

## \*\*\*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  $\vec{F}_d$  působící na částici s hmotností  $m$  přitom platí:  $F_d = m a_d = m \frac{v^2}{r}$ , 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. [brzděného záření](#) (synchrotronové záření).

Taková částice prostě při svém pohybu vyzařuje záření, čímž ztrácí příslušnou část své energie. 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  $P = \frac{q^2 c}{6 \pi \epsilon_0} \frac{1}{R^2} \left( \frac{E}{m_0 c^2} \right)^4$ , kde  $\epsilon_0$  je [permitivita vakua](#). Během jednoho oběhu tedy částice vyzáří energii:

$\Delta E = P t = \frac{q^2 c}{6 \pi \epsilon_0} \frac{1}{R^2} \left( \frac{E}{m_0 c^2} \right)^4 \cdot \frac{2 \pi R}{c} = \frac{q^2}{3 \epsilon_0} \frac{1}{R} \left( \frac{E}{m_0 c^2} \right)^4$ . 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 vyzáření 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  $10^{-15}$  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 Všeticka**

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