Zajímavosti o LHC

Cívky elektromagnetů používaných v CERNu v LHC jsou navinuty z niob-titanových kabelů. Každý z nich je tvořen 9000 vlákny, která jsou 10krát tenčí než lidský vlas, a vydrží průchod elektrického proudu 12,5 kA. Při plném výkonu magnetického pole je velikost magnetické síly připadající na metr délky magnetu srovnatelná s velikostí tíhové síly Jumbo Jetu.

Hodnota elektrického proudu, který protéká vinutím cívek, je tedy zhruba 30000krát větší než je hodnota proudu, který protéká žárovkou s výkonem 100 W připojenou k fázovému napětí. Takovou žárovkou protéká elektrický proud $I = \frac{P}{U} = \frac{100}{230}\,\mathrm{A} = 0{,}43\,\mathrm{A}$.

Při plném výkonu urychlovače se budou protony pohybovat trubicí rychlostí o velikosti 99,99 % velikosti rychlosti světla ve vakuu. Za jednu sekundu tak proletí prstencem 11245krát. Přitom se pohybují ultravysokým vakuem - tlak v trubici, kterou se pohybují částice, je desetkrát menší než na Měsíci! Vakuum je tedy srovnatelné s vakuem v meziplanetárním prostoru.

Při srážce protonů probíhá reakce při teplotách 100000krát vyšších než je teplota nitra Slunce. V kontrastu s tím je teplota kapalného hélia v chladícím systému: ta je nejmenší v celém vesmíru.

Vinutí cívek musí být zajištěno proti pohybu, který by mohl nastat při změně magnetického pole v cívce. Při pohybu vinutí po sobě resp. po cívce by se třením uvolňovalo teplo, které by ohřívalo cívky. Tak by se mohly ohřát nad kritickou teplotu, při níž by ztratily své supravodivé vlastnosti. Tím by se celý urychlovač okamžitě zastavil.

Pohyb cívek by nastal při změně magnetického pole, která je způsobena změnou elektrického proudu tekoucího cívkami. Proto je nutná velmi pevná fixace vinutí.

Každý z magnetů (jak dipólové magnety, tak kvadrupólové magnety) má hmotnost asi 30 tun a délku 15 metrů. Při ochlazení na tepotu 1,9 K se magnet zkrátí o 4,5 cm. Vzhledem k tomu, že jsou magnety z nerez oceli velmi pevně usazeny v tunelu, je změna jejich délka provázena velmi hlasitým duněním.

Pevné usazení magnetů je nutné proto, že magnety vytvářejí velmi silné magnetické pole a tedy na sebe navzájem působí velkou magnetickou silou. Proto je nutné magnety řádně ukotvit, aby nedošlo k nehodě.

Kryogenní aparatura LHC je tvořena soustavou 40000 velmi dobře utěsněných navzájem spojených trubek. Více než 12 milionů litrů (10800 tun) kapalného dusíku je potřeba na počáteční vychlazení systému o hmotnosti 36000 tun. Dalších 800000 litrů (60 tun) supratekutého hélia je nutné na finální ochlazení na teplotu 1,9 K. Spolehlivost a efektivita tohoto chladícího procesu je klíčová pro dosažení požadovaného výkonu magnetů a dalšího zařízení urychlovače.

Kapalný dusík je levnější a proto je použit na prvotní ochlazení na teplotu 80 K (teplota varu kapalného dusíku). Zbývající ochlazení (o zhruba 75 K) se provádí pomocí helia. Při teplotě menší než 4 K vykazuje helium supratekutost. V tomto stavu prudce klesá jeho viskozita a helium velmi snadno proniká i do velmi malých otvorů. Toho se právě využívá při chlazení komponent LHC.

Při těchto nízkých teplotách mají vinutí cívek vlastnosti supravodiče. Mají tedy nejen nulový elektrický odpor, ale také se u nich projevuje Meissnerův jev. To znamená, že nedochází k žádným ztrátám elektrického výkonu. LHC je tak jedno z nejchladnějších míst ve vesmíru.

Teplota reliktního záření vyplňujícího vesmír je asi 2,7 K. Komponenty LHC jsou chlazeny na 1,9 K!

Elektrické vinutí cívek magnetů i mechanické podpěry, na kterých stojí samotné magnety,

přenášejí teplo. To znamená, že tímto způsobem se vychlazená aparatura ohřívá. Kdyby nebyla pečlivě navržena, byl by přenos tepla velký a vzrostly by tedy i náklady na dodatečné chlazení systému. Proto jsou podpěry magnetů vyrobeny ze 4 mm silného kompozitního materiálu na bázi skleněného vlákna s příměsí epoxidu. Každá podpěra nese zátěž 10 tun a propouští pouze 0,1 W tepelného výkonu.

Tepelným ztrátám je zabráněno i tím, že v trubici, v níž se pohybují částice, je vysoké vakuum. Navíc jsou trubice s částicemi i přívodní trubice kryogenní aparatury obaleny reflexní hliníkovou fólií, která velmi dobře izoluje.

Hliníková fólie tedy funguje podobně jako termoska: přenos vnitřní energie mezi okolím a aparaturou urychlovače je velmi silně omezen.

Magnetické pole dipólových magnetů musí mít stálé homogenní pole, což znamená, že elektrický proud procházející vinutím cívek musí být velmi pečlivě kontrolován. Teplota magnetu je měřena s přesností 5 tisícin stupně, elektrický proud s přesností na miliontinu ampéru.

Elektrický příkon, který potřebuje ke svému provozu LHC, je 120 MW. Celkový příkon CERNU je 300 MW.

Řada číselných údajů o LHC je uvedena v přehledu na obr. 206.

Quantity	number
Circumference	26 659 m
Dipole operating temperature	1.9 K (-271.3°C)
Number of magnets	9593
Number of main dipoles	1232
Number of main quadrupoles	392
Number of RF cavities	8 per beam
Nominal energy, protons	7 TeV
Nominal energy, ions	2.76 TeV/u (*)
Peak magnetic dipole field	8.33 T
Min. distance between bunches	~7 m
Design luminosity	10^{34} cm^{-2} s^{-1}
No. of bunches per proton beam	2808
No. of protons per bunch (at start)	1.1×10^{11}
Number of turns per second	11 245
Number of collisions per second	600 million

(*) Energy per nucleon

Obr. 206

© 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.