

Pastāvīgie magnēti (10 punkti)

Spēcīgus pastāvīgos magnētus izgatavo no NdFeB sakausējuma, kam ir ļoti plaša histerēzes cilpa, tāpēc var pieņemt, ka magnetizācija J ir konstanta plašā diapazonā; turpmāk mēs pieņemam, ka $J \equiv 1.5 \text{ T}/\mu_0$, kur $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$, un magnetizācija patstāvīgā magnēta iekšienē ir homogēna. *Magnetizāciju definē kā vielas magnētiskā dipola momentu uz tilpuma vienību.*

1. *padoms*: Tālāka vienādība varētu būt noderīga:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^4} = \frac{\pi^4}{90}.$$

2. *padoms*: Magnētiskais lauks, ko rada sfēriskais magnēts, ir identisks punktveida dipola radītajam magnētiskajam laukam jebkurā punktā ārpus magnēta. Citu formu magnētu radītie magnētiskie lauki kļūst līdzvērtīgi punktveida dipola laukiem tikai pie attālumiem, kas ir daudz lielāki par to diametru.

3. *padoms*: Elektrisko un magnētisko dipolu elektriskie un magnētiskie lauki kā koordinātu un atbilstošā dipola momenta funkcijas ir līdzīgi, t.i., vienu no tiem var iegūt no otra, reizinot ar konstantu koeficientu.

4. *padoms*. Inducēto lauku, ko izraisa robeža starp divām vidēm, vienmēr var aizstāt ar kādu lauka avotu konfigurāciju ārpus risināmā apgabala.

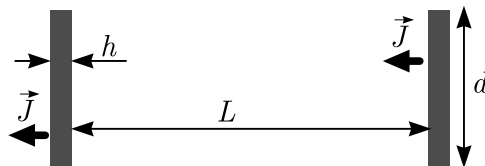
A daļa. Magnētu mijiedarbība (4.5 punkti)

Ja attālums līdz magnētam ir daudz lielāks nekā tā izmērs, tā radīto magnētisko lauku var aproksimēt ar tā dipola momenta magnētisko lauku \vec{m} ,

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} (2\vec{m}_{\parallel} - \vec{m}_{\perp}).$$

Šeit $r = |\vec{r}|$, un mēs esam sadalījuši dipola momentu komponentēs, kas ir paralēlas un perpendikulāras rādiusa vektoram \vec{r} , kas novilkts no dipola uz novērošanas punktu, $\vec{m} = \vec{m}_{\perp} + \vec{m}_{\parallel}$.

- A.1** Aprēķini mijiedarbības spēka lielumu starp diviem cilindriskiem magnētiem ar diametru $d = 20 \text{ mm}$ un biezumu $h = 2 \text{ mm}$, kas novietoti uz cilindru kopējās ass un magnetizēti paralēli to asij, ja attālums starp magnētu centriem ir $L = 20 \text{ cm}$. Var pieņemt, ka $L \gg d, h$. 0.6pt



- A.2** Ja attālums starp magnētiem ir daudz lielāks par $\frac{h}{2}$, tad A.1. uzdevumā minētais magnēta radītais lauks ir tāds pats kā lauks, ko rada apļveida strāva I . Aprēķini I . 0.4pt

- A.3** Aprēķini mijiedarbības spēku starp magnētiem, kas novietoti, kā aprakstīts punktā A.1., bet $L = 5 \text{ mm}$. Var pieņemt, ka $d \gg L \gg h$. 1.0pt

- A.4** Vienādi sfēriski magnēti ar diametru $\delta = 5$ mm, kurus saista magnētiskā pievilkšanās, veido ķēdi. Kāds ir maksimālais garums l šādai ķēdei, kas, karājoties zem augstākā magnēta, nesalūst zem sava svara? NdFeB magnētu blīvums $\rho = 7500$ kg/m³. 1.0pt

- A.5** Aplūkosim ķēdi no A.4. daļas. Iegūsti izteiksmi magnētiskā lauka stiprumam B punktā P , kas atrodas attālumā r no viena no ķēdes gala punktiem O , un leņķis starp ķēdi un līniju OP ir θ (sk. attēlu zemāk), pieņemot, ka $l \gg r$ un $r \sin \theta \gg \delta$ 1.5pt



B daļa. Mijiedarbība ar ferromagnētiem (3.5 punkti)

Tagad pieņemsim, ka papildus pastāvīgajiem magnētiem mums ir arī plāksnes, kas izgatavotas no transformatoros lietota ferromagnētiska materiāla. Šajā situācijā, var uzskatīt, ka plāksnēm ir nemainīga, bet ļoti liela relatīvā caurlaidība $\mu_r \sim 10^5$.

5. *padoms*: Liela magnētiskā caurlaidība nozīmē, ka magnētiskā lauka līnijas pie šī materiāla ārējās virsmas ir gandrīz perpendikulāras virsmai. Tas ir līdzīgi kā elektriskā lauka līnijām pie vadītāja ārējās virsmas.

- B.1** A.4. daļā aprakstītais sfēriskais magnēts atrodas $s = \delta$ attālumā no biezas bezgalīgas ferromagnētiskas plāksnes (attēls atbilstoši lapā). Sfēras magnetizācija ir orientēta perpendikulāri plāksnei. Uzzīmējiet lauka līnijas atbilstoši lapā attēlotajā šķērsgriezumā. Šajā attēlā ir atzīmēti trīs punkti (apzīmēti ar 1, 2 un 3); jums jāparāda lauka līnijas, kas iet caur katru no šiem punktiem, visā to garumā, t. i., tik, cik tas iekļaujas attēlā. 1.0pt

B.2 Kādā brīdī sfēriskais magnēts nonāk tiešā kontaktā ar plāksni. Kurā virzienā ir vērsta sfēriskā magnēta magnetizācija stabilā līdzsvarā un kāds ir normālais reakcijas spēks starp plāksni un magnētu šajā situācijā? Atzīmējiet pareizo virzienu(-us) ar ķeksīti attiecīgajā atbildes lapas lodziņā. Nepareizi atzīmētie virzieni samazina punktu skaitu. 1.0pt

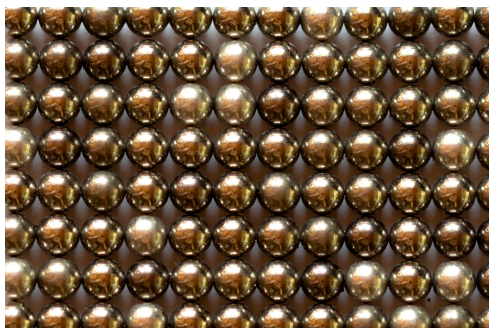
B.3 Tagad magnēts no A.1. daļas ir novietots starp divām biežām apaļām feromagnētiskām plāksnēm ar diametru $D = 2d$ tā, lai magnēta plakanās virsmas būtu piespiestas pie plāksnēm un visi trīs diski būtu līdzās. Atrodiet magnētisko spēku F , kas darbojas uz katru plāksni. *Piezīme:* Magnētiskais lauks ir koncentrēts spraugā starp feromagnētiskajām plāksnēm. 1.5pt

C daļa. (Anti)feromagnētiskā kārtība (2 punkti)

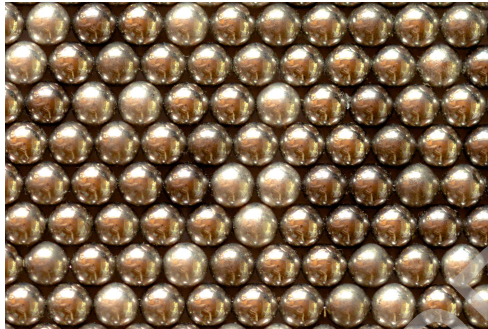
Materiālu magnētiskās īpašības nosaka elektronu un atomu kodolu magnētiskie dipolu momenti. Ja dipolu momenti orientējas paralēli viens otram, to radītais lauks tiek pastiprināts - tie ir feromagnētiskie materiāli. No otras puses, ja katram dipola momentam blakus ir vēl viens antiparalēls dipola moments, tad lauki izlīdzinās - tie ir antiferomagnētiski materiāli.

Tālāk aplūkosim ļoti lielu skaitu tādu sfērisko magnētu kā uzdevumā A.4, kas izvietoti divdimensiju režģa mezglos; zemāk redzami **reāli stabili līdzsvara konfigurāciju attēli**. Pieņemsim, ka visi magnetizācijas vektori atrodas attēla plaknē. Aprēķinos ņem vērā tikai tuvāko kaimiņu mijiedarbību (C.1. attēlā katram magnētam ir četri tuvākie kaimiņi, bet C.2. attēlā - seši).

C.1 Nākamajā attēlā parādi magnētu magnetizācijas virzienus. Tev nav jāpierāda, ka tevis piedāvātā konfigurācija ir vienīgā iespējamā. Tomēr tev ir jāparāda, ka tava piedāvā konfigurācija ir stabila. Atrod enerģiju, kas vajadzīga, lai vienu magnētu izvilktu no šī režģa vidus, pieņemot, ka pārējie magnēti ir nekustīgi. Vai šī konfigurācija atbilst feromagnētisku vai antiferomagnētisku materiālu sakārtojumam? 0.8pt



- C.2 Atbildi uz jautājumiem no uzdevuma C.1. par konfigurāciju, kas parādīta attēlā 1.2pt zemāk.



DELEGATION PRINT