

### 2.3. Faraday katsed

Suure avastuse sünnihetk on teaduse ajaloos harva teada kuupäevalise täpsusega. Elektromagnetilise induktsiooni avastamine kuulub aga nende harvade erandite hulka. See on nii tänu avastuse autori Michael Faraday täpsetele ülestähendustele. 29. augustil 1831 kirjutas Faraday laboripäevikusse, et raudsüdamikule mähitud juhtme pooli ühendamine vooluallikaga kutsus esile lühiajalise voolu ka teises, samale südamikule keritud poolis. Sama aasta 17. oktoobril tehtud sissekanne kõneleb aga voolu registreerimisest poolis, millele mõjuvat magnetvälja püsिमagnetit nihutamise teel muudeti.

Juba aastal 1822, kaks aastat pärast elektrivoolu magnetilise toime avastamist Oersted'i ja Ampère'i poolt, tuli Faraday mõttele, et see nähtus peaks esinema ka „tagurpidi“. Kui elektrivool tekitab magnetvälja, kas ei võiks siis magnetvälja abil tekitada elektrivoolu? Aastal 1825 asus Faraday seda oletust katseliselt kontrollima, kuid ei suutnud induktsioonivoolu avastada. Faraday ei mõistnud siis veel, et elektrivälja tekitab mitte magnetväli ise, vaid magnetvälja muutumine. Pealegi ei olnud Faraday käsutuses piisavalt tundlikku mõõteriista. Voolu mõõtis Faraday magnetnõela pöördumise järgi vooluga juhtme läheduses (Oersted'i katse). 1831. aasta suvel asus Faraday taas korraldama samalaadseid uuringuid. Nüüd aga tugevdas ta pooli magnetvälja raudsüdamiku abil. Magnetvälja järsk muutmine tekitas samal südamikul paiknevas teises poolis vooluimpulsi. Elektromagnetiline induktsioon oli avastatud.

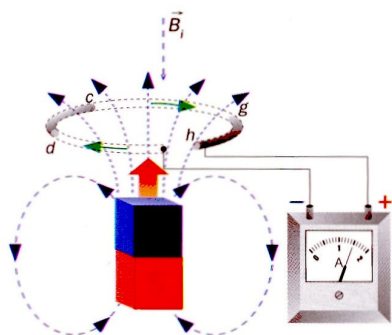
Faraday tegi elektromagnetilise induktsiooni uurimisel väga palju katseid. Kui kasutada on tester või mõni muu voolutundlik mõõteriist, siis võib neid katseid vastava huvi olemasolu korral teostada ka kodustes tingimustes. Faraday katseid võiks jagada kolme gruppi, mida järgnevalt ka eraldi vaatlame.

#### 2.3.1. Püsिमagnetit liikumine juhtme suhtes



Põhiliseks katsevahendiks elektromagnetilise induktsiooni uurimisel on torukujulisele isoleerivale südamikule keritud juhtmepool. Kõigis allpool kirjeldatud katsetes on vaja koguni kahte niisugust pooli. Pooli võib valmistada ka ise, omades sobiliku jämedusega (0,3-0,5 mm) vasktraati. Sellist traati võib osta enam-vähem suvalisest elektridetailide poest.

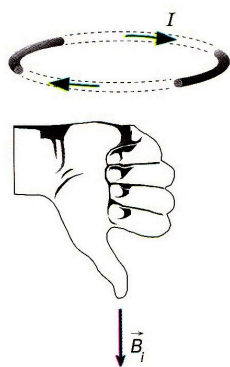
Traat tuleb tihedalt kerida silindrilisele papist või plastikust torukesele. Mähis võiks olla 2-3 cm pikkune ja sisaldada ülestikku vähemalt 5 kihti kõrvutiasetsevad juhtmekeerde. Et mähis traadi elastsuse tõttu laiali ei laguneks, on soovitatav iga kiht pärast kerimise lõpetamist kleepribaga fikseerida. Muutuv magnetväli kutsus poolis esile induktsioonivoolu, mida võib registreerida tundliku ampermeetri tööitava testri abil. Magnetvälja on kõige lihtsam muuta, torgates pikergust püsिमagnetit pooli sisse.



J. 1.11. Püsimagneti lähendamisel juhtmekeerule tekib selles keerus vool

Kirjeldatud katse on põhimõtteliselt teostatav ka üheainsa juhtmekeeruga. Niisugusel juhul on tekkiv induktsooni-vool aga niivõrd nõrk, et seda on raske mõõta. Pooli korral liituvad üksikutes keerdudes tekkinud elektromotoorjõud, sest keerud toimivad jadamisi ühendatud vooluallikatenä. Seetõttu saame ka mõõtmiseks piisavalt tugeva induktsooni-voolu. Voolu indutseerimist üksikus juhtmekeerus selgitab joonis 1.11.

Näiteks liigub juhtmelõik  $dc$  (praegu  $gh$ , tähised vasakul ja paremal poolel tuleb vahetada!) täpselt samamoodi paremale suunatud magnetväljas allapoole nagu lõik  $dc$  joonisel 1.4. Lõigus  $dc$  indutseeritakse selle tagajärjel meie poole ( $c \rightarrow d$ ) suunatud vool. Seevastu lõigus  $gh$  kulgeb induktsooni-vool meist eemale ( $g \rightarrow h$ ) ja juhtmekeerus tervikuna (ülalt vaadates) päripäeva.

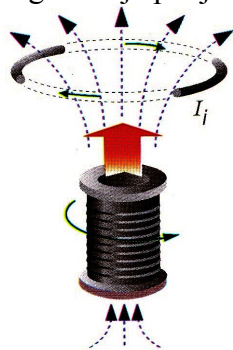


J. 1.12. Voolu magnetvälja suuna määramine

Parema käe rusikareegli (J. 1.12) abil võib veenduda selles, et induktsooni-voolu magnetväli on joonisel suunatud ülalt alla, niisiis vastupidiselt juhtmekeerus tugevnevale püsimagneti väljale. Induktsooni-vool takistab sellesama magnetvälja kasvu, mis voolu esile kutsus. Tasub ka rõhutada, et induktsooni-vool on olemas vaid seni, kuni juhtmekeerd püsimagneti jõujoonte suhtes liigub. Kui lõpeb liikumine, siis saab laengukandjatele mõjuv Lorentzi jõud nulliks, sest  $v = 0$ .

### 2.3.2. Vooluga juhtme liikumine teise juhtme suhtes

Magnetvälja põhjustajana võib püsimagneti asemel kasutada ka vooluga pooli.

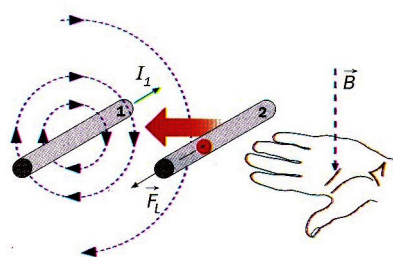


J. 1.13. Vooluga pooli nihutamisel juhtmekeeru suhtes tekib keerus induktsooni-vool

Kui me asendame joonisel 1.11 kujutatud katses püsimagneti pooliga (J. 1.13), siis tekib ülemises juhtmekeerus induktsooni-vool täpselt samamoodi nagu püsimagneti korral. Nii on see muidugi eeldusel, et juhtmekeerd lähendatakse poolile ja pooli magnetväli on suunatud alt üles. Pooli magnetväljal on selline suund juhul, kui vool pooli keerdudes kulgeb ülalt vaadates vastupäeva (meie silme ees vasakult paremale). Induktsooni-vool ise on kirjeldatavas katses teatavasti suunatud päripäeva (kõlgvaates paremalt vasakule). Seega on induktsooni-voolu suund vastupidine voolu suunale indutseerivat magnetvälja tekitavas poolis.

Püüdkem iseseisvalt veenduda selles, et juhtmekeeru kaugenemisel poolist on ka induksioonivool suunatud vastupäeva. Mõlemad vaadeldavad voolud on sel juhul samasuunalised.

Katsetamisel südamikuta poolidega võib induksioonivool osutuda liiga nõrgaks. Sel juhul võib voolu tugevdada, paigutades eelnevalt poolide sisse raudsüdamikud (näiteks suured raudpoldid). Rauas on magnetinduktsioon palju suurem kui õhus. Seetõttu on suuremad ka magnetinduktsiooni muutused, millest omakorda sõltub induksioonivoolu tugevus.

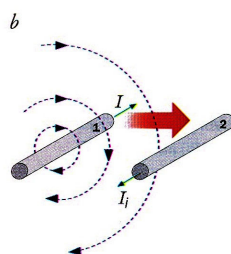
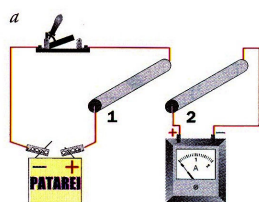


J. 1.14. Vooluga juhtme (1) lähendamisel teisele juhtmele (2) tekib selles juhtmes induksioonivool

Analoogilised nähtused leiavad aset ka kahe paralleelse sirgjuhtme korral, millest ühes voolab alalisvool (J. 1.14). Kui me nihutame üht juhet teisele lähemale, siis lõikavad vooluga juhtme 1 magnetvälja jõujooned vooluta juhet 2. Vasaku käe reegli kohaselt mõjub positiivsetele laengukandjatele juhtmes 2 meie poole suunatud Lorentzi jõud. Juhtmes 2 tekib seeläbi induksioonivool, mille suund on vastupidine juhtmes 1 kulgeva voolu suhtes. See arutlus jääb kahjuks vaid teoreetiliseks, sest üksiku voolujuhtme magnetväli on väga nõrk ja tekkivat induksioonivoolu on väga raske mõõta.

### 2.3.3. Voolu muutumine juhtmes

Kõigil seni vaadeldud juhtudel põhjustab elektromagnetilist induksiooni puhtmehaaniline liikumine. Uuritav juhe liigub magnetvälja tekitaja suhtes. See aga ei pea alati nii olema. Magnetvälja võib muuta ka seda välja tekitava voolu muutmise teel juhtmes, nii et juhtmed jäävad paigale. Teatavasti toimis just nii ka Faraday oma esimeses katses.



J. 1.15. Voolu sisselülitamine ühes juhtmes indutseerib vastupidise suunaga voolu naaberjuhtmes:  
a – katseseade;  
b – juhtme 1 magnetväli levib juhtme 2 poole

Vaatleme näitena jällegi kahte paralleelset sirgjuhet, millest üks on läbi lüliti ühendatud vooluallikaga (J. 1.15, a). Lüliti sulgemisel suureneb voolutugevus juhtmes nullist kuni mingi lõppväärtuseni  $I$ . Vastavalt kasvab ka selle voolu magnetväli. Magnetvälja tugevnemine on aga samaväärne lähenemisega välja tekitavale juhtmele. Me teame ju, et vooluga sirgjuhtme magnetinduktsioon on pöördvõrdeline kaugusega sellest juhtmest. Niisiis mõjub juhtmest 1 tingitud magnetvälja levik juhtme 2 suunas (joon. 1.15, b) laengukandjatele samamoodi nagu juhtme 2 liikumine juhtme 1 poole. Eelmisest alapunktist teame, et seda laadi liikumine indutseerib juhtmes 2 meie poole suunatud voolu (joon. 1.14). Voolu sisselülitamine juhtmes tekitab vastupidise suunaga voolu naaberjuhtmes. Lõpetuseks märkigem, et kõik senised järeldused oleme me teinud, lähtudes teadmistest Lorentzi jõu kohta. Faraday jõudis samade järeldusteni katsetulemusi üldistades.

## 2.5. Lenzi reegel. Induktsiooniseaduse rakendused.

### 2.5.1. Lenzi reegel

Lugedes veel kord Faraday katsete kirjeldusi punktis 2.3, märkame, et magnetvälja kasvu korral sisaldavad need hulgaliselt sõna *vastupidine*.

Näiteks püsिमagnetil lähendamisel juhtme poolile on induktsioonivoolu magnetväli vastassuunaline püsिमagnetil väljale, mis voolu esile kutsus. Induktsioonivoolu väli takistab magnetvälja kasvu. Poolis tekkiva induktsioonivoolu suund on vastupidine voolu suunale teises poolis, mida esimesele lähendatakse. Voolu sisselülitamine ühes juhtmes indutseerib vastupidise suunaga voolu naaberjuhtmes.

Magnetvälja kahanemise korral on aga kõik teisiti. Püsिमagnetil eemaldamisel poolist on induktsioonivoolu magnetväli samasuunaline püsिमagnetil väljale ning takistab magnetvälja kahanemist. Juhtme poolide eemaldamisel teineteisest on ühes poolis indutseeritav vool samasuunaline vooluga teises poolis. Voolu väljalülitamine ühes juhtmes indutseerib samasuunalise voolu naaberjuhtmes. Seega soodustab induktsioonivool alati olemasoleva olukorra säilimist.

Elektromagnetiline induktsioon on alalhoidlik ehk *konservatiivne* nähtus. Seda asjaolu märkas esimesena Emil Lenz (1804-1865), Tartust pärit vene füüsik, rahvuselt baltisakslane. Kogu maailm tunnustab Emil Lenzi teeneid induktsioonivoolu suunda määrava reegli või seaduse formuleerijana. Seetõttu esinebki nimetatud seadus füüsikaõpikutes **Lenzi reegli** või Lenzi seaduse nime all.

Järgnevalt toome ära Lenzi reegli mõned sõnastused:

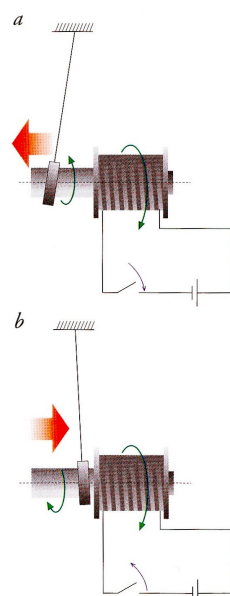
- a) induktsioonivoolu suund on selline, et tema magnetväli kompenseeriks muutust, mis voolu põhjustab;
  - b) induktsioonivool toimib alati vastupidiselt seda voolu esile kutsumale põhjusele; ehk pikemalt:
  - c) kui välismõju tingib magnetvoo kasvu kontuuris, siis on induktsioonivoolu magnetväli välise magnetvälja suhtes vastassuunaline (takistab kasvu). Kui aga välismõju põhjustab magnetvoo kahanemist, siis on induktsioonivoolu magnetväli välise magnetvälja samasuunaline (takistab kahanemist).
- Lenzi reegli levinuim sõnastus on (a), lühimaks võib pidada varianti (b), kõige üksikasjalikumaks aga võimalust (c).

Lenzi reegli analoogiks mehaanikas on väide, et stabiilsele süsteemile mõjuv jõud on suunatud tasakaaluasendi poole. Kui me viime näiteks pendli tasakaaluasendist välja, siis tekib otsekohe jõud  $F$ , mis takistab niisugust muutust. See jõud püüab viia pendlit tagasi tasakaaluasendisse. Samamoodi on lood kuulikesega, mis asetseb nõgusa põhjaga kausis. Kuulikese väljaviimisel kausi madalaimast punktist tekib jõud, mis lükkab kuulikest tagasi tasakaaluasendisse, see tähendab, kausi põhja.

Mõnikord öeldakse ka, et Lenzi reegel väljendab energia jäävuse seadust. Kujutlegem, mis juhtuks siis, kui Lenzi reegel ei kehtiks ja mingist muutusest tingitud induktsioonivool soodustaks muutuse jätkumist. Näiteks püsिमagnetil lähendamisel juhtme poolile tekiks poolis sel juhul vool, mille magnetväli oleks püsिमagnetil väljaga samasuunaline. Poolile mõjuv magnetväli tugevneks ja „tagurpidise“ Lenzi reegli kohaselt kasvaks vool seeläbi veelgi. Voolu suurenemine põhjustaks selle kasvu üha kiiremat jätkumist. Tegemist oleks eimillegi arvelt töötava vooluallikaga, niisiis

*perpetuum mobile*'ga. Niisugust masinat ei saa aga energia jäävuse seaduse kohaselt olemas olla.

Lenzi reeglit väljendab induksiooniseaduses (valemis 2.9) sisalduv miinusmärk. Kui näiteks juhtmekeerdu läbiv magnetvoog kasvab ( $\Delta\Phi > 0$  valemis 2.9), siis loetakse induksiooni elektromotoorjõudu ja vastavat voolutugevust kokkuleppeliselt negatiivseteks, kuna induksioonivoolu magnetväli on keerus mõjuvale väljale vastassuunaline (takistab magnetvoo kasvu). Kui aga magnetvoog juhtmekeerus kahaneb ja tema muut on negatiivne ( $\Delta\Phi < 0$ ), siis on need kaks välja samasuunalised. Induksioonivool püüab kahanevat magnetvoogu alal hoida. Seetõttu loetakse induksiooni elektromotoorjõudu ja voolutugevust positiivseteks.



J. 1.21. Voolu tekitamisel poolis tõukub rippuv rõngas poolist eemale (a), voolu katkestamisel aga tõmbub rõngas pooli poole (b)

Kui me oleme eespool (p. 2.3.1) kirjeldatud viisil valmistanud raudsüdamikuga juhtmepooli, siis saame Lenzi reegli kehtivust üpris lihtsalt kontrollida. Selleks püüame leida vasest, hõbedast või alumiiniumist rõnga, millest kasutatava pooli südamik (raudpolt) takerdumata läbi mahub. Hästi sobib näiteks kerge hõbesõrmus. Paigutame raudsüdamikuga juhtmepooli laual mingile alusele, nii et südamik ulatuks poolist paari sentimeetri pikkuselt välja. Paneme metallrõnga kahe niidiga laualambi või mingi muu raami külge rippuma. Seejuures peab raudsüdamik ulatuma rõnga sisse. Kui me nüüd tekitame südamikuga poolis taskulambipatarei abil voolu, siis nihkub rõngas Lenzi reegli kohaselt poolist eemale, kuna rõngas tekkiv induksioonivool takistab poolist pärineva magnetvoo kasvu. Seetõttu on induksioonivool rõngas pooli voolule vastassuunaline (joon. 1.21, a), vastandlike suundadega voolud aga tõukuvad (p. 1.4.2).

Loomulikult ei jää rõngas „eemal tõukunud“ asendisse. Kui pooli magnetväli enam ei kasva, siis langeb induksioonivoolu tugevus nullini ja rõngas naaseb raskusjõu mõjul tasakaaluasendisse. Kui me nüüd poolis voolu katkestame (eemaldame patarei), siis poolist pärinev magnetvoog kahaneb.

Induksioonivoolu magnetväli üritab seda aga Lenzi reegli kohaselt alal hoida (takistab kahanemist). Nüüd on voolude magnetväljad ja seega ka voolud ise samasuunalised (joon. 1.21, b)

## Katse 2.4.

Samasuunalised voolud aga tõmbuvad. Seetõttu nihkub rõngas pooli poole. Kui poolist pärinev magnetvoog on saanud nulliks (enam ei kahane), siis induksioonivool katkeb ja rõngas naaseb jällegi raskusjõu mõjul tasakaaluasendisse.

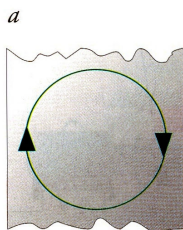
## 2.5.2. Induksiooniseaduse rakendusi

Ülalkirjeldatud viisil tekivad induksioonivoolud mitte ainult rippuvas rõngas, vaid ka suvalise kujuga metallkehas, millele mõjuv magnetväli piisavalt kiiresti muutub.

Selliseid voolusid nimetatakse **pöörisvooludeks**, kuna neid tekitab elektromagnetilisel induksioonil esinev pööriselektriväli. Kui mingi metallkeha magnetväljas liigub,



siis pöörisvoolude olemasolu pidurdab seda liikumist. Keha kui terviku liikumise kineetiline energia läheb üle laengukandjate liikumise energiaks selles kehas.

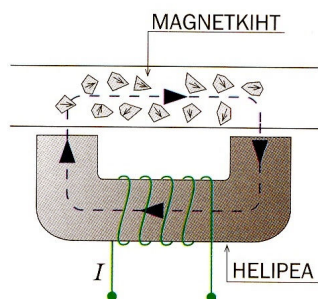


J. 1.22. Pöörisvooluringid pak-  
sus (a) ja õhukeses (b)  
metallplaadis

Võib ka öelda, et laengukandjad liiguvad pööriselektrivälja energia arvel. Elektritakistuse olemasolu tõttu eraldub see energia aga soojusena. Kineetiline energia muundub soojuseks nii nagu tavalisel hõõrdumisel.

Kui elektrienergia üleminek soojuseks pole vajalik, siis püütakse pöörisvoolude tekkimist vältida. Seetõttu valmistatakse näiteks trafode südamikke õhukestest teraslehtedest. Õhukeses plekis ei saa tekkida suuri vooluringe (joon. 1.22), mille korral elektrijuhtivuses osaleks palju laengukandjaid ja mille korral voolutugevus ja seega ka eralduv soojushulk oleksid suured. Samas võib pöörisvoole aga ka ära kasutada. Näiteks võimaldab pöörisvoolude tekkimisega kaasnev pidurdusefekt kiiresti summutada metallkehade ebasoovitavaid võnkumisi. Selleks piisab võnkuva metalleseme paigutamisest magnetvälja. Vastavat seadet nimetatakse **magnetsummutiks**.

Pöörisvooludel põhineb ka **induktsiooniahju** töö. See seade võimaldab kiiresti kuumutada elektrit juhtivat ainet. Suure sagedusega perioodiliselt muutuva magnetvälja abil tekitatakse aines pöörisvoolud, mille energia vabaneb soojusena. Induktsiooniahju korral ei toimu soojusülekannet ühelt kehalt teisele. Soojus eraldub sellesamas aines, mida kuumutatakse. Seetõttu on induktsiooniahjul väga kõrge kasutegur.

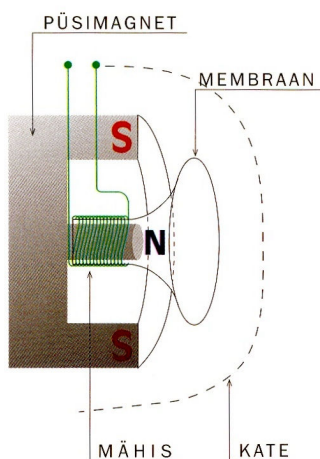


J. 1.23. Magnetiliselt salves-  
tatud info lugemine magnet-  
kihilt

Elektromagnetilise induktsiooni nähtusel on tehnikas lugematuid rakendusi. Siin jõuame vaadelda vaid tähtsamaid neist. Elektromagnetilist induktsiooni kasutatakse magnetiliselt salvestatud andmete, helide või kujutiste **taasesitamisel** ehk muutmisel elektri-signaaliks. Induktsioonilise infolugemisseadme tähtsaimaks detailiks on juhtmepool (elektromagnet), mis asetseb salvestust sisaldava ja pooli suhtes liikuva magnetkihi läheduses (J. 1.23). Magnetkihi magnetväli muudab pooli läbivat magnetvoogu. Selle tulemusena tekivad poolis induktsioonivoolu võnked, mille tugevus ja sagedus on määratud magnetkihist pärineva magnetväljaga.

Neid võnkeid võimendatakse ja viiakse seejärel seadme kasutaja jaoks sobivale kujule, s.t saadakse uuesti kas bittide rida (andmefail), helid või kujutised.

Analoogiliselt toimub andmete lugemine **magnetkaartidelt**, mida kasutatakse pangautomaatides ja turvasüsteemides. Kaardi sisenemisel automaatseadmesse möödub magnetriba seadme anduri poolist. Jällegi tekivad induktsioonivoolu võnked, mis sisaldavad infot ribale salvestatud andmete kohta.



J. 1.24. Elektrodünaamilise mikrofonide põhimõtteskeem

Elektromagnetilise induktsiooni nähtust kasutatakse ka **elektrodünaamilises mikrofonis**, mis on „ümbepööratud“ valjuhääldi. Valjuhääldis kutsus püsिमagnetit välja paigutatud juhtme pooli läbiva voolu muutumine esile poolile mõjuva magnetjõu. Selle jõu taktis hakkas pool võnkuma. Pool oli ühendatud membraaniga, mille võnkumisel tekkisid helilained. Dünaamilises mikrofonis panevad helilained võnkuma sellesama membraani koos juhtme pooliga (J. 1.24). Tulemuseks on püsिमagnetit magnetvälja muutumine poolis. See aga tekitab poolis induktsioonivoolu võnkeid. Elektromagnetilise induktsiooni põhimõttel töötab ka **elektrikarjus**. Selle seadme korral kulgeb karjaia piirdetraadis vool, mis läbib ka mingit pooli. Kui kariloom puudutab piirdetraati, siis tekib poolis ajutine voolukatkestus. Vastaval magnetvälja muutumisel indutseeritakse pinge, mis rakendub piirdetraadi ja Maa vahele. Loom saab kerge elektrilöögi, mis sunnib teda edaspidi hoiduma piirdetraadi puudutamisest.

### Küsimusi ja ülesandeid

1. Töötava elektrimootori korral liiguvad mähise juhtmekeerud magnetväljas. Järelikult peaks neis indutseeritama pinge, mis mõjub mähist läbivale voolule. Kas vool mähises muutub, kui rootor hakkab pöörlema?
2. Kui vastus eelmisele küsimusele on jaatav, kas siis induktsiooni elektromotoorjõud soodustab või takistab mootori toiteallika tööd?
3. Pooluste läheduses on Maa magnetvälja peaaegu vertikaalne (risti Maa pinnaga). Seetõttu löikab polaarpiirkonnas lendava lennuki metallkere Maa magnetvälja jõujooni. Lennukikeret võiks vaadelda magnetväljas liikuva juhtmelõiguna, mille otstel tekib elektromagnetilise induktsiooni teel pinge. Kas suurem pinge indutseeritakse lennuki tiivaotste vahel või lennuki nina ja saba vahel?
4. Kas piki ekvaatorit lendava lennuki kere mingite osade vahel võib elektromagnetilise induktsiooni vahendusel samuti tekkida pinge? Kui jah, siis millised need kere osad on?
5. Millised on kolm peamist viisi elektrienergia saamiseks elektromagnetilise induktsiooni teel?
6. Kas magnetvoo definitsioonvalemis võiks koosinuse asemel esineda ka siinus? Millist nurka tuleks siis kasutada?
7. Maanteel liikuvate autode loendamiseks paigutatakse teekatte alla keskmise auto mõõtmega juhtmekontuur, mille otstel paikneb vooluimpulssi registreeriv seade. Selgitage niisuguse loenduri tööpõhimõtet. Arvestagem, et autokered on valmistatud terasest, mis on ferromagnetik.
8. Kuidas võiks liikluspolitsei eelmises probleemis kirjeldatud loendureid kasutada autode kiiruse mõõtmiseks?

9. Elektromagneti südamik soojeneb, kui voolu magneti mähises korduvalt sisse ja välja lülitada. Miks on see nii?
10. Sisestusmehhanism veab magnetkaarti pangautomaadi sisse kindla kiirusega. Milleks see vajalik on?
11. Jalgratta spidomeetri (kiirusemõõtja) andur kinnitatakse esikahvli külge nii, et ühe kodara küljes paiknev väike püsomagnet mööduks rattal igal tiirul andurist väga lähedalt. Selgitage spidomeetri tööpõhimõtet.
12. Vanemate autode spidomeeter sisaldab rattateljega mehaaniliselt ühendatud püsimagnetit ja selle vastas paiknevat metallketast. Ketas on omakorda ühendatud spidomeetri osutiga. Mida kiiremini pöörleb püsomagnet, seda suurema nurga võrra pöörduv samas suunas ketas ja vastavalt ka spidomeetri osuti. Ketta küljes paikneb tagastusvedru, mis ketta pöördumisel pinguldub. Püsimagneeti peatumisel toob see vedru ketta algasendisse tagasi. Miks püüab püsomagnet ketast „kaasa vedada“?
13. Tugevat püsimagnetit on raske liigutada piki alumiiniumplaati, aga magnet plaadi külge kinni ei jää. Miks on see nii?
14. Kas valjuhääldit oleks võimalik kasutada mikrofoniina?