

### \*\*\*Výměnný charakter silových interakcí

Uvažujme dvě částice  $A$  a  $B$  (viz obr. 205), které tvoří látku (tj. patří mezi [fermiony](#) a mají tedy poločíselný [spin](#)). Vyšle-li částice  $A$  částici  $x$  s celočíselným spinem (kvantum [pole](#), virtuální částici), která zprostředkovává danou [silovou interakci](#), změní zpětný ráz vzniklý při vyslání částice  $x$  rychlost částice  $A$ . Virtuální částice  $x$  se setká s částicí  $B$ , která ji pohltí. Při této [srážce](#) změní částice  $B$  svoji rychlost díky [hybnosti](#), kterou jí předala částice  $x$ . Navenek celá situace vypadá tak, jako by mezi oběma látkovými částicemi  $A$  a  $B$  působila [síla](#) - v tomto případě síla odpudivá.

Tuto výměnu si lze představit tak, že si dvě osoby, z nichž každá stojí na jedné loďce na klidné hladině rybníka, vzájemně přehazují těžký míč.

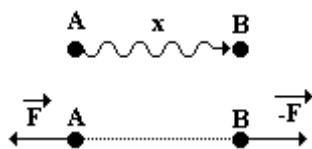
Tato zde velmi zjednodušená představa má své hluboké matematické základy, které ovšem vyžadují vysokoškolský matematický a fyzikální aparát.

Přitažlivou sílu lze popsat podobným způsobem, i když v této analogii velmi obtížně.

Jednou z variant je představit si dvě osoby stojící každá na své loďce na klidné hladině rybníka. Každá osoba má v ruce [bumerang](#), který hodí po druhé tak, že bumerang danou osobu obletí a udeří jí zezadu. Tak jí předá příslušnou hybnost ve směru [pohybu](#) k první osobě. Analogicky se zachová s bumerangem i druhá osoba.

Částice zprostředkovávající silové interakce se nazývají virtuální částice (zdánlivé částice) proto, že na rozdíl od skutečných částic je nelze přímo zachytit v žádném přístroji. Svoji existenci ale dokazují měřitelnými projevy - hlavně jsou příčinou samotné silové interakce mezi částicemi. Za určitých předpokladů mohou být tyto částice pozorovány přímo. V tom případě se ale projevují jako vlny z klasické fyziky (světelné vlny, [gravitační vlny](#), ...). Ty mohou vznikat třeba tehdy, když si látkové částice vyměňují virtuální částice. Např. elektrická odpudivá síla mezi dvěma [elektrony](#) je vyvolána výměnou virtuálních [fotonů](#), které nikdy nelze přímo zaznamenat. Jestliže se však jeden elektron pohybuje kolem druhého, vznikají také skutečné fotony, které pozorujeme jako světelné záření.

Z hlediska [energie](#) částic se jedná o problém stojící částice  $A$ , která má na úkor své [vnitřní energie](#) uvolnit (vyslat) kvantum pole (virtuální částici) tak, aby toto [kvantum](#) mohla druhá částice (částice  $B$ ) přijmout. Klasicky to není možné realizovat, neboť by došlo k porušení [zákona zachování energie](#). Zde to možné je, neboť v mikrosvětě může být zákon zachování energie porušen v rámci [Heisenbergovy relace neurčitosti](#)  $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$ .



Obr. 205

Maximální energie, kterou částice má, je [klidová energie](#)  $E_0 = m_0 c^2$ . Interakce mezi částicemi má proběhnout na vzdálenost  $r$ , tj. tuto vzdálenost musí virtuální částice za dobu  $\Delta t$  urazit.

A právě na tuto dobu si „půjčila“ energii.

V hrubém výpočtu neuděláme velkou chybu, budeme-li předpokládat, že se částice bude pohybovat rychlostí o [velikosti rychlosti světla](#) ve [vakuu](#)  $c$ . Pak podle Heisenbergovy relace neurčitosti dostaneme:  $m_0 c^2 \cdot \frac{r}{c} \approx \hbar$ , odkud lze pro vzdálenost  $r$  psát  $r = \frac{\hbar}{m_0 c} = \lambda_x$ . Tak jsme získali obecnou [Comptonovu vlnovou délku](#) virtuální částice  $x$ , která interakci způsobuje.

Částice přenášející silové interakce se nepodřizují [Pauliho vylučovacímu principu](#) (viz 4.2.2).

Tedy počet částic, které mohou být vyměněny, není omezen, a tak může vzniknout velmi intenzivní silové působení. Těžké interakční částice se ovšem vytvářejí a vyměňují obtížněji než částice s menší [klidovou hmotností](#). Síly zprostředkované velmi hmotnými částicemi proto mají krátký dosah (viz právě odvozený vztah pro vzdálenost  $r$ ). Na druhé straně silové částice (virtuální částice), které mají nulovou klidovou hmotnost (např. fotony), způsobují interakce dalekého dosahu.

---

© **Encyklopedie Fyziky** (<http://fyzika.jreichl.com>); **Jaroslav Reichl, Martin Všeticka**

Licence <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/> zakazuje úpravy a komerční distribuci.