

## Čtyři silové interakce v přehledu

Zkoumáme-li interakce [částic](#) ([srážky](#) částic), dostáváme se na základní úroveň [sil](#) působících v přírodě. V současné době známe pouze čtyři druhy sil, kterými na sebe částice vzájemně působí:

[Experimenty](#) ukazují, že více druhů [silových interakcí](#) není. Z pohledu fyziky jsou postačující, protože každá síla, s níž se fyzikové setkávají, patří mezi jednu z těchto čtyř interakcí.

1. silná [jaderná síla](#) ( $S$ ) - jedná se o projev interakce obecnější (tzv. barevné interakce), která souvisí se vzájemnou interakcí [kvarků](#). Silná síla se projevuje na známých částicích ([protony](#), ...), zatímco barevná se projevuje na úrovni struktury. Tato interakce je zodpovědná za jaderné síly, které drží pohromadě [jádro atomu](#).

Proto je silná síla odpovědná za to, že objekty ([hvězdy](#), lidé, ...) jsou těžké. Většina hmotnosti daného objektu je soustředěna právě v [atomovém jádru](#).

2. elektromagnetická síla ( $E$ ) - působí mezi všemi nabitými částicemi a způsobuje proto elektromagnetické jevy. Její velikost je nulová v nekonečné vzdálenosti od nabitě částice. Tato interakce fixuje velikost [atomů](#), strukturu pevné látky, způsobuje vazbu mezi [elektronem](#) a jádrem, ...

Elektromagnetická síla tedy vytváří objem objektů. Většina sil z běžného života (třecí síly, [odporové síly](#), ...) jsou projevem právě elektromagnetické interakce.

3. slabá jaderná síla ( $W$ ) - jedná o interakci, která způsobuje  [\$\beta\$  rozpad](#). Podléhají jí částice, které nejsou nabitě (např. [neutrina](#)).
4. gravitační síla ( $G$ ) - ve světě částic je její účinek zanedbatelně malý. Její význam je ale dominantní pro [astronomii](#) - drží pohromadě soustavy [nebeských těles](#) ([Sluneční soustava](#), [galaxie](#), ...), formuje hvězdy, běžná [vesmírná tělesa](#) s rozměry nad 100 km, ... Na rozdíl od elektromagnetické interakce nelze gravitační interakci žádným způsobem odstínit.

Malý účinek této interakce v mikrosvětě je dán malou hmotností (resp. [klidovou hmotností](#)) objektů [mikrosvěta](#). Jinými slovy gravitační síla je zanedbatelná ve srovnání s jinými silami, které působí mezi těmiž částicemi.

Slabá jaderná síla způsobuje při  $\beta$  rozpadu přeměnu [neutronu](#) na proton, elektron a antineutrino uvnitř jádra. To je děj, který se nemůže stát vlivem žádné jiné síly. Silná interakce drží protony a neutrony v jádře pohromadě, elektromagnetická interakce se snaží protony od sebe oddálit, ale ani jedna z nich nemůže změnit typ těchto částic. A gravitační síla to v žádném případě neudělá také.

Jednotlivé interakce přehledně zobrazuje tab. 5, v níž:

1. *Dosah* udává dosah dané interakce;
2. *Vazbová konstanta* udává relativní intenzitu dané interakce;

Je to vlastně „síla“ daného typu interakce.

3. [Střední doba života](#) udává střední dobu života částice, která je vázána danou interakcí;

Jedná se tedy o pravděpodobnost, kdy (a jestli vůbec) se daná částice rozpadne.

4. [Účinný průřez](#) je daný rozptylem dvou částic (počítáno pro případ, kdy jedna částice stojí a druhá nalétá s [energií](#) 10 GeV).

Na obr. 204 je znázorněn průběh intenzity  $I$  jednotlivých silových interakcí v závislosti na vzdálenosti částic  $R$ . Je vidět, že nejvíce se projevují rozdíly v intenzitách interakcí právě uvnitř atomových jader, jejichž typický rozměr je řádově  $10^{-15} \text{ m} = 1 \text{ fm}$ .

Typ interakce		Působí na „náboj“	„Cítí“ jí částice	Prostředník	Dosah	Vazbová konstanta	Střední doba života	Účinný průřez
silná	S	barevný náboj	kvarky, <a href="#">gluony</a>	gluony	$10^{-15}$ m	1 - 10	$10^{-23}$ s	$4 \text{ fm}^2$
elektromagnetická	E	<a href="#">elektrický náboj</a>	elektricky nabitě	<a href="#">fotony</a>	$\infty$	$\frac{1}{137}$	$10^{-22}$ s	$10^{-4} \text{ fm}^2$
slabá	W	<a href="#">vůně</a>	kvarky, <a href="#">leptony</a>	$W^+, W^-, Z^0$	$10^{-18}$ m	$10^{-10}$	$10^{-23}$ s	$10^{-11} \text{ fm}^2$
gravitační	G	hmota	všechny	gravitony	$\infty$	$10^{-38}$		

tab. 5

Ve vzdálenosti 1 fm je relativně nejsilnější silná interakce, což umožňuje existenci stabilních jader atomů.

Tato interakce je vždy přitažlivá - bez rozdílu na náboj částice, která se v jádře atomu nachází. A dále než v jádru atomu nepůsobí!

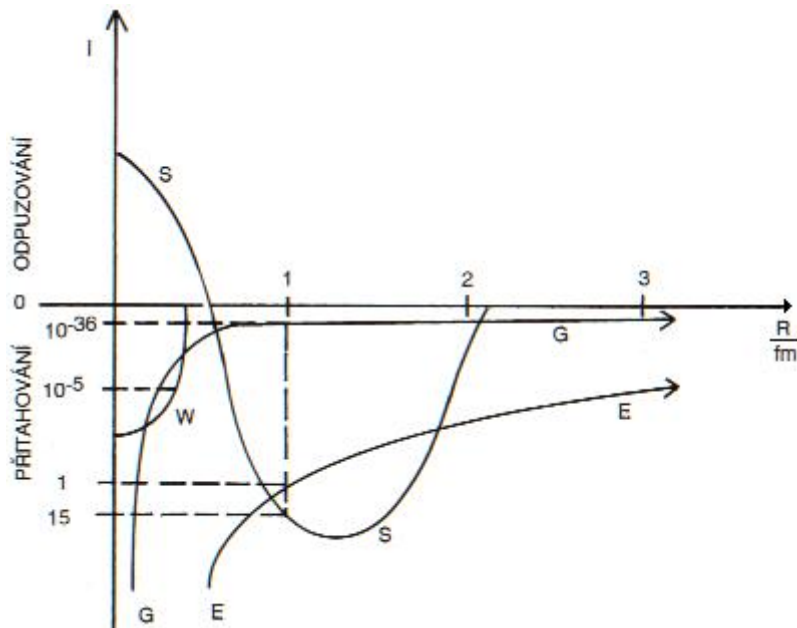
Elektromagnetická interakce je totiž přitažlivá jen pro částice s opačným elektrickým nábojem. Z grafu je také vidět, že slabá interakce se uplatňuje pouze uvnitř atomových jader. [Gravitace](#) a elektromagnetismus jsou jediné interakce dalekého dosahu, a proto se uplatňují i v makrosvětě resp. v [kosmologii](#).

*Poznámka: Stupnice intenzity na obr. 204 je silně nelineární - jinak by obrázek nebylo možné nakreslit tak, aby na něm byly interakce rozumně vidět.*

O uvedených silových interakcích předpokládáme, že jsou zprostředkovány [kvanty silových polí \(virtuálními částicemi\)](#) a představujeme si vzájemné silové působení (silové interakce) tak, že si částice vyměňují tato [kvanta](#).

**Gravitační silové působení** ve světě částic je sice univerzální tj. gravitačně na sebe vzájemně působí všechny druhy částic, ale je nejslabší. Zprostředkující kvanta gravitačního silového pole, tzv. **gravitony**, se zatím nepodařilo objevit. K jejich objevu by mohla napomoci registrace [gravitačních vln](#) z vesmíru a jejich zkoumání.

O to se fyzikové pokoušejí už od dob Alberta Einsteina, který gravitaci popsal v rámci [obecné teorie relativity](#), ale teprve v nedávné době (cca od 90. let 20. století) se začaly stavět velké [detektory gravitačních vln](#). Problém je ale v tom, že gravitační vlny, které na Zem dospějí, mají velmi malou amplitudu. Proto jsou velmi obtížně detekovatelné. A takové [události](#) ve vesmíru, které by byly zdrojem silnějších gravitačních vln, jsou velmi vzácné. Nicméně technika snad už brzy umožní rozumně detekovat i velmi slabé gravitační vlny, abychom se více dozvěděli i o této interakci.



Obr. 204

**Elektromagnetické působení** je nejlépe prozkoumáno a probíhá mezi částicemi, které mají elektrický náboj. Zprostředkující kvantum je **foton**, kvantum [elektromagnetického záření](#).

V mikrosvětě se navíc setkáváme s dalšími dvěma druhy sil. Ty, které nazýváme **silné interakce**, tvoří podstatu jaderných sil, a tedy i jaderné energie. **Slabé interakce** se uplatňují při [reakcích](#), kde vystupují neutrina, při radioaktivním  $\beta$  rozpadu, ...

K velkým úspěchům částicové fyziky patří objev částic, které zprostředkují slabé síly. Jedná se o tři částice: intermediální [bosony](#)  $W^\pm$  a  $Z^0$ . Na rozdíl od fotonu mají nenulovou klidovou hmotnost, a to dokonce značnou; u  $W^\pm$  jde o hmotnost, která je ekvivalentní energii 81 GeV a u  $Z^0$  je to 92 GeV (zatímco u elektronu je to pouze 0,5 MeV). Existenci těchto částic předpověděli na základě teorie američtí fyzikové S. Weinberg (narozen 1933) a S. Glashow (1932) a pákistánský fyzik A. Salam (1926), nositelé Nobelovy ceny za rok 1979. Vzhledem k velké klidové hmotnosti intermediálních bosonů bylo možno očekávat jejich experimentální pozorování pouze na [urychlovačích](#) s dostatečně velkou energií. Podařilo se to italskému fyzikovi C. Rubbiovi (narozen roku 1934) a holandskému fyzikovi S. van der Meerovi (1925) a jejich spolupracovníkům na urychlovači SPS v [CERNu](#) a byli za to odměněni Nobelovou cenou v roce 1984.