

# Postuláty speciální teorie relativity

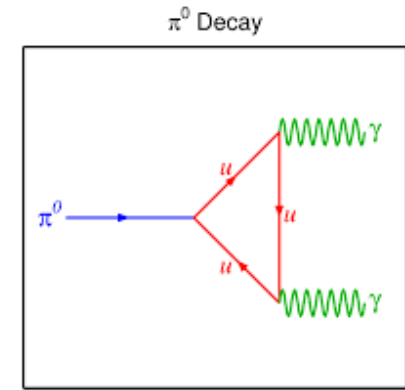
## Princip relativity

- ve všech inerciálních vztažných soustavách platí stejné fyzikální zákony.
- žádným pokusem (mechanickým, optickým, elektromagnetickým) provedeným uvnitř inerciální vztažné soustavy nelze zjistit zda je soustava v klidu nebo v pohybu
- všechny inerciální vztažné soustavy jsou rovnocenné, neexistuje žádná absolutní soustava

## Princip stálé rychlosti světla

- ve všech inerciálních vztažných soustavách má rychlost světla ve vakuu stejnou rychlost, a to nezávisle na pohybu světelného zdroje. Rychlost světla v libovolné inerciální vztažné soustavě je ve všech směrech stejná.

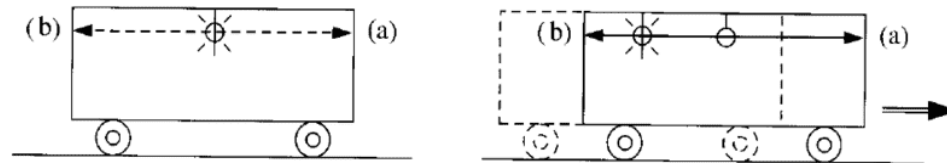
**Neutrální piony**  $\pi_0$  se pohybují rychlostí  $v = 0,999c$  vzhledem k laboratoři. Každý pion vyslal při svém rozpadu 2 fotony  $\gamma$ -záření o rychlosti  $c$ . Z hlediska klasické mechaniky by rychlost  $\gamma$ -fotonu byla rovna  $1,999c$ , ve skutečnosti však byla rovna  $c$ . To prokazuje, že rychlost elektromagnetického záření je ve dvou různých inerciálních vztažných soustavách vždy stejná, bez ohledu na to, jako rychlostí se pohybují vůči sobě navzájem.



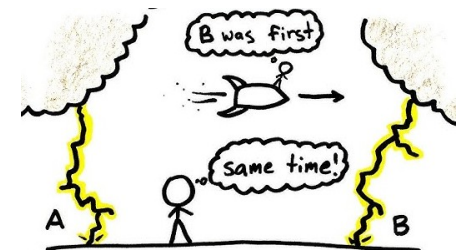
$$v + c = c$$

## Relativnost současnosti

současnost není absolutní a může se lišit pro různé pozorovatele v závislosti na jejich pohybu. Vnímání času a pořadí událostí je závislé na referenčním rámci pozorovatele. Neexistuje univerzální současnost.



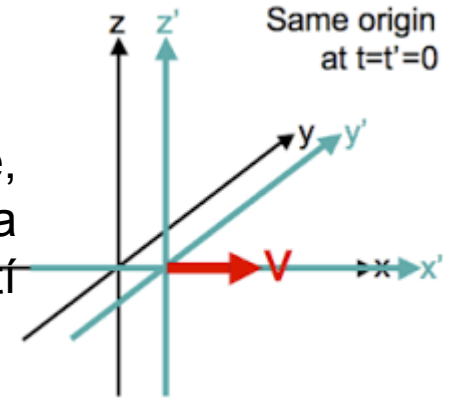
Dva blesky udeří do dvou míst ve stejnou chvíli z pohledu pozorovatele stojícího uprostřed mezi těmito místy. Avšak pro pozorovatele v pohybu směrem k jednomu z těchto míst mohou tyto blesky udeřit v různých časech.



# Lorentzova transformace

**Galileova transformace** je koncept v klasické mechanice, který popisuje, jak se mění souřadnice a čas mezi dvěma inerciálními soustavami pohybujícími se konstantní rychlostí vůči sobě.

**Lorentzova transformace** ukazuje, že čas a prostor nejsou absolutní, ale závisí na pohybovém stavu pozorovatele. To vede k jevům, jako je dilatace času a kontrakce délek.



Lorentzova transformace

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

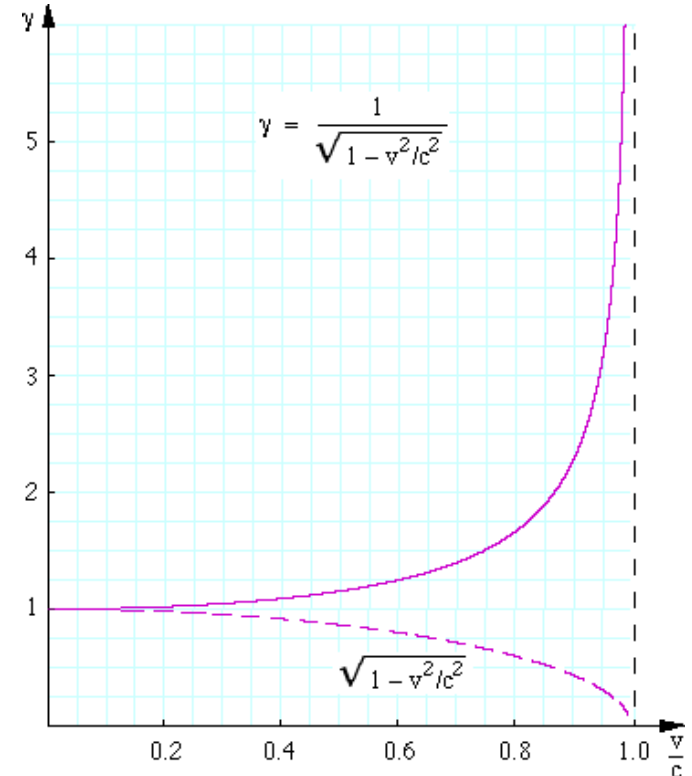
Galileova transformace

$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$



# Relativistické skládání rychlostí

Při vysokých rychlostech (blízkých rychlosti světla) se rychlosti nesčítají jednoduše jako v klasické mechanice.

Výsledná rychlost  $u$  nikdy nepřekročí rychlost světla  $c$ , bez ohledu na to, jak rychle se objekty pohybují (viz rozpad  $\pi_0$  pionu).

**Relativistické částice:** elementární částice nebo atomová jádra, pohybující se rychlostí jen málo menší než je rychlost světla. Projevují se u nich relativistické efekty, popsané speciální teorií relativity: kontrakce délek, dilatace času a růst hmotnosti.

klasická fyzika

$$u = u' + v$$

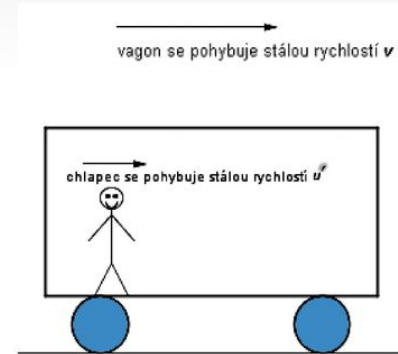
relativistická fyzika

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}}$$

$v$  - rychlost vagonu vzhledem ke klidové soustavě

$u'$  - rychlost chlapce vzhledem k vagonu

$u$  - rychlost chlapce vzhledem ke klidové soustavě



- $v$   
rychlost  $S'$  vzhledem k  $S$
- $u'$   
rychlost signálu vzhledem k  $S'$
- $u$   
rychlost signálu vzhledem k  $S$

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}}$$

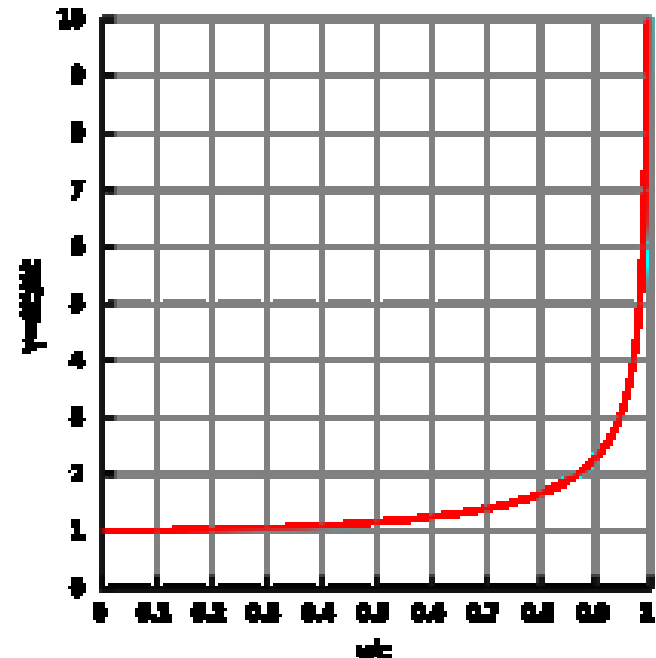
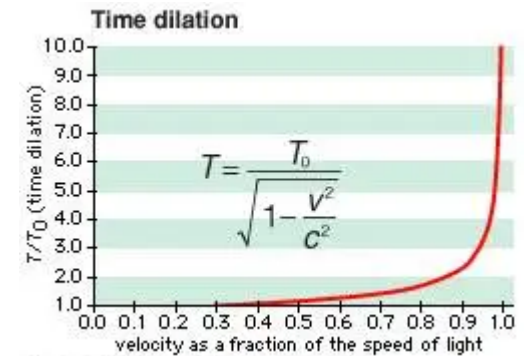
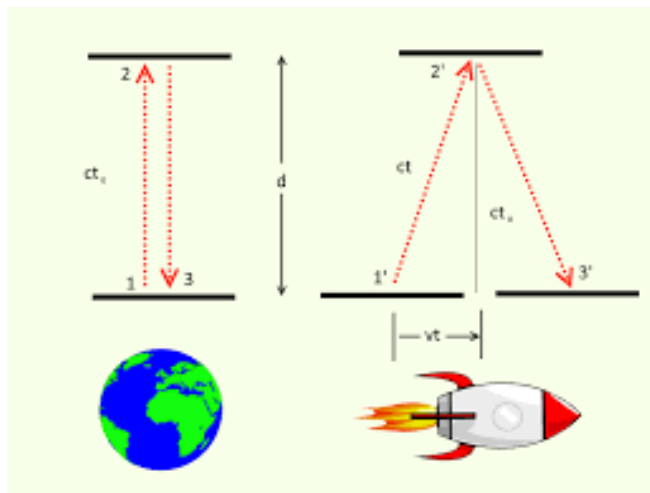
$$u = \frac{x}{t} = \frac{\frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}}{t' + \frac{v}{c^2} x'} = \frac{x' + vt'}{t' + \frac{v}{c^2} x'} = \frac{t' \left( \frac{x'}{t'} + v \right)}{t' \left( 1 + \frac{v}{c^2} \cdot \frac{x'}{t'} \right)} = \frac{u' + v}{1 + \frac{v}{c^2} \cdot u'}$$

# Dilatace času

*Dilatace času:* Čím větší je rychlost  $v$ , tím více se zpomalí čas v pohybující se soustavě oproti klidové soustavě. Čas běží pomaleji pro pozorovatele, který se pohybuje vysokou rychlostí ve srovnání s pozorovatelem v klidu.

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

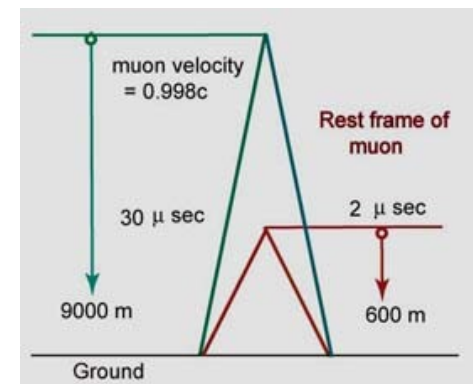
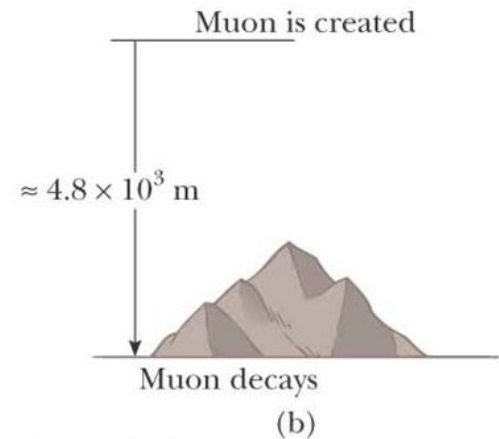
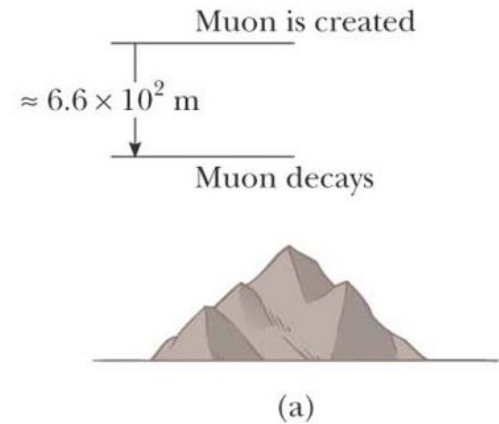
kde  $t_0$  je čas změřený v klidové soustavě,  $t$  je čas změřený v pohybující se soustavě,  $v$  je rychlost pohybující se soustavy a  $c$  je rychlost světla.



**Miony**  $\mu$  jsou elementární částice s krátkou životností (přibližně  $2,2 \mu\text{s}$ ), které vznikají v atmosféře zhruba ve výšce 30 km nad zemským povrchem a pohybují se rychlostí blízkou rychlosti světla. Za dobu své životnosti by měly urazit dráhu max. 660 m a měly by se rozpadnout už v horní vrstvě atmosféry.

Díky dilataci času se miony dostávají i do nižších vrstev atmosféry a dokonce i na povrch Země, což by za normálních okolností nebylo možné vzhledem k jejich krátkému poločasu rozpadu.

Hodnotu střední dobu života  $2,2 \mu\text{s}$  naměří pozorovatel, který se pohybuje spolu s mionem, tj. je vzhledem k němu v klidu. Pozorovatel na Zemi naměří střední dobu života delší (díky dilataci času), za kterou miony stihnou urazit vzdálenost od místa svého vzniku až na povrch Země.

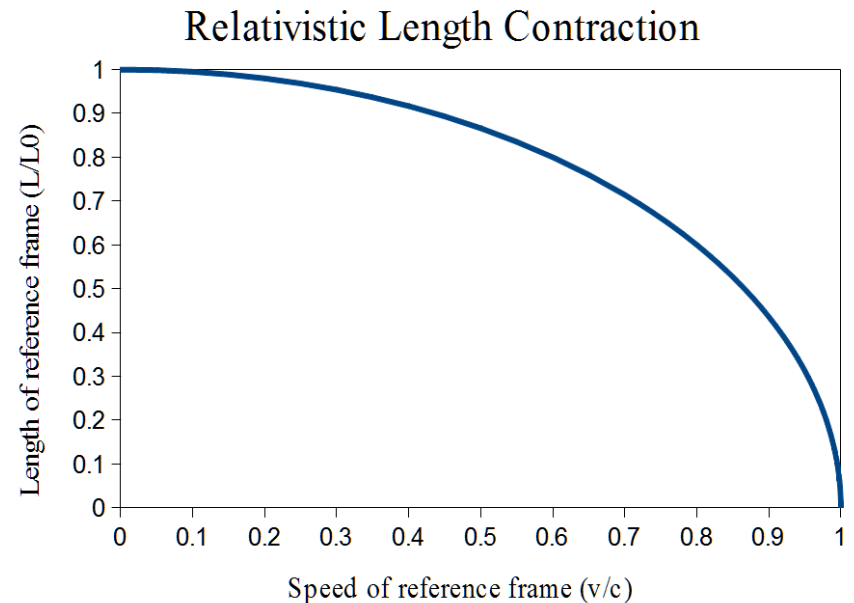
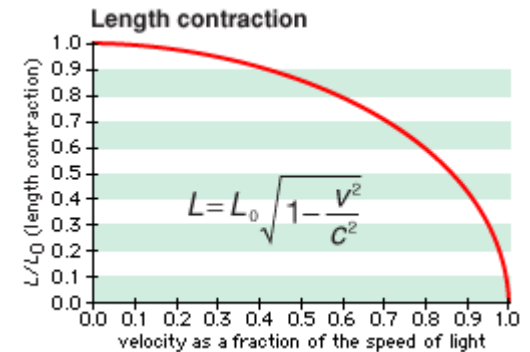
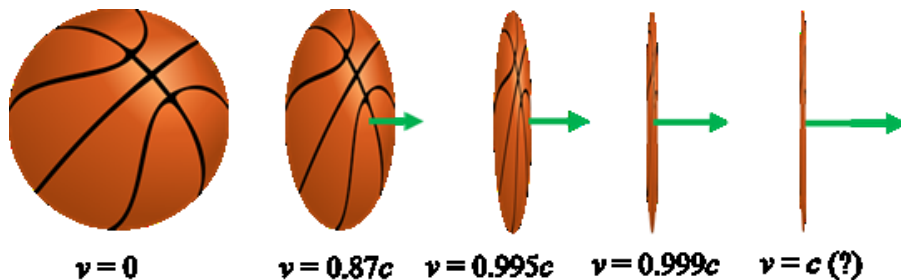


# Kontrakce délek

Kontrakce délek: čím větší je rychlost  $v$ , tím více se délka objektu zkrátí v směru pohybu pro pozorovatele ve stacionární soustavě. Délky objektů, které se pohybují vysokou rychlostí (blízkou rychlosti světla), jeví pro stacionárního pozorovatele zkrácené.

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

kde  $L$  je délka pohybujícího se objektu,  $L_0$  je délka objektu v klidu (v jeho vlastní inerciální soustavě),  $v$  je rychlost pohybu objektu a  $c$  je rychlost světla.

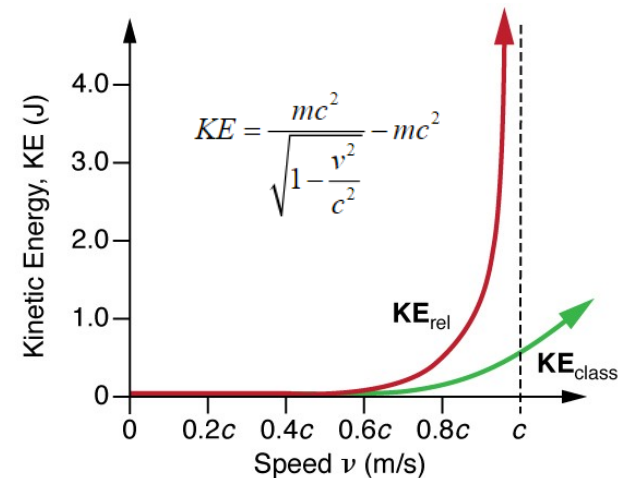
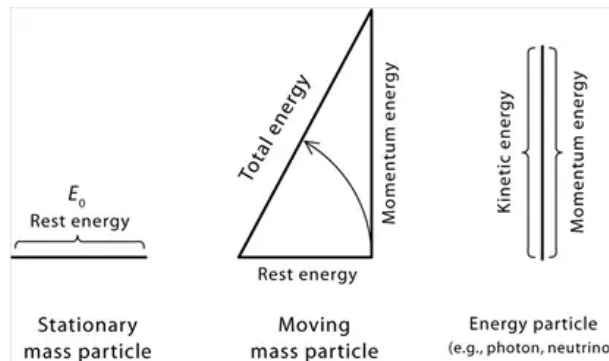
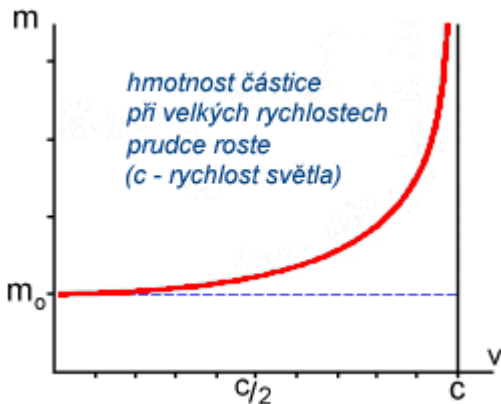
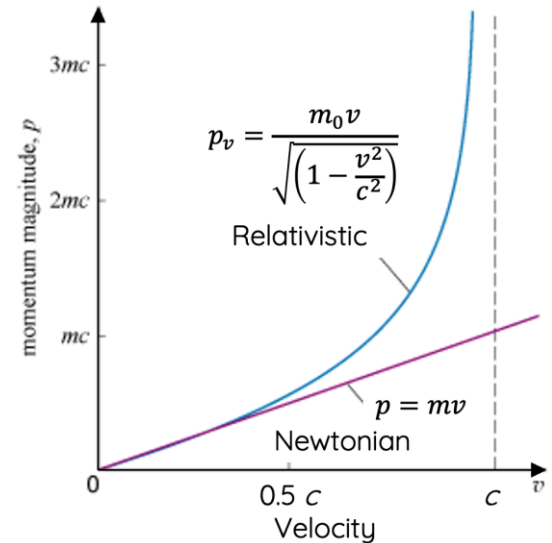
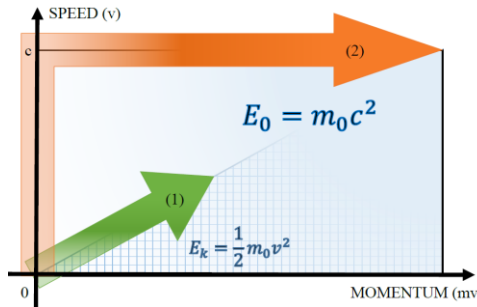


# Relativistická hmotnost, hybnost a kinetická energie

Když se objekt pohybuje vysokou rychlostí (blízkou rychlosti světla), jeho hmotnost se zvyšuje z pohledu vnějšího pozorovatele. Při rychlostech blízkých rychlosti světla se hmotnost objektu dramaticky zvyšuje, což má dopad na jeho kinetickou energii a pohyb.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

kde  $m_0$  je klidová hmotnost objektu,  $v$  je rychlost objektu a  $c$  je rychlost světla.





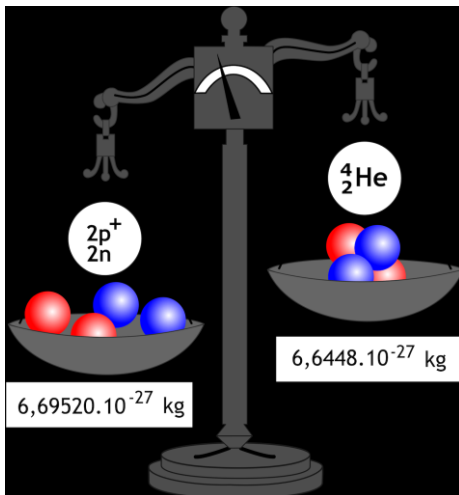
# Ekvivalence hmoty a energie

Hmotnost a energie jsou zaměnitelné. Malé množství hmoty může být přeměněno na obrovské množství energie.

$$E = mc^2$$

kde E je energie, m je hmotnost a c je rychlost světla.

Tento koncept je základem pro jaderné reakce, kde je malé množství hmoty přeměněno na energii. Energie uložená v hmotě může být uvolněna při procesech, jako je jaderná fúze nebo štěpení (jaderná energetika, Slunce uvolňující obrovské množství energie přes jaderné reakce).



**Hmotnostní úbytek jádra**  $\Delta m$  je rozdíl mezi klidovou hmotností jádra a celkovou klidovou hmotností volných nukleonů, z nichž se jádro skládá:

$$\Delta m = M - (Z \cdot m_p + N \cdot m_n)$$

Hmotnostní úbytek odpovídá vazebné energii jádra

## Hmotnost fotonu

$$mc^2 = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

$$m = \frac{h}{\lambda c}$$

## Hybnost fotonu

$$p \simeq \frac{E}{c}$$

# Relativistické efekty v chemii

V atomech s větším množstvím protonů v jádře (6. perioda), existují mnohem větší přitažlivé síly a tudíž i rychlosti elektronů ( $v \approx Z/n$ ). V těchto případech již nelze zanedbat **relativistické efekty**.

- deformace atomových orbitalů v důsledku relativistické kontrakce rozměrů.
- větší hmotnost elektronu v těchto orbitalech díky relativistické hmotnosti.

