

# Základy fyziky

Fyzika v kocke

Juraj Tekel

Katedra teoretickej fyziky a didaktiky fyziky  
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky  
Univerzita Komenského, Bratislava



Týždeň vedy a techniky,  
FMFI UK, Bratislava, 8.11.2018  
[juraj.tekel@gmail.com](mailto:juraj.tekel@gmail.com)



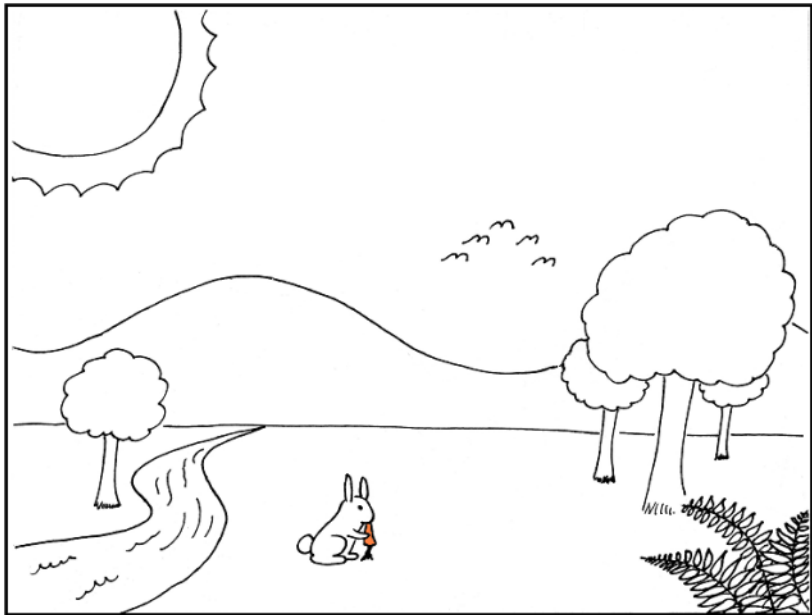
# O čom budeme rozprávať?

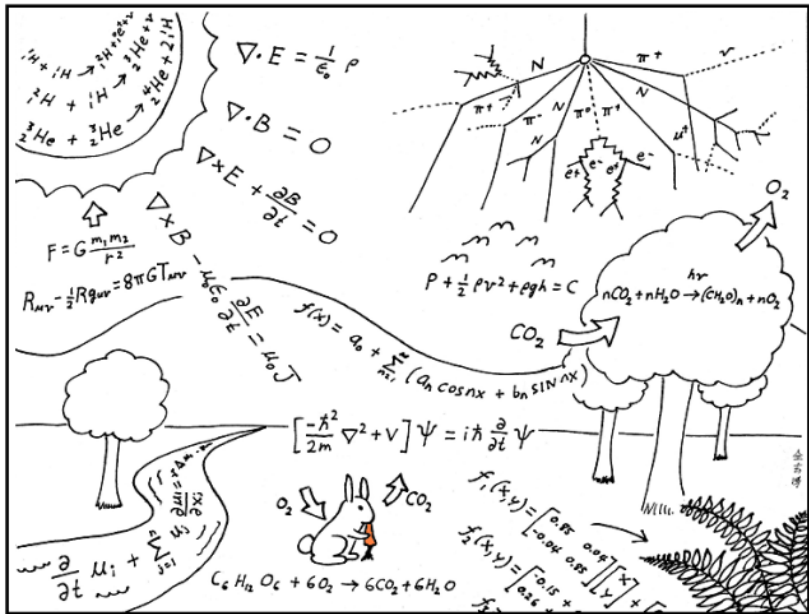
- Čo to je fyzika?
- Teoretickým a experimentálnym prístup
- Všeobecné princípy a idey fyziky
- Mapa fyziky
- História fyziky



# Čo je to fyzika







Delenie prírody na fyziku, chémiu, biológiu je užitočné, ale umelé.  
Príroda je len jedna.



# Čo je to fyzika

Fyzika je veda = popisuje pravidlá a predpovedá budúcnosť.

Objekt záujmu teraz



Nejaké pravidlá



Objekt záujmu neskôr

Tiež nás zaujíma aké sú zaujímave vlastnosti systému a ako sa menia.

Objektom záujmu fyziky sú neživé veci a pravidlá na fundamentálnej úrovni.





# Čo je to fyzika

Napríklad:

- z toho, kde sú **teraz planéty** povedať, kedy bude ďalšie **zatmenie Slnka**,
- z toho, aké sú von **teplota, tlak a rýchlosť vzduchu** povedať, aké bude **cez víkend počasie**,
- **aký plyn** máme dať do žiarovky, aby svietila **červenou farbou**,
- **aký tlak** má byť v potrubí, aby ním voda tiekla žiadanou **rýchlosťou**.



# Čo je to fyzika

K tomuto treba povedať, že to je strašne pozoruhodné.

- Je zaujímavé, že vôbec existujú pravidlá sveta. Navyiac tie naše sú ohromne jednoduché.
- Je zaujímavé, že sú ohromne jednoduché.
- Je zaujímavé, že tieto pravidlá sa dobre popisujú matematikou.
- Je zaujímavé, že sa v tak zložitom svete vôbec niečo dá rozumne porátať.



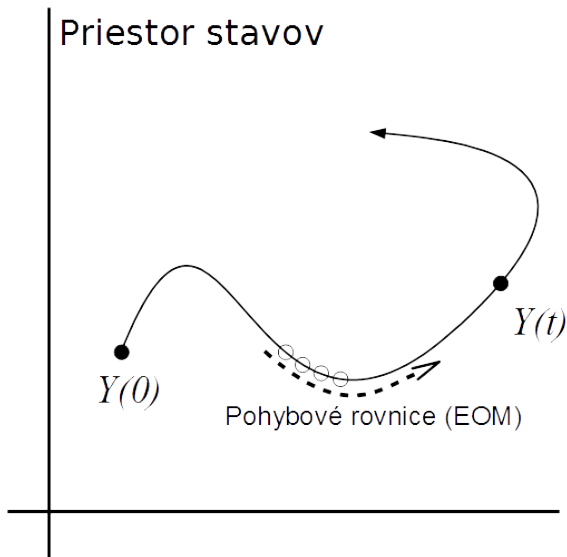
# Čo je to fyzika

V prípade fyziky to konkrétne znamená:

- systém je popísaný množinou všetkých svojich možných stavov,
- pravidlá sú dané vo forme rovníc, ktoré hovoria ako sa tento stav mení,
- tieto rovnice sú zväčša diferenciálne, tj. iterujú zmenu za veľmi krátky čas,
- zaujímavé vlastnosti (fyzikálne veličiny) sú potom funkcie meniaceho sa stavu.

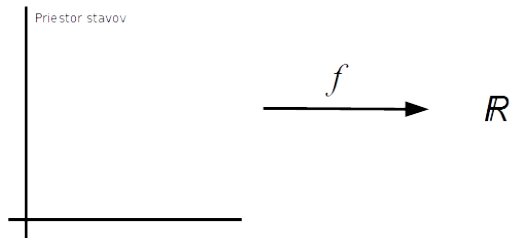


# Čo je to fyzika



# Čo je to fyzika

Fyzikálna veličina:



$$f(t) = f(Y(t))$$



# Čo je to fyzika

Príklady.

- **Voľná vec na priamke.**

Stavy =  $\mathbb{R}^2$  (poloha a rýchlosť)

Veličiny = rýchlosť, zrýchlenie, energia, hybnosť

$$\text{EOM } \frac{d^2x}{dt^2} = 0$$

- **Vec na priamke v konštantom silovom poli.**

Stavy =  $\mathbb{R}^2$  (poloha a rýchlosť)

Veličiny = rýchlosť, zrýchlenie, energia, hybnosť

$$\text{EOM } \frac{d^2x}{dt^2} = F$$

- **Dve veci v rovine s interakciou.**

Stavy =  $\mathbb{R}^8$  ( $2 \times 2 \times$  poloha a  $2 \times 2 \times$  rýchlosť)

Veličiny = rýchlosť, zrýchlenie, energia, hybnosť, celková energia, celková hybnosť, potenciálna energia

$$\text{EOM } \frac{d^2\vec{x}_{1,2}}{dt^2} = -\vec{\nabla}_{1,2}V(|\vec{x}_1 - \vec{x}_2|)$$

- **Elektromagnetické pole.**

Stavy = dve sady vektorových polí  $\vec{E}(\vec{x}), \vec{B}(\vec{x})$

Veličiny = hustota energie, hustota hybnosti, tok energie, magnetický tok (cez nejakú plochu), ...

EOM = Maxwellove rovnice



# Teoretický vs. Experimentálny prístup



# Teoretický vs. Experimentálny prístup

- Sú dva principiálne rôzne prístupy k fyzike a fyzikálnym problémom.
- Experimentálny - "stláčam gombíky a kukám, čo to robí", ale aké gombíky? ako stláčať? na čom? na čo sa pozeráť?
- Teoretický - ako matematizovať problém tak, aby to dávalo zmysel a čo z takejto matematizácie vyplýva.
- Zväčša sa dopĺňajú, podporujú a navzájom si kladú otázky.
- V každej z oblastí fyziky to znamená vždy niečo trochu iné.

Táto prednáška je skôr z teoretického pohľadu.





# Teoretický vs. Experimentálny prístup

- Požiadavka na matematickú konzistentnosť vie dávať nové predpovede.
- Fyzikálne modely sú niečo ako piktogramy.



# Základné princípy fyziky



## Presne riešiteľné problémy.

- Skutočné problémy sa ukazujú byť veľmi komplikované a rovnice je možné doriešiť do konca len občas.
- Preto sú situácie kedy sa to dá extrémne dôležité.
- Nie je ich veľa.
- Na nich sa potom stavajú ostatné. Niekedy prevedením, niekedy (rozumnou) modifikáciou.



## Rozumné aproximácie.

- Nájsť takúto rozumnú modifikáciu je často hlavným problémom.
- Ide o to popísať systém tak, aby bol náš popis dostatočne presný a zahrňoval javy, ktoré chceme na systéme sledovať. Ale aby bol súčasne dostatočne blízko k niečomu, čo vieme presne spočítať.
- Tu musíme mať na pamäti presnosť, s akou sa vieme na systém pozerieť. Často to chce, hlavne pre experimentátorov, veľký cit pre daný problém.
- Kľúčové slovo je zanedbávanie a kľúčové je vedieť, čo môžeme a čo nemôžeme v danej situácii zanedbať.



## Zotrvačnosť.

- Systémy ponechané samé na seba majú tendenciu niektoré svoje charakteristiky nemeniť. Na zmenu stavu systému je potrebná nejaká vonkajšia dynamika.
- Originál v mechanike a Newtonovi, ale objavuje sa takmer všade vo fyzike, a nie len tam.



## Zákony zachovania.

- Ak existuje veličina, ktorá sa pri časovom vývoji nemení. Napríklad energia, hybnosť, elektrický náboj.
- Existencia zachovávajúcej sa veličiny výrazne obmedzuje možnú dynamiku systému.

## Symetrie.

- Transformácie, ktoré nemenia systém a/alebo jeho dynamiku. Môžu byť vonkajšie (rotácie, časová inverzia, ...) ale aj vnútorné (výmena nábojov, protón/neutrón, ...).
- Ak vieme, že náš systém a/alebo jeho dynamika má nejakú symetriu, tiež to výrazne obmedzuje možnosti, čo sa môže diať. Dôležité aj keď iba približné symetrie.



## Rovnovážne, stacionárne situácie.

- Špeciálne riešenia pohybových rovníc, pri ktorých je časový vývoj stavu triviálny.

$$Y(t) = Y(0)$$

- Vyžaduje špeciálne počiatkové podmienky.
- Dôležité kvôli disipatívnym efektom, lebo pod ich pôsobením systém skôr či neskôr skončí v takomto stave.
- V ich okolí sa často výrazne zjednodušuje dynamika systému a je možné čosi porátať.
- Niekedy môže rovnováha znamenať aj celkom čulý ruch vo vnútri systému, ak sa jeho dôležité vonkajšie vlastnosti nemenia.



## Rozdiel medzi stabilnou a labilnou rovnováhou.

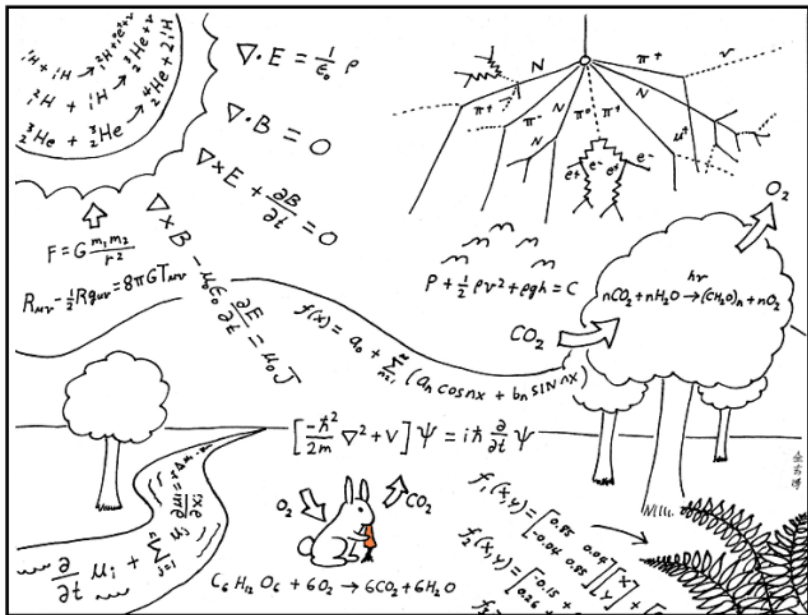
- Nainicializovať systém do rovnovážneho stavu znamená, že v ňom zostane.
- To sa všad dá len veľmi ťažko a vlastne vôbec. Lebo konečná presnosť merania, konečná vedomosť o systéme, motýle v mexiku.
- Dôležité sú také rovnovážne stavy, v ktorých malé vychýlenie nespôsobí (veľké) vzdiaľovanie sa od pôvodného stavu. Hovoríme im stabilné rovnovážne stavy.
- Tie druhé sú labilné a zväčša až také užitočné nie sú.
- Predstava : guľička na kopci vs. guľička v doline.





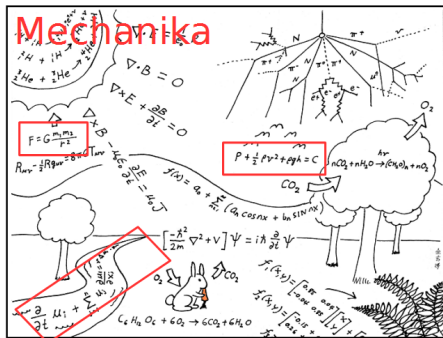
# Mapa fyziky

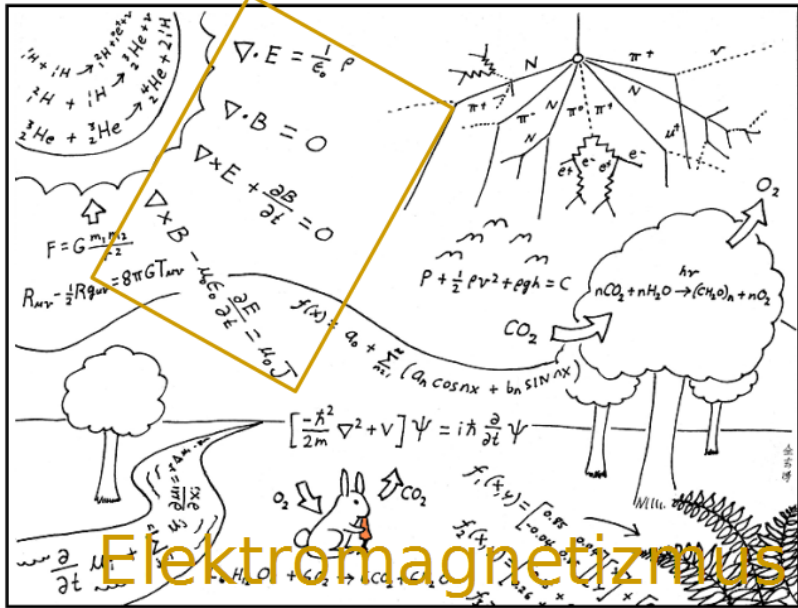






- Pohyb telies alebo skupín telies pod vplyvom rôznych síl.
- Pravidlá - Newtonove pohybové zákony
  - 1 zotrvačnosť,
  - 2 sila  $F = ma$ ,
  - 3 akcia a reakcia.
- Pohyb planét okolo Slnka, tečenie vody, ohýbanie stromov.
- Historicky najstaršia, lebo študuje najdostupnejšie javy.

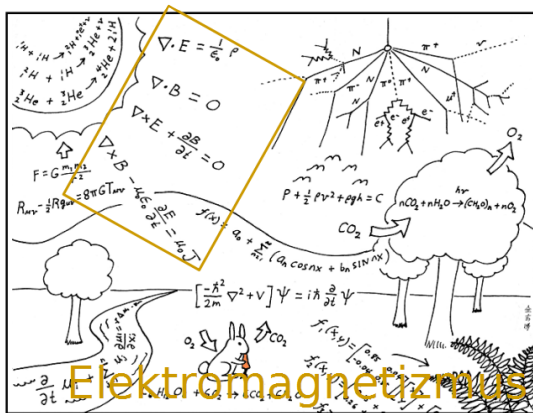




# Elektromagnetizmus



- Pohyb nabitých telies pod vplyvom elektrickej a magnetickej sily. Napríklad elektrické prúdy, vodiče. Viac menej mechanika s Coulombovym zákonom  $F = kq_1q_2/r^2$  (prípadne Lorentzovou silou)
- Ale k tomu čosi (oveľa viac). Elektrické a magnetické polia majú vlastnú dynamiku. Túto popisujú Maxwellove rovnice.
- Elektromagnetické vlny, interakcia týchto vln s nabitými telesami, optika, viditeľné a neviditeľné žiarenie telies.



${}^1\text{H} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^2\text{He} + \gamma$   
 ${}^2\text{H} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$   
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2{}^1\text{H}$

$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho$   
 $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$   
 $\nabla \times \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0$   
 $\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = \mu_0 \mathbf{j} + \mu_0 \epsilon_0 \mathbf{j}_d$

$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$   
 $R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$

$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$   
 $\frac{d}{dx} \left( \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial x} = 0$   
 $P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = C$   
 $n\text{CO}_2 + n\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{h\nu} (\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n + n\text{O}_2$

$[\frac{-\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V] \psi = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi$   
 $f_1(x, y) = \begin{bmatrix} 0.15 & 0.05 \\ -0.05 & 0.15 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$

$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$

$\frac{\partial}{\partial t} (i\hbar \nabla^2 \psi) = \dots$

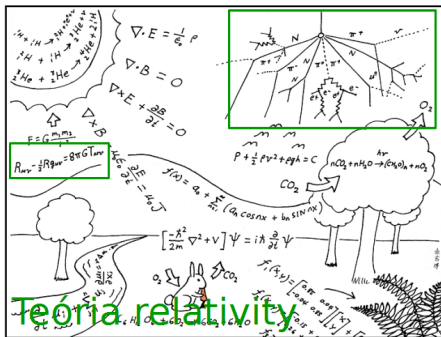
$\text{O}_2$  (input to rabbit)  
 $\text{CO}_2$  (output from rabbit)

**Teória relativity**

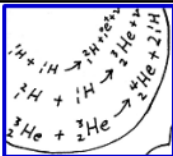


- "Popisuje veci, ktoré sa pohybujú veľmi rýchlo."
- "Nadstavba nad mechanikou."
- Pohybujúci sa elektromagnetizmus. Výsledok snahy spojiť mechaniku a elektromagnetizmus do jedného balenia.
- Objavuje sa fundamentálna rýchlosť "c", rýchlosť svetla. Výsledky ako kontrakcia dĺžky, dilatácia času, ale hlavne relativnosť súčasnosti a ekvivalencia hmotnosti a energie.
- Efekty zväčšia na úrovni  $v^2/c^2$ .

- Zahrnutie gravitácie vedie na "všeobecnú" relativitu a tá na čierne diery, gravitačné vlny.







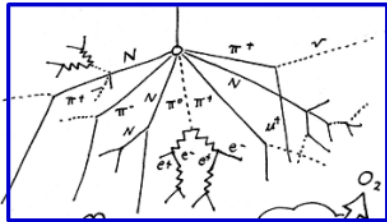
$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

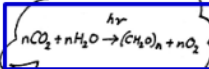
$$\nabla \times \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0$$

$$\mathbf{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$R_{\text{Hv}} = \frac{1}{2} R g_{\text{Hv}} = 8\pi G T_{\text{Hv}} - \frac{1}{2} \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

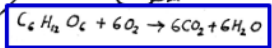


$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = C$$



# Kvantová mechanika

$$\left[ \frac{-\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V \right] \psi = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi$$



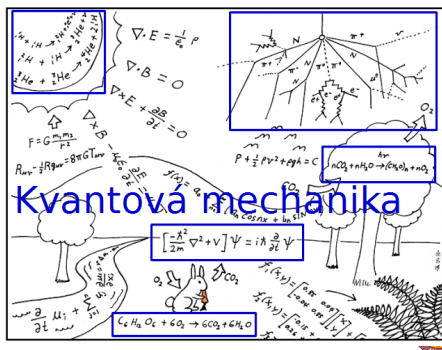
$$\begin{aligned}
 f_1(x,y) &= \begin{bmatrix} 0.15 & 0.05 \\ -0.05 & 0.05 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \\
 f_2(x,y) &= \begin{bmatrix} 0.15 & 0.05 \\ 0.05 & 0.05 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$



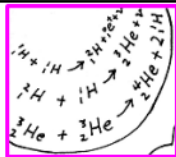
- "Fyzika veľmi malého."
- "Nadstavba nad mechanikou."
- Nadstavba nad časťou mechaniky.
- Riešenie rozporu medzi pozorovanými vlastnosťami sveta a mechanikou. Fotoelektrický efekt, Comptonov rozptyl, diskkrétne spektrum prvkov.
- "Energia sa môže šíriť iba po dávkach." Vlnovo - časticová dualita.
- Opäť nová fundamentálna konštanta  $\hbar$ , schrödingerova rovnica, objavujú sa pravdepodobnosti.
- Prakticky všetko, čo si viem predstaviť, sa s istou pravdepodobnosťou môže stať.

Pre "veľké" veci je tá pravdepodobnosť lokalizovaná na jednom jave, pre "malé" sú rozumne pravdepodobné rôzne možnosti. Tieto možnosti sú často diskkrétne.

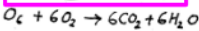
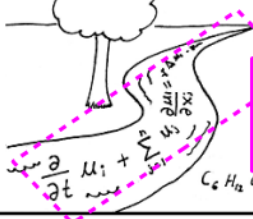
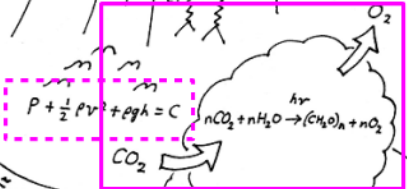
- Chémia je (tak trochu) fyzika.



# Termodynamika a Štatistická fyzika



$\nabla \times \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0$   
 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$   
 $R_{\text{Hv}} = \frac{1}{2} R_{\text{gvr}} = 8\pi G T_{\text{Hv}}$   
 $\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = 40 \text{ J}$   
 $f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$



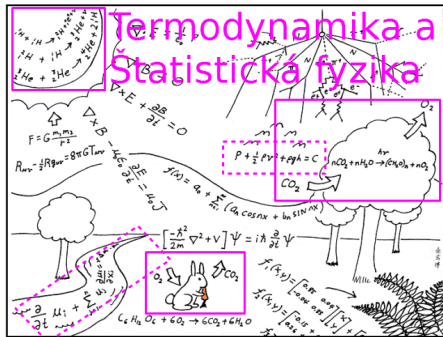
$[-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V] \Psi = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi$   
 $f_1(x,y) = \begin{bmatrix} 0.15 & 0.05 \\ -0.05 & 0.15 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \dots$   
 $f_2(x,y) = \begin{bmatrix} 0.15 & 0.05 \\ 0.05 & 0.15 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \dots$



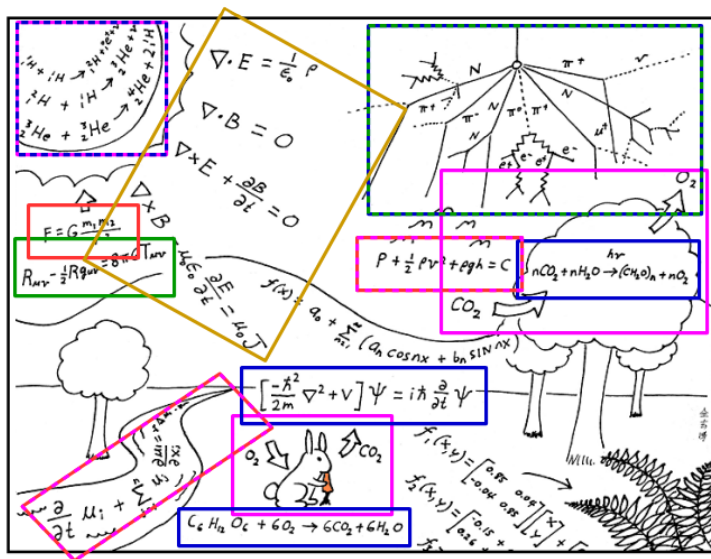
- Systémy s obrovským množstvom stupňov voľnosti  $\sim 10^{26}$ . Vtedy sú dôležité iba nejaké "priemerné" vlastnosti, vzťahy medzi nimi sú často vcelku nezávislé od mikroskopickej fyziky systému.
- Termodynamické zákony - prvý = zákon zachovania energie, druhý = systémy sa chcú dostávať do (spoločného) rovnovážneho stavu.
- Štatistická fyzika toto všetko vysvetľuje z prvých princípov, tj. vysvetľuje priemerovanie.
- Zaujímavé sú rozdelenia

pravdepodobnosti na množine stavov.

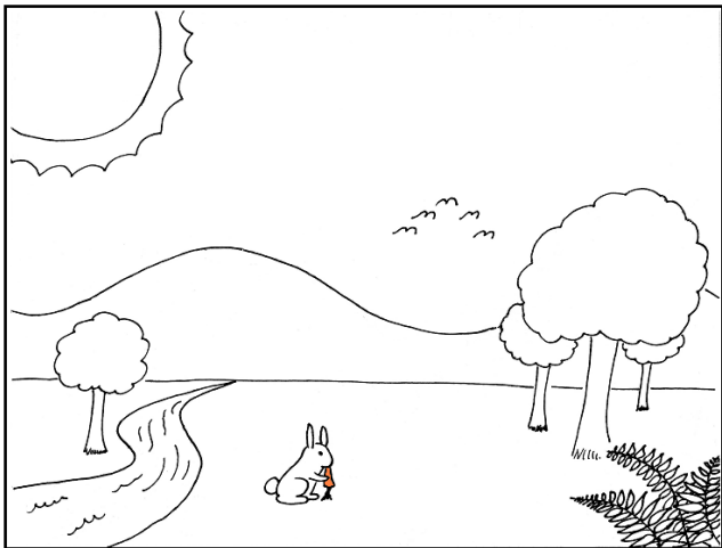
- Dôležitú úlohu hrá zákon veľkých čísel.



# Mapa fizyki



# Mapa fyziky



# História fyziky



← Newton 1666 ↔ "klasická fyzika" ↔ Einstein 1905 → "moderná fyzika"





## 1666 - Annus Mirabilis

- Mor a zavretý Cambridge, Newton vymyslel calculus a jeho aplikáciu v mechanike a geometrickej optike.
- 1687 - Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica
- Tri strašne dôležité veci
  - Zotrvačnosť.
  - Zákony prírody sú napísané v matematike.
  - Zjednotenie nebeskej a pozemskej mechaniky.

## 1905 - Annus Mirabilis

- Einstein publikoval 4 práce, ktoré znamenali kľúčový obrat v troch z oblastí fyziky.
- Špeciálna relativita - fundamentálnosť rýchlosti svetla.
- Fotoelektrický efekt - svetlo môže byť aj častica.
- Brownov pohyb - definitívny test existencie atómov.

Oba tieto zázračné roky nespádli z neba, ale sú dôsledkom postupného kumulovania vedomostí a nápadov od veľkého množstva ľudí. Len to vždy chcelo génia s finálnou ideou, čo to dal všetko dohromady.



Dva ďalšie dôležité momenty.

- Aristoteles (384-322 BC) - vznik prírodných vied oddelených od filozfie v tom, že hlavným testom platnosti hypotéz je experiment.
- 1862 - Maxwellova elektrodynamika a zahrnutie optiky do elektromagnetizmu.

Pokrok vo fyzike je veľmi často spojený v pokrokom v technológií a s potrebou lepšie vysvetliť staré alebo aspoň nejak pochopiť novoobjavé javy.



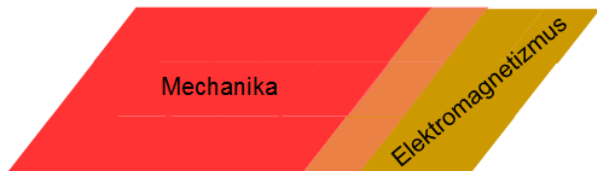


Mechanika

Optika a elektrina



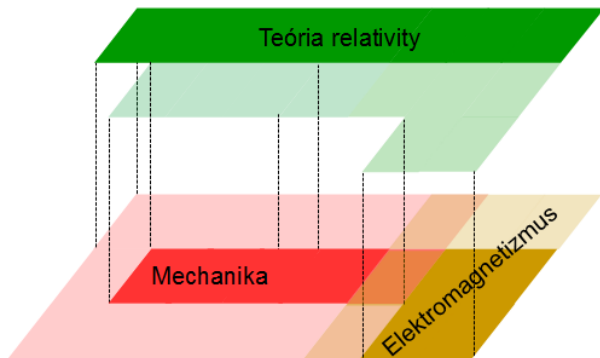
~1865

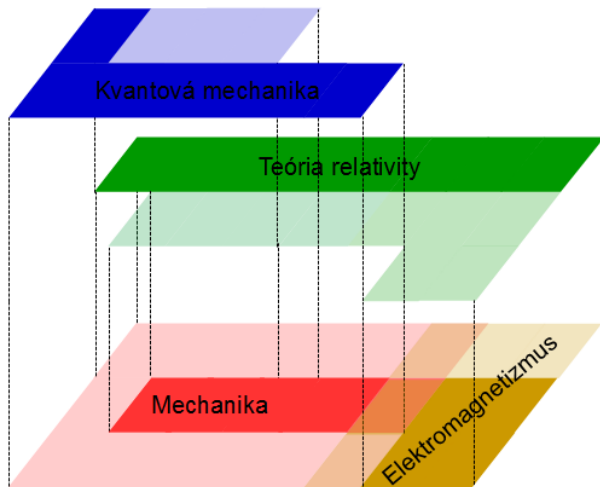


1865-1905



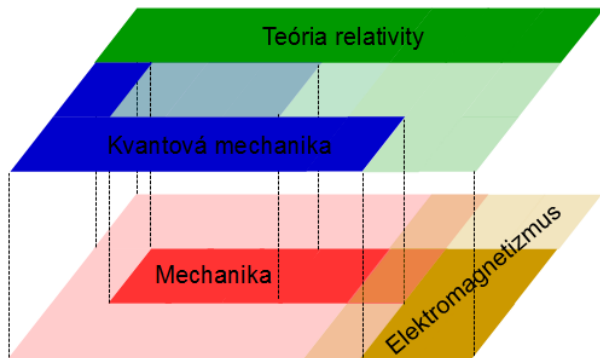
1905

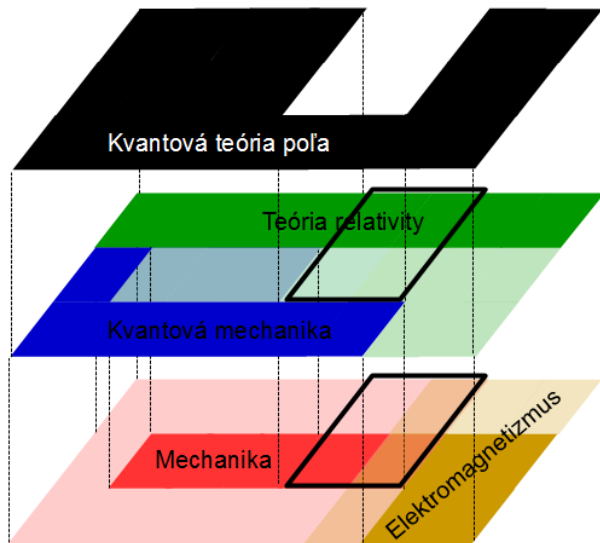






1905-1930





Vďaka za pozornosť!

