***Technické parametry urychlovačů

Trubice kruhových urychlovačů jsou poměrně dlouhé. Mohlo by se zdát, že při výrazně kratší délce (resp. poloměru) urychlovače se ušetří materiál, energie a tedy i finanční prostředky. To ovšem není pravda!

Velká délka trajektorie ve tvaru kružnice znamená, že kružnice má velký poloměr (resp. malou křivost).

Křivost se definuje jako převrácená hodnota poloměru kružnice.

Velký poloměr (resp. malá křivost) je důležitá pro změnu směru pohybu urychlovaných částic. Na částice musí působit dostředivá síla, která zakřivuje jejich trajektorii. Pro velikost dostředivé síly $\overrightarrow{F_d}$ působící na částici s hmotností *m* přitom platí: $F_d = ma_d = m\frac{v^2}{r}$, kde *v* je velikost rychlosti pohybu částice a *r* poloměr kružnice, po které se částice pohybuje. S rostoucím poloměrem křivosti trajektorie částic tedy klesá velikost síly, kterou je třeba na částici při dané velikosti rychlosti působit, aby se pohybovala stále po uvažované kružnici.

Ve výpočtech, kterými se řídí činnost urychlovačů, je nutné vzít v úvahu relativistickou hmotnost částice (tj. uvažovat změnu hmotnosti částice v závislosti na velikosti její rychlosti). Nicméně pro základní úvahu o souvislosti zrychlení (resp. síly) s poloměrem kružnice, po níž se částice pohybují, stačí uvedený klasický pohled.

Dostředivou sílu v urychlovačích realizuje magnetická síla. Proto při velkém poloměru křivosti trajektorie částic stačí magnetické pole s menší velikostí magnetické indukce, která určuje změnu směru rychlosti částic. S tím souvisí i druhý důvod, proč se konstruují urychlovače takových velkých rozměrů: Podle teorie relativity každá nabitá částice, která se pohybuje se zrychlením, ztrácí část své energie ve formě tzv. brzdného záření (synchrotronové záření).

Taková částice prostě při svém pohybu vyzařuje záření, čímž ztrácí příslušnou část své energii. Velikost rychlosti jejího pohybu by proto klesala, pokud by nebyla částice průběžně urychlována.

Výkon, který relativistická částice s klidovou hmotností m_0, nábojem *q* a energií *E* pohybující se po kruhové trajektorii s poloměrem *R* vyzáří, je dán výrazem $P = \frac{q^2 c}{6\pi\varepsilon_0}\frac{1}{R^2}\left(\frac{E}{m_0c^2}\right)^4$, kde ε_0 je permitivita vakua. Během jednoho oběhu tedy částice vyzáří energii: $\Delta E = Pt = \frac{q^2 c}{6\pi\varepsilon_0}\frac{1}{R^2}\left(\frac{E}{m_0c^2}\right)^4 \cdot \frac{2\pi R}{c} = \frac{q^2}{3\varepsilon_0}\frac{1}{R}\left(\frac{E}{m_0c^2}\right)^4$. Pro jednoduchost jsme předpokládali, že částice se pohybují v urychlovači téměř rychlostí světla ve vakuu. S rostoucím poloměrem zakřivení trajektorie částic (tj. s klesající křivostí) klesají energetické ztráty. Pro částice s malou klidovou hmotností (např. elektrony) je energie vyzářená ve formě synchrotronového záření výrazně vyšší, než pro částice s vyšší hmotností (např. protony).

V závěrečné fázi činnosti LEPu v něm byly elektrony urychlovány na energii 100 GeV, což znamenalo ztrátu 2 GeV na jeden oběh. V LHC budou urychlovány protony na energii 7 TeV a energie vyzářená ve formě synchrotronového záření bude jen 4 keV na jeden oběh.

Dosažitelnou energii pro protonové urychlovače tak (na rozdíl od urychlovačů elektronů) neomezují ztráty připadající na synchrotronové záření, ale dosažená velikost magnetické indukce magnetického pole dipólových magnetů. Ty zakřivují trajektorii částic, a proto s rostoucí energií

částice musí růst i velikost magnetické indukce magnetického pole, které je nutné na zakřivení trajektorie částice.

Veškeré experimenty prováděné na urychlovačích nejen v CERNu jsou nesmírně náročné na přesnost. Uvědomíme-li si, že po uražení dráhy několika desítek kilometrů se mají setkat dva svazky částic, jejichž průměry jsou řádově $10^{-15}\,\mathrm{m}$, je zřejmé, jaké nároky na přesnost jsou kladeny na techniku, která celý proces urychlování a navádění částic proti sobě řídí. Tyto experimenty jsou velmi citlivé i na okolní vlivy (slapové síly Měsíce, otřesy země, teplotní výkyvy aparatury, ...), které se musí během celé doby konání experimentu průběžně korigovat.

© 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.