

Kapitola 1

O fyzice obecně (v.1)

Výchozí literaturou pro přednášku Fyzika pro matematiky (FyM002-3) je základní učebnice

- Halliday D., Resnick R., Walker J.: Fyzika. VUTIUM Brno, Prometheus Praha, 2001 (dotisk 2003, další dotisk 2006), dále uváděná jako **HRW**

Zajímavou literaturou o fyzice všeobecně je

- The Feynman lectures on physics. Addison-Wesley, 1963, 1966
existuje i překlad český (2000) a slovenský (1990, Alfa, Bratislava)

Využijí se i příležitostné jiné texty z mé stránky utf.mff.cuni.cz/~jobdr, např. Kalkul.

1.1 Fyzika coby věda

Fyzika je věda (vědecký postup, přístup, pohled atd.) Snaží se tedy o co nejmenší vliv subjektu, který vědu tvoří nebo ji přijímá, a maximální vliv objektu, který je vědou studován ($\times$ umění, umělecký přístup). Věda tvoří (formuluje) **model** včetně pojmů vhodných pro popis reality; studuje vlastnosti tohoto modelu a porovnává ho s **pozorováním** či (dokonce) **experimentem**. Ideálem je pak možnost předvídat (na základě modelu), co se stane.

Objektivita: měření. Galileo: Co lze změřit, máme změřit. Co změřit nejde, máme převést na měřitelné. Lord Kelvin (1906, IEC): If you can't measure it, you can't improve it.

Kritérium pravdy (pravdivosti teorie): koneckonců soulad s pozorováním reálného světa. (Dílčí kritéria: vnitřní logická konzistence.)

1.2 Fyzika v rámci ostatních věd

Fyzika je *přírodní* věda ($\times$ *společenské*, humanitní vědy o člověku a lidské společnosti). (Další přírodní vědy jsou např. chemie, biologie, ale i mineralogie, geofyzika, astrofyzika, technické vědy apod.) Ve fyzice se tedy můžeme setkat s filozofickými kategoriemi jako příčina či důsledek, ale předmětem našich úvah nebudou kategorie typu vůle, vědomí, myšlenka, víra, Bůh, smysl (života, věcí), dobro, zlo apod. (Mohou se samozřejmě vyskytnout okrajově ve styčných oblastech s historií vědy, didaktikou apod.)

Fyzika zkoumá nejzákladnější procesy v přírodě, zejména neživé (i když biofyzika vykládá fyzikálními metodami i chování živých objektů). Je ze všech přírodních věd nejvíce „matematizovaná“ (fakticky: axiomatizovaná, má nejjasněji formulované předpoklady i pracovní metody). V tomto smyslu je i „nejhlubší“ vědou: např. kvantová teorie vysvětluje pojem chemické vazby (klíčový pro chemii), který chemie jen postuluje z experimentu.

Samozřejmě existují vždy mezní obory: fyzikální chemie, kvantová chemie, biofyzika (fyzikální základy základních projevů živých organismů), biomechanika (mechanika člověka — balet, sport).

V historii vývoj fyziky a matematiky šel velmi často ruku v ruce (např. Newton — diferenciální počet pro popis pohybu hmotného bodu; Cauchy, Riemann — parciální diferenciální rovnice pro popis mechaniky kontinua). Fyzika jednak využívala hotového matematického aparátu (teorie grup, zejména teorie reprezentací, má rozsáhlé a klíčové aplikace v kvantové teorii), ale současně inspirovala matematiku pro aktivitu v nových oblastech (ve fyzice užívaná, ale matematicky nekorektní Diracova δ -funkce vedla v matematice k teorii distribucí).

1.3 Fyzikální teorie podle fyzikálního dělení

nerelativistické $\times$ relativistické: rychlost světla $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$ ($\sim \infty$)
 klasické $\times$ kvantové: Planckova konstanta $h \approx 6,624 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ (~ 0)

	nerelativisticky	relativisticky
nekvantově	$c=\infty \quad \hbar = 0$	$c < \infty \quad \hbar = 0$
kvantově	$c=\infty \quad \hbar > 0$	$c < \infty \quad \hbar > 0$

Někdy však „klasicky“ = „nekvantově & nerelativisticky“.

Poznámka: „Velké“ či „malé“ u veličin s rozměry: nutno ve srovnání s jinou veličinou najít týž rozměr (např. srovnávání s člověkem — antropomorfismus).

Ukázky pojmů a oborů podle této klasifikace:

1.4 Výchozí představy fyziky

Fyzika popisuje objektivní hmotný svět a modely tohoto světa. Nezabývá se subjektivním světem, vědomím a podobnými jevy.

1.4.1 Klasická fyzika

Rámec popisu: **Prostor** (3D). Z geometrie: euklidovská metrika (prostor je plochý – není zakřivený)

Čas (1D) plyne jen jedním směrem. Z filosofie: princip kauzality: napřed příčina, pak důsledek.

V klasické fyzice jsou prostor a čas nezávislé na sobě a vytvářejí pevný rámec pro popis přírodních dějů zájímavých fyziku. V moderních partiích fyziky tomu tak už není: prostoročas (STR), aktivní účast prostoru na dynamice těles (OTR), superstruny.

Objekt, který sledujeme – jeho modelem je **těleso**. Má jistý **tvar** a jistou **polohu** v prostoru. ($\times$ MŠMT, MFF). Tvar se může (s časem) měnit: těleso **deformovatelné**, **kontinuum**, nebo se nemění: **tuhé těleso** (něco jiného je pevná látka, viz dále).

Materiál předmětu: **látka**. Rámcově v přírodě 3 typy (3 skupenství):

pevná látka s (solid)

kapalina l (liquid)

plyn (plazma) g (gas)

Společná označení: s+l = kondenzovaná látka (condensed matter); l+g = tekutina (fluid).

Tvar předmětu: nejjednodušší situace je, když na tvaru nezáleží: **hmotný bod** (HB). Jeho poloha v prostoru je určena jen třemi souřadnicemi (např. kartézskými).

Soustava hmotných bodů

Spojité prostředí (kontinuum) $\times$ diskrétní soustava (HB, těles). Popis kontinua: diskretizace na „částice“ a limitní přechod. !! Fyzikální smysl !!

Atributy těles: hmotnost m , náboj q , spin s ...

1.4.2 Současný pohled

Základními prvky hmoty jsou podle současných představ tzv. *standardního modelu* dvě šestice leptonů a kvarků (ke každé částici existuje také antičástice s opačným nábojem). Tabulka shrnuje jejich značky, hmotnosti m (v MeV/c^2 , zaokrouhlené), náboje q a názvy. Hmotnost neutrin je nepatrná a není dosud (2008) spolehlivě zjištěna. Všechny tyto částice jsou fermiony, tj. mají poločíselný spin a řídí se Fermiho-Dirakovou statistikou. Platí pro ně Pauliho vylučovací princip (ve zkoumaném systému nemohou být dva fermiony v tomtéž stavu). Proton i neutron je tvořen trojicí kvarků.

leptony

zn.	m	q	název	zn.	m	q	název	zn.	m	q	název
e^-	0,5	-1	elektron	μ^-	100	-1	mion	τ^-	1 800	-1	tauon
ν_e	?	0	e-neutrino	ν_μ	?	0	μ -neutrino	ν_τ	?	0	τ -neutrino

kvarky

zn.	m	q	název	zn.	m	q	název	zn.	m	q	název
u	5	$+\frac{2}{3}$	Nahoru Up	c	1 500	$+\frac{2}{3}$	Půvabný Charm	t	180 000	$+\frac{2}{3}$	Horní Top
d	10	$-\frac{1}{3}$	Dolů Down	s	200	$-\frac{1}{3}$	Podivný Strange	b	4 300	$-\frac{1}{3}$	Dolní Bottom

Mezi těmito částicemi – a tedy obecně mezi libovolnými hmotnými částicemi – existují (jen) čtyři interakce:

jméno interakce	řád	dosah	důsledek (např.)
gravitační	10^{-40}	makro	stabilita sluneční soustavy
elektromagnetická	10^{-2}	makro	stabilita atomu
silná	10^{+1}	mikro	stabilita jádra
slabá	10^{-5}	mikro	stabilita elementárních částic

Makroskopické interakce: síla klesá se vzdáleností r jako r^{-2} . Mikroskopické interakce: závislost je složitější, proto je srovnání jen velmi přibližné. Uvedené hodnoty jsou řádově na rozměrech atomového jádra.

(Tzv. *výměnná interakce* není skutečnou interakcí a je jen názornou interpretací principu nerozlišitelnosti kvantových částic.)

Interakce jsou popsány kvantovými poli; jejich kvantováním dostáváme rovněž částice, ale bozony: pro elektromagnetickou interakci jsou to fotony (s nulovou hmotností), pro slabou interakci jsou to částice W (elektricky nabitě) a Z (elektricky nenabitě) s hmotnostmi $80,6 \text{ GeV}/c^2$ a $91,2 \text{ GeV}/c^2$ (tedy cca tisíckrát těžší než proton!), pro silnou interakci mezi kvarky jsou to gluony (s nulovou hmotností, elektricky nenabitě) popsané *kvantovou chromodynamikou* QCD.

Interakci elektromagnetickou a slabou se podařilo sjednotit na interakci zvanou *elektroslabá*. *Velké sjednocení* – spojení se silnou interakcí (GUT = grand unification theory).

Gravitaci se zatím kvantovat nedaří, lze ji však v obecné teorii relativity popsat geometrií prostoru (gravitace jako zakřivení prostoru). O její spojení se silnou a elektroslabou interakcí se snaží tzv. *teorie všeho* (TOE = theory of everything).

1.5 Filozofie a fyzika (informativní body)

1.5.1 Přístup k popisu

Metoda: induktivní $\times$ deduktivně axiomatická. Příklady:

Indukce: Z Keplerova pozorování planet byly induktivně odvozeny 3 Keplerovy zákony. Na základě pozorování pádu pozemských těles (jablko!) a pohybu těles „nebeských“ (Měsíc) byl induktivně odvozen Newtonův gravitační zákon.

Dedukce: z Newtonových pohybových zákonů + Newtonova gravitačního zákona lze deduktivně odvodit Keplerovy zákony (a to v obecnějším a přesnějším tvaru, než byly formulovány indukci z pozorování).

Vysvětlení: *kauzální* (příčinné) $\times$ *teleologické* (účelové). Výklad rovnovážných stavů: *statistický*.

Příklady kauzální:

- Těleso se pohybuje pod vlivem síly (příčina) $\mathbf{F}$ tak, že jeho zrychlení $\mathbf{a}$ je rovno $\mathbf{a} = \mathbf{F}/m$ (odkud získám $\mathbf{r}$ coby důsledek dvojí integrací)
- Světlo (ale také částice) se na rozhraní odráží tak, že úhel odrazu = úhel lomu

Příklady teleologické:

- Těleso se pohybuje po takové dráze a tak, aby akce, tj. $\int L dt$, byl minimální.
- Světlo (ale také částice) se pohybuje při odrazu po takové dráze, aby se z výchozích do cílového bodu dostalo v co nejkratším čase.

Příklad statistický:

- Popis rovnovážného systému; pravděpodobnostní výklad dějů.
- Středování mikrostavů pro popis makrostavů.

Mezi kauzálním a teleologickým popisem není v rámci klasické fyziky filozofický rozpor, protože jak mechanika, tak optika je přísně deterministická a není v ní tedy prostor pro vlastní vůli; oba výklady jsou ve svých důsledcích — jak se ve fyzice dokazuje — ekvivalentní.

Vědy fenomenologické (zkoumající jen jevy) $\times$ zkoumání příčin: termodynamika $\times$ molekulová nebo statistická fyzika.

1.5.2 „Je foton částice nebo vlna?“

Fyzika především popisuje jevy a hledá v jevech zákonitosti. Úspěšný redukcionismus. Popis jevu na základě modelu, převedení či rozklad na jiné (jednodušší) jevy, např. pohyb planet je úspěšně převeden na gravitační zákon a pohybové rovnice.

Kdo vysloví otázku typu „Co je to plyn“, „Co je to hmota“, „Je foton částice nebo vlna?“, „Co je to kvark“, ten očekává úplné převedení daného objektu či jevu na objekty či jevy jednodušší. To jde u první otázky. U druhé lze fakticky jen podat výčet leptonů a kvarků a interakcí mezi nimi. U třetí otázky jsou podsunuty pouhé dva klasické modely, z nichž ani jeden nevyhovuje úplně; foton sám však můžeme výstižně popsat v kvantové elektrodynamice. Otázka typu „**Co je to kvark**“ v tomto kontextu nemá smysl, protože kvark není na co jednoduššího převést. Smysl má otázka jiná: „**Jak se chová** kvark, když ...“, „Co udělá proton (složený ze 3 kvarků), když ...“.

Zjednodušující otázka typu „Co to je ...“ navádí k jednoduchému, ale bezobsažnému výkladu užitím jiných nedefinovaných nebo záměrně vágních pojmů typu „Hmota je nesmírně zhuštěná energie“ (a z čeho je ta energie?)

1.5.3 Co s rozpory

Rozpory teorie a přístup k nim:

- Rozpor teorie s praxí:
 - revize měření (Weberův pokus)
 - revize toho, která teorie a jak byla použita (např. příliš zjednodušený model)
 - revize teorie samé (Michelsonův-Morleyův pokus)
- Vnitřní rozpory a nekonzistence teorie.

Ovšemže by neměly být, ale proces poznávání je opravdu obtížný. Občas jsou známa „bolavá místa“ teorie, kde jistá pragmatická nekonzistentnost je nejjednodušším (příp. zatím jediným známým) řešením: chemie předkvantového věku — benzen $\times$ cyklohexatrien, vysoce nenasycený; historický Bohrov model vodíku — Po, St, Pá takhle, Út, Čt, So jinak, v Ne se nepočítá.

1.5.4 Resumé

Víme toho na jednu stranu překvapivě mnoho, ovšem zdaleka ne ani všechno to, co bychom dost urgentně potřebovali. To je samozřejmě docela dobře — je to šance pro mladé fyziky, ale i pro matematiky: Nobelovu cenu v roce 1961 za rezonanční absorpci γ -záření a s tím spojený jev po něm nazvaný dostal matematik Rudolf Ludwig Mössbauer.