

IZMB – struktura hmoty - 2

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$
$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V \psi = E \psi$$
$$U_{ef} = U_m$$
$$\vec{B} = \mu_0 \frac{NI \sqrt{2}}{2r}$$
$$k = \rho^2 / 2m m_0 = \frac{M_m}{N_m}$$
$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2eU_m}}$$
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$
$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{J} d\vec{S}$$
$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN_m}{M_m}}$$
$$\lambda = \frac{h \ln 2}{T}$$
$$\left(\frac{E_t}{E_0} \right)_{\parallel} = \frac{2 \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2}{\cos(\vartheta_1 - \vartheta_2) \sin(\vartheta_1 + \vartheta_2)}$$
$$E_y = E_0 \sin(kx - \omega t)$$
$$S = \frac{1}{A} \frac{dW}{dt}$$

$$2 \operatorname{tg} \vartheta_B = \frac{m_2}{m_1} = m_{21}$$
$$pV = nRT \quad \vec{\Psi} = \iint \vec{D} d\vec{S} = AD \quad H_\lambda = \frac{\Delta M_e}{\Delta \lambda}$$
$$\frac{\Delta \varphi}{2\pi} = \frac{\Delta x}{\lambda} = \frac{x_2 - x_1}{\lambda} S_2 \quad V = c/\lambda \quad \Phi = NBS$$
$$\phi_e = \frac{L}{4\pi r^2} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$
$$X_L = \frac{U_m}{I_m} = \omega L = 2\pi f L \quad F_g = \frac{\mu I_1 I_2}{2\pi d}$$
$$U = \frac{W_{AB}}{q} = \frac{|E_{PA} - E_{PB}|}{q} = |\varphi_A - \varphi_B| \quad T = \frac{4n_1 n_2}{(n_2 + n_1)^2}$$
$$\varphi_E = \frac{q_e}{4\pi \epsilon_0 r} = k \frac{q}{r} \quad \mu = N \cdot m_0 = \frac{Q}{N_A} \frac{M_m}{N_A}$$
$$R_m = \frac{c}{T} \quad k = \pm \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2} (E - V_0)}$$
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{m_1} \quad v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}$$
$$F_x = \frac{1}{2} \epsilon_0 \rho^2 \quad \phi_e = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad \frac{m_1}{x} + \frac{m_2}{x'} = \frac{m_2 - m_1}{v}$$
$$\oint \vec{D} d\vec{S} = Q^*$$
$$S \cdot R = \frac{U}{I} \quad \frac{U}{2} = U_e I t$$
$$M = \int \frac{F_n}{R} \quad S I_m^2 = U_m^2 \left[\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L} \right)^2 \right] \quad \lambda^* T = b$$
$$p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad u = U_m \sin \omega(t - \tau) = U_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

Částice

- Elementární částice (nejdou dělit)

➤ Kvarky

➤ Leptony

➤ Bosony

Částice - kvarky

- Kvarky se dělí do 6 základních vůní
- Každý je jinak hmotný a mají různé části elementárního náboje

Symbol	Vůně	Klidová hmotnost [MeV/c ²]	Elektrický náboj [e]
d	dolů (down)	3,5 – 6	-1/3
u	nahoru (up)	1,5 – 3,3	2/3
s	podivný (strange)	92,4	-1/3
c	půvabný (charm)	1270	2/3
b	krásný (beauty)	4200	-1/3
t	Pravdivý (truth)	174 980	2/3

$$1 \text{ MeV}/c^2 = 1.79 \times 10^{-30} \text{ kg}$$

Částice - kvarky

- Kvarky podléhají všem interakcím
- Mají poločíselný spin (jsou fermiony)
- Splňují Pauliho vylučovací princip
- Jsou základními stavebními prvky hadronů
 - Baryony (obsahují 3 kvarky)
 - Proton (uud), neutron (udd)
 - Mezony (obsahují 1 kvark a 1 antikvark)
 - Mezon π^+ (pion) ($\bar{u}d$) nebo ($u\bar{d}$)

Částice - leptony

- Známe 6 základních leptonů

Částice	Značka	Klidová hmotnost [MeV/c ²]	Elektrický náboj [e]
Elektron	e ⁻	0,511	-1
Mion	μ ⁻	105,7	-1
Tauon	τ ⁻	1777	-1
Neutrino elektronové	ν _e	< 0,000 002	0
Neutrino mionové	ν _μ	< 0,170	0
Neutrino tauonové	ν _τ	< 18	0

$$1 \text{ MeV}/c^2 = 1.79 \times 10^{-30} \text{ kg}$$

Částice - leptony

- Leptony podléhají pouze slabé a gravitační interakci (pokud mají náboj tak i elektromagnetické)
- Mají poločíselný spin (jsou fermiony)
- Není známá vnitřní struktura
- Splňují Pauliho vylučovací princip

Částice - bosony

- Bosony mají celočíselný spin (nemusí splňovat Pauliho vylučovací princip)
- Patří zde částice zprostředkovávající interakce

Částice	Značka	Klidová hmotnost [MeV/c ²]	Elektrický náboj [e]
Foton	γ	0	0
Gluon	g	0	0
Boson W	W	80 387	1
Boson Z ⁰	Z ⁰	91 187	0

- Ale i další

$$1 \text{ MeV}/c^2 = 1.79 \times 10^{-30} \text{ kg}$$

Antičástice

- Je známo, že každý kvark i lepton mají své anti-protějšky a mohou tvořit antičástice
- Proton (uud) vs. antiproton (\overline{uud})
- Elektron (e^-) vs. pozitron (e^+)
- Neutrino (ν) vs. antineutrino ($\bar{\nu}$)

Antičástice

- Setká-li se částice se svojí antičásticí, může dojít k anihilaci
- Při anihilaci se veškerá energie částic (jak kinetická, tak klidová $E = m_0 c^2$) přemění do energie bosonů, které zprostředkovávají interakce (foton, W, Z)
- Vzniklý produkt se může dále rozpadat v závislosti na celkové energii částice-antičástice

Interakce

- Základní interakce

- Gravitační
- Elektromagnetická
- Slabá
- Silná

- Je nutno upozornit, že slabost či síla těchto interakcí silně závisí na interakční vzdálenosti!!!!!!!!!!!!!!

Interakce

- Gravitační

- Nejslabší

- Rozhodující pro velké vzdálenosti

- Pouze přitažlivá

- Kvadraticky ubývá se vzdálenosti

- První popis I. Newton

- $F_g = \kappa \frac{m_1 m_2}{r^2}$ kde $\kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$

- Lepší popis A. Einstein

- Obecná teorie relativity říká, že hmota/energie zakřivuje časoprostor, což můžeme pozorovat jako gravitaci a změnu plynutí času

Interakce

- Elektromagnetická
 - Působí mezi elektricky nabitými částicemi
 - Relativně silná i na velké vzdálenosti
 - Přitažlivá i odpuzivá dle náboje
 - Kvadraticky ubývá se vzdálenosti
 - Komplexnější popis J. C. Maxwell
 - V mikrosvětě kvantová elektrodynamika
 - Přenos energie zprostředkovávají fotony
 - Popisuje i interakci záření s hmotou

Interakce

- Slabá

- Působí na leptony a kvarky
- Je 2. nejslabší a 10^{13} -krát slabší než silná
- Je zprostředkovávána bosony W a Z^0 (mají nenulovou klidovou hmotnost)
- Dosah je velmi omezen (max. 10^{-18} m)
- Je odpovědná za β -rozpad
- Znázorňuje se pomocí Feynmanových diagramů

Interakce

- Silná

- Působí pouze mezi kvarky
- Je nejsilnější s dosahem kolem 10^{-15} m
- Je zodpovědná za soudržnost jader
- Je zprostředkována gluony

Interakce

- Srovnání síly a dosahu základních interakcí

Interakce	Relativní velikost	Úbytek	Dosah [m]
Silná	10^{38}	r^{-7}	10^{-15}
Elektromagnetická	10^{36}	r^{-2}	∞
Slabá	10^{25}	$r^{-5} - r^{-7}$	10^{-18}
Gravitační	1	r^{-2}	∞

- Elektromagnetická a slabá interakce se dají popsat jako projev jediné tzv. elektroslabé interakce

Teorie relativity

- Speciální teorie relativity
- Jde pouze o speciální případ, kdy můžeme zanedbat gravitační interakci. Ta je předmětem až obecné teorie relativity
- Zmíníme si pouze základní úvahy a vzorce plynoucí z STR, které se nám mohou v praxi hodit

Teorie relativity

1. Všechny mechanické i elmag. děje dopadnou ve všech inerciálních soustavách stejně. Inerciální soustavy nejsou nijak privilegovány.
 - Pokud v soustavě nepůsobí žádná síla nebo je výslednice sil nulová, pak je těleso v klidu nebo se pohybuje rovnoměrně přímočaře. Tato soustava je inerciální.

Teorie relativity

2. Rychlost světla je ve všech inerciálních soustavách stejná.

- Z těchto 2 principů lze odvodit několik základních vztahů:

- S rostoucí rychlostí roste hmotnost

$$m = \gamma m_0$$

- S rostoucí rychlostí plyne čas pomaleji

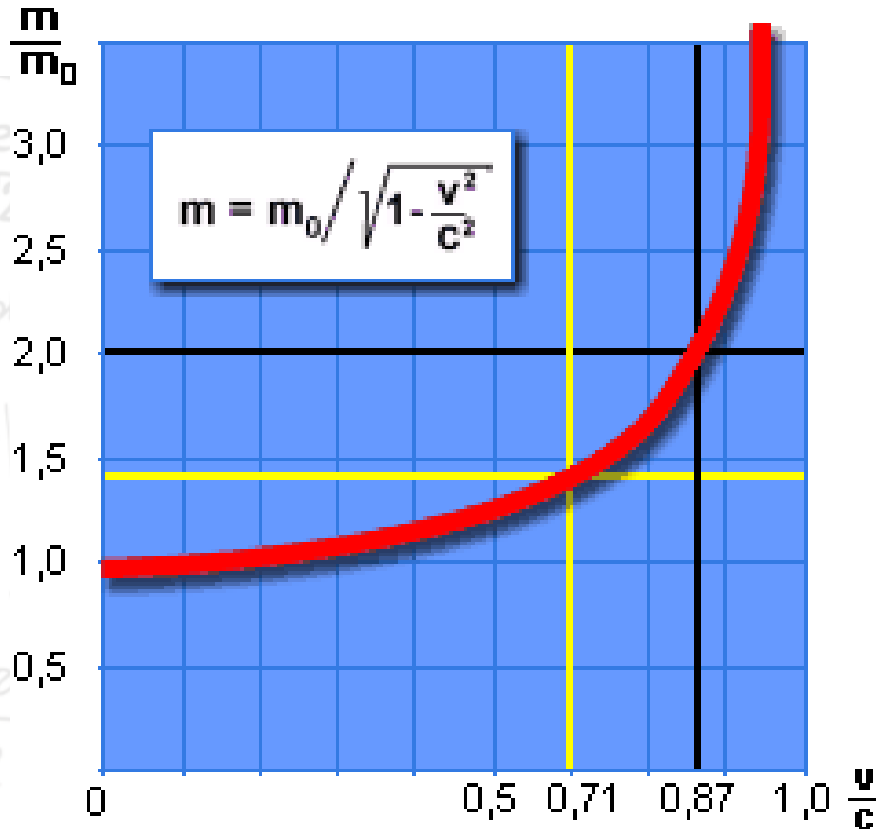
$$t = \gamma t_0$$

- S rostoucí rychlostí se délka tělesa zmenšuje

$$l = \frac{l_0}{\gamma}$$

Teorie relativity

- Relativistický γ -faktor $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$



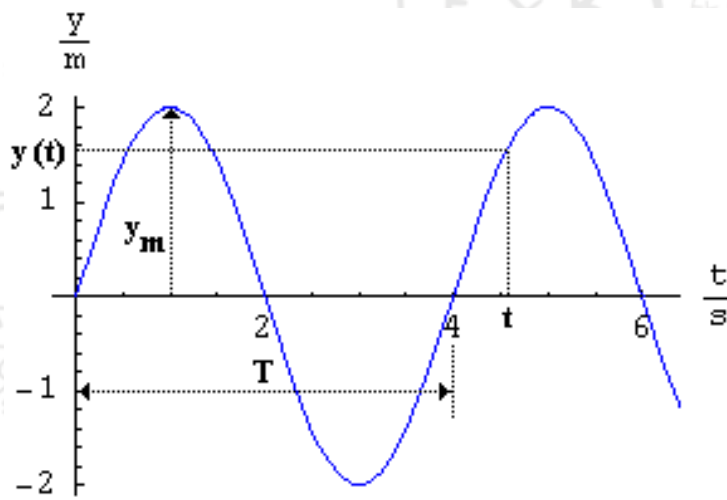
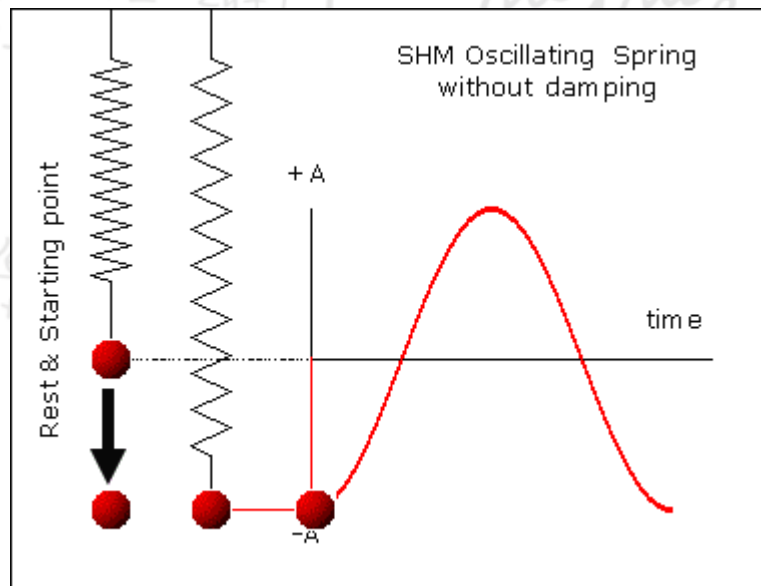
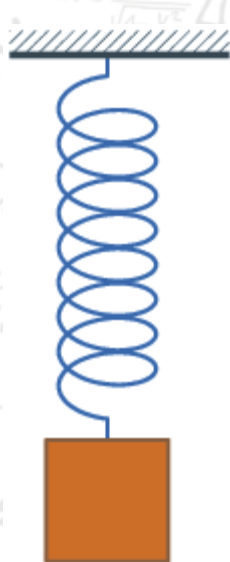
[Podrobněji relativita](#)

Dualismus a vlnění

- Harmonické kmitání je (obvykle) časová změna nějaké veličiny, která se pravidelně opakuje
- Kmitavý pohyb popisujeme:
 - Okamžitou výchylkou
 - Amplitudou výchylky
 - Frekvencí (periodou) kmitání
 - Fází kmitání

Dualismus a vlnění

$E_k = \frac{1}{2} m v^2$
 $-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V \psi = E \psi$
 $U_{ef} = U_m$
 $\vec{B} = \mu_0 \frac{NI \sqrt{2}}{2\pi r}$
 $k = \rho \frac{e^2}{2m m_0} = \frac{M_m}{N_A}$
 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2eU m_e}}$
 $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$
 $\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \int \vec{J} d\vec{S}$
 $C(s)$
 $v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN_A}{M_m}}$
 $\lambda = \frac{\ln 2}{T} F_h$
 $\left(\frac{E_t}{E_0}\right)_{\parallel} = \frac{2 \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2}{\cos(\vartheta_1 - \vartheta_2)}$
 $E_y = E_0 \sin(kx - \omega t)$
 $S = \frac{1}{A} \frac{dW}{dt}$



$$y = y_m \sin(\omega t + \varphi)$$

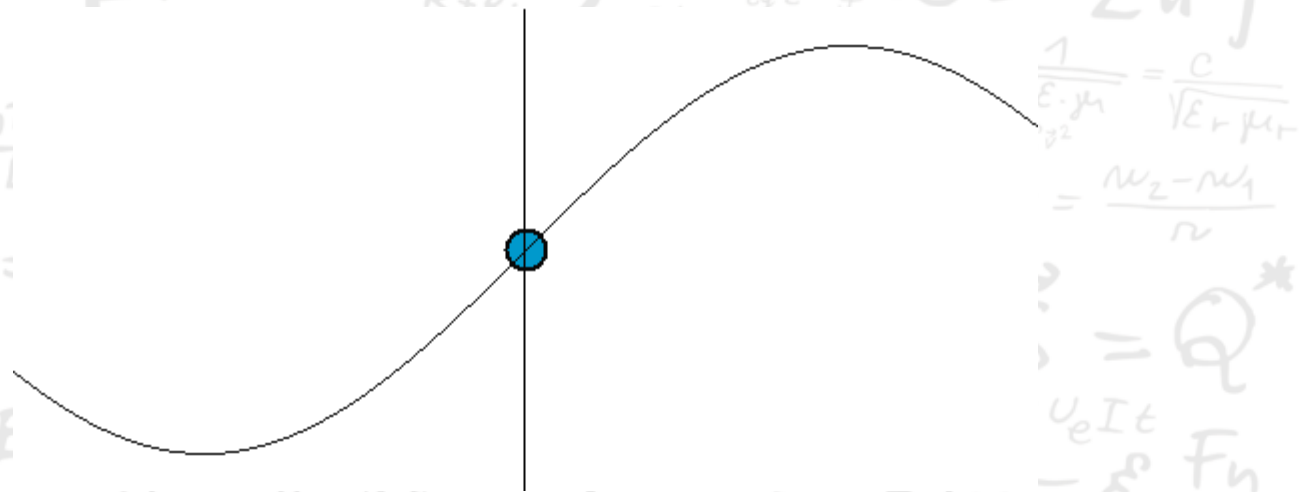
ω / τ
 $\lambda^* T = b$
 $p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$
 $u = U_m \sin \omega(t - \tau) = U_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$

Dualismus a vlnění

- Perioda (T) – doba za kterou dojde k 1 kmitu
- Frekvence (f) – převrácená hodnota periody $f = \frac{1}{T}$ jednotka $Hz = s^{-1}$
- Úhlová rychlost (ω) – velikost úhlu v radiánech, který opíše za 1 s $\omega = 2\pi f$
- Fáze kmitání (φ) – počáteční výchylka kmitání v radiánech

Dualismus a vlnění

- Vlnění můžeme popsat jako kmitání, které se pohybuje prostorem

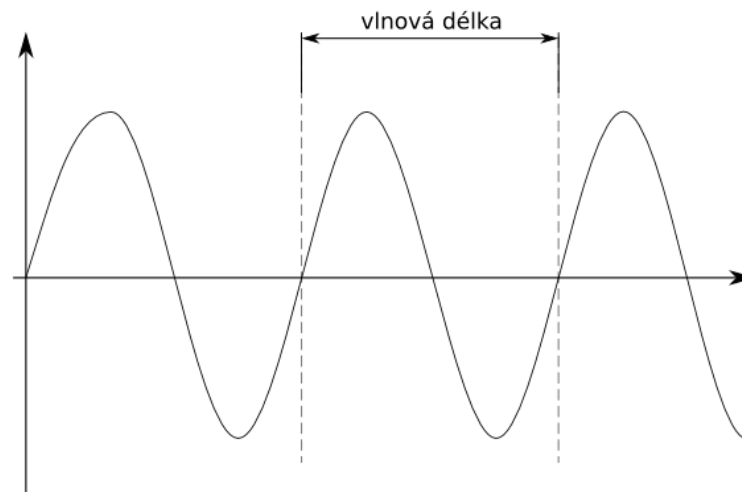


$$y = y_m \sin\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

Dualismus a vlnění

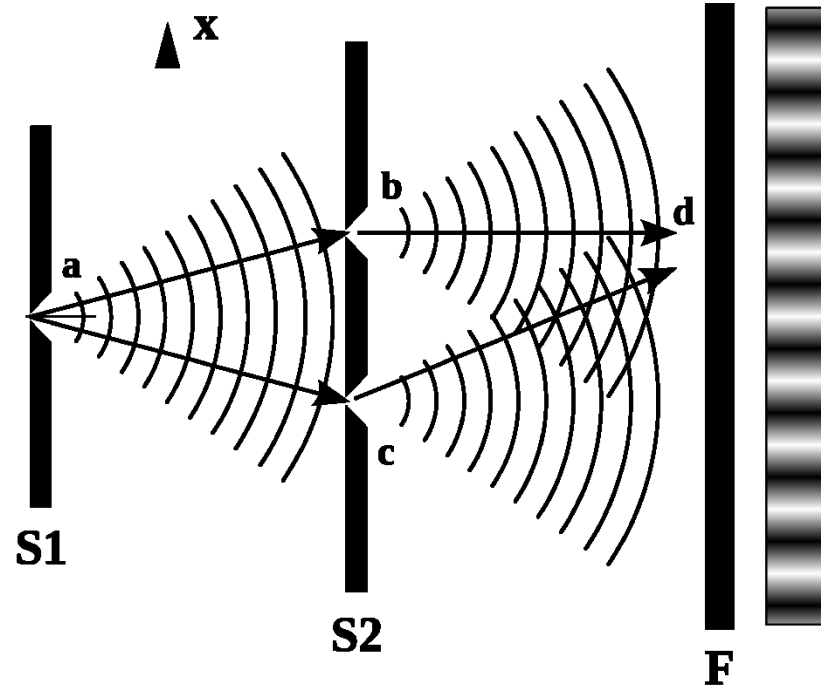
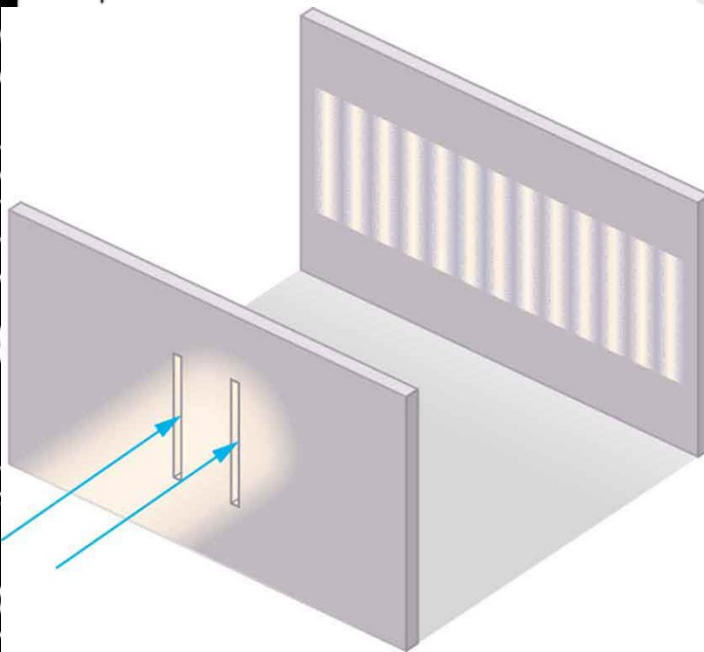
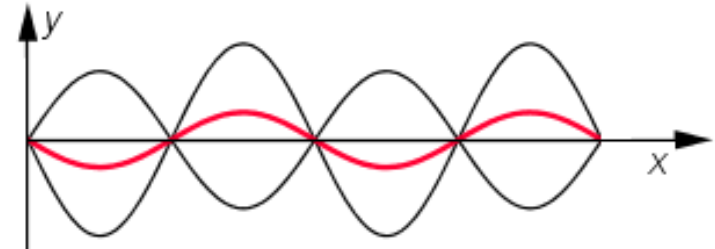
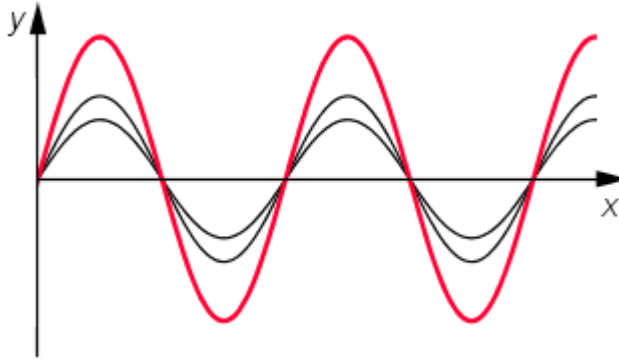
- Vlnová délka (λ) – Vzdálenost, kterou urazí vlnění při jednom kmitu (neboli za dobu jedné ~~frekvence~~ **periody**)

$$\lambda = vT = \frac{v}{f} = \frac{2\pi v}{\omega}$$



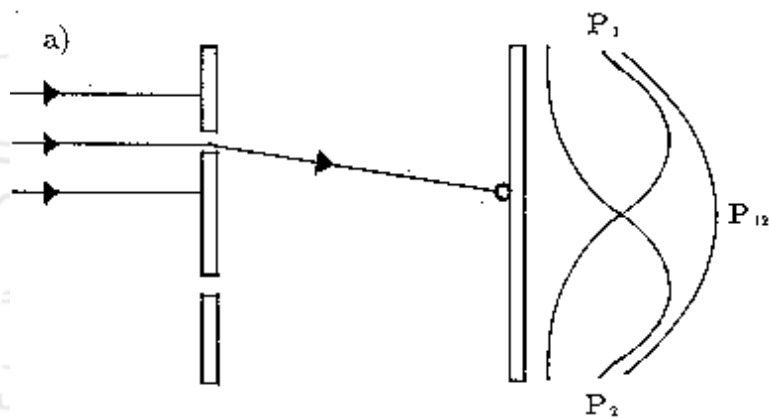
Dualismus a vlnění

- Interference vlnění



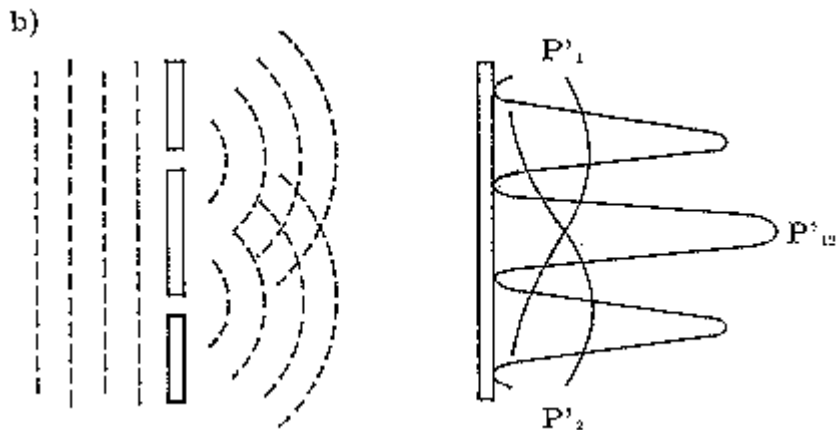
Dualismus a vlnění

- Co když totéž provedeme s částicemi?



Pohled klasické fyziky

Pohled kvantové
mechaniky – částice
interferují jako vlny



Dualismus a vlnění

- Louis de Broglie (1924)
- Částice může mít za určitých podmínek vlnový charakter a naopak
- Pro částici i vlnu jde určit vlnová délka

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

h – Planckova kons.



Zákony zachování

- Ve světě fyziky existuje celá řada zákonů zachování
- Je důležité vědět, kdy který platí a jak jej použít. Pak jdou fyzikální problémy jednodušeji vyřešit a interpretovat
- Zmíníme si zde jen pár z následujících
 - Zachování energie, hybnosti, el. náboje, momentu hybnosti, baryonového čísla, leptonového čísla, barevného náboje, symetrie...

Zákony zachování

- Zákon zachování energie
- Nejznámější a nejjednodušší je zachování mechanické energie, kdy zůstává zachován součet potenciální a kinetické energie systému

$$E_k + E_p = \textit{konst.}$$

- Ale tento zákon platí i obecně pro libovolný druh energie

Zákony zachování

- Zákon zachování hybnosti (ZZH)
- Celková hybnost izolované soustavy se nemění
- Při práci se ZZH si musíme uvědomit, že hybnost je vektorová veličina a podle toho upravovat výpočty

$$\Delta \vec{p} = 0$$

Zákony zachování

- Zákon zachování momentu hybnosti
- Celkový moment hybnost izolované soustavy se nemění
- Jedná se o analogii zachování hybnosti, avšak pro rotační pohyb
- Je-li výsledný moment vnějších sil působících na danou soustavu nulový, pak se celkový moment hybnosti zachovává vzhledem k danému bodu

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = 0$$

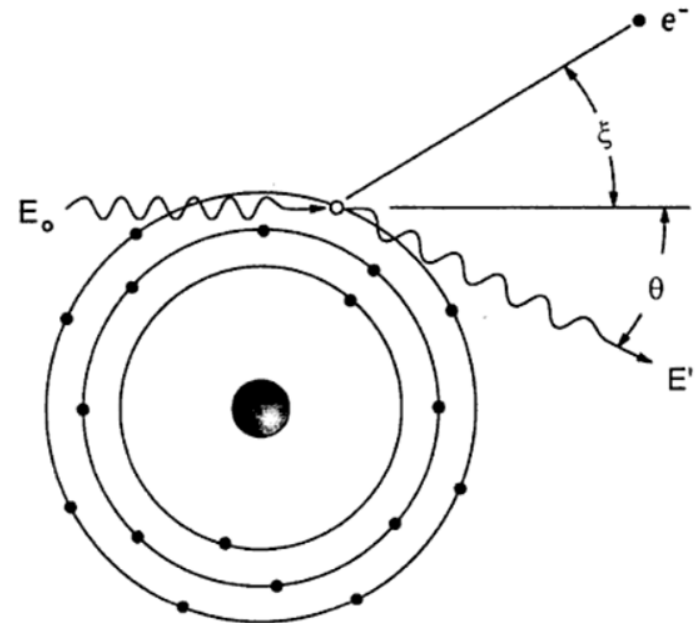
Zákony zachování

- Zákon zachování el. náboje
- Celkové množství náboje v elektricky izolované soustavě zůstává konstantní
- Elektrický náboj nelze vytvořit ani zničit, ale pouze přemístit.

$$\frac{dQ}{dt} = 0$$

Comptonův jev

- Dopadající foton, může interagovat s elektronem z vnější vrstvy atomového obalu, který je slaběji vázán
- V takovémto případě může dojít k uvolnění elektronu z obalu a k rozptylu fotonu, který změní svou vlnovou délku



Comptonův jev

- Tento jev hraje důležitou roli při interakci RTG s látkou (při ozařování pacienta)
- Také se jedná o hezkou demonstraci zákona zachování energie a hybnosti.

Konec



Dodatky 4

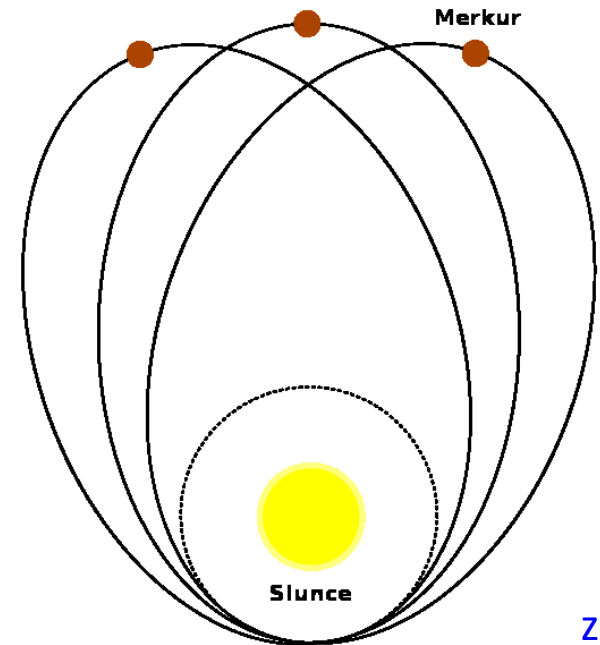
- Teorie relativity byla ve své době velmi kontroverzní a obtížně prokazatelná. I to mohlo sehrát roli při udílení Nobelovy ceny, kterou Einstein získal za vysvětlení fotoelektrického jevu, nikoliv za teorii relativity. Její platnost byla několikrát potvrzena a nebyla doposud vyvrácena.

Dodatky 4

- Skutečnost, že planety obíhají okolo Slunce po eliptických drahách, formuloval již J. Kepler ve svých zákonech v 17. století.
- Tyto zákony platí vcelku přesně. Ovšem u Merkuru byly pozorovány zajímavé skutečnosti

Dodatky 4

- Pouze dráha Merkuru se pozvolná mění (dochází k stáčení perihelia) s rychlostí cca 43 obloukových vteřin za století. Tento jev vysvětlila až obecná teorie relativity (OTR).
- Merkur je tak blízko Slunci, že se zakřivení časoprostoru projevuje víc než u ostatních planet



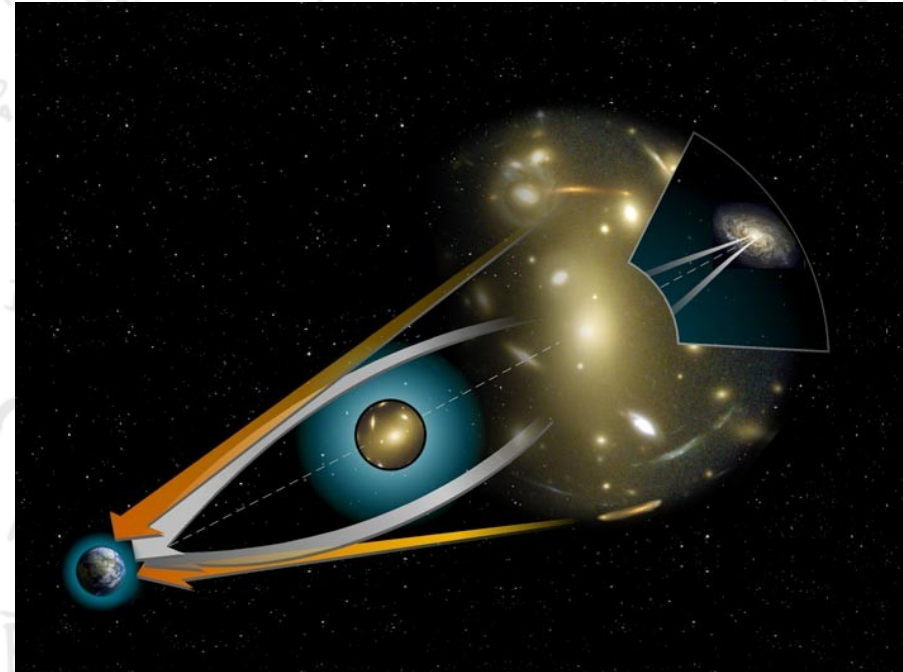
Dodatky 4

- Silné gravitační pole dokáže ohýbat dráhu elektromagnetického vlnění (světla). Tomuto jevu se říká gravitační čočka.
- Tento jev nastává, pokud se mezi pozorovatelem a objektem nachází velmi hmotný objekt (černá díra, galaxie, kvasary)

Dodatky 4

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$
$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V \psi = E \psi$$
$$U_{ef} = \frac{U_m}{2}$$
$$\vec{B} = \mu_0 \frac{NI \sqrt{2}}{4\pi r}$$
$$k = \frac{p^2}{2m} m_0 = \frac{M_r \cdot 10^{-3}}{N_A}$$
$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2eUm_e}}$$
$$f_c = \frac{1}{T} \nu$$

$$2 \operatorname{tg} \chi_B = \frac{w_2}{w_1} = w_{21}$$
$$M_e = \sigma T^4$$
$$\phi_e = \frac{L}{4\pi r^2}$$
$$U = \frac{W_{AB}}{q} = \frac{|E_{PA} - E_{PB}|}{q}$$
$$v = \frac{wh}{2\pi r m_e}$$
$$q_E = \frac{F_e}{r} = k \frac{Q}{r^2}$$
$$m = N \cdot m_0 = \frac{Q}{v_e}$$
$$l_t = l_0 (1 + \alpha \Delta t)$$
$$R = \rho \frac{l}{S}$$
$$E = v$$



Gravitační čočka

[zpět](#)

Dodatky 4

- Dalším pokusem pro ověření platnosti OTR byl Shapirův experiment. Byla měřena doba letu radiových vln, které se odrážely od Venuše. Tyto vlny procházely v těsné blízkosti Slunce a z důsledku pomalejšího plynutí času v blízkosti tak hmotného tělesa mělo dojít ke zpoždění cca 200 μs . Tento čas byl skutečně naměřen.

Konec 4. dodatku.

[zpět](#)

Dodatky 5

• Maxwellovy rovnice (1865)

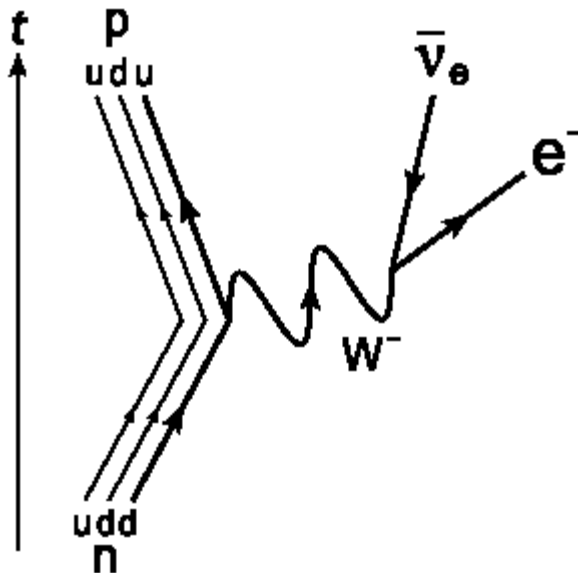
Integrální tvar	Diferenciální tvar
$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = I + \frac{d\Psi}{dt}$	$\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$
$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt}$	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q$	$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$
$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$

- Obrácený trojúhelník je operátor pro gradient zvaný nabla – vlastně návod, jak se má derivovat. Počítání s těmito operátory podléhá určitému formalismu.

Konec 5. dodatku.

Dodatky 6

- Slabá interakce může za β -rozpad
- Je zprostředkováván bosonem W^-



Feynmanovy diagramy jsou bez dalších vysvětlení nefyzikovy zcela nesrozumitelné, snad tu: http://atlas.physicsmasterclasses.org/cz/zpath_feynman.htm

Konec 6. dodatku.

[zpět](#)