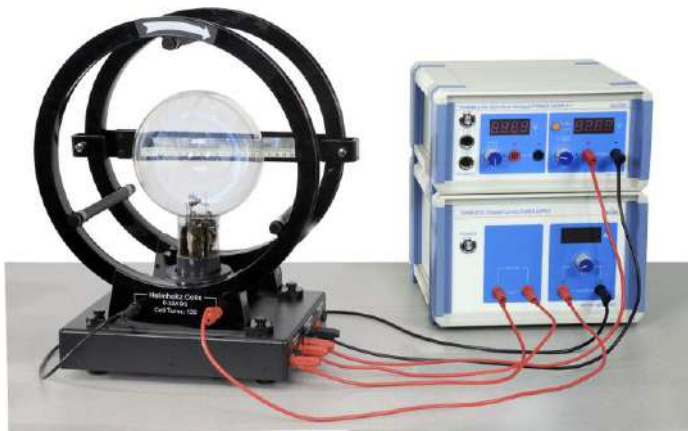


Elektroni laengu ja massi suhe (SE-9629)

Sissejuhatus

e/m-seade (elektroni laengu ja massi suhte seade) võimaldab lihtsal viisil mõõta e/m-i ehk elektroni laengu ja massi suhet. Meetod sarnaneb J. J. Thomsoni 1897. aastal kasutatud meetodiga. Elektronikiir kiirendatakse teadaoleva potentsiaalide vahe abil, mistõttu on elektronide kiirus teada. Helmholtzi poolide paar tekitab elektronikiirega risti oleva ühtlase ja mõõdetava magnetvälja. See magnetväli painutab elektronikiire ringjoonelisele trajektoorile.



e/m-seadmel on ka hõlbeplaadid, mille abil saab demonstreerida elektrivälja mõju elektronikiirele. Seda saab kasutada elektroni negatiivse laengu kinnitamiseks ning ostsillooskoobi tööpõhimõtte demonstreerimiseks.

e/m-toru eripäraks on pööratav pesa, mis võimaldab elektronikiire suunata Helmholtzi poolide magnetvälja suhtes mis tahes nurga alla vahemikus ± 30 kraadi. Seetõttu saab toru pöörata ja uurida liikuvatele laetud osakestele mõjuvate magnetjõudude vektoriaalset olemust.

Komplekti kuulub

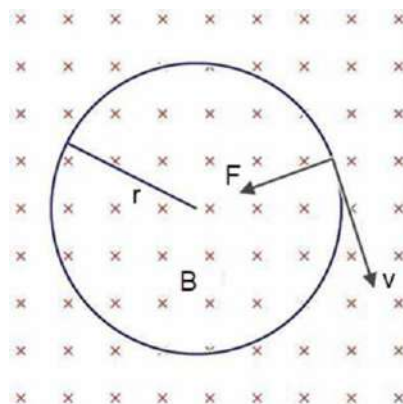
- e/m-toru (SE-9659)
- Helmholtzi poolid ja alus (SE-9626)
- Reguleeritav alalisvoolu toiteallikas (konstantne vool) (SE-9622)
- Reguleeritav alalisvoolu toiteallikas II (konstantne pinge) (SE-9644)

Taustteave

1887. aastal näitas J. J. Thomson, et salapäraseid katoodkiired koosnevad tegelikult negatiivselt laetud osakestest, avastades seega elektroni. *Samal aastal* mõõtis ta katoodkiirte osakeste erilaengu (e/m), saades ühe universumi fundamentaalkonstandi esimese mõõtetulemuse. Erilaeng on määratletud osakese laenguna massiühiku kohta. Thomson avastas, et e/m väärtus ei sõltunud kasutatud gaasist ega elektroodide materjalist.

Katse põhimõte

e/m-torus liiguvad elektronid ühtlases magnetväljas mööda ringjoonelist trajektoori. Toru sisaldab täpselt määratud rõhul heeliumgaasi. Gaasi aatomid ioniseeruvad ringjoonelise trajektoori ulatuses kokkupõrgete tõttu elektronidega. Selle tulemusel aatomid ergastuvad ja kiirgavad valgust, muutes elektronide ringjoonelise trajektoori kaudselt nähtavaks. Seejärel saab trajektoori raadiust mõõta otse joonlauaga. Kuna elektronkahuri magnetväli B ja kiirenduspinge U on teada, saab ringjoonelise trajektoori raadiuse r põhjal arvutada elektroni erilaengu e/m.



Kiirusega v ühtlase magnetväljaga B risti liikuv elektron kogeb Lorentzi jõudu F, mille suund on risti nii kiiruse kui ka magnetväljaga:

$$F = evB$$

kus e on elektroni laeng. See tekitab raadiusega r ringjoonelisel trajektoiril liikuvale elektronile kesktõmbejõu, mis on antud valemiga:

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

kus m on elektroni mass. Seega:

$$evB = \frac{mv^2}{r}$$

Kiirus v sõltub elektronkahuri kiirenduspingest U järgmiselt:

$$v^2 = \frac{2Ue}{m}$$

Seetõttu avaldub elektroni erilaeng järgmiselt:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2}$$

Kui mõõdame ringorbiidi raadiust erinevate kiirenduspingete U ja erinevate magnetväljade B korral, saab mõõtetulemused vastavalt võrrandile kujutada graafikul $B^2 r^2$ sõltuvusena 2U-st sirge^{na} läbi koordinaatide alguspunkti; selle sirge tõus on e/m.

Ohutusteave



HOIATUS: Võimaliku elektrilöögi või kehavigastuse vältimiseks järgige järgmisi juhiseid

- Puhastage seadet *ainult* pehme kuiva lapiga.
- Enne kasutamist veenduge, et seade ei ole kahjustatud. *Ärge kasutage kahjustatud seadet.*
 - Kontrollige enne seadme kasutamist alati korpust kahjustuste suhtes. Pöörake erilist tähelepanu pistikuid ümbritsevale isolatsioonile.
- **Ärge** katkestage toitejuhtme kaitsemaandust.
- Ühendage seade alati maandatud pistikupessa.
- Ärge kasutage toodet viisil, mida tootja ei ole ette näinud.
- Ärge paigaldage asendusosi ega tehke tootele volitamata muudatusi.
- Võrgu- ja voolukaitsekaitsmed: Tuleohu vältimiseks asendage võrgukaitse ja voolukaitsekaits ainult *ettenähtud* tüübi ja nimiväärtusega kaitsmetega.
- Võrgutoite ja mõõtesisendite lahutamine: Enne hooldust eemaldage seade seinakontaktist, eemaldage toitejuhe ning ühendage kõik mõõtejuhtmed kõigist klemmidest lahti. Seadme katet tohivad eemaldada ainult kvalifitseeritud ja hoolduseks väljaõppinud isikud.
- Kui seade töötab ebatavaliselt, lõpetage selle kasutamine viivitamata, sest kaitsefunktsioonid võivad olla nõrgenenud. Kahtluse korral laske seadet hooldada.
- Ärge kasutage seadet märgades tingimustes ega plahvatusohtliku gaasi, auru või tolmu juuresolekul.
- Ärge rakendage klemmide vahel ega ühegi klemmi ja maa vahel suuremat pinget kui seadmele märgitud nimipinge.
- Kasutage seadme hooldamisel ainult *ettenähtud* varuosi.
- Olge ettevaatlik pingetega üle 30 V AC RMS, 42 V tippväärtuse või 60 V DC töötamisel. Sellised pinged põhjustavad elektrilöögi ohtu.
- Elektrilöögi vältimiseks ärge puudutage paljast juhti käte ega nahaga.
- Järgige kõiki kohalikke ja riiklikke ohutusnõudeid. Ohtlike pingestatud juhtide paljastumise korral tuleb elektrilöögi ja kaarleegi vigastuste vältimiseks kasutada isikukaitsevahendeid.
- *Pidage meeles:* kui sisendklemmile rakendatakse ohtlik pinge, võib sama pinge esineda ka kõigil teistel klemmidel.

Koostamine

Aluse kokkupanek

1. Kinnitage kaks Helmholtzi pooli montaažikomplekti kruvidega platvormile nii, et poolide klemmid oleksid suunatud väljapoole.
2. Kinnitage montaažikomplekti kolm tugivarrast kahe Helmholtzi pooli vahele.
3. Paigaldage peegelskaala ühele Helmholtzi poolile nii, et peegel oleks suunatud e/m-toru pooli poole. Pingutage peegelskaala otstes olevad kruvid, et kinnitada skaala pooli külge.
4. Hoidke e/m-toru selle alusest ja joondage toru väljaulatuv sakk pesas oleva sälguga. Pöörake toru pesas, kuni sakk libiseb sätku, seejärel suruge toru pessa. Veenduge, et toru on kindlalt paigas.



HOIATUS: Ärge puudutage toru klaaskolbi. Puudutage ainult klaaskolvi all olevat plastosa. Ärge koormake toru mehaaniliselt. Käsitsege ettevaatlikult.



Joonis 1. Täielikult kokkupandud alus.

Kaablite ja juhtmete ühendamine



OHT: e/m-torule rakendatakse kõrgepinge. Vältige kokkupuudet mis tahes kehaosaga.

- Kasutage ühendusteks ainult isoleeritud kaitseümbrisega ühendusjuhtmeid.
- Veenduge, et toiteallikad on VÄLJA lülitatud enne ühenduste tegemist.
- Veenduge, et toiteallikad on VÄLJA lülitatud enne e/m-toru paigaldamist või vahetamist.



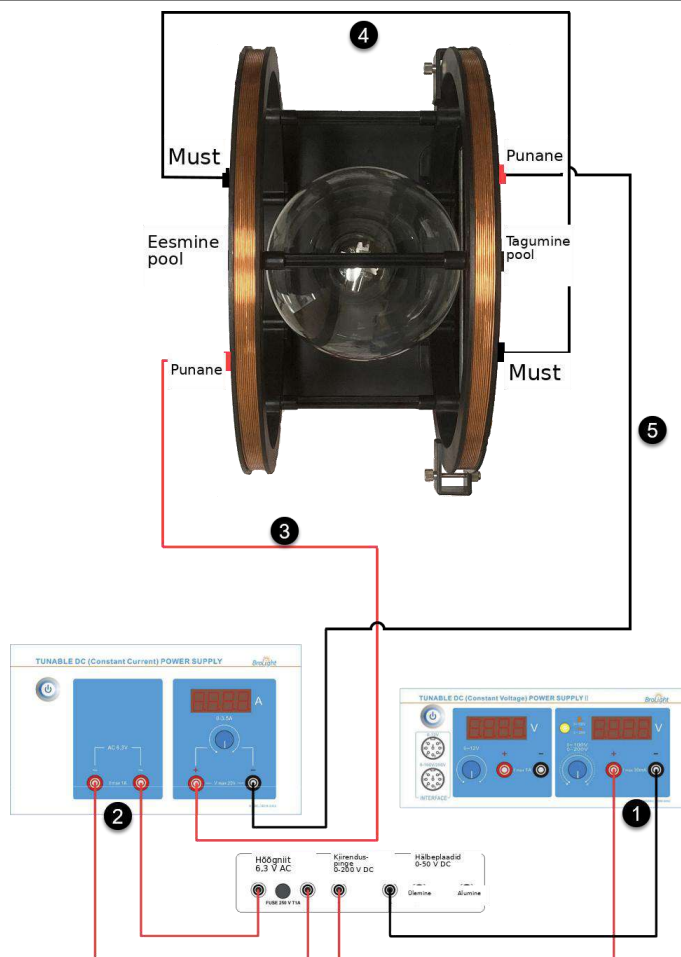
TÄHTIS: Veenduge, et toiteallikate vahelduvpinge lülitiid on seadistatud teie võrgu vahelduvpinge tasemele.



MÄRKUS: Enne juhtmete või kaablite ühendamist veenduge, et kõik toiteallikate toitelülitiid on asendis OFF ja kõik pingeregulaatorid on keeratud lõpuni vastupäeva.

e/m-seadme ühendamise lõpetamiseks ühendage kaablid ja juhtmed alltoodud sammude kohaselt. Samud on tähistatud joonise 2 skeemil.

- 1 Reguleeritava alalisvoolu toiteallikal II (konstantne pinge) ühendage 200 V DC väljundi positiivne klemm platvormi kiirenduspinge positiivse klemmiga. Ühendage 200 V DC väljundi negatiivne klemm kiirenduspinge negatiivse klemmiga.
- 2 Reguleeritava alalisvoolu toiteallikal (konstantne vool) ühendage AC 6,3 V väljundi mõlemad klemmid platvormi hõõgniidi klemmidega.
- 3 Reguleeritava alalisvoolu toiteallikal (konstantne vool) ühendage 3,5 A väljundi positiivne klemm eesmise Helmholtzi pooli punase klemmiga.
- 4 Ühendage eesmise Helmholtzi pooli must klemm tagumise Helmholtzi pooli musta klemmiga.
- 5 Ühendage tagumise Helmholtzi pooli punane klemm reguleeritava alalisvoolu toiteallika (konstantne vool) 3,5 A väljundi negatiivse klemmiga.
- 6 (Joonisel ei ole näidatud.) Ühendage toitejuhtmed toiteallikatega ja seejärel ühendage nende juhtmete abil toiteallikad pistikupesasse.



Joonis 2. Poolide, e/m-toru ja toiteallikate ühendamine.

Katse käik

Pingete ja voolude seadistamine

Enne katse alustamist veenduge, et kõik toiteallikate toitelülitiid on asendis OFF ja kõik pingeregulaatorid on keeratud lõpuni vastupäeva.



MÄRKUS: Kui te ei kasuta seadmega kaasas olnud e/m-toru või te pole kindel, kas toru on vahetatud, vaadake jaotist „Vanemate e/m-torude arvestamine”.

1. Seadke reguleeritava alalisvoolu toiteallikal II (konstantne pinge) pingevahemiku lüliti asendisse **0–200 V**.
2. Vajutage mõlema toiteallika toitelüliti asendisse ON.
3. Enne jätkamist oodake umbes viis minutit, et hõõgniit jõuaks soojeneda.
4. Seadke reguleeritava alalisvoolu toiteallikal II (konstantne pinge) kiirenduspingeks **190 V DC**, et elektronkiir muutuks nähtavaks.
5. Suurendage reguleeritava alalisvoolu toiteallikal (konstantne vool) Helmholtzi poolide voolu. Jälgige elektronkiirt ja kontrollige, et kiir

paindub ülespoole. Jätkake voolu suurendamist, kuni elektronkiir moodustab suletud ringi.

- Kui elektronkiir ei hälbi, vahetage ühe Helmholtzi pooli polaarsus nii, et vool läbiks mõlemat pooli samas suunas.
- Kui elektronkiir hälbib allapoole, vahetage toiteallika 3,5 A väljundklemmide ühendused omavahel.
- Kui elektronkiir moodustab spiraali, pöörake toru platvormil, kuni moodustub suletud ring. Samuti võib osutuda vajalikuks pöörata platvormi paremale või vasakule, et joondada Helmholtzi poolide tekitatud magnetväli Maa magnetväljaga.

6. Reguleerige alalisvoolu toiteallika II (konstantne pinge) väljundpinget ehk **kiirenduspinget**, et optimeerida elektronkiire fookust ja heledust.

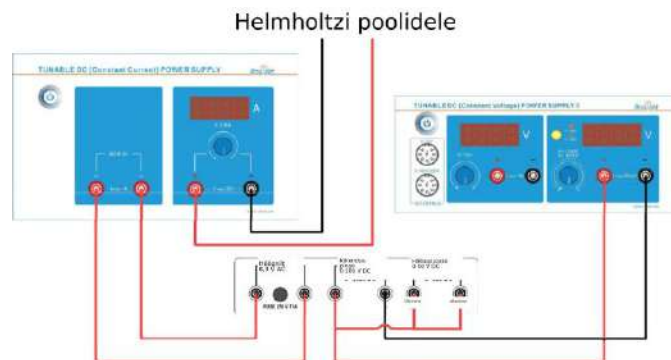
Vanemate e/m-torude arvestamine

Vanemate e/m-toru mudelite seadistusprotseduur erineb veidi praegu PASCO tarnitavate torude omast. Kontrollige oma toru elektronemitterit. Vanematel e/m-torudel on silindriline elektronkahur, nagu allpool näidatud (punase ringiga), uuematel torudel aga kooniline elektronkahur.



Kui teie e/m-toru ei vasta ülaltoodud pildile, võite selle jaotise vahele jätta. Kui kasutate aga vanemat e/m-toru, tehke järgmised toimingud **jaotise „Pingete ja voolude seadistamine” sammude 4 ja 5** vahel:

1. Ühendage juhe ülemise ja alumise hálbeplaadi pesade vahele, nagu näidatud joonisel 3.
2. Ühendage juhe kiirenduspinge **positiivse klemmi** ja hálbeplaatide **ülemise klemmi vahele**, et elektronkiir muutuks nähtavaks.



Joonis 3. Kaabliühendus vanemate e/m-torude jaoks.

Andmete registreerimine

1. Lugege voolunäidikult Helmholtzi poolide vool I_H ja registreerige see. väärtus. Registreerige väärtus tabelis 1.
2. Lugege voltmeetri näit ja registreerige kiirenduspinge U tabelis 1.
3. Mõõtke elektronkiire ringjoonelise trajektoori raadius r . Vaadake läbi e/m-toru peegelskaalat. Parallaksivea vältimiseks liigutage pead nii, et torus olev elektronkiir kattuks peegelskaalal nähtava kiire peegelpildiga. Mõõtke elektronkiire trajektoori raadius skaala mõlemal poolel ja arvutage tulemuste keskmine. Registreerige keskmine raadius tabelis 1.
4. Tehke täiendavaid mõõtmisi erinevate kiirenduspingete ja Helmholtzi poolide vooludega.

Tabel 1. Andmed

Katse	U (V)	I_H (A)	R (mm)	e/m (C/kg)	% viga
1					
2					
3					
4					
5					

e/m mõõtmiste analüüs

Helmholtzi poolide paari tekitatud magnetväli B on võrdeline ühte pooli läbiva vooluga I_H . Võrdeteguri k saab määrata pooli raadiuse R ja pooli keerdude arvu N põhjal järgmise võrrandiga:

$$B = \frac{\left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \mu_0 N I_H}{R}$$

Kasutades seda B avaldist, muutub algne e/m valem

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{B^2 r^2}$$

järgmiseks:

$$\frac{e}{m} = 2U \frac{\left(\frac{5}{4}\right)^3 R^2}{(\mu_0 N I r)^2}$$

Selles katses on $R = 158$ mm, $N = 130$ keerdude pooli kohta ja $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$.

Laengu ja massi suhte e/m tunnustatud väärtus on 1.75×10^{11} C/kg.

Demonstratsioonid

Kiire hõlvitamine elektrivälja abil

Kui Helmholtzi poolides voolu ei ole, hõlvitage kiirt hõlvplaadide abil:

- Ühendage juhe kiirenduspinge **positiivse klemmi** ja hõlvplaadide **ülemise klemmi** vahele, et elektronkiir hõlviks ülespoole.
- Ühendage juhe ümber **hõlvplaadide alumisele klemmile**, et elektronkiir hõlviks allapoole.

Kiire hõlvitamine püsimagneetiga

Hoidke püsimagneetist varrasmagneetit toru lähedal, et näidata magnetvälja mõju elektronkiirele. Vaheldumisi suunake kiire lähedale magneti põhja- ja lõunapoolus.

Toru pööramine

Pöörake toru nii, et see paikneks Helmholtzi poolide magnetvälja suhtes nurga all. Jälgige toru pööramisel, kuidas muutub kiire hõlve.

Kiire hõlvitamine Maa magnetvälja abil

Kui püsimagneetit ei kasutata ja Helmholtzi poolides voolu ei ole, pöörake toru või kogu seadet, et jälgida kiire hõlvet Maa magnetvälja toimel. Kas kiire hõlve suund vastab teie ootustele?

Näidisandmed

Tabel 2. Näidisandmed

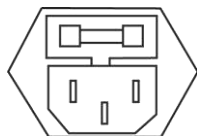
Katse	U (V)	I _H (A)	R (mm)	e/m (C/kg)	% viga
1	100	1.0	45.0	1.80×10^{11}	2.5
2	105	1.1	42.5	1.76×10^{11}	-0.3
3	110	1.2	40.0	1.74×10^{11}	-0.9
4	115	1.3	38.0	1.72×10^{11}	-2.2
5	120	1.4	35.5	1.78×10^{11}	0.9

Kaitsme vahetamine



HOIATUS: Elektrilöögi või seadme kahjustamise ohu vähendamiseks lülitage toitelüliti asendisse OFF ja eemaldage enne kaitsme vahetamist toitejuhe.

- Eemaldage seadme toitejuhe.
- Avage kaitsme kate ja eemaldage kaitse. Kaitse asub vahelduvvoolu toitejuhtme pesa kohal olevas sahtlis. Kasutage sahtli avamiseks väikest kruvikeerajat või muud sobivat tööriista.



- Asendage kaitse sama tüüpi kaitsmega (250 V T2A). Sahtlis on üks varukaitse.
- Ühendage toitejuhe uuesti ja lülitage seade sisse.

Tehnilised andmed ja tarvikud

Tehniliste andmete vaatamiseks ja tarvikutega tutvumiseks külastage tootelehte pasco.com/product/SE-9629. Tootelehtelt saab alla laadida ka tugidokumente.

Esita küsimus

Küsi PASCO ametlikult partnerilt Eestis DIFI.NET OÜ

ask@ste.education

<https://oppelabor.ee>

Regulatiivteave

Piiratud garantii ja vastutuse piiramine

Sellel Brolighti tootel ei esine ühe aasta jooksul alates ostukuupäevast materjali- ega tootmisdefekte. Garantii ei hõlma kaitsmeid ega kahjustusi, mis tulenevad õnnetusest, hooletusest, väärkasutusest, muutmisest, saastumisest või ebatavalisest töö- või käsitsemistingimustest. Edasimüüjatel ei ole õigust Brolighti nimel muid garantiisid laiendada. Garantiiperioodil hoolduse saamiseks tagastage seade ostukohta koos probleemi kirjeldusega. SEE GARANTII ON TEIE AINUS ÕIGUSKAITSEVAHEND. MUID GARANTIISID, SEALHULGAS SOBIVUST KINDLAKS OTSTARBE KS, EI OLE OTSESELT EGA KAUDSELT ANTUD. BROLIGHT EI VASTUTA ÜH EGI ERILISE, KAUDSE, JUHUSLIKU EGA KAASNEVA KAHJU VÕI KAO EEST, MIS TULENEB MIS TAHES PÕHJUSEST VÕI ÕIGUSTEORIAST. Kuna mõnes osariigis või riigis ei ole lubatud kaudse garantii või juhuslike või kaasneva kahju välistamine või piiramine, ei pruugi see vastutuse piirang teile kohalduda.

Toote kasutusel kõrvaldamine



Selle elektroonikatoote suhtes kehtivad kõrvaldamise ja ringlussevõtu nõuded, mis erinevad riigiti ja piirkonniti. Teie vastutate elektroonikaseadmete ringlussevõtu eest vastavalt kohalikele keskkonnanalastele õigusaktidele ja nõuetele, et tagada nende ringlussevõtt viisil, mis kaitseb inimeste tervist ja keskkonda. Selleks et teada saada, kuhu saate oma kasutuselt kõrvaldatud seadme ringlussevõtuks viia, võtke ühendust kohaliku jäätmete ringlussevõtu või kõrvaldamise teenuse või toote müügikohaga. Euroopa Liidu WEEE (elektri- ja elektroonikaseadmete jäätmete) sümbol toote l või selle pakendil näitab, et toodet ei tohi visata tavalisse jäätmemahutusse.