

# Magnetni pritisak

# Uvodne napomene

- Jednačina kretanja elektroprovodnog fluida

$$\rho \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \rho \mathbf{f} - \nabla p + \frac{1}{\mu_0} (\text{rot} \mathbf{B}) \times \mathbf{B} + \mu \Delta \mathbf{v} + \left( \lambda + \frac{1}{3} \mu \right) \nabla (\nabla \cdot \mathbf{v})$$

- Primenjujući identitet vektorske algebre

$$\text{grad}(\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}) = \mathbf{a} \times \text{rot} \mathbf{b} + \mathbf{b} \times \text{rot} \mathbf{a} + (\mathbf{a} \cdot \nabla) \mathbf{b} + (\mathbf{b} \cdot \nabla) \mathbf{a}$$

koji se za  $\mathbf{a}=\mathbf{b}=\mathbf{B}$  svodi na

$$\mathbf{B} \times \text{rot} \mathbf{B} = \text{grad} \left( \frac{1}{2} B^2 \right) - (\mathbf{B} \cdot \nabla) \mathbf{B}$$

možemo posmatranu jednačinu kretanja dovesti na oblik

$$\rho \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \rho \mathbf{f} - \nabla \left( p + \frac{1}{2\mu_0} B^2 \right) + \frac{1}{\mu_0} (\mathbf{B} \cdot \nabla) \mathbf{B} + \mu \Delta \mathbf{v} + \left( \lambda + \frac{1}{3} \mu \right) \nabla (\nabla \cdot \mathbf{v})$$

# Analiza jednačine kretanja

- Drugi član desne strane ovako transformisane jednačine kretanja

$$p + \frac{1}{2\mu_0} B^2$$

pokazuje da na kretanje elektroprovodnog fluida utiče ne samo hidrodinamički pritisak (gasni, molekularno-kinetički) pritisak  $p$ , već i magnetni pritisak

$$p_M = \frac{1}{2\mu_0} B^2$$

- Magnetni pritisak je numerički jednak gustini energije magnetnog polja u fluidu i njegovo postojanje je u vezi sa Maksvelovim tenzorom magnetnih napona.

# Magnetni pritisak..nastavak

- Bezdimenzionalan parametar  $\beta=p/p_M$  predstavlja merilo relativnog uticaja hidrodinamičkog i magnetnog pritiska na kretanje elektroprovodnog fluida (magnetni pritisak je dominantan u slučaju kad je  $\beta \ll 1$ ).
- Treći član desne strane u jednačini kretanja pokazuje da prisustvo magnetnog polja dovodi i do pojave jedne zapreminske sile istezanja duž linija sile.

$$\frac{1}{\mu_0}(\mathbf{B} \cdot \nabla)\mathbf{B}$$

- Zahvaljujući magnetnom pritisku plazma se može održavati magnetnim zidovima, može se sabijati magnetnm klipom, plazmoidi se mogu izbacivati iz plazmenog topa.

Obnovimo ponderomotorne  
sile

# Ponderomotorne sile elektromagnetog polja

- Sile kojima elektromagnetno polje (EM) djeluje na naelektrisanja u tom polju.
- Rad ovih sila se vrši na račun energije EM polja.
- Pretpostavimo da su ova naelektrisanja raspoređena *kontinuirano* u posmatranoj oblasti  $V$ , ispunjavajući je potpuno ili delimično, pa uočimo naelektrisanje  $de$  u elementu zapremine  $dV$  i neka se ono kreće izvesnom brzinom  $\mathbf{v}$ .
- Sila kojom EM polje djeluje na ovo naelektrisanje  $d\mathbf{F} = \rho dV$  može se napisati u obliku:
- $d\mathbf{F} = (\rho\mathbf{E} + \mathbf{j} \times \mathbf{B})dV$

## Izračunavanje ukupne ponderomotorne sile

- Ukupna sila kojom EM polje djeluje na posmatrani sistem naelektrisanja se dobija integracijom po oblasti V:

$$\mathbf{F} = \int_V (\rho \mathbf{E} + \mathbf{j} \times \mathbf{B}) dV = \int_V \mathbf{f} dV$$

- Ako nas interesuju samo ponderomotorne sile na *slobodna naelektrisanja*, pod  $\rho$  i  $\mathbf{j}$  treba podrazumevati prostornu i strujnu gustinu samo ovih naelektrisanja, koje i figurišu u Maksvelovim jednačinama:

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = \rho, \quad \operatorname{div} \mathbf{B} = 0$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \quad \operatorname{rot} \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

- Za domaći: iz prve i četvrte jednačine eliminisati veličine  $\rho$  i  $\mathbf{j}$  i dobiti izraz za gustinu ponderomotornih sila u obliku:

$$\mathbf{f} = (\mathbf{E} \cdot \operatorname{div} \mathbf{D} - \mathbf{D} \times \operatorname{rot} \mathbf{E}) + (\mathbf{H} \cdot \operatorname{div} \mathbf{B} - \mathbf{B} \times \operatorname{rot} \mathbf{H}) - \frac{\partial}{\partial t} (\mathbf{D} \times \mathbf{B})$$

# gustina ponderomotornih sila

- Gustina ponderomotornih sila  $\mathbf{f}$  je izražena kao funkcija samo jačina polja i vektora indukcije.

$$\mathbf{f} = (\mathbf{E} \cdot \text{div} \mathbf{D} - \mathbf{D} \times \text{rot} \mathbf{E}) + (\mathbf{H} \cdot \text{div} \mathbf{B} - \mathbf{B} \times \text{rot} \mathbf{H}) - \frac{\partial}{\partial t} (\mathbf{D} \times \mathbf{B})$$

- Prvi deo u zagradi karakteriše uticaj električnog polja, drugi uticaj magnetnog polja, a treći istovremeni uticaj i jednog i drugog, koji dolazi do izražaja samo u slučaju vremenski promenljivih polja.
- Dejstvo sila koje potiče od od prva dva dela se ispoljava delimično ili potpuno u vidu površinskih sila na graničnu površ, a dejstvo koje potiče od trećeg dela u vidu vremenske promene impulsa EM polja.