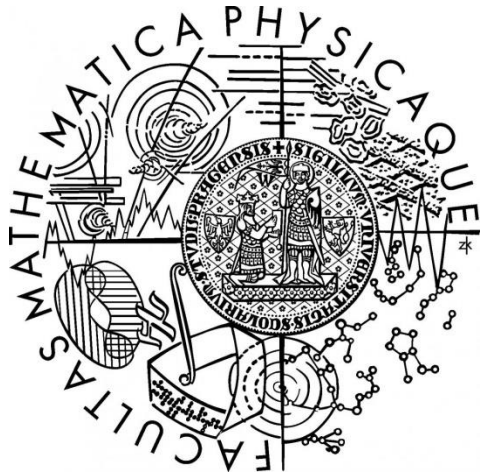


# NOFY021 – Mechanika, molekulová fyzika a termodynamika



# 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

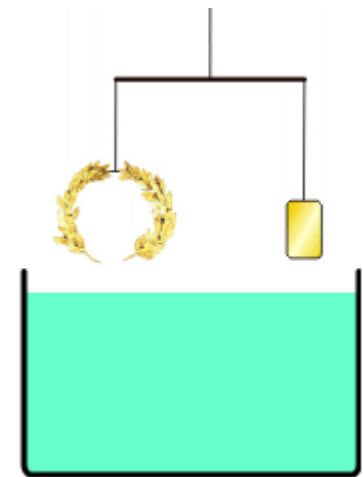
---

- 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

---

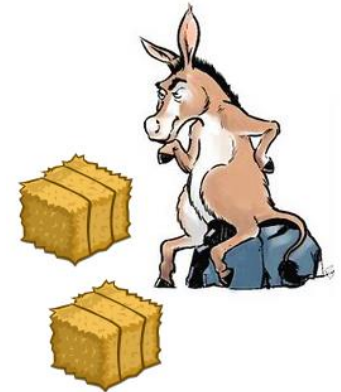
- Aristarchos ze Samu (asi 320 – 250 př. n. l., Řecko)
  - matematik a astronom
  - tvůrce heliocentrického modelu vesmíru
  
- Archimédes (287 – 212 př.n.l., Sicílie)
  - matematik, fyzik, astronom
  - proslul jako vynálezce a experimentátor
  - nepřipravoval pokusy
  - dobrý pozorovatel





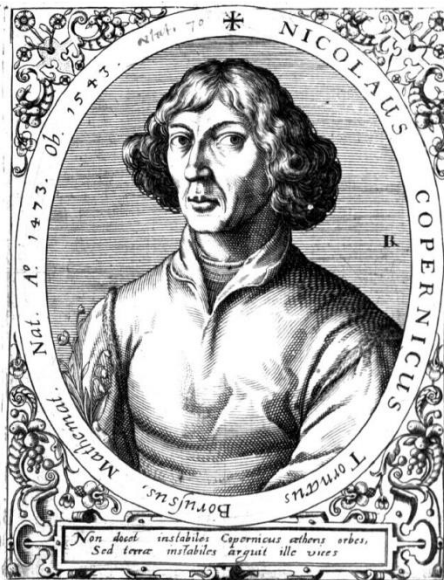
# Mechanika ve středověku

- 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 obězích sfér nebeských)



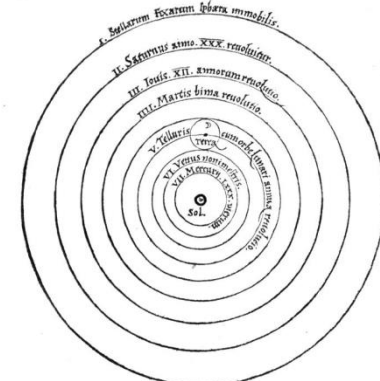
## NICOLAI COPERNICI TORINENSIS DE REVOLUTIONIBVS ORBIUM COELESTIVM, Libri VI.

Habes in hoc opere iam recens nato, & edito, studiose lector, Motus stellarum, tam fixarum, quam erraticarum, cum ex veteribus, tum etiam ex recentibus obseruationibus restitutos; & notis insuper ac admirabilibus hypothesebus ornatos. Habes etiam Tabulas expeditissimas, ex quibus eisdem ad quoduis tempus quam facillime calculare poteris. Igitur eme, lege, fructe.

Ανατύπωση από το Βιβλίο

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

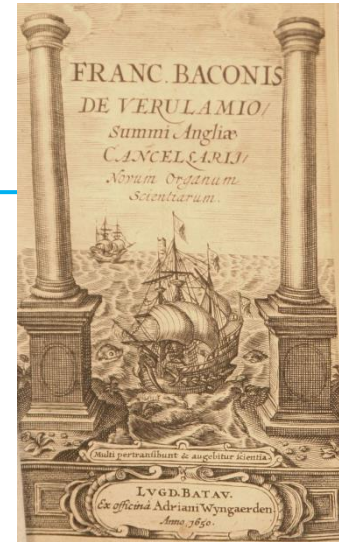
NICOLAI COPERNICI  
net, in quo terram cum orbe lunari tanquam epicyclo contineri diximus. Quinto loco Venus nono mense reductur, Sextum denique locum Mercurius tenet, octuaginta dierum spacio circum currens. In medio uero omnium residet Sol. Quis enim in hoc



pulcherrimo templo lampadem hanc in alio uel meliori loco poneret, quam unde totum simul possit illuminare: Siquidem non inepte quidam lucernam mundi, alij mentem, alij rectorem uocant. Trimegitus uisibilem Deum, Sophocles Electra intuentē omnia, ita profecto tanquam in folio re gali 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

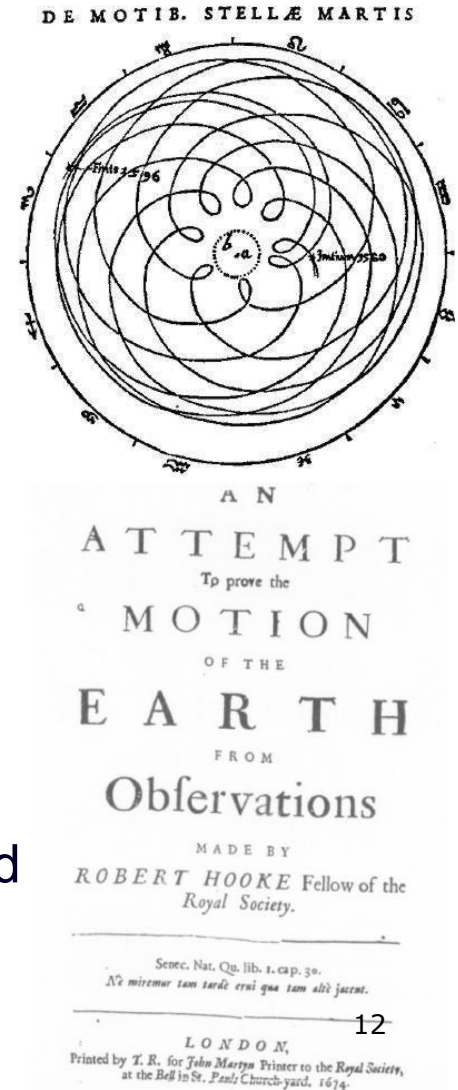
# Mechanika v období renesance

- 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

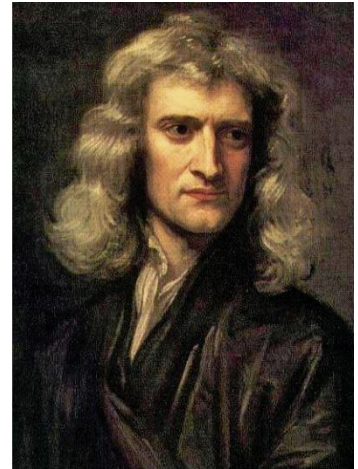
- Johannes Kepler (1571 – 1630, Německo)
  - matematik, astronom, astrolog
  - zákonitosti pohybu nebeských těles
- René Descartes (lat. Renatus Cartesius, 1596 – 1650, Francie)
  - zakladatel analytické geometrie
  - kartézský systém souřadnic
  - zákon zachování hybnosti (při rázu)
- Robert Hooke (1635 – 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, poločíslný spin)
- polní částice = intermediální (bosony, celočíselný spin)
- korpuskulárně vlnový dualismus

dohromady tvoří tato tzv. svítící hmota pouze 4% celkové energie vesmíru

- 23% tvoří temná hmota
- 73% tvoří temná energie

a o nich nevíme vůbec nic

**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  $^{133}\text{Cs}$ .

**Délka:** 1 metr je délka dráhy, kterou urazí světlo ve vakuu za  $1/299\,792\,458$  sekundy.

**Hmotnost:** 1 kilogram je definován na základě pevně stanovené hodnoty Planckovy konstanty  $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$  J.s neboli  $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ , kde metr a sekunda jsou definovány výše.

**Elektrický proud:** 1 ampér je definován na základě pevně stanovené hodnoty elementárního náboje  $1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$  C neboli A.s, kde sekunda je definována výše.

**Termodynamická teplota:** 1 kelvin je definován na základě pevně stanovené hodnoty Boltzmannovy konstanty  $1.380\,649 \times 10^{-23}$  J.K $^{-1}$  neboli  $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ , kde kilogram, metr a sekunda jsou definovány výše.

**Svítivost:** 1 kandela je svítivost zdroje, který v daném směru vysílá monochromatické záření s frekvencí  $540 \times 10^{12}$  Hz ( $\sim 555$  nm), a jehož světelná účinnost v tomto směru je  $683$  lm.W $^{-1}$  neboli cd.sr.W $^{-1}$  neboli cd.sr.kg $^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^3$ , kde kilogram, metr a sekunda jsou definovány výše.

**Látkové množství:** 1 mol je takové množství látky, které obsahuje přesně  $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$  elementárních jednotek (atomů, molekul, ...). Toto číslo se nazývá Avogadrovým číslem a představuje pevnou hodnotu Avogadrovy konstanty v jednotkách mol $^{-1}$ .

# 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	$\mu$	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