

Vastaa kaikkiin kysymyksiin 1-6. Arvostelussa otetaan huomioon 5 parasta skaalaten kokeen maksimipistemääräksi 48. Sallittu A4-kokoinen muistiinpanopaperi.

1. (a) Tarkastellaan kahta dimensioiltaan identtistä metalliputkea, joista toinen on valmistettu kuparista ja toinen alumiinista. Asetetaan putket pystysuoraan asentoon (maan gravitaatiokentässä) ja pudotetaan molempiin yhtä aikaa identtiset sylinterin muotoiset kestopagneetit, jotka on magnetoitu sylinterin akselin suuntaisesti. Magneetit mahtuvat juuri ja juuri putkien sisään, jossa ne liukuvat kitkattomasti. Käytä alla olevia tietoja päätelläksesi kumpaan putkeen pudotettu magneetti tulee ensimmäisenä ulos putkesta? Perustele vastauksesi. (4p)

Kupari:	Tiheys	2700 kg/m <sup>3</sup>
	Resistiivisyys	2.7·10 <sup>-8</sup> Ωm
	Lämmönjohtavuus	235 W/mK
Alumiini:	Tiheys	8920 kg/m <sup>3</sup>
	Resistiivisyys	1.72·10 <sup>-8</sup> Ωm
	Lämmönjohtavuus	400 W/mK

(b) Tähtienvälisessä avaruudessa vallitsevan magneettikentän vuontiheys on  $B = 10^{-9}$  T. Valitaan koordinaatisto siten, että magneettikenttä on z-akselin suuntainen eli  $\vec{B} = B\hat{z}$ . Avaruudessa liikkuvan elektronin nopeus määritetään mielivaltaisella ajanhetkellä ja tulokseksi saadaan  $\vec{v} = 10^6 \frac{m}{s} \hat{x} + 10^6 \frac{m}{s} \hat{z}$ . Laske elektronin Larmor-liikkeen ratasäde (4p).

Bonustehtävä liittyen (b)-kohtaan: Onko avaruudessa liikkuva elektronipilvi luonteeltaan dia-, para-, vai ferromagneettinen? Lyhyt perustelu. (EXTRA +2p)

2. Koaksiaalikaapelissa pitkää  $a$ -säteistä umpinaista sisäjohdinta ympäröi eristekerros. Eristekerrosta puolestaan ympäröi ulkojohdin, jonka sisäsäde on  $b$  ja ulkosäde  $c$ . Tarkastellaan kaapelia, jolle  $a = 1$  mm,  $b = 2$  mm ja  $c = 3$  mm. Kaapelia käytetään siirrettäessä tehoa teholähteestä vialliseen tasavirtapiiriin, jolloin sisä- ja ulkojohtimissa kulkevat virrat ovat  $I_1$  ja  $I_2$  ( $I_1 > I_2$ ), jakautuneina tasaisesti johtimien poikkileikkauksille. Huomaa, että virrat kulkevat eri suuntiin. Piiri siis vuotaa osan virrasta tuntematonta reittiä ympäröivään maapotentiaaliin, jolloin kaapelin ulkovaipan (paluu)virta on pienempi kuin teholähteen piiriin syöttämä virta.

- (a) Käyttäen Amperen lakia laske magneettikentän vuon tiheys kaapelin akseliilta mitatun etäisyyden  $r$ -funktiona. (4p)
- (b) Tasavirtapiiri on erittäin monimutkainen ja sen kautta maapotentiaaliin vuotavaa virtaa ei tunneta. Saat kullannarvoisen neuvon paikalle osuvalta professorilta, joka ohjeistaa sinua mittaamaan magneettivuon tiheyden 1 metrin etäisyydellä koaksiaalikaapelin akselilta. Saat tulokseksi 1  $\mu$ T. Laske piirin kautta maapotentiaaliin vuotava virta. (4p)

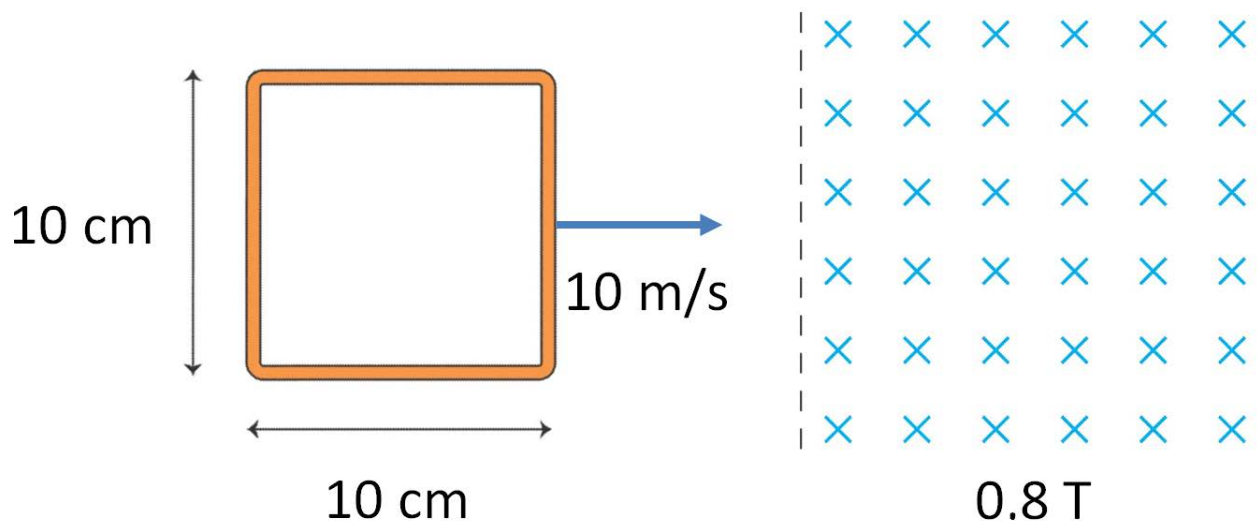
3. Jyväskylän yliopiston kiihdytinlaboratorion syklotroniin on tullut vika (tapahtuu muuten useammin kuin arvaattekaan). Vian selvittämiseksi syklotronin magneettikenttä ulkosäteellä ( $r = 0.94 \text{ m}$ ) päätetään mitata Hallin anturilla. Kyseisen vismuttimetallista valmistetun anturin johdinliuskan leveys on  $5 \text{ mm}$ , paksuus  $0.15 \text{ mm}$  ("paksuus" vastaa magneettikentän suuntaista johdinliuskan dimensiota) ja virrankuljettajien tiheys  $1.35 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$ . Hallin anturin jännitteeksi mitataan  $2.2 \text{ mV}$  virran ollessa  $1.5 \text{ A}$ .

- (a) Selitä lyhyesti kuinka Hallin anturi toimii ja laske syklotronin magneettivuon tiheys  $B$ . (4p)  
(b) Mittaustuloksen perusteella syklotronin viaksi selviää kiihdytysaajuuden poikkeama säädetyistä arvosta. Tilanne korjataan kasvattamalla magneettivuon tiheyttä  $0.02 \text{ T}$ , jolloin protonit saadaan kiihtymään haluttuun energiaan. Kuinka suurta taajuuspoikkeamaa magneettikentän muutos vastaa? (2p).  
(c) Laske protonien energia säätötoimenpiteen jälkeen. Ilmoita tulos eV:na. (2p)

Mikäli et osaa laskea (a)-kohtaa, käytä (b)- ja (c)-kohdissa tulosta  $B = 0.5 \text{ T}$ .

4. Kuvassa esitettyä johdinsilmukkaa, jonka resistanssi on  $0.1 \Omega$ , liu'utetaan kitkattomalla alustalla tasaisella nopeudella  $10 \text{ m/s}$  (vasemmalta oikealle kuvan mukaisessa asennossa) homogeeniseen magneettikenttään, jonka vuontiheys on  $0.8 \text{ T}$  (paperin sisään).

- (a) Esitä graafisesti silmukassa kiertävä virta ajan funktiona välillä  $t = 0 \dots 30 \text{ ms}$ . Ilmoita myös virran suunta. (4p)  
(b) Laske tehty työ, joka tarvitaan työnnettäessä silmukka magneettikenttään annetulla nopeudella. (4p)



5. (a) Monissa hiukkaskiihdyttimissä käytetään negatiivisesti varattuja vetyioneja (merkitään  $H^-$ ). Mikäli  $H^-$  joutuu sähkökenttään jonka suuruus ylittää  $6 \text{ MV/cm}$  se menettää ylimääräisen elektroninsa muodostaen neutraalin vetyatomin. Kuinka suurella nopeudella  $H^-$  voidaan lähettää magneettikenttään, jonka vuontiheys on  $13 \text{ T}$ ?  $H^-$ :n nopeusvektori ja magneettikenttä ovat keskenään kohtisuorassa. (2p)
- (b) Radioaalto etenee suuntaan  $-\hat{y}$ . Mihin suuntaan aallon sähkökenttävektori osoittaa pisteessä, jossa  $\vec{B} = +B\hat{x}$ ? Perustele lyhyesti. (2p)
- (c) Sähkömagneettisen aallon nopeudeksi eräässä väliaineessa mitataan  $(2.9 \pm 0.1) \cdot 10^7 \text{ m/s}$ . Alla on listattu muutamien eristemateriaalien suhteellisia permittiivisyyksiä (eristevakioita). Mitä materiaalia väliaine todennäköisimmin on? (2p)  
Teflon 2.1, Polystyreeni 2.6, Pyrex 4.7, Vesi 80, Titaanidioksidi 110, Strontiumtitaanaatti 300.
- (d) Helium-neon laser lähettää halkaisijaltaan  $1 \text{ mm}$  valonsäteen. Laserin teho on  $1 \text{ mW}$ . Laske sähkömagneettisen (valo)aallon sähkö- ja magneettikenttien amplitudit. (2p)
6. Olet rakentanut radion, johon sisältyy LRC-piiri. Piirissä olevien kondensaattorin kapasitanssi ja vastuksen resistanssi ovat  $2.4 \cdot 10^{-4} \text{ F}$  ja  $2.0 \Omega$ . Syötät taajuusgeneraattorin avulla piiriin vaihtojännitettä, jonka amplitudi on  $0.80 \text{ V}$ .
- (a) Virran amplitudi saavuttaa maksiminsa resonanssitaajudella  $f = 93.9 \text{ Hz}$ . Laske kelan induktanssi. (2p)
- (b) Laske piirin tehonkulutus resonanssitaajudella. (2p)
- (c) Käännät selkäsi hetkeksi, jolloin hienosta radiostasi kateellinen naapurisi muuttaa taajuusgeneraattorin taajuutta. Koska et ole suunnitellut piiriä toimimaan resonanssitaajuudesta poikkeavilla taajuuksilla radiostasi nousee valkoinen savu, joka ei kerro paavin valinnasta vaan radiosin kohtalosta. Piiriin kytkemäsi virtamittari näyttää virran amplitudin olleen  $0.2 \text{ A}$  kun radiosin rikkoutui. Kuinka paljon naapuri muutti taajuutta? (4p)