

NOFY021 – Mechanika, molekulová fyzika a termodynamika



Jak bude v roce 2018 probíhat výuka

- přednášky F1 doc. Křivka
 - pondělí 12:20-13:55
 - čtvrtek 13:10-14:45
- cvičení
 - středa 9:50-11:25 T5 dr. Ryabov
 - středa 9:50-11:25 T6 doc. Kylián
- cvičení
 - středa 14:00-15:35 T6 dr. Ryabov
 - středa 14:00-15:35 T7 dr. Solař
- podmínky zápočtu (detaily stanoví cvičící)
 - aktivní účast, úspěšné absolvování 2 písemných testů
- zkouška
 - ústní s písemnou přípravou
 - pro ty, kdo chtějí slyšet víc
 - Proseminář z matematických metod fyziky (NOFY002)
- kde mne najdete
 - v Tróji ve 4.patře v místnosti A430
- kde najdete prezentace
 - Procvičovací seminář z Fyziky I (NOFY071)
- <http://kmf.troja.mff.cuni.cz/NOFY021>

Sylabus

I. MECHANIKA

- 1. Kinematika bodu.** Parametrický popis pohybu, rychlost, zrychlení, rozklad zrychlení na tečnou a normálovou složku. Základní druhy pohybů.
- 2. Dynamika hmotného bodu.** Newtonovy zákony. Síly působící při známém druhu pohybu. Pohybová rovnice hmotného bodu, vrhy, harmonický pohyb. Inerciální a neinerciální soustavy souřadné, zdánlivé síly, síla Coriolisova a odstředivá.
- 3. Energie a pohyb v silovém poli.** Práce, výkon, kinetická energie. Konzervativní pole, potenciální energie. Nekonzervativní síly, tření. Gravitační zákon. Pohyb v gravitačním poli, Keplerovy zákony.
- 4. Soustava hmotných bodů a tuhé těleso.** Popis soustavy, stupeň volnosti. Kinematika tuhého tělesa. Věty o hybnosti a momentu hybnosti soustavy - 1. a 2. věta impulsová. Věty o zachování hybnosti a momentu hybnosti. Energie soustavy hmotných bodů, Königova věta. Zjednodušení soustav sil působících na tuhé těleso.
- 5. Otáčení tuhého tělesa.** Otáčení kolem pevné osy, pohybová rovnice, moment setrvačnosti. Těžká kladka, kyvadlo, valení. Steinerova věta. Kinetická energie otáčejícího se tělesa. Stručná zmínka o tenzoru setrvačnosti a otáčení tělesa kolem pevného bodu.
- 6. Kmity a vlnění.** Kmity tlumené, vynucené, skládání kmitů, vázané kmity, aperiodický tlumený pohyb, rezonance. Pojem vlny, vlnová rovnice, rovinná vlna. Energie a intenzita vlny. Harmonická vlna, způsoby popisu, vztah vlnová délka-rychlost-frekvence. Fázová rychlost a grupová rychlost. Typy vlnění, polarizace. Princip superpozice, interference vlnění, stojaté vlnění. Huygensův princip, lom, odraz. Dopplerův jev.

Sylabus

- 7. Kontinuum - obecné pojmy.** Kinematika kontinua. Tenzory deformace, rychlosti deformace a napětí. Rovnice rovnováhy a pohybová rovnice kontinua.
- 8. Pružnost.** Zobecněný Hookův zákon. Základní úloha teorie pružnosti. Tah, smyk, torze, ohyb.
- 9. Mechanika tekutin.** Kapalina a plyn. Rovnováha tekutin, hydrostatický tlak, Pascalův zákon, Archimedův zákon. Proudění ideální tekutiny, rovnice kontinuity, Bernoulliova rovnice. Proudění viskózní kapaliny, Newtonův viskózní zákon, Poiseuillův vztah. Laminární a turbulentní proudění.

II. MOLEKULOVÁ FYZIKA.

- 1. Základy termodynamiky.** Termodynamická soustava a její rovnováha. Teplo, teplota, tepelná kapacita. První termodynamický zákon, vnitřní energie ideálního plynu. Stavová rovnice ideálního plynu. Vratné a nevratné děje, Carnotův cyklus, termodynamická teplota. Druhý termodynamický zákon, entropie. Třetí termodynamický zákon.
- 2. Molekulárně kinetická teorie látek.** Základy statistického popisu. Tlak a teplota, Boltzmannův vztah a entropie. Maxwellovo-Boltzmannovo rozdělení. Střední volná dráha, počet srážek, Brownův pohyb. Difúze, tepelná vodivost, vnitřní tření.
- 3. Reálné plyny a fázové přechody.** Stavová rovnice reálných plynů. Jouleův-Thomsonův jev. Rovnovážný fázový diagram jednosložkové soustavy, Gibbsovo pravidlo fází. Skupenská tepla a teploty fázových přeměn.
- 4. Molekulární jevy v kapalinách.** Povrchové napětí. Youngova-Laplaceova rovnice.

Doporučená literatura

A. Havránek: Klasická mechanika I - II, skriptum, Karolinum, Praha 2002-3

https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/www/fyzika.html

J. Kvasnica a kol.: Mechanika, Academia, Praha 1988, 2004

D. Halliday, R. Resnick, J. Walker: Fyzika, Vutium, Brno 2000

Z. Horák, F. Krupka: Fyzika, SNTL, Praha 1976

R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands: Feynmanovy přednášky z fyziky I, II, Fragment, Praha 2000

J. Obdržálek, A. Vaněk: Termodynamika a molekulová fyzika, skriptum, PF Ústí n.L., 2000

R. Bakule, E. Svoboda : Molekulová fyzika, Academia, Praha 1992

R. Bakule, J. Brož: Molekulová fyzika, skriptum, UK, Praha 1982

Cvičení:

J. Fährnich, A. Havránek, D. Slavínská: Příklady z mechaniky, skriptum, Karolinum, Praha 2001

J. Brož, M. Rotter: Příklady z molekulové fyziky, skriptum , SPN, Praha 1980, 1986

Doplňková:

P. Atkins, Čtyři zákony, které řídí vesmír, Academia 2012

J. Kvasnica: Matematický aparát fyziky, 2. oprav. vyd., Academia 1997

W. Greiner: Classical Mechanics: Point Particles and Relativity, Springer 2004

W. Greiner: Classical Mechanics: Systems of Particles and Hamiltonian Dynamics, Springer 2004

I.G. Main: Kmity a vlny ve fyzice, Academia, Praha 1990

Fyzika – nauka o přírodě

- φύσις = příroda
- φυσική = nauka o přírodě
- původně součástí filosofie, vydělila se v 16. století
- v širším chápání dodnes „filosofie přírody“
- např. v angličtině Natural Philosophy = fyzika

Filozofie zkoumání ve fyzice

metody

- **empirické** metody – pozorování, experiment
- **teoretické** metody – hypotézy, modely + ověření

logické postupy

- metoda **deduktivní**
 - *deduktio* = odvození
 - základní princip důkazu (předpoklad → závěr)
 - od celku k detailům
 - odvození teorie z axiomů
- metoda **induktivní**
 - zobecnění, generalizace
 - od detailu k celku
 - pozorování → zákonitost (neúplná indukce)
 - nesměšovat s „matematickou indukcí“, což je deduktivní postup!

v přírodních vědách se oba postupy kombinují

- shromažďování pozorování → axiomy (indukce)
- odvození teorie z axiomů (dedukce)
- porovnání závěrů dedukce s experimentem → korekce axiomů

(Klasická) mechanika (μηχανική)

- mechané = nástroj
- chování fyzikálních těles při působení síly
- popis pohybu těles v prostoru a čase
- změny velikostí a tvarů těles

- klasická vs. kvantová
 - velké počty částic (tuhé těleso), velké rozměry
- newtonovská vs. relativistická
 - malé rychlosti, malé hmotnosti

Historický přehled vývoje mechaniky

- mechanika propojena s rozvojem techniky
- totéž platí i pro další oblasti fyziky – např. termodynamika
- jednoduché stroje (páka, kolo, kladka) známy odedávna
- vytváření strojů – i dnes často empirické
- zkoumání principů přichází později
- jak jsou vlastně staré poznatky v učebnicích?

Mechanika ve starověku

- Aristoteles (384 – 322 př.n.l., Řecko)
 - *Organon* (Ὀργανον= nástroj) – 6 knih o logice a jejím využití při zkoumání světa
 - zakladatel nového filosofického směru, jeho díla ovlivnila středověké myslitele (Bacon, *Novum Organum*)
 - *Physica* (Φυσικὴ ἀκρόασις=lekce o přírodě) – 8 knih o principech pohybu, snaží se nejen popisovat, ale také objevovat podstatu
 - deduktivní přístup („zdravý rozum“, každodenní pozorování, náboženské texty)
 - minimum připravených experimentů ⇒ výsledky pozorování často zkresleny a interpretovány nevhodně

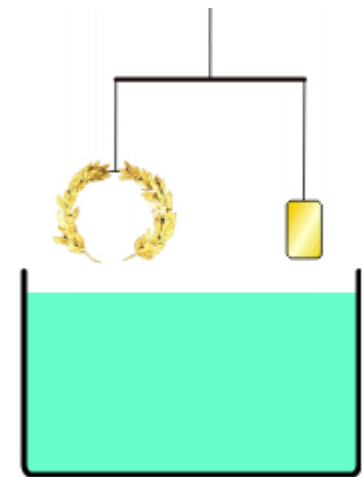
Mechanika ve starověku

- Aristoteles – fyzikální představy, které přetrvaly tisíc let
 - různé zákonitosti pro pohyb těles
 - v prostoru okolo Země
 - v oblasti nebeských těles
 - těleso je udržováno v pohybu neustálým působením vnější síly; když přestane působit síla, pohyb (vzhledem k zemi) se zastaví
 - pro pohyb je podstatné médium – vzduch okolo šípů prostřednictvím vírů a vibrací posunuje šíp vpřed (tlačí ho zezadu) – filosofický princip *antiperistasis* – (περίστασις = okolí) určitá vlastnost zdůrazní působení opačné vlastnosti – vysvětlovalo se tak leccos (zahřátí vápence při polití studenou vodou, vznik hromu a blesku)

Mechanika ve starověku

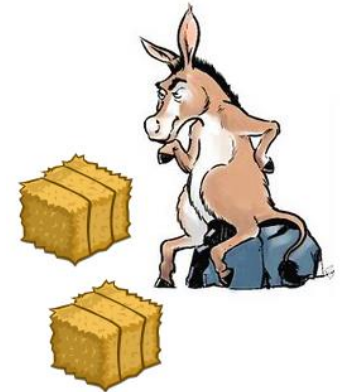
- Aristarchos ze Samu (asi 320 – 250 př. n. l., Řecko)
 - matematik a astronom
 - tvůrce heliocentrického modelu vesmíru

- Archimédes (287 – 212 př.n.l., Sicílie)
 - matematik, fyzik, astronom
 - proslul jako vynálezce a experimentátor
 - nepřipravoval pokusy
 - dobrý pozorovatel



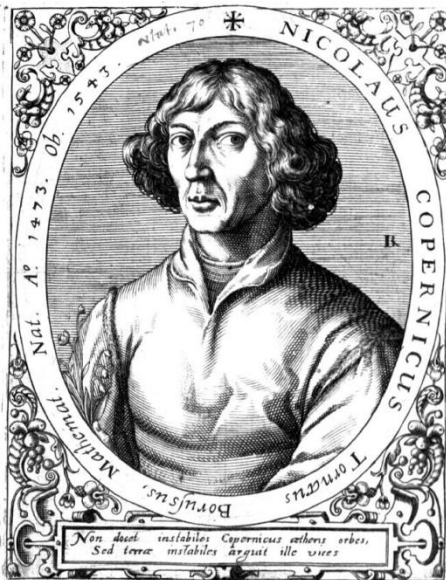
Mechanika ve středověku

- Jan Filoponos (~490 – ~570, Alexandrie)
 - odvážil se jako první kritizovat Aristotela
 - nauka o pohybu; impetus – předchůdce impulsu
- Avicenna neboli Ibn Sína, celým jménem Abú Alí al-Husajn ibn Abdulláh ibn Sína (~980–1037, Persie)
 - filosof, přírodovědec, lékař
 - studie pohybu střel
- Jean Buridan, latinsky Joannes Buridanus (~1300 – ~1358, Francie)
 - zpřesnění teorie impetu, snaha o kvantifikaci
- Nicole Oresme ([ɔʁɛm], ~1320 – 1382, Francie)
 - princip relativity (nelze dokázat, že by Země byla nehybná a nebe se otáčelo)
 - změna impetu souvisí se zrychlením



Mechanika v období renesance

- Mikołaj Kopernik (latinsky Nicolaus Copernicus (1473 – 1543, Polsko)
 - rozvinul představy starořeckých heliocentriků (Aristarchos ze Samu)
 - *De Revolutionibus orbium coelestium libri VI* (Šest knih o oběžích sfér nebeských)



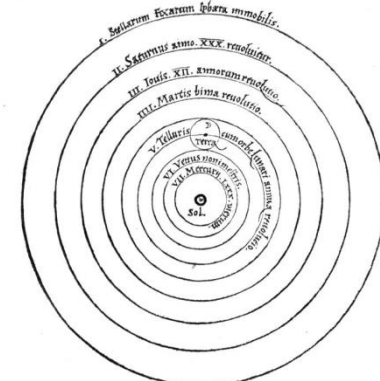
NICOLAI COPERNICI TORINENSIS DE REVOLUTIONIBUS ORBIUM COELESTIUM, Libri VI.

Habes in hoc opere iam recens nato, & aedito, studiose lector, Motus stellarum, tam fixarum, quam erraticarum, cum ex veteribus, tum etiam ex recentibus observationibus restitutos; & notis insuper ac admirabilibus hypotheseos ornatos. Habes etiam Tabulas expeditissimas, ex quibus cōdem ad quodvis tempus quāam facillime calculare poteris. Igitur eme, lege, fructe.

Αναquistης εις το εις.

Norimbergae apud Ioh. Petreium, Anno M. D. XLIII.

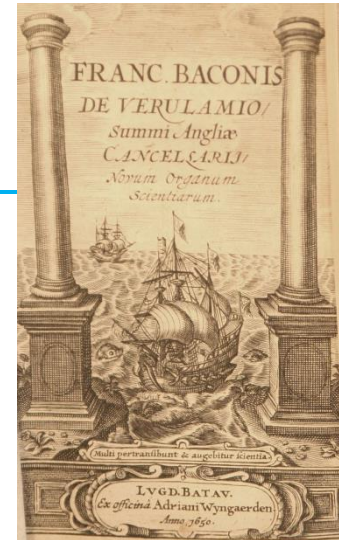
NICOLAI COPERNICI
net, in quo terram cum orbe lunari tanquam epicyclo contineri diximus. Quinto loco Venus nono mense reductur, Sextum denique locum Mercurius tenet, octuaginta dierum spacio circum currens. In medio uero omnium residet Sol. Quis enim in hoc



pulcherrimo templo lampadem hanc in alio uel meliori loco poneret, quā unde totum simul possit illuminare: Siquidem non inepte quidam lucernam mundi, alij mentem, alij rectorem uocant. Trimegistus uisibilem Deum, Sophodis Electra inueniētē omnia, ita profecto tanquam in folio re galii Sol residens circum agentem gubernat Astrorum familiam. Tellus quoque minime fraudatur lunari ministerio, sed ut Aristoteles de animalibus ait, maximā Luna cū terra cognatio nē habet, Concipit interea à Sole terra, & impregnatur annuo partu. Inuenimus igitur sub hac

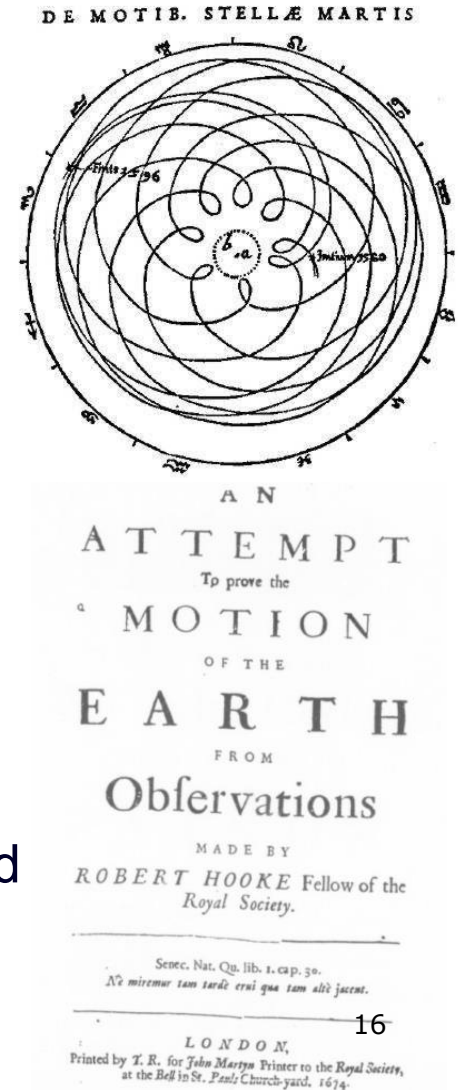
Mechanika v období renesance

- Francis Bacon (1561 – 1626, Anglie)
 - význačný filosof, také právník a státník
 - vydělil fyziku z přírodní vědy jako celku
 - *Novum Organum Scientiarum* (1620)
 - indukativní metody zkoumání (základ = přesné pozorování)
- Galileo Galilei (1564 – 1642, Itálie)
 - astronom, filosof, fyzik
 - odmítá slepou důvěru k autoritám (Aristoteles, církev)
 - *Dialog o dvou světových systémech – Ptolemaiově a Koperníkově* (1632)
 - princip relativity, zákon setrvačnosti



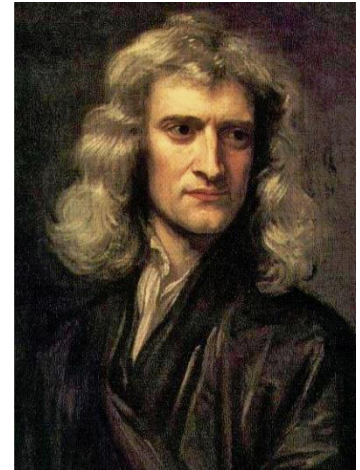
Moderní pojetí klasické mechaniky

- Johannes Kepler (1571 – 1630, Německo)
 - matematik, astronom, astrolog
 - zákonitosti pohybu nebeských těles
- René Descartes (lat. Renatus Cartesius, 1596 – 1650, Francie)
 - zakladatel analytické geometrie
 - kartézský systém souřadnic
 - zákon zachování hybnosti (při rázu)
- Robert Hooke (1635 – 1703, Anglie)
 - filosof, fyzik, astronom, vynálezce, architekt
 - Hookeův zákon, mikroskop, zrcadlový dalekohled



Moderní pojetí klasické mechaniky

- Isaac Newton (1643 – 1727, Anglie)
 - fyzik, matematik, filosof, teolog
 - *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687)
 - zákon všeobecné gravitace a tři zákony pohybu
 - propojení s Keplerovými zákony \Rightarrow předměty na Zemi se pohybují dle stejných pravidel jako planety
 - zachování hybnosti a momentu hybnosti
- Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 – 1716, Německo)
 - matematik, filosof a teolog
 - *Specimen Dynamicum* (1695) – často ve sporu s I.N.
 - ZZ kin. energie (*vis viva*) vs. ZZ hybnosti
 - prostor a čas relativní vs. absolutní
- Albert Einstein (1879 Německo – 1955 USA)
 - princip relativity, teorie gravitace



Čím se zabývá termodynamika a molekulová fyzika

■ termodynamika

- fenomenologická věda
- vznikla z potřeby zefektivnit přeměnu tepelné energie na mechanickou
- zkoumá přeměny tepla na jiné formy energie
- nezkoumá vnitřní uspořádání látek

■ molekulová fyzika

- předpokládá vnitřní strukturu látek blížící se skutečnosti (atomy, molekuly)
- modeluje jejich chování
- porovnáním se závěry TD získává další informace (např. souvislost teploty s rychlostí pohybu molekul v plynu)

Hmota – látka x pole

klasické pojetí:

- látka = z částic s klidovou hmotností
- pole = neskládá se z částic, ale projevuje se jako kontinuum ve svých vlastnostech

současnost (standardní model vesmíru):

- látkové částice = kvarky a leptony (fermiony, poločíselný spin)
- polní částice = intermediální (bosony, celočíselný spin)
- korpuskulárně vlnový dualismus

dohromady tvoří tato tzv. svítící hmota pouze 5% celkové energie vesmíru

- 27% tvoří temná hmota
- 68% tvoří temná energie

a o nich nevíme vůbec nic (2013)

nesměšovat s matematickým významem pojmu pole!

Fyzikální pole

ve fyzikálním smyslu (v klasickém pojetí) forma hmoty zprostředkující silové působení mezi látkovými částicemi (elektrické, magnetické, gravitační,...)

v matematickém smyslu prostorové rozložení libovolné fyzikální veličiny – nejen elektrické či gravitační, ale také silové, teplotní, tlakové apod.

- skalární pole – prostorové rozložení skalární veličiny (tlakové nebo teplotní pole)
- vektorové pole – prostorové rozložení vektorové veličiny (elektrické pole, rychlostní pole v kapalině, silové pole)
- homogenní pole – veličina nezávisí na souřadnici
- stacionární pole – veličina nezávisí na čase

atributy prostředí (látka i pole)

- homogenní (x heterogenní) – vlastnosti stejné ve všech místech
- izotropní (x anizotropní) – vlastnosti stejné ve všech směrech

Fyzikální veličiny

- extenzivní (*kvantita – hmotnost, náboj*) x intenzivní (*kvalita – teplota, tlak*)

veličina = číselný údaj krát jednotka

soustava jednotek

- praktické a ekonomické potřeby – technika, obchod
- porovnatelnost experimentů

problémy

- které veličiny základní
- jak definovat jednotky (reprodukovatelnost, přesnost)
- závislost či nezávislost (konstanty v rovnicích x jednoduchost, praktické důsledky)

Stručná historie fyzikálních jednotek

- 1790-1799 Francie – kilogram a metr (Lavoisier, Laplace, Legendre)
- 1832 Německo – systém jednotek založený na mm-mg-s užit na kvantifikaci zemského magnetického pole (Gauss, Weber)
- 1860 Anglie – systém jednotek pro elmg. pole i další oblasti (Maxwell, Thomson/Lord Kelvin) – systém CGS (výhoda – jednoduché rovnice, nevýhoda – nejednoznačnost, která se kvůli živelnosti projevila)
EMU CGS – proud vyjádřen z Ampérova zákona pomocí sil a délek (biot)
ESU CGS – proud vyjádřen z Coulombova zákona pomocí sil, délek a času (franklin/sekunda)
v každé z rovnic vystupuje jiná konstanta, navíc i rozměr proudu je jiný:
$$1\text{Bi} = g^{1/2} \cdot \text{cm}^{1/2} / \text{s} \qquad 1\text{Fr/s} = g^{1/2} \cdot \text{cm}^{3/2} / \text{s}^2$$
- 1901 doplněn ampér – vznik MKSA (technická soustava)
- 1960 SI (le Système International d'Unités)
nevýhoda – více konstant
výhoda – jednoznačně definované jednotky

Základní jednotky SI

<u>Fyzikální veličina</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Značka</u>
Délka	metr	m
Hmotnost	kilogram	kg
Čas	sekunda	s
Elektrický proud	ampér	A
Termodynamická teplota	kelvin	K
Látkové množství	mol	mol
Svítivost	kandela	cd

Aktuální definice základních jednotek SI

- Čas:** 1 sekunda je doba trvání 9 192 631 770 period záření, odpovídající přechodu mezi dvěma hyperjemnými hladinami základního stavu atomu ^{133}Cs .
- Délka:** 1 metr je délka dráhy, kterou urazí světlo ve vakuu za 1/299 792 458 sekundy.
- Hmotnost:** 1 kilogram definován hmotností mezinárodního prototypu kilogramu, který je uložen v Mezinárodním úřadě pro váhy a míry v Sèvres u Paříže. *(Připravovaná nová definice kilogramu se má opírat o pevně stanovenou Planckovu konstantu. 2018?)*
- Elektrický proud:** 1 ampér 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. *(Připravovaná nová definice ampéru se má opírat o pevně stanovenou hodnotu elementárního náboje 2018?)*
- Termodynamická teplota:** 1 kelvin je 1/273,16 díl absolutní teploty trojného bodu vody. *(Připravovaná nová definice kelvinu se má opírat o pevně stanovenou Boltzmannovu konstantu. 2018?)*
- Svítivost:** 1 kandela je svítivost zdroje, který v daném směru vysílá monochromatické záření s frekvencí 540×10^{12} Hz, a jehož zářivost v tomto směru je 1/683 W/sr.
- Látkové množství:** 1 mol je takové množství, které obsahuje tolik elementárních jednotek (atomů, molekul, iontů, elektronů...), kolik je uhlíkových atomů v 12 g uhlíku ^{12}C . Podle současných znalostí je v tomto množství uhlíku $(6,022\ 143\ 79 \pm 0,000\ 000\ 30) \times 10^{23}$ atomů. *(Připravovaná nová def. molu se má opírat o pevně stanovenou Avogadrovu konstantu. 2018?)*

Standardní předpony pro jednotky SI

Násobky

Jméno	deka-	hekto-	kilo-	mega-	giga-
Prefix	da	h	k	M	G
Faktor	10^1	10^2	10^3	10^6	10^9

Jméno	tera-	peta-	exa-	zetta-	yotta-
Prefix	T	P	E	Z	Y
Faktor	10^{12}	10^{15}	10^{18}	10^{21}	10^{24}

Zlomky

Jméno	deci-	centi-	mili-	mikro-	nano-
Prefix	d	c	m	μ	n
Faktor	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}

Jméno	piko-	femto-	atto-	zepto-	yocto-
Prefix	p	f	a	z	y
Factor	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}	10^{-21}	10^{-24}

Praktické závěry

- kilo- je sice std. předpona, ale v SI je kilogram základní jednotkou
- CGS, MKSA, SI jednotky užívané v mechanice i termodynamice mají stejný rozměr, jen je třeba dát pozor na řády ($m \leftrightarrow cm$, $kg \leftrightarrow g$)
- v jiných oblastech fyziky (kde se uplatní elektřina a magnetismus) se liší nejenom jednotky a jejich rozměry, ale také vzorce (jiné číselné konstanty); pozor při přejímání vztahů zejména ze starší literatury
- možnost porovnávat výsledky experimentů – praktikum
- rozměrová analýza
 - odhalení chyb ve výpočtu
 - interpretace rovnic