Fyzikální rozbor srážky

Kruhové urychlovače jsou ve srovnání s lineárními urychlovači výhodnější pro další zkoumání částic. Mohou se v nich totiž používat tzv. **vstřícné svazky částic**.

Svazky částic (tzv. bunch) se místo jedné částice používají proto, že se tím zvyšuje pravděpodobnost srážky částic.

To znamená, že se urychlí částice letící urychlovačem jedním i druhým směrem. Tyto částice se pak nechají navzájem v detektoru urychlovače srazit. Srážka tak vlastně proběhne při dvojnásobné energii, než mají srážející se částice.

Podobnou situaci (bohužel) známe i v makrosvětě: čelní srážka dvou vozidel je výrazně horší než náraz vozidla do betonového sloupu mostu nebo do stojícího vozidla. V případě čelní srážky se veškerá kinetická energie automobilů spotřebuje na deformaci (automobilu i posádky). V případě nárazu do nehybné překážky se část celkové kinetické energie spotřebuje na pohyb šrotu, který z automobilu po srážce zůstal (trosky automobilu nebo sloupu odletí několik desítek metrů od místa nehody).

Při srážkách částic je „odhození šrotu“ pro fyziky nežádoucí. Částicoví fyzikové potřebují, aby se veškerá energie, kterou pohybující se částice mají, spotřebovala na destrukci částic a tedy i na „narození“ nových částic. Tento jev nemá analogii s makrosvětem: při srážce dvou aut se nestane, že by se šrot vytvaroval tak, že by z místa srážky odlétl nádherný motocykl. Ve fyzice je to jediný způsob, jak vytvořit nové částice: nechat jiné částice vzájemně srazit.

I v případě, kdy se objekt vzniklý při srážce dvou jiných objektů (vrak automobilu, částice, ...) bude po srážce sám pohybovat, lze najít vhodnou vztažnou soustavu pro výpočty. Takové soustavě se říká **těžišťová soustava** a je to soustava spojená s těžištěm srážejících se objektů. V této soustavě platí: $\overrightarrow{p_1} = -\overrightarrow{p_2}$.

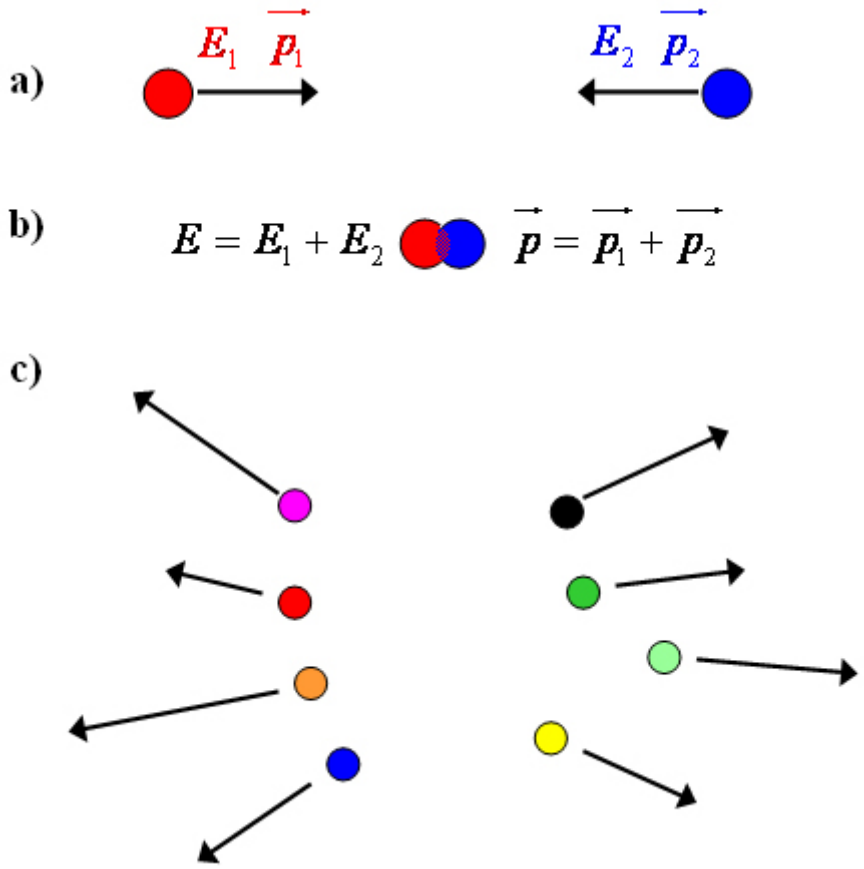
Uvažujme nyní srážku dvou částic, které mají před srážkou relativistické energie E_1 a E_2 a relativistické hybnosti $\overrightarrow{p_1}$ a $\overrightarrow{p_2}$ (viz schématicky obr. 179a)).

Popisovat částice pomocí energie místo velikosti rychlosti je výhodnější. Už při energii, která je 10krát větší než je klidová energie dané částice, se tato částice pohybuje rychlostí o velikosti více než 90 % velikosti rychlosti světla ve vakuu. Další zvyšování velikosti rychlosti částice by se tedy popisovalo matematicky velmi nepřehledně. Proto se používá k popisu relativistická energie částice, kterou lze v současných urychlovačích zvýšit oproti klidové energii více než 1000krát.

Podle relativistického vztahu souvislosti energie a hybnosti pro uvedené veličiny platí vztahy: $E_1^2 = p_1^2c^2 + m_{01}^2c^4$ a $E_2^2 = p_2^2c^2 + m_{02}^2c^4$, v nichž m_{01} a m_{02} jsou klidové hmotnosti daných částic. Pokud provedeme matematickou úpravu daných vztahů, získáme $E_1^2 - p_1^2c^2 = m_{01}^2c^4$ a $E_2^2 - p_2^2c^2 = m_{02}^2c^4$. Pravé strany rovnic jsou tedy konstanty.

Relativistická energie a relativistická hybnost částice tedy nemohou být libovolné - musí mít takové hodnoty, aby platily výše uvedené vztahy. Pravá strana, která je konstantní při libovolných hodnotách relativistické energie a relativistické hybnosti, se nazývá **invariant**.

Pravá strana je opravdu konstanta: klidová hmotnost je stálá a nemění se (ani vlivem relativistických jevů), a velikost rychlosti světla ve vakuu je také konstanta.



Obr. 179

Během srážky a po ní (viz obr. 179b) bude celková relativistická energie částic $E = E_1 + E_2$ a relativistická hybnost $\vec{p} = \vec{p_1} + \vec{p_2}$. Bude tedy platit: $(E_1 + E_2)^2 - (\vec{p_1} + \vec{p_2})^2 c^2 = s$, kde *s* je označení invariantu na pravé straně. Pokud vznikne po srážce jedna těžká částice, bude $s = M^2 c^4$, v případě, že vznikne *n* částic (jako na obr. 179c) bude $s = (E_1' + E_2' + \ldots + E_n')^2 - (\vec{p_1'} + \vec{p_2'} + \ldots + \vec{p_n'})^2 c^2$. Z původních částic tak vznikly částice nové. Původní částice mohly, ale nemusely přežít.

Průběh reakce závisí na způsobu srážky (čelní ráz, pružný ráz, nepružný ráz, ...), na účinném průřezu a dalších charakteristikách.

Pro kruhové urychlovače je vhodné srážet vstřícné svazky dvou typů částic se stejnou klidovou hmotností a stejným (nebo opačným) nábojem. Takové částice lze totiž proti sobě urychlovat ve stejném urychlovacím prstenci. Pokud tedy budeme uvažovat částice, pro jejichž relativistické energie platí $E_1 = E_2$ a pro jejichž relativistické hybnosti platí $\vec{p_1} = -\vec{p_2}$, můžeme psát: $(E_1 + E_2)^2 - (\vec{p_1} + \vec{p_2})^2 c^2 = s$. Tedy $(2E_1)^2 - 0^2 c^2 = s$, z čehož vyplývá $2E_1 = \sqrt{s}$. To znamená, že v těžišťové soustavě je na tvorbu nových částic k dispozici energie $E_{\text{na nové částice}} = 2E_1$.

Pokud bychom uvažovali srážku dvou částic, z nichž jedna by byla v klidu, dostaneme jiný výsledek. První částice nalétává s relativistickou energií E_1, druhá stojí a má tedy jen klidovou energii $E_2 = m_{02} c^2$. Hybnost první částice je $\vec{p_1}$, hybnost druhé je nulová. Po dosazení do relativistického vztahu souvislosti energie a hybnosti $(E_1 + E_2)^2 - (\vec{p_1} + \vec{p_2})^2 c^2 = s$ dostaneme $(E_1 + m_{02} c^2)^2 - (\vec{p_1})^2 c^2 = s$. Po úpravě máme $E_1^2 + 2E_1 m_{02} c^2 + m_{02}^2 c^4 - p_1^2 c^2 = s$. S využitím vztahu mezi souvislosti energie a hybnosti lze psát: $2E_1 m_{02} c^2 + m_{02}^2 c^4 + m_{01}^2 c^4 = s$; takže $\sqrt{s} = \sqrt{2E_1 m_{02} c^2 + m_{02}^2 c^4 + m_{01}^2 c^4}$.

Pro dvě částice se stejnými klidovými hmotnostmi bychom dostali: $\sqrt{s} = \sqrt{2E_1 m_{01}c^2 + m_{01}^2 c^4 + m_{01}^2 c^4} = \sqrt{2E_1 m_{01}c^2 + 2m_{01}^2 c^4} = \sqrt{2m_{01}c^2\left(E_1 + m_{01}c^2\right)}$. Při srovnání s energií, která po srážce částic letících proti sobě zůstane na tvorbu nových částic, je energie v tomto případě menší. Proto jsou vstřícné svazky výhodnější.

© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.