

LOFY.01.007 Elekter ja magnetism

Aine üldesmärk:

Anda matemaatilise füüsika meetoditele tuginev süstemaatiline ülevaade elektromagnet-nähtuste kirjeldamisest nelja väljavektori (**E**, **D**, **B**, **H**) abil, käsitledes elektromagnetvälja staatilisi ja dünaamilisi avaldumisvorme ning vastastikmõju ainega. Tutvustada elektromagnetismi olulisemaid füüsikalis-tehnilisi rakendusi.

Õpiväljundid.

Aine läbinud üliõpilane:

1. Valdab elektromagnetvälja karakteriseerimiseks vaakumis ja aines vajalike mõistete aparati (vektorid **E**, **D**, **P**, **B**, **H** ja **M**, nende otstarve ning omavahelised seosed, elektri- ja magnetvälja potentsiaalid, aine läbitavused ning vastuvõtlikkused);
2. Oskab kuni kolmemõõtmeliste ja erineva geomeetriaga väljatekitajate (punkt, sirglõik, ring, tasand, sfäär) korral kirjeldada tekkivat elektri- või magnetvälja jõujoonte abil; oskab iseloomustada väljavektori (**E** või **H**) sõltuvust süsteemi parameetritest;
3. Suudab adekvaatselt kommenteerida Maxwelli võrrandeid integraal- ja diferentsiaalkujul, oskab selgitada seejuures kasutatavaid matemaatilisi võtteid (suuruste joon-, pind- ja ruumtihedused, joon- ja pindintegraalid, gradient, voog, divergents, tsirkulatsioon, rootor) ning seostada Maxwelli võrrandeid konkreetsete elektromagnetnähtustega;
4. Oskab arvutada voolutugevusi hargnevate alalis- ja vahelduvvooluahelate eri osades, arvutada pingeid nende ahelate konkreetsetel komponentidel ja neis komponentides eralduvaid võimsusi; oskab joonistada etteantud parameetritega vahelduvvooluahela faasordiagrammi;
5. Suudab selgitada rakenduslikult oluliste elektromagnetiliste materjalide (elektrotehnilised metallid, dielektrikud, piesoelektrikud, ferromagneetikud, elektrolüüdid, pooljuhid, ülijuhid, gaaslahendusplasma) ning seadmete (kondensaator, induktiivpool, elektromagnet, võnkering, trafo, elektrimootor, generaator, magnetron, tsüklotron, lainejuht, termopaar, piesoandurid ja -täiturid, Halli andur, massispektromeeter, elektronlääts, pooljuhtlülitused, mäluseadmed) funktsioneerimist;
6. Suudab lahendada elektromagnetismi-alaseid ülesandeid aine seminariõppuste kavaga määratud tasemel.

Auditoorse töö ajakava sügisel 2018.

Loengud (48 h):

1. Ülevaade töökorraldusest (4 h)

Aines esitatavad nõudmised. Eksamitöö struktuur. Kolmest tarvitist koosneva, nii jada- kui rööpühendust sisaldava vooluahela ülesanne põhikooli, gümnaasiumi ja ülikooli tasemel.

2. Elektromagnetismi põhimõisted (iseseisev töö e-õppes)

Laengu mõiste. Kahte liiki elektrilaengud. Elementaarlaeng. Laengu jäävus. Indutseeritud laengud. Elektrivool, voolutugevus, ühikud amper ja kulon. Voolu suuna sõltumatus laengukandjate märgist. Coulomb'i seadus. Punktilaeng. Elektrostaatiline väli. Püsimagneetide ja voolude vastastikmõjud. Vooluelement. Ampere'i seadus. Elektrivälja tugevus E ja magnetinduktsioon B . Punktilaengu väljatugevus ja sirgjuhtme magnetinduktsioon. Välja jõujooned. Töö elektriväljas, pinge ja potentsiaal. Jõu, vooluelemendi ning E - ja B -vektorite suunad. Elektrostaatilise välja konservatiivsus ja potentsiaalsus ning magnetvälja solenoidaalsus, selle põhjused. Võrdetegurid Coulomb'i ja Ampere'i seadustes. Elektrikonstant ja magnetkonstant. Elektrinihe D ja magnetvälja tugevus H . Lorentzi jõud. Pinge magnetväljas liikuva juhtmelõigu otstel. Pööriselektriväli. Mõisted: elektromotoorjõud, elektrimahtuvus, magnetvoog ja induktiivsus.

3. Alalisvool ja elektriahelad (4 h)

Juhid, pooljuhid ja mittejuhid. Laengukandjate triivi kiirus ja liikuvus. Elektrivool juhtides. Ohmi seadus. Takistuse sõltuvus juhi mõõtmetest ja temperatuurist. Aine eritakistus ja erijuhtivus. Juhtide jada- ning rööpühendus. Elektrivoolu töö ja võimsus. Vooluallika elektromotoorjõud ja sisetakistus. Vooluallika tühijooks ja lühis. Pingegeeneraator ja voolugeneraator. Thevenin'i ja Norton'i generaatorid. Kirchhoffi reeglid ja superpositsiooniteoreem.

4. Vahelduvvool elektriahelates (6 h)

Amplituud- hetk- ja efektiivväärtused. Aktiiv-, induktiiv- ja mahtuvustakistus. Faasinihked pinge ja voolutugevuse vahel. Faasorite meetod ja kompleksmeetod. *RLC*-ahela kogutakistus. Pingeresonants ja vooluresonants. Trafo ja magnetahelad.

5. Elektrostaatika (6 h)

Mõõtühikute süsteem CGSE. Coulomb'i seadus vektorkujul. Elektrivälja tugevuste vektoriaalne superpositsioon. Laengu joon-, pind- ja ruumtihedused. Ühtlaselt laetud ketta ja lõpmatu tasandi elektriväli. Väli kahe laetud tasandi vahel. Radiaalne elektriväli silindrilises süsteemis. Elektrostaatiline induksioon. Varjestus. Potentsiaali skalaarne superpositsioon. Nabla-vektor. Potentsiaali gradient. Gaussi teoreem *E*- ja *D*-vektorite kohta, selle rakendused. Pind- ja ruumlaenguga kera väli, elektriväli teravike ümber. Van de Graaffi generaator. Peegelkujutiste meetod. Kondensaatori mahtuvus. Kondensaatorite jada- ning rööpühendus. Elektrofoor. Irdjuhi potentsiaal ja mahtuvus. Elektrivälja energia ja selle ruumtihedus.

6. Magnetostaatika (6 h)

Vooluelemendi magnetväli üldjuhul. Biot'-Savart'i seadus. Vektorite *B* ja *H* vektoriaalne superpositsioon. Ringjuhtme, sirgjuhtme ja solenoidi magnetväljad. Vektorite *B* ja *H* tsirkulatsioon. Tsirkulatsiooniteoreem. Homogeenne magnetväli pikas solenoidis ja toroidis. Divergents ja rootor. Voolutugevus kui voolutiheduse vektori voog. Pidevuse võrrand. Magnetvälja vektorpotentsiaal. Elektro- ja magnetostaatika põhiprobleemide formuleerimine Poisson'i ja Laplace'i diferentsiaalvõrranditena.

7. Elektromagnetväli (8 h)

Lorentzi jõud ja pööriselektrivälja tugevus. Magnetvoog ja induksiooni elektromotoorjõud. Faraday-Henry induksiooniseadus. Lenzi reegel. Pöörisvoolud. Endainduksioon ja induktiivsus. Pinge ja voolutugevuse ajalised sõltuvused *RC*- ja *RL*-ahelates. Vastastikune induktiivsus. Magnetvälja energia ja selle ruumtihedus. Nihkevoolu läbimine kondensaatorist. Maxwelli võrrandid lõplikul integraal- ja diferentsiaalkujul. Maxwelli võrrandite seostamine konkreetsete elektromagnetnähtustega. Vönkering. Hertzi dipool. Elektromagnetlainete tekkimine. Lainevõrrand ja selle tasalaine-lahend. Väljavektorite paigutus elektromagnetlaines. Elektromagnetvälja energiavoog ja Poyntingi vektor. Elektromagnetvälja mass, impulss ja kiirgusrõhk.

8. Dielektrilised materjalid (4 h)

Dielektrik elektriväljas. Dipoolide elektriväljad, neist moodustuv aine väli. Dipoolmoment. Dipooli pöörav jõumoment. Dipooli energia elektriväljas. Polaarsed ja mittepolaarsed molekulid. Polarisatsioonivektor. Molekuli polariseeritavus. Aine dielektriline vastuvõtlikkus. Piesoelektrikud ja ferroelektrikud. Jõujoonte murdumine dielektriku ja väliskeskkonna lahtuspinnal.

9. Magnetmaterjalid (4 h)

Aine magneetumine magnetväljas. Demagneetumistegur. Aine magnetiliste omaduste voolupõhine (SI) ja poolusepõhine (CGSM) käsitus. Voolukontuuri magnetmoment. Aineosakese magnetmoment ja seda pöörav jõumoment. Osakese energia magnetväljas. Magneetumusvektor, magnetiline vastuvõtlikkus. Bohri magneton. Güromagnetiline kordaja. Tsüklotron-liikumine. Dia-, para- ja ferromagneetikud. Siirdemetallide d- ja f-elektronidest põhjustatud ferromagnetism. Ferri- ja antiferromagnetism. Ferromagneetiku hüstereesisilmus. Küllastus, jääkinduksioon ja koertsitiivsus. Magnetmälu omavad ja mitteomavad materjalid.

10. Laengukandjate liikumine elektromagnetväljas (2 h)

Elektrivälja ning magnetvälja mõju laengukandja liikumisele. Laengukandjate võimalikud trajektoolid. Mass-spektromeetria. Halli efekt. Magnetron-generaator. Magnetilised lüütsed. Maa magnetväli.

11. Elektrivool ja elektromagnetlained aines (6 h)

Ohmi seadus diferentsiaal kujul, voolu erivõimsus. Laengukandjate hajumine, elektrijuhtivuse ajategur. Juhtivuselektronide Fermi lainevektor, kiirus ja energia. Ülijuhtivus. Ülijuht magnetväljas, ülijuhtide liigid. Aine vahelduvvoolu-aseskeem. Juhtivusvool ja nihkevool aines. Aine staatiline ja dünaamiline polariseeritavus. Aine dielektrilise läbitavuse sõltuvus sagedusest. Elektromagnetlainete dispersioon ja neeldumine. Kõrgsageduslik vahelduvvool ja skin-efekt. Kaabli pikkusühiku lainetakistus. Lainejuhid ja nende omamoodid.

12. Eriotstarbelised elektrimaterjalid ja -seadmed (iseseisev töö)

Elektrimootorid ja generaatorid. Elektrienergia jaotusvõrk. Väljumistöö, termoemissioon ja kontaktpotentsiaalide vahe. Termoelektrilised nähtused. Termopaar. Tahkiste tsooniteooria alused. Pooljuhi elektron- ja aukjuhtivus. pn-siire, selle tsooniskeem ja voltampertunnusjoon. Päri- ja vastupinge. Alaldi, fotodiod, solaarrakk, valgusdiod ja pooljuhtlaser. Bipolaartransistor, väljatransistor ja MOP-transistor. Elektrivool gaasides. Huum-, kaar-, säde- ja koroonalahendus, nende rakendused. Elektrivool vedelikes. Elektrolüüs ja selle rakendused.

Seminarid (32 h):

Seminariõppuste käigus omandatakse elektromagnetismi-alaste ülesannete lahendamise oskus.

Aine läbimise tingimused.

Hindamismeetodid ja -kriteeriumid:

Peamine hindamismeetod on ülesannete lahendamise oskust kontrolliv kirjalik test, mille positiivseks soorituseks loetakse vähemasti poolte punktide saamist maksimaalsest võimalikust. Seminariõppuste 1. kontrolltöös tuleb: a) täita elektromagnetismi põhimõistete alane lünktest või joonistada ühele A4 lehele vastav skeem ja b) sooritada eeldusaine LOFY.01.002 Füüsikaline maailmapilt standardne elektritest koos kolme tarviti ülesandega koolitasemel. Seda saab eelnevalt veebipõhiselt harjutada. Seejuures osad (a) ja (b) annavad võrdselt punkte, kontrolltöö positiivne tulemus eeldab mõlema poole positiivset sooritust. Seminariõppuste 2., 3. ja 4. kontrolltöös tuleb lahendada ülesandeid, mis on koduseks iseseisvaks lahendamiseks antud ülesannete analoogid. Seega eeldab toimetulek piisavat tegelemist iseseisva tööga. Väljundeid 1-5 kontrollivate kirjalike eksamiülesannete lahendamisel tuleb reeglina täiendada mingit joonist või graafikut viisil, millest ilmneb väljundi saavutus. Aktiivne osalemine auditoorses töös formuleeritud probleemide lahendamisel võimaldab üliõpilastel koguda lisapunkte, mis tõstavad lõpphinnet. Eksamitöö kirjutamisel on lubatud kasutada valemite lehte, mis tohib sisaldada ainult valemite, mitte sõnu. Nõutav on materjalis orienteerumise oskus, mis võimaldab vajalikku valemite ka kommentaaride puudumisel ära tunda.

Hindamisele pääsemise tingimused:

Lõpphinnet mõjutavad punktid akumulēruvad aine läbimise käigus ja formaalsed kriteeriumid eksamile pääsemiseks puuduvad. Siiski on ülimalt ebareaalne jõuda positiivse tulemuseni, alustades õppimist alles vahetult enne eksamit.

Minimaalne punktide kogusumma hindamisele pääsemiseks:

Eksamitööd kirjutama lubatakse üliõpilased, kes on positiivselt sooritanud esimese kontrolltöö mõlemad osad (a ja b). Formaalselt tähendab see üle 5 punkti saamist lõpphinnet määravast sajast punktist.

Lõpliku tulemuse kujunemine: Toimub neli kontrolltööd. Neist esimene kontrollib elektromagnetismi põhimõistete (teema 2) omandatust ja annab kuni 10% lõpphindest. Kolm ülejäänud kontrolltööd mõõdavad ülesannete lahendamise oskust teemade 3-8 osas ja annavad kokku kuni 40% lõpphindest. 50% lõpphindest annab eksamitöö. Eksamile pääsemise eeltingimuseks on esimese kontrolltöö positiivne sooritus. 2., 3. ja 4. kontrolltöö sooritamiseks antakse üks võimalus seminariõppuste käigus ja selle kasutamata jäämisel (mitteosalemise või negatiivse tulemuse korral) üks lisavõimalus teemasid 3-8 hõlmavaks ülesannete koondtestiks seminariõppuste lõpul. Ülesannete koondtesti positiivne tulemus (vähemasti 20 punkti saamine maksimaalsest võimalikust 40-st lõpphinnet määravast punktist) on obligatoorne aine läbimiseks (õpiväljund 6). Eksami positiivne sooritus eeldab väljundeid 1-5 kontrollivate ülesannete (kokku 5) positiivseid tulemusi eksamitöös. Korduseksamil võib piirduda vaid nende väljundiliste ülesannete lahendamisega, mille osas eelmise eksami tulemus oli negatiivne. Aktiivsus nii seminariõppustes kui loengutel annab lisapunkte lõpphinde arvestusse (kuni 5 + 5 punkti summaarsest 100-st). Hinnetele A ja B pretendeerijate teadmisi võidakse täiendavalt kontrollida eksami suulises osas. Õigus taotleda eksami suulist osa on kõigil üliõpilastel, kes kirjalikes kontrollivormides on kogunud üle 70% võimalikest punktidest. Hinne võib langeda, kui eksami suulises osas selguvad olulised puudujäägid väljundilistes oskustes.

Võlgnevuste likvideerimise võimalused:

1. kontrolltöö tegemiseks saab iga üliõpilane kaks võimalust, sõltumatult nende kasutamise ajast. 2., 3. ja 4. kontrolltöö sooritamiseks antakse üks võimalus seminariõppuste käigus ja selle kasutamata jäämisel (mitteosalemise või negatiivse tulemuse korral) üks lisavõimalus teemasid 3-8 hõlmavaks ülesannete koondtestiks seminariõppuste lõpul. Kui selle tulemus on negatiivne, siis tuleb positiivselt sooritada eksam, mispeale üliõpilane saab veel ühe lisavõimaluse ülesannete koondtesti tegemiseks enne uue semestri algust. Eksami positiivne sooritus eeldab kõigi õpiväljundeid kontrollivate ülesannete (kokku 5) positiivseid tulemusi eksamitöös. Korduseksamil võib piirduda vaid nende väljundiliste ülesannete lahendamisega, mille osas eelmise eksami tulemus oli negatiivne. Üliõpilased, kel on järgmise semestri esimeseks päevaks säilinud mingi võlgnevus (õpiväljundit kontrolliva ülesande või seminariülesannete koondtesti tulemus ikka veel negatiivne) – saavad puuduliku lõpphinde ja on oodatud aines uuesti osalema alles selle järgmisel toimumisel.