 0,7\%$
- **Tloušťka skleněné desky:  $x = (2,34 \pm 0,02) \text{ mm}$  s  $\delta x = 0,7\%$ .**

Poznámka 1: Do chyby výsledku je třeba započítávat i chybu měřidla (= **mezní chybu**, její význam je analogický jako odchylka aritmetického průměru). Chyba měřidla v sobě obsahuje náhodnou i systematickou chybu. Chyba měřidla se určuje jako polovina nejmenšího dílku na stupnici (milimetrové délkové měřidlo, teploměr,...).

Poznámka 2: Existuje více způsobů zpracování výsledků měření. Často se využívá určování chyby

měření pomocí směrodatné odchylky aritmetického průměru  $\left( s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right)$ .

### Určení hodnoty fyzikální veličiny nepřímou – výpočtem:

Jsou-li  $x, y, z, \dots$  naměřené hodnoty fyzikálních veličin a je-li  $w$  hledaná veličina, pro niž platí  $w = f(x, y, z, \dots)$ , pak nejprve určíme aritmetický průměr, tj.  $\bar{w} = f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, \dots)$  a poté podle speciálních pravidel platných pro jednotlivé matematické operace s používanými veličinami určíme absolutní odchylku tohoto průměru a relativní odchylku.

Operace s veličinami, jejichž hodnoty byly získány měřením:

operace	průměrná hodnota	relativní odchylka	průměrná odchylka
$X = A + B$	$\bar{x} = \bar{a} + \bar{b}$	$\delta x = \frac{\Delta x}{\bar{x}}$	$\Delta X = \Delta a + \Delta b$
$X = A - B$	$\bar{x} = \bar{a} - \bar{b}$	$\delta x = \frac{\Delta x}{\bar{x}}$	$\Delta X = \Delta a + \Delta b$
$X = A \cdot B$	$\bar{x} = \bar{a} \cdot \bar{b}$	$\delta x = \delta a + \delta b$	$\Delta X = \delta x \cdot \bar{x}$
$X = A / B$	$\bar{x} = \frac{\bar{a}}{\bar{b}}$	$\delta x = \delta a + \delta b$	$\Delta X = \delta x \cdot \bar{x}$
$X = A^2$	$\bar{x} = \bar{a}^2$	$\delta x = 2 \cdot \delta a$	$\Delta X = \delta x \cdot \bar{x}$
$X = \sqrt{A}$	$\bar{x} = \sqrt{\bar{a}}$	$\delta x = \frac{1}{2} \cdot \delta a$	$\Delta X = \delta x \cdot \bar{x}$

Poznámka 3:

**UMOCŇOVÁNÍ A ODMOCŇOVÁNÍ**  $\sqrt[m]{a^n} = ?$

Relativní odchylka v určení čísla  $\sqrt[m]{a^n}$  je rovna  $\frac{n}{m} \cdot \delta a$ .

**Příklad:** Určení výsledku pro hustotu  $\rho = \frac{m}{V}$

obecně:

$$m = \bar{m} \pm \Delta m$$

$$V = \bar{V} \pm \Delta V$$

konkrétní příklad:

$$\mathbf{m = (26,3 \pm 0,1) g}$$

$$\delta m = \frac{\Delta m}{\bar{m}} \cdot 100\% = \frac{0,1}{26,3} \cdot 100\% = 0,380\% \doteq 0,4\%$$

$$\mathbf{V = (8,22 \pm 0,05) cm^3}$$

$$\delta V = \frac{\Delta V}{\bar{V}} \cdot 100\% = \frac{0,05}{8,22} \cdot 100\% = 0,608\% \doteq 0,6\%$$

Platí: Relativní odchylka v určení podílu je rovna součtu relativních odchylek dělece a dělitele.

$$\bar{\rho} = \frac{\bar{m}}{\bar{V}}$$

$$\delta \rho = \delta m + \delta V$$

$$\Delta \rho = \bar{\rho} \cdot \frac{\delta \rho}{100}$$

$$\rho = (\bar{\rho} \pm \Delta \rho) \text{ s } \delta \rho$$

$$\bar{\rho} = (26,3 : 8,22) \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} = 3,1995 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$$

$$\delta \rho = 0,380\% + 0,608\% = 0,988 \doteq 1\%$$

$$\Delta \rho = 3,1995 \cdot \frac{0,988\%}{100} = 0,03161 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \doteq 0,03 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$$

$$\mathbf{\rho = (3,20 \pm 0,03) g \cdot cm^{-3} \text{ s } \delta \rho = 1\%}$$

### **Mezinárodní soustava jednotek SI** (Système International d'Unités):

- obsahuje zákonné měřicí jednotky používané nejen v naší republice, ale téměř v celé Evropě. Je rozdělena na

- a) **základní jednotky** – metr, kilogram, sekunda, ampér, kelvin, mol, kandela (stanoveny definicí)
- b) **odvozené jednotky** (odvozují se ze základních pomocí definičních vztahů)
- c) **násobky a díly jednotek** (tvoří se ze základních nebo odvozených jednotek pomocí násobení vhodnou mocninou deseti s možným užitím normalizovaných předpon)

Spolu s jednotkami soustavy SI dovoluje norma používat z praktických důvodů i tzv. **vedlejší jednotky** (např. minuta, hodina, litr, tuna, elektronvolt, ...)

#### **Základní jednotky**

Veličina	Jednotka	Značka
délka	metr	m
hmotnost	kilogram	kg
čas	sekunda	s
elektrický proud	ampér	A
termodynamická teplota	kelvin	K
látkové množství	mol	mol
svítivost	kandela	cd

#### **Definice základních jednotek:**

**Metr** je vzdálenost, kterou urazí světlo ve vakuu za dobu  $1/299\,792\,458$  sekundy.

**Sekunda** je doba trvání  $9\,192\,631\,770$  period záření odpovídajícího přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia 133.

**Kilogram** je jednotka hmotnosti; je rovna hmotnosti mezinárodního prototypu kilogramu.

**Ampér** je stálý elektrický proud, který protéká dvěma rovnoběžnými nekonečně dlouhými vodiči o zanedbatelném průřezu umístěnými ve vakuu 1 m od sebe, jestliže mezi vodiči působí magnetická síla o velikosti  $2 \times 10^{-7}$  newtonu na jeden metr délky vodiče.

**Kelvin**, jednotka termodynamické teploty, je rovna zlomku  $1/273,16$  termodynamické teploty trojného bodu vody.

**Mol** je látkové množství systému, který obsahuje stejný počet elementárních entit, kolik je atomů v  $0,012$  kg uhlíku  $^{12}\text{C}$ .

**Kandela** je svítivost zdroje, který vydává monochromatické záření o frekvenci  $540 \times 10^{12}$  Hz, jehož intenzita v daném směru je  $1/683$  wattů na steradián.

**Některé odvozené jednotky**

frekvence	hertz	Hz	$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$
síla	newton	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
tlak	pascal	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$
práce, energie	joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$
výkon	watt	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$
elektrický náboj	coulomb	C	$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$
elektrické napětí	volt	V	$1 \text{ V} = 1 \text{ W} \cdot \text{A}^{-1}$
kapacita	farad	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ C} \cdot \text{V}^{-1}$
el. odpor	ohm	$\Omega$	$1 \Omega = 1 \text{ V} \cdot \text{A}^{-1}$
el. vodivost	siemens	S	$1 \text{ S} = 1 \Omega^{-1}$
magnetický indukční tok	weber	Wb	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \cdot \text{s}$
magnetická indukce	tesla	T	$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb} \cdot \text{m}^{-2}$
indukčnost	henry	H	$1 \text{ H} = 1 \text{ Wb} \cdot \text{A}^{-1}$
světelný tok	lumen	lm	$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$
osvětlenost	lux	lx	$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2}$
aktivita (radionuklidu)	becquerel	Bq	$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$
dávkový ekvivalent	sievert	Sv	$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$

**Násobné a dílčí jednotky**

Předpona		Násobek	
Název	Značka		
tera	T	1 000 000 000 000	$= 10^{12}$
giga	G	1 000 000 000	$= 10^9$
mega	M	1 000 000	$= 10^6$
kilo	k	1 000	$= 10^3$
mili	m	0,001	$= 10^{-3}$
mikro	$\mu$	0,000 001	$= 10^{-6}$
nano	n	0,000 000 001	$= 10^{-9}$
piko	p	0,000 000 000 001	$= 10^{-12}$