

## Zajímavosti o LHC

[Cívky elektromagnetů](#) používaných v [CERNu](#) v [LHC](#) jsou navinuty z niob-titanových kabelů. Každý z nich je tvořen 9000 vláknů, 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  $I = \frac{P}{U} = \frac{100}{230} \text{ A} = 0,43 \text{ A}$ .

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 teplotu 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 provázána 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. Další 800000 litrů (60 tun) supratekutého hélia je nutné na finální ochlazení na teplotu 1,9 K. Spolehlivost a efektivita tohoto chladicího 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 hélia. 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 přírodní 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 tisícín 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. 202.

| 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                   | $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ |
| No. of bunches per proton beam      | 2808                                     |
| No. of protons per bunch (at start) | $1.1 \times 10^{11}$                     |
| Number of turns per second          | 11 245                                   |
| Number of collisions per second     | 600 million                              |

(\*) Energy per nucleon

Obr. 202