

## Úloha III.S ... tokamak

6 bodů; průměr 2,73; řešilo 15 studentů

- a) Spočítejte specifický odpor vodíkového plazmatu při teplotě 1 keV a srovnajte ho s odporem běžně používaných vodičů.
- b) Spočítejte, jak velký proud plazmatu je zapotřebí k vytvoření dostatečně silného poloidálního magnetického pole v tokamaku, který má hlavní poloměr 0,5 m. Toroidální pole vytváří cívky navinuté okolo torusu s hustotou vinutí 20 závitů na metr, kterými prochází proud 40 kA. Poloidální pole by mělo mít velikost zhruba 1/10 pole toroidálního.
- c) Pokuste se libovolným nápaditým způsobem vytvořit fyzický model siločar v tokamaku, tento model nafoťte a pošlete spolu s řešením.

Robin.

- a) Vztah uvedený v třetí části seriálu je sice zjednodušený, postačí ale pro to, abychom získali řádový odhad specifického odporu plazmatu.

$$\eta = \frac{e^2}{16\pi\epsilon_0^2 m^2 v^3},$$

dospějeme k hodnotě cca  $1,3 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$ . Tento odpor můžeme srovnat např. se specifickým odporem mědi ( $1,6 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ), olova ( $2,2 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$ ) nebo oceli ( $6,9 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$ ). Plazma je tedy poměrně dobrý vodič, což má za následek malý výkon ohmického ohřevu.

- b) Nejprve si spočteme, jak velké toroidální pole vytvoří cívky o заданých parametrech – s použitím vztahu pro magnetické pole vytvářené solenoidem

$$B_T = \mu_0 n I,$$

kde  $n$  je počet závitů na metr a  $I$  je proud v solenoidu. Po dosazení dospějeme k velikosti magnetického pole cca 1 Tesla. Poloidální pole by mělo mít velikost 0,1 T. Pro výpočet magnetického pole generovaného plazmatem budeme uvažovat přiblížení nekonečně dlouhého vodiče. V tomto případě magnetické pole klesá směrem od vodiče a je nutné zvolit referenční vzdálenost, ve které budeme velikost pole uvažovat. Jako dobré přiblížení slouží malý poloměr torusu. Tento údaj sice v zadání chyběl, vyskytoval se tam ale hlavní poloměr torusu ( $R = 0,5 \text{ m}$ ). Pro většinu moderních tokamaků je poměr hlavního a malého poloměru blízký 3, tj. můžeme uvažovat malý poloměr přibližně  $a = 0,15 \text{ m}$ . Nyní již můžeme použít známý vzorec

$$B_{\text{pol}} = \frac{\mu_0 I_p}{2\pi a}$$

a získat hodnotu potřebného proudu plazmatu  $I_p$ . Po dosazení dospějeme k přibližné hodnotě 75 kA.

Pozn.: Tento postup je velmi zjednodušený a zanedbává celou řadu efektů, např. zakřivení toroidálních cívek, profil proudové hustoty v plazmatu apod. Pro přibližný odhad potřebného proudu ale postačuje. Na tokamaku COMPASS, který má danou velikost toroidálního pole, se pracuje se zhruba dvojnásobnou velikostí proudu plazmatu, tj. okolo 150 kA.

**Michael Komm**  
robin@fykos.cz

---

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.  
Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.