

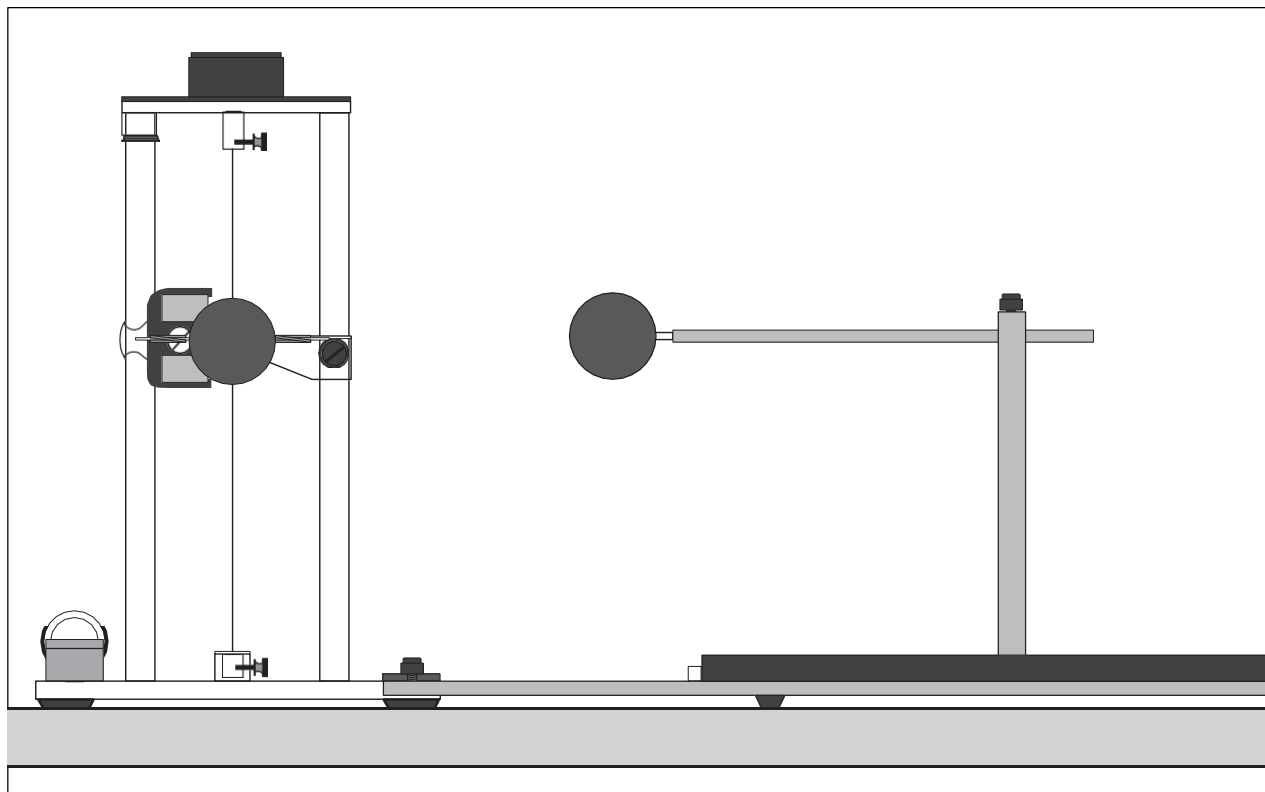
Sisaldab õpetaja
märkmeid ja
Tüüpilised
katsetulemused



PASCO scientific
mudeli ES-9070
kasutusjuhend ja
katsejuhend

012-03760E
05/99

COULOMBI TORSIOONKAAL



© 1989 PASCO scientific

\$5.00

PASCO®
scientific

10101 Foothills Blvd. • Roseville, CA 95747-7100
Phone (916) 786-3800 • FAX (916) 786-8905 • www.pasco.com

better

ways to

teach science

Sisukord

Jaotis	Lehekülg
Autoriõigus, garantii ja seadmete tagastamine	ii
Sissejuhatus	1
Teooria	2
Seadmed	3
Soovitavad lisaseadmed:	3
Soovitused täpsete tulemuste saamiseks	4
Seadistamine.....	5
Katsed:	
Osa A Jõud sõltuvalt kaugusest	7
Osa B Jõud sõltuvalt laengust	8
Osa C Coulombi konstant	9
Torsioonraadi vahetamine.....	13
Õpetaja juhend	15
Tehniline tugi	Tagakaane sisekülj

Autoriõigus, garantii ja seadmete tagastamine

Palun kopeerige seda juhendit vabalt allpool toodud autoriõiguse piirangute kohaselt.

Autoriõiguse teatis

PASCO scientificu Coulombi torsioonkaalu 012-03760E juhend on autoriõigusega kaitstud ja kõik õigused on reserveeritud. Mittetulunduslikele haridusasutustele antakse siiski luba paljundada juhendi mis tahes osa tingimusel, et koopiaid kasutatakse ainult nende laborites ja neid ei müüda tulu saamise eesmärgil. Paljundamine muudel asjaoludel ilma PASCO scientificu kirjaliku nõusolekuta on keelatud.

Piiratud garantii

PASCO scientific garanteerib, et tootel ei esine materjali- ega valmistusvigu ühe aasta jooksul alates kliendile saatmise kuupäevast. PASCO parandab või asendab omal valikul toote mis tahes osa, mille puhul tuvastatakse materjali- või valmistusviga. Garantii ei hõlma kahjustusi, mis on põhjustatud väärkasutusest või ebaõigest kasutamisest. Otsuse selle kohta, kas toote rike tuleneb tootmisveast või kliendi ebaõigest kasutamisest, teeb üksnes PASCO scientific. Garantiiremondiks seadme tagastamise eest vastutab klient. Seade tuleb kahjustuste vältimiseks nõuetekohaselt pakkida ning saata postikulu või veokulu ettemaksuga. (Tagasisaatmisel ebaõigest pakkimisest põhjustatud kahjustusi garantii ei kata.) Pärast remonti tasub seadme kliendile tagastamise saatekulud PASCO scientific.

Tegijad

Autor: Bruce Lee
Toimetaja: Dave Griffith

Seadmete tagastamine

Kui toode tuleb mingil põhjusel PASCO scientificule tagastada, teavitage PASCO scientificut kirja, telefoni või faksi teel ENNE toote tagastamist. Pärast teavitamist väljastatakse viivitamata tagastusluba ja saatmisjuhised.

***MÄRKUS: ÜHTEGI
SEADET EI VÕETA TAGASTUSEKS
VASTU ILMA PASCO LOATA.**

Seadme remonti tagastamisel tuleb see nõuetekohaselt pakkida. Vedajad ei vastuta ebaõigest pakkimisest põhjustatud kahjustuste eest. Et seade transpordi käigus kahjustada ei saaks, järgige järgmisi reegleid:

- ① Pakend peab olema saadetava eseme jaoks piisavalt tugev.
- ② Veenduge, et seadme mis tahes punkti ja karbi siseseinte vahel oleks vähemalt kaks tolli pakkematerjali.
- ③ Veenduge, et pakkematerjal ei saaks karbis nihkuda ega kokku surutud saada nii, et seade puutuks kokku pakendikarbiga.

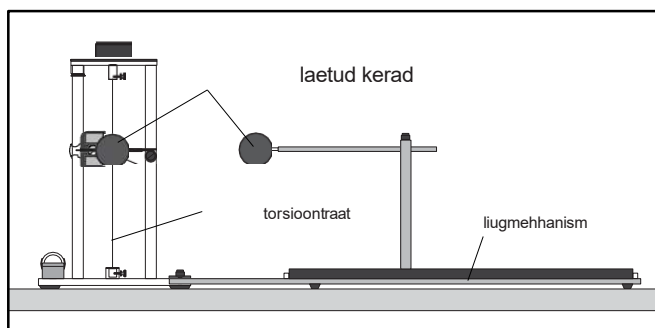
Aadress: PASCO scientific
10101 Foothills Blvd.
Roseville, CA 95747-7100

Telefon: (916) 786-3800
FAKS: (916) 786-3292
e-post: techsupp@pasco.com
veeb: www.pasco.com

Sissejuhatus

PASCO mudeli ES-9070 Coulombi torsioonkaal (Joonis 1) on tundlik torsioonkaal, mida saab kasutada laetud kehade vahelise jõu uurimiseks. Juhtiv kera on kinnitatud vardale, tasakaalustatud vastukaaluga ja riputatud peene torsioontraadi külge. Identne kera on kinnitatud liugmehhanismile, nii et selle saab paigutada riputatud kerast erinevatele kaugustele.

Katse tegemiseks laetakse mõlemad kerad ning liugmehhanismil olev kera paigutatakse kindlatele



Joonis 1. Katsetamine Coulombi torsioonkaaluga

kaugustele riputatud kera tasakaaluasendist. Keradevaheline elektrostaatiline jõud põhjustab torsioontraadi väändumise. Seejärel keerab katsetaja torsioontraati, et viia kaal tagasi tasakaaluasendisse. Nurk, mille võrra tuleb torsioontraati tasakaalu taastamiseks keerata, on otseselt võrdeline keradevahelise elektrostaatilise jõuga.

Kõiki Coulombi seose muutujaid ($F = kq_1q_2/R^2$) saab muuta ja mõõta

Coulombi torsioonkaalu abil. Sellega saate kontrollida pöördruutsõltuvust ja laengusõltuvust, kasutades kaalu ja mis tahes elektrostaatilist laadimisallikat.

Parimate tulemuste saamiseks soovitame kerad laadida stabiilse kilovoldise toiteallikaga, et tagada kogu katse jooksul korratav laeng. Coulombi konstandi piisavalt täpselt määramiseks soovitame kasutada elektromeetrit ja Faraday jää anumad, et mõõta kerade laengut täpselt. Täpsuse kohta lisateabe saamiseks lugege jaotist „Soovitused täpsete tulemuste saamiseks”.

Teooria

Võtke üks gramm prootoneid ja asetage need ühe meetri kaugusele ühest grammist elektronidest. Tekkiv jõud on võrdne

$1,5 \times 10^{23}$ njuutoniga — ligikaudu jõuga, mis oleks vajalik Maa pinnalt sellise keha „tõstmiseks”, mille mass on umbes 1/5 Kuu massist — see ei ole väike jõud.

Kui nii väikesed laengukogused tekitavad nii suuri jõude, miks on laboris laetud kehade vahelise jõu mõõtmiseks vaja väga tundlikku torsioonkaalu? Mõnes mõttes on pool probleemist just jõudude tohutu suurus.

Teine pool on see, et elektrijõu kandjad — tilluke prooton ja veelgi väiksem elektron — on väga väikesed ning elektronid on väga liikuvad.

Kui olete need eraldanud, kuidas neid lahus hoida? Negatiivselt laetud elektrone ei tõmba mitte ainult positiivselt laetud prootonite poole, vaid elektronid tõukuvad ka omavahel. Lisaks liiguvad eraldatud laengute vahel olevad vabad elektronid või ioonid väga kiiresti, vähendades laengute eraldumisest põhjustatud välja.

Kuna elektronid ja prootonid seostuvad nii tugevalt, saab laboris säilitada ainult suhteliselt väikeseid laenguerinevusi. Olukord on selline, et kuigi elektrostaatiline jõud on rohkem kui miljard-

miljard-miljard-miljard korda tugevam gravitatsioonijõust, on elektrijõu mõõtmiseks vaja väga tundlikku torsioonkaalu, samal ajal kui gravitatsioonijõudu saame mõõta keha kaalumisel vedrukaaluga.

I* MÄRKUS: Torsioonkaal võimaldab Coulombi jõudu mõõta otse ja üsna täpselt. Coulombi seaduse kõige täpsemad määramised on siiski kaudsed. Matemaatiliselt saab näidata, et kui elektrostaatilise jõu korral kehtib pöördruutseadus, peab ühtlaselt laetud kera sisemuses elektriväli olema kõikjal null. Laetud kera sisemuse välja mõõtmised on seda väga suure täpsusega kinnitanud. Coulombi jõudu saab väljendada valemiga:

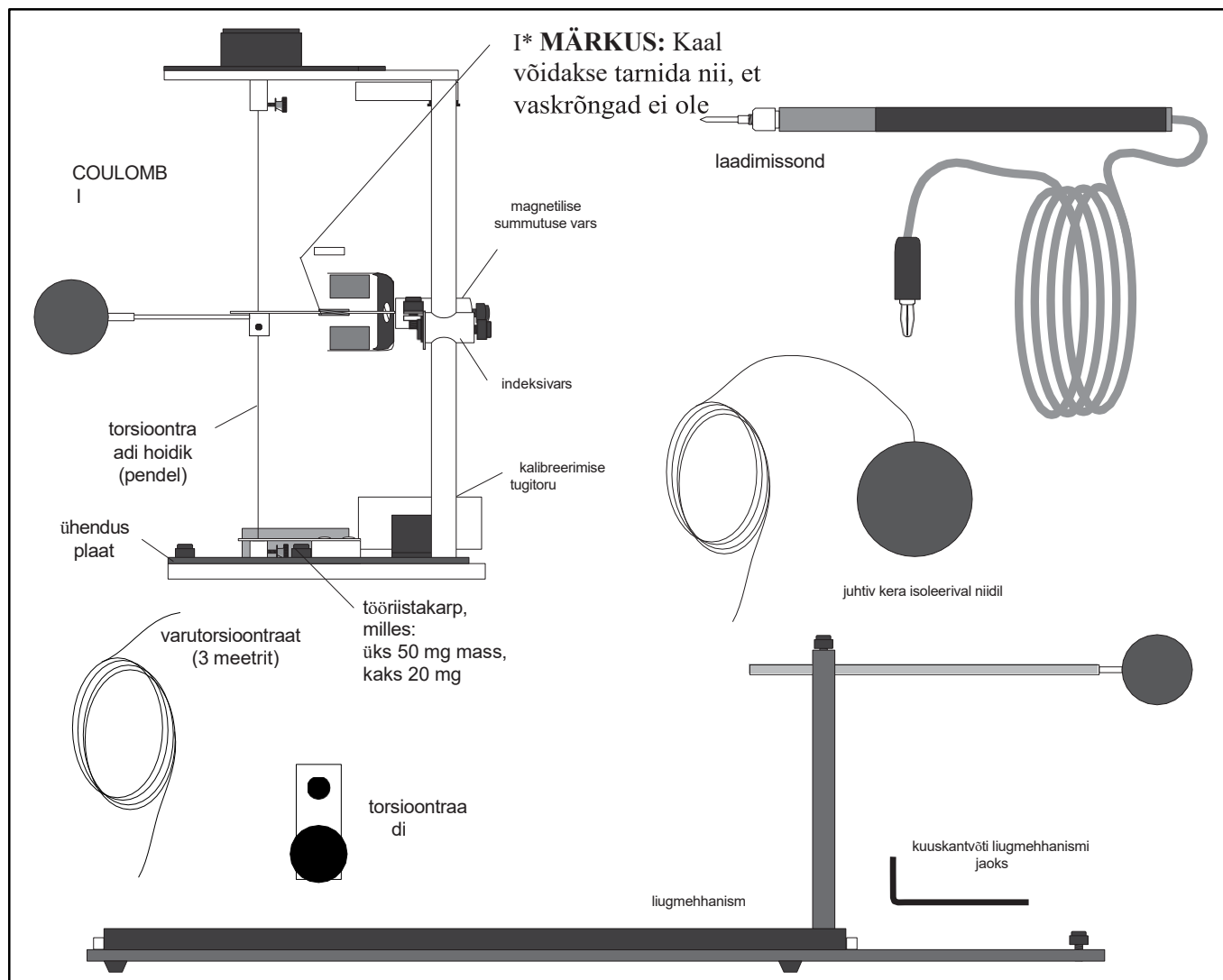
$$F = kq_1q_2/R^{2+n}.$$

Selle kaudse meetodiga on katseliselt näidatud, et $n - 2 \times 10^{-16}$.

Seadmed

Coulombi torsioonkaal ja komplekti kuuluvad tarvikud on näidatud joonisel 2.

(Coulombi torsioonkaal ja liugmehhanism tuleb transportida nii, et üks juhtivatest keradest ei ole kinnitatud. Vt selle juhendi jaotist „Seadistamine“.)



Joonis 2. Coulombi torsioonkaal

Soovitavad lisaseadmed:

- Stabiilne kilovoldine toiteallikas kerade laadimiseks — kerade laadimiseks võib kasutada mis tahes elektrostaatilist laadijat, kuid toiteallikas võimaldab katse vältel laengu kindla väärtuseni taastada. Ideaaljuhul on toiteallikal hetkeline „toide sisse” nupp, et saaksite selle mugavalt välja lülitada alati, kui kerasid ei laeta.

- Elektromeeter ja Faraday jääanum (näiteks PASCO mudelid ES-9054A ja ES-9058) kerade laengu täpseks mõõtmiseks.
- Vedrukaal, millega saab mõõta ligikaudu 4 njuutoni suurust jõudu (400-grammine mass). Katse enda jaoks ei ole see vajalik, kuid sellest on abi torsioonraadi pinge seadistamisel.

Soovitused täpsete tulemuste saamiseks

TÄHTIS: Kui elate piirkonnas, kus õhuniiskus on alati suur, ja teil puuduvad võimalused niiskuse reguleerimiseks, on katse tegemine raske, kui mitte võimatu. Niiskes õhkkonnas on staatilisi laenguid pinnajuhtivuse tõttu väga raske säilitada.

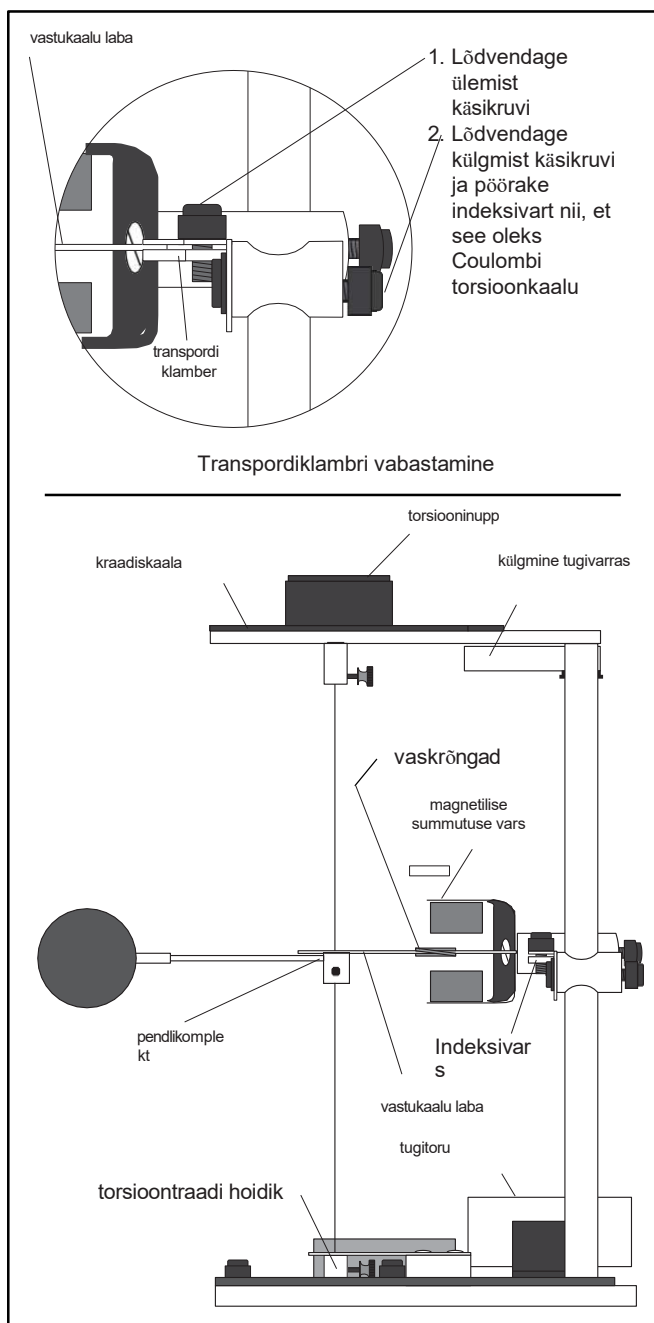
Coulombi torsioonkaaluga tehtavad katsed on lihtsad ja üsna täpsed, kuid nagu iga kvantitatiivse elektrostaatilise katse puhul, võivad probleemid tekkida ootamatult. Laetud särgivarrukas, avatud aken, liiga niiske päev — kõik need ja muudki tegurid võivad katset mõjutada. Kui järgite hoolikalt alltoodud soovitusi, on teil hea alus edukaks katseks.

- Tehke katse aastaajal, mil õhuniiskus on kõige väiksem.
- Tehke katse tuuletõmbuseta ruumis.
- Laud, millele katse üles seate, peab olema valmistatud isoleerivast materjalist — puidust, masoniidist, plastist vms. Metalllaua kasutamisel tekivad lauas peegellaengud, mis mõjutavad tulemusi oluliselt. (See kehtib ka isoleerivate materjalide puhul, kuid mõju on oluliselt väiksem.)
- Paigutage torsioonkaal vähemalt kahe jala kaugusele seintest või muudest esemetest, mis võivad olla laetud või milles võib indutseeruda laeng.
- Katsete ajal seiske otse kaalu taga ja sellest võimalikult suurel mugaval kaugusel. See vähendab rõivastele koguneda võivate staatiliste laengute mõju.
- Vältige sünteetiliste kangaste kandmist, sest need koguvad kergesti suuri staatilisi laenguid. Parimad on lühikeste varrukatega puuvillased rõivad ning kasulik on katsetaja külge ühendatud maandusjuhe.

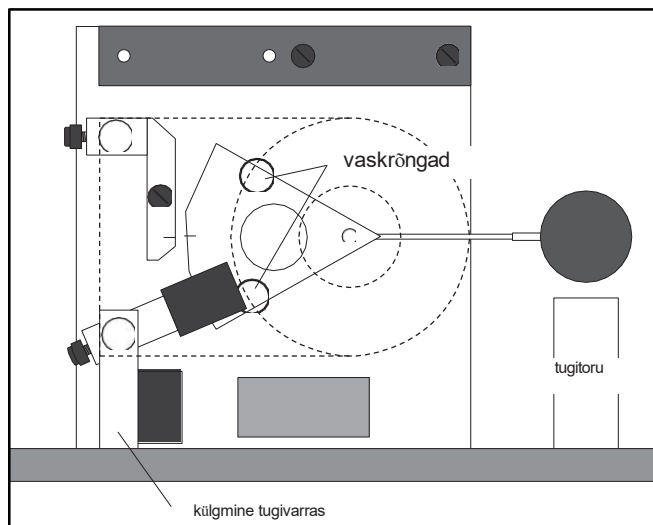
- Kasutage kerade laadimiseks stabiilset reguleeritud kilovoldist toiteallikat. See aitab tagada kogu katse jooksul püsiva laengu.
- Kerade laadimisel lülitage toiteallikas sisse, laadige kerad ja lülitage toiteallikas kohe välja. Toiteallika klemmidel olev kõrgepinge võib põhjustada lekkevoolusid, mis mõjutavad torsioonkaalu. Hetkelise „toide sisse” nupuga toiteallikas on ideaalne.
- Kerade laadimisel hoidke laadimissondi käepideme otsa lähedalt, et käsi oleks kerast võimalikult kaugel. Kui käsi on kerale liiga lähedal, avaldab see mahtuvuslikku mõju ja suurendab antud pinge korral kera laengut. Seda mõju tuleb minimeerida, et kerade laeng oleks katse ajal uuesti laadimisel täpselt korratav.
- Kui kasutate PASCO elektromeetrit (mudel ES-9035 või ES9054A) kerade laengu mõõtmiseks, ühendage pinge väljund digitaalse multimeetriga, et väärtusi saaks täpsemalt mõõta. Samuti on kasulik elektromeeter kalibreerida. Selleks rakendage sisendile kalibreerimispinge ja mõõtke elektromeetri väljundit digitaalse multimeetriga. Seejärel saate mõõdetud väärtusi vajaduse järgi korrigeerida.
- Laetud kerasid kandvate varraste pinnasaaste võib põhjustada laengu lekkimist. Selle vältimiseks puudutage neid osi võimalikult vähe ja pühkige neid aeg-ajalt saaste eemaldamiseks alkoholiga.
- Mõningane laenguleke esineb alati. Lekke mõju vähendamiseks tehke mõõtmised pärast laadimist võimalikult kiiresti.
- Laadige kerad enne iga mõõtmist uuesti.

Seadistamine

* **Märkus – torsioontraadi paigaldamine:** torsioonkaal tarnitakse juba paigaldatud traadiga. Kui traat siiski katkeb, saate selle asendada kaasasoleva varutraadiga. Vt juhendi lõpus olevat toimingut.



Joonis 3. Coulombi torsioonkaalu seadistamine



Joonis 4. Torsioonkaalu nullimine

Torsioonkaalu seadistamine

- ① Üks juhtivatest keradest ei ole Coulombi torsioonkaalu tarnimisel kinnitatud. Kinnitamiseks libistage kera vars *lihtsalt* pendlikomplekti klaaskiudvarda peale.
- ② Libistage vaskrõngad vastukaalu labale, nagu on näidatud joonise 3 alumises osas. Seejärel vabastage vastukaalu laba hoidev transpordiklamber, nagu on näidatud joonise 3 ülemises osas. Reguleerige vaskrõngaste asendit nii, et pendlikomplekt oleks loodis.
- ③ Paigutage indeksivars ümber nii, et see oleks torsioonkaalu alusega paralleelne ja labaga samal kõrgusel.

* **Tähtis:** torsioonkaalu hoiustamisel kinnitage vastukaalu laba alati klambriga, et kaitsta torsioontraati. Selleks reguleerige indeksivarre kõrgust ja nurka nii, et laba saaks kinnitada torsioontraati tõmbamata.

- ④ Reguleerige magnetilise summutuse varre kõrgust nii, et vastukaalu laba asuks magnetite vahel keskel.
- ⑤ Pöörake torsiooninuppu, kuni kraadiskaala indeksijoon on joondatud nullkraadi märgiga.

- ⑥ Pöörake alumist torsioonraadi hoidikut (ärge lõdvendage ega pingutage käsikruvi), kuni vastukaalu laba indeksijoon joondub indeksivarre indeksijoonega.
- ⑦ Pöörake torsioonkaal ettevaatlikult küljele ja toetage seda külgmise tugivardaga, nagu on näidatud joonisel 4. Asetage tugitoru kera alla, nagu näidatud.
- ⑧ Reguleerige vastukaalu labal olevate vaskrõngaste asendit, et joondada vastukaalu indeksijoon uuesti indeksivarre indeksijoonega.
- ⑨ Asetage torsioonkaal püstiasendisse.

Liugmehhanismi seadistamine

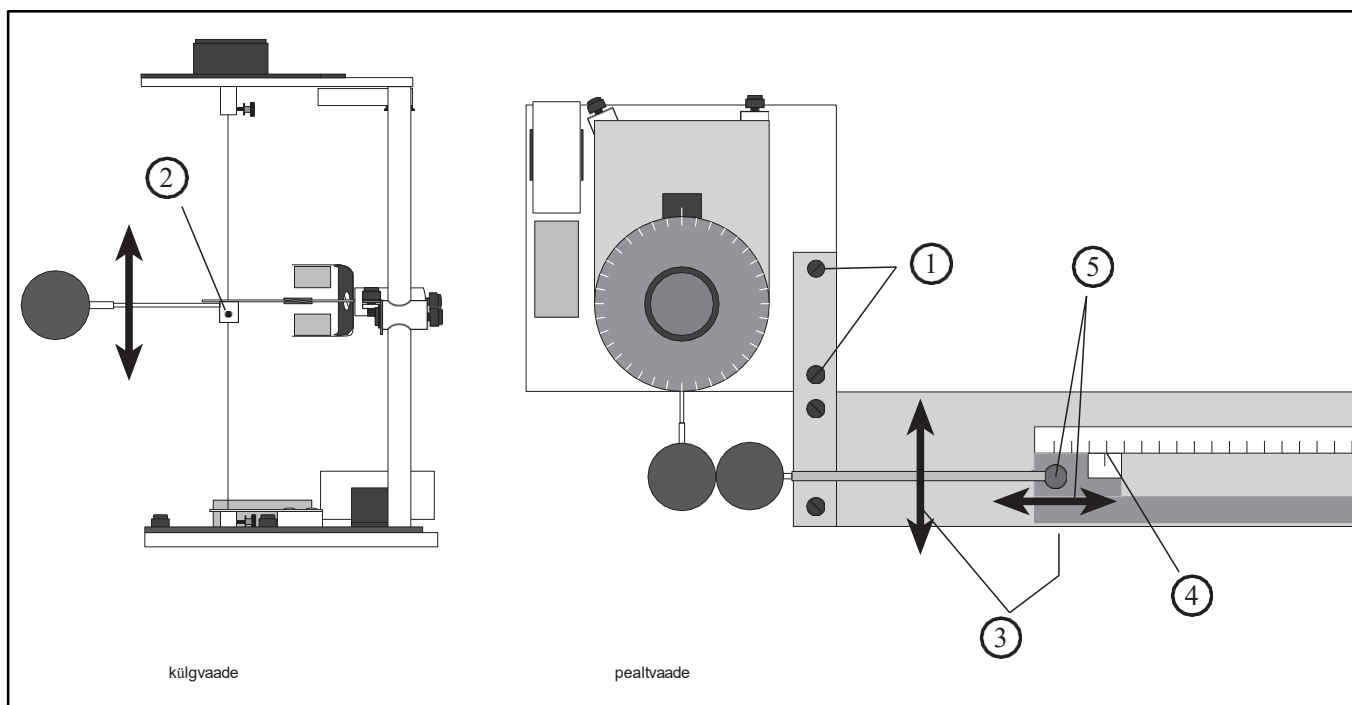
(Vt joonist 5)

- ① Ühendage liugmehhanism torsioonkaaluga joonisel 5 näidatud viisil, kasutades selle kinnitamiseks ühendusplaati ja käsikruvisid.
- ② Joondage kerad vertikaalselt, reguleerides pendlikomplekti kõrgust: kasutage kaasasolevat kuuskantvõtit, et lõdvendada kruvi, mis kinnitab pendlikomplekti torsioonraadi külge. Reguleerige pendlikomplekti kõrgust vastavalt vajadusele.

Reguleerige vajaduse korral indeksivarre ja magnetilise summutuse varre kõrgust, et taastada horisontaalne asend.

- ③ Joondage kerad külgsuunas: lõdvendage kaasasoleva kuuskantvõtmega liugmehhanismi põhjas olevat kruvi, mis kinnitab kera vertikaalse tugivarda (kruvile ligipääsuks tuleb vertikaalne tugivarras viia liugmehhanismi otsa, vastu valget plastnappu). Liigutage vertikaalsel vardal olevat kera, kuni see on riputatud keraga külgsuunas joondatud, ja pingutage kinnituskruvi.
- ④ Paigutage liugur nii, et sentimeetriskaala näit oleks 3.8 cm (see kaugus võrdub kerade läbimõõduga).
- ⑤ Paigutage kerad: lõdvendage liikuva kera tugivarda ülaosas olevat käsikruvi ja libistage horisontaalset tugivarrast läbi vertikaalse tugivarda ava, kuni kaks kera just puutuvad kokku. Pingutage käsikruvi.

Nüüd olete katseks valmis. Kraadiskaala peab näitama nulli, torsioonkaal peab olema nullitud (indeksijooned joondatud), kerad peavad just kokku puutuma ning liugmehhanismi sentimeetriskaala peab näitama 3.8 cm. (See tähendab, et sentimeetriskaala näit vastab täpselt kahe kera keskpunktide vahelisele kaugusele.)

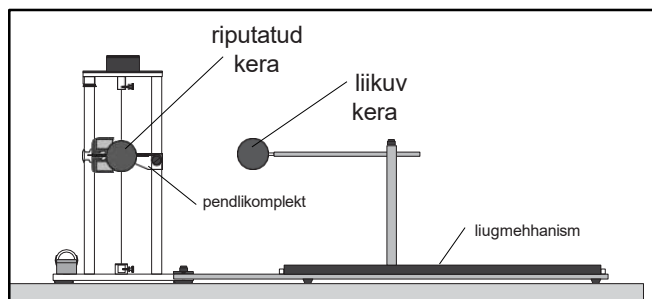


Joonis 5. Liugmehhanismi seadistamine

Katse: (osa A) jõud sõltuvalt kaugusest

Töö käik

- Seadistage Coulombi torsioonkaal eelmises jaotises kirjeldatud viisil.
- Veenduge, et kerad on täielikult laengust vabastatud (puudutage neid maandatud sondiga), ja viige liikuv kera riputatud kerast võimalikult kaugele. Seadke torsioonketas väärtusele 0·C. Nullige torsioonkaal, pöörates alumist torsioontraadi hoidikut sobivalt, kuni pendlikomplekt on indeksimärkide järgi nullnihke asendis.
- Kui kerad on endiselt maksimaalsel kaugusel, laadige mõlemad kerad potentsiaalini 6-7 kV laadimissondiga. (Toiteallika üks klemm peab olema maandatud.) Kohe pärast kerade laadimist lülitage toiteallikas välja, et vältida kõrgepinge lekke mõju.



Joonis 6. Katseseadistus

* **TÄHTIS:** Lugege jaotist „Soovitused täpsete tulemuste saamiseks”. Seal on kasulikke juhiseid kerade laadimise kohta.

- Paigutage liikuv kera 20 cm asendisse. Reguleerige torsiooninuppu vastavalt vajadusele, et jõud tasakaalustada ja pendel nullasendisse tagasi tuua. Märkige tabelisse 1 kaugus (R) ja nurk (θ).
- Viige kerad maksimaalsele kaugusele, laadige need uuesti sama pingega ja paigutage liikuv kera taas 20 cm kaugusele. Mõõtkite torsiooninurk ja märkige tulemus uuesti. Korrake mõõtmist mitu korda, kuni tulemus on korratav ± 1 kraadi täpsusega. Märkige üles kõik tulemused.
- Korrake samme 3-5 kaugustel 14, 10, 9, 8, 7, 6 ja 5 cm.

Analüüs

I* **MÄRKUS:** Selles katseosas eeldame, et jõud on võrdeline torsiooninurgaga. Kui teete katse osa C, kontrollite seda eeldust torsioonkaalu kalibreerimisel.

Määrake funktsionaalne seos jõu, mis on võrdeline torsiooninurgaga (θ), ja kauguse (R) vahel. Seda saab teha järgmistel viisidel:

- Joonistage $\log \theta$ sõltuvus $\log R$ -st.

Selgitus: kui $\theta = bR^n$, kus b ja n on tundmatud konstandid, siis $\log \theta = n \log R + \log b$. Seega on $\log \theta$ ja $\log R$ graafik sirgjoon. Selle tõus on n ja y-telje lõikepunkt $\log b$. Kui graafik on sirgjoon, on funktsioon seega määratud.

② Joonistage θ sõltuvus $R2^{-st}$

Mõlemad meetodid näitavad, et suhteliselt suurte R väärtuste korral on jõud võrdeline $1/R2$ -ga. Väikeste R väärtuste korral see seos siiski ei kehti.

Andmete parandused

Lühikeste vahemaade korral pöördruutseosest kõrvalekaldumise põhjus on see, et laetud kerad ei ole punktlaengud. Isoleeritud juhtiv laetud kera käitub muude elektrostaatiliste mõjude puudumisel punktlaenguna. Laeng jaotub kera pinnal ühtlaselt, mistõttu laengujaotuse keskpunkt asub kera keskpunktis.

Kui kahe laetud kera vahekaugus ei ole kerade suurusega võrreldes suur, jaotuvad laengud keradel ümber nii, et elektrostaatiline energia oleks minimaalne. Seetõttu on keradevaheline jõud väiksem kui siis, kui laetud kerad oleksid tegelikud punktlaengud.

Selle kõrvalekalde korrigeerimiseks saab kasutada parandustegurit B . Korrutage iga θ väärtus lihtsalt teguriga $1/B$, kus

$$B = 1 - 4 \frac{a^3}{R^3};$$

kus a on kerade raadius ja R kerade vahekaugus.

Andmete korrigeerimiseks:

- ① Arvutage parandustegur B iga kasutatud vahekauguse R jaoks. Märkige tulemused tabelisse 1.
- ② Korrutage iga mõõdetud θ väärtus teguriga $1/B$ ja märkige tulemused kui $\theta_{\text{corrected}}$.
- ③ Koostage jõu ja vahekauguse seose graafikud uuesti, kuid kasutage seekord $\theta_{\text{corrected}}$ väärtust θ asemel. Joonistage uus graafik samale teljestikule kui algne. Kuidas parandustegur mõjutab teie tulemusi?

(Osa B) jõud sõltuvalt laengust

Hoidke kerade vahekaugus (R) konstantsena (valige väärtus vahemikus 7 kuni 10 cm), laadige kerad erinevate laenguteni ja mõõtke tekkivat jõudu. Hoidke ühe kera laeng konstantsena ja muutke teise kera laengut. Seejärel joonistage nurga sõltuvus laengust, et määrata nende vaheline seos.

Laengut saab muuta kahel viisil:

Meetod I:

Kui toiteallika pinget saab reguleerida, laadige kerad lihtsalt erinevate potentsiaalideni, näiteks 7, 6, 5, 4 ja 3 kV. (Kerade laadimise ajal peavad need alati olema maksimaalsel kaugusel.) Kera laeng on võrdeline laadimispotentsiaaliga.

Meetod II:

Kui toiteallika pinget ei saa reguleerida, saab laengut muuta, puudutades üht või mõlemat kera identse laenguta keraga.

Laeng jaguneb laetud ja laenguta kera vahel võrdselt. Seega puudutage laetud kera üks kord, et vähendada laeng poole võrra, kaks korda, et vähendada laeng $1/4$ -ni jne.

(Osa C) Coulombi konstant

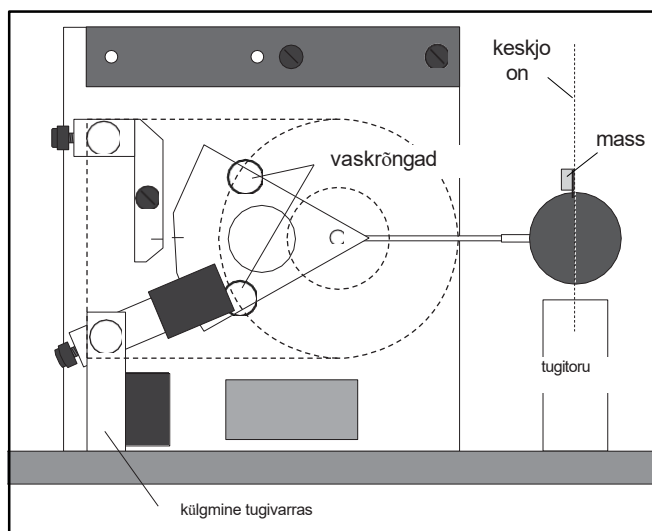
Katse osades A ja B määrasite (kui kõik läks hästi), et kahe punktlaengu vaheline elektrostaatiline jõud on pöördvõrdeline laengutevahelise kauguse ruuduga ja võrdelises sõltuvuses kummagi kera laengust. Seda seost väljendab matemaatiliselt Coulombi seadus:

$$F = k \frac{q^1 q^2}{R^2};$$

kus F on elektrostaatiline jõud, q_1 ja q_2 on laengud ning R on laengutevaheline kaugus. Võrrandi lõpuleviimiseks peate määrama Coulombi konstandi k väärtuse. Selleks tuleb mõõta veel kolm suurust: torsioontraadi torsioonikonstant (K_{tor}), et teisendada torsiooninurgad jõu väärtusteks, ning laengud q_1 ja q_2 . Kui F , q_1 , q_2 ja R on teada, saate need väärtused sisestada Coulombi võrrandisse, et määrata k .

Torsioonikonstandi K mõõtmine

- ① Pöörake torsioonkaal ettevaatlikult küljele ja toetage seda külgmise tugivardaga, nagu on näidatud joonisel 7. Asetage tugitoru kera alla, nagu näidatud.
- ② Nullige torsioonkaal, pöörates torsioonketast, kuni indeksijooned on joondatud. Märkige kraadiplaadi nurk tabelisse 2.
- ③ Asetage 20 mg mass ettevaatlikult juhtiva kera keskjoonele.
- ④ Pöörake kraadinuppu nii palju kui vaja, et indeksijooned uuesti joondada. Lugege torsioon-
nurk kraadiskaalalt. Märkige nurk tabelisse 2.
- ⑤ Korrake samme 3 ja 4, kasutades kahte 20 mg massi ja 50 mg massi, et rakendada tabelis näidatud massid. Märkige iga kord üles mass ja torsiooninurk.
- ⑥ Täitke tabel järjekorras, et määrata traadi torsioonikonstant:
 - a. Arvutage iga kasutatud massikomplekti raskusjõud.
 - b. Jagage raskusjõud torsiooninurgaga, et määrata torsioonikonstant iga koormuse korral.
 - c. Leidke mõõdetud torsioonikonstantide keskmine, et määrata traadi torsioonikonstant. Kasutage mõõdetud väärtuste hajuvust mõõtmistäpsuse hinnanguna.



Joonis 7. Torsioonkaalu kalibreerimine

I* **MÄRKUS:** Traadi torsioonikonstant väljendab tavaliselt pöördemomenti, mis on vajalik traadi keeramiseks ühikulise nurga võrra, ning seda väljendatakse tavaliselt njuutonmeetrites kraadi kohta. Torsioonkaalu kasutamisel on jõuõlg aga alati sama (kaugus juhtiva kera keskpunktist torsioontraadini), mistõttu on kaalu torsioonikonstanti mugavam väljendada njuutonites kraadi kohta.

Laengute mõõtmine: q_1 ja q_2

Meetod I:

Isoleeritud juhtiva kera mahtuvus on antud võrrandiga:

$$C = 4\pi \epsilon_0 a;$$

kus C on mahtuvus, $\epsilon = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ ja a on kera raadius.

Kondensaatori korral seob laengut (q) ja laadimispotentsiaali (V) võrrand $q = CV$. Selle võrrandi abil saate määrata kerade laengu rakendatud laadimispotentsiaali põhjal.

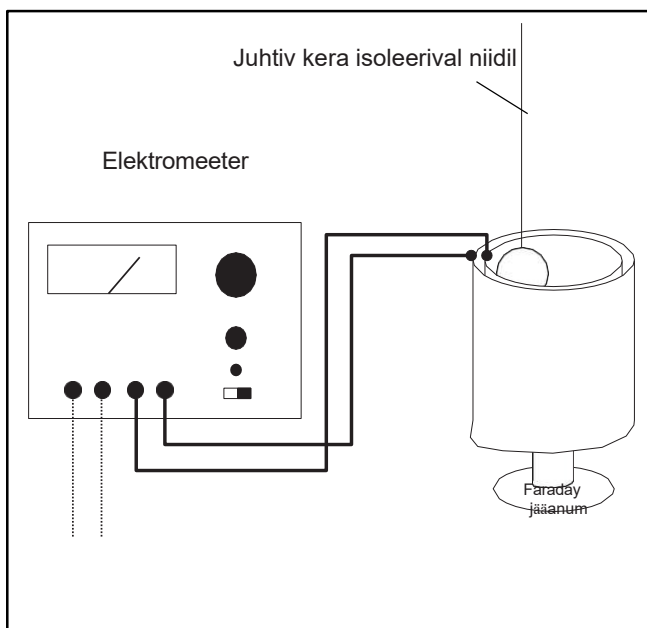
See on kõige lihtsam viis kerade laengu määramiseks. Kahjuks ei ole Coulombi torsioonkaalu juhtivad kerad selles rakenduses isoleeritud, mistõttu mõõdetud q väärtused on ainult ligikaudsed.

I* **MÄRKUS:** Kondensaator koosneb tavaliselt kahest juhust. Ühe juhi laeng on $+q$ ja teise oma $-q$. V on kahe juhi vaheline potentsiaalide erinevus. Isoleeritud kera korral, mille laeng on $+q$, on teine juht hüpoteetiline maapotentsiaalil tasand laenguga $-q$, mis asub kerast lõpmata kaugel.

Meetod II:

Kerade laengut saab täpsemalt mõõta elektromeetri ja Faraday jääanumaga. Mõõteseadistus on näidatud joonisel 8. Elektromeetrit ja jääanumat võib käsitada lõpmatu sisendtakistusega voltmeetrina, mis on ühendatud kondensaatoriga paralleelselt. Laenguga q kera puudutatakse jääanuma vastu. Kuna jääanuma ja elektromeetri mahtuvus on palju suurem kui kera mahtuvus, kandub peaaegu kogu laeng q jääanumale. Elektromeetri pingenäidu ja süsteemi kantud laengu seost annab võrrand $q = CV$, kus C on elektromeetri, jääanuma ja ühendusjuhtmete kogumahtuvus. Seetõttu tuleb laengu määramiseks teada süsteemi mahtuvust.

Lihtsaim viis elektromeetri ja jääanuma mahtuvuse mõõtmiseks on kasutada head mahtuvusmõõturit, mis ühendatakse jääanuma sise- ja välisjuhi vahele (elektromeeter



Joonis 8. Laengu mõõtmine elektromeetri ja Faraday jääanumaga

peab mõõtmise ajal olema jääanumaga ühendatud). Teine meetod on laadida täppiskondensaator mahtuvusega C_{test} (250 pF) teadaoleva pingeni V_{test} (10 - 30 V). Kondensaatori laeng on siis $q_{\text{test}} = C_{\text{test}}V_{\text{test}}$. Asetage laetud kondensaatori juhtmed jääanuma sise- ja välisjuhi vahele. Laeng q_{test} jaotub nüüd kahe paralleelse

kondensaatori vahel: täppiskondensaator ning jääanuma ja elektromeetri süsteemi mahtuvus.
Seega: $C_{\text{test}}V_{\text{test}} = (C + C_{\text{test}})V$; kus C on elektromeetri ja Faraday jääanuma mahtuvus ning V elektromeetri pingenäit.

Seega $C = C_{\text{test}} (V_{\text{test}} - V)/V$. Kui mahtuvus C on mõõdetud, mõõtke laetud kera laeng järgmiselt:

- ① Tühjendage isoleerival niidil olev juhtiv kera, puudutades seda maandatud sondiga.
- ② Hoides kera isoleerivast niidist, puudutage sellega laetud kera ja seejärel jääanuma sisejuhti.
- ③ Algse laetud kera laengu q saab nüüd määrata võrrandiga:

$$q = 2CV;$$

kus C on elektromeetri ja jääanuma mahtuvus ning V on elektromeetri näit. (Tegur kaks tuleneb sellest, et proovikera kasutamisel algse kera laengu proovivõtuks kanti üle ainult pool algsest laengust.)

Coulombi konstandi arvutused

Coulombi konstandi saab nüüd määrata, kasutades mis tahes andmepaari jõu ja kauguse andmetest.

- ① Teisendage torsiooninurga mõõteväärtus $(\theta_{\text{corrected}})$ jõuks, kasutades mõõdetud torsioonraadi torsioonikonstanti: $F = K_{\text{tor}} \theta_{\text{corrected}}$.
- ② Määrake kerale antud laeng ülal kirjeldatud meetodi I või II abil. Kui kasutate meetodit II, tuleb kera uuesti laadida andmete kogumisel varem kasutatud pingele, et saaksite elektromeetri ja Faraday jääanuma abil laengu määrata.
- ② Sisestage kogutud andmed Coulombi võrrandisse $F = k q_1 q_2 / R^2$, et määrata k väärtus. Tehke seda mitme andmekomplektiga. Leidke tulemuste keskmine, et määrata k väärtus.

θ	R	θ_{avg}	B $1 - 4a^3/R^3$	$\theta_{\text{corrected}}$	$1/R^2$

m	θ	mg	mg/ θ
0 mg			
20 mg			
40 mg			
50 mg			
70 mg			

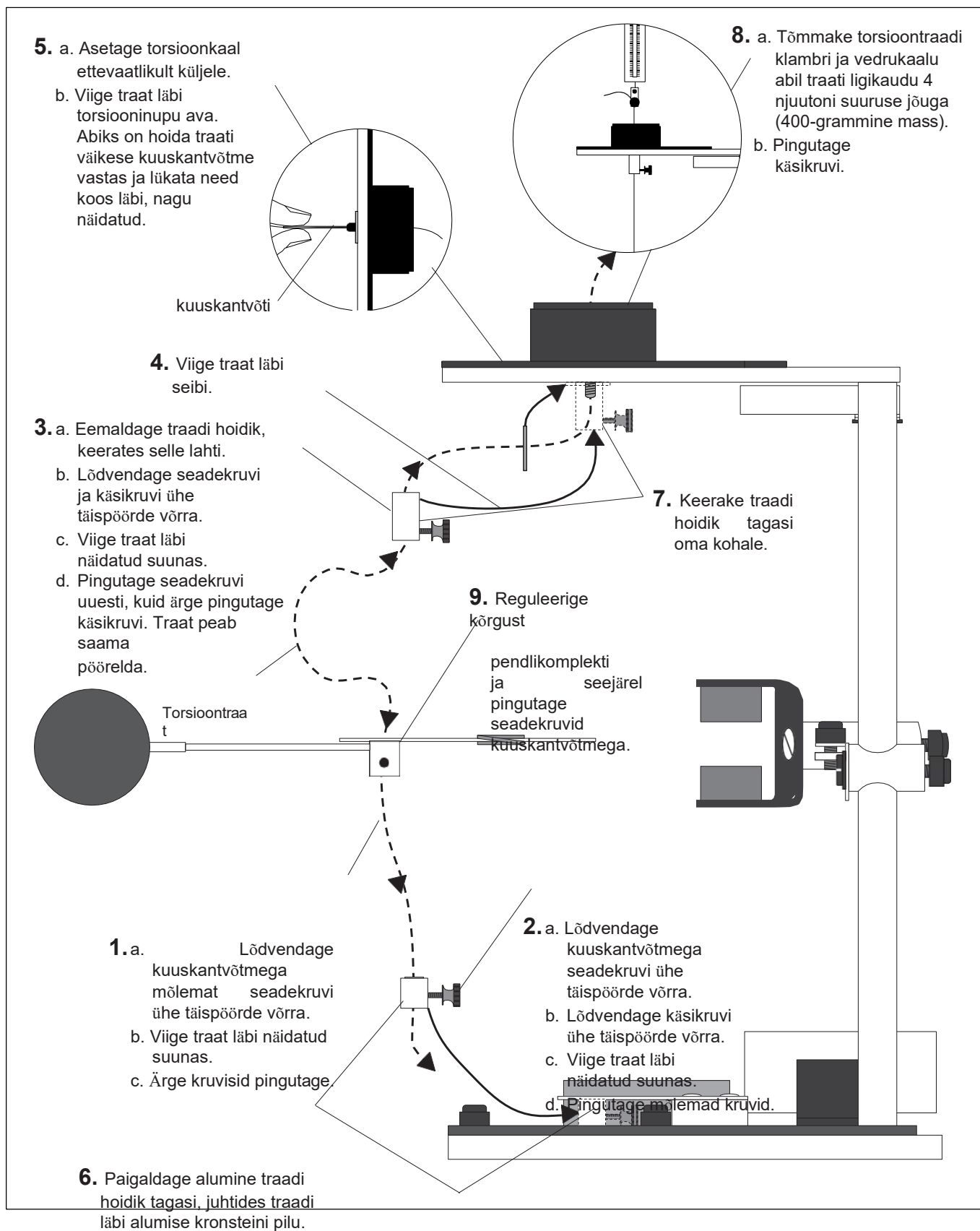
C (elektromeetrisüsteemi mahtuvus) =	
V (elektrometri pinge) =	
q (kera laeng) = 2CV =	

Torsioontraadi vahetamine

Torsioontraadi vahetamiseks järgige joonisel 9 nummerdatud samme. Kui olete lõpetanud, järgige selle juhendi *jaotise* „Seadistamine” juhiseid pendli tasakaalustamiseks ja torsioonkaalu nullimiseks.

I* TÄHTIS — traadi vahetamisel:

- ① Alustage vähemalt 50 cm pikkuse traadijupiga (kui olete seda varem teinud, ei pruugi nii pikka juppi vaja olla).
- ② Ärge traati murdke ega tehke sellesse järsku painet.
- ③ Traadi läbiajamisel võib selle ots painduda või murduda. Abi on sellest, kui lõikate otsa ära, et see jääks sirgeks.
- ④ Pingutage torsioontraati hoidvaid kruvisid ettevaatlikult. Liigne pingutamine katkestab traadi.
- ⑤ Torsioontraadi pinge ei ole kriitiline suurus, kui traat on mõistlikult pingul. Vedrukaalu eelis on see, et see aitab pinget seadistada ilma liiga tugevalt tõmbamata ja traati katkestamata. Kui vedrukaalu ei ole, saate pinget reguleerida tunnetuse järgi. Olge lihtsalt ettevaatlik, et traat ei katkeks.

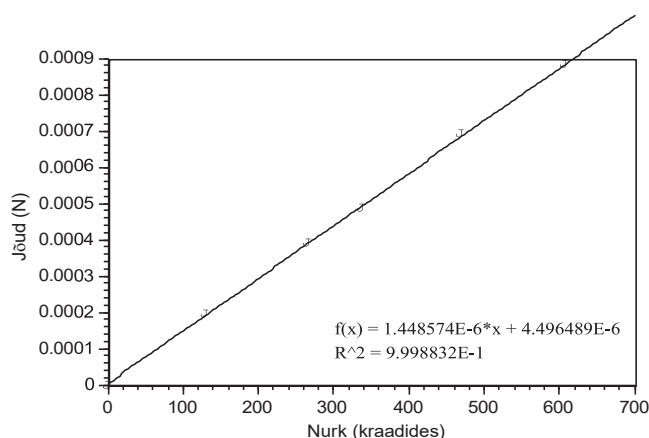


Joonis 9. Torsioontraadi vahetamine

Õpetaja juhend

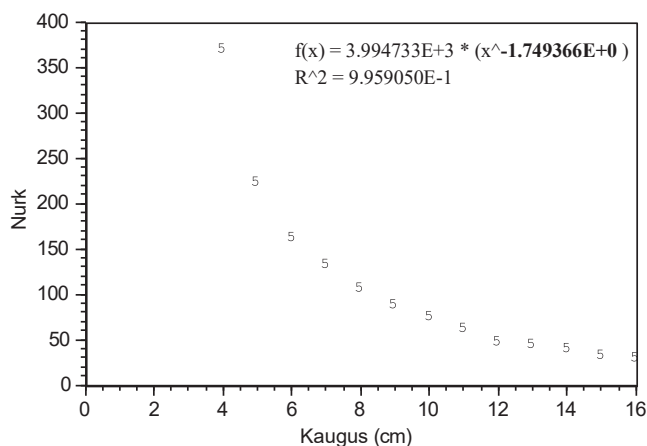
Katsed: osad A–C

Torsioonraadi kalibreerimine



➤ **MÄRKUS:** Selle kõvera tõus sõltub traadi pingest; seetõttu on see igal seadmel veidi erinev.

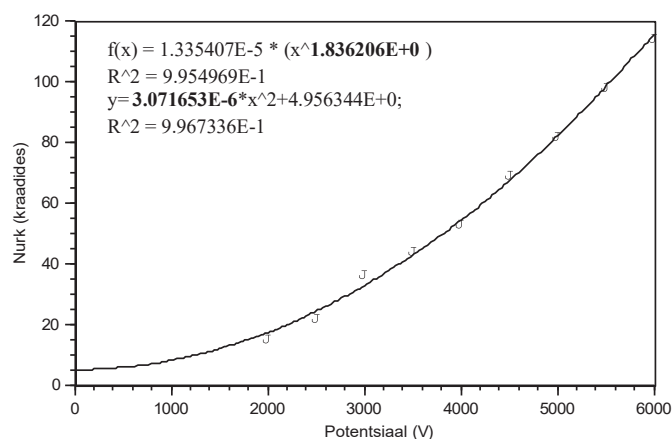
Kaugussõltuvus



Nende andmete astmeregressioon näitab teooria ennustatud pöördruutsõltuvust.

Laengusõltuvus

* **MÄRKUS:** Jõu sõltuvust laengust saab kontrollida kahel viisil. Võite hoida ühe kera laengu konstantsena ja näidata, et jõud sõltub teise kera laengust lineaarselt, või laadida mõlemad kera võrdselt ja näidata, et jõud on võrdeline laengu ruuduga. Viimast meetodit on ühe pingallikaga lihtsam kontrollida ning seda kasutati käesolevas kirjelduses.



Esimene siin esitatud võrrand (astmeregressioon) näitab, et jõud sõltub laengute ruudust, nagu võrrandid ennustavad.

Teine kõvera sobitus (programmeeritud vähimruutude sobitus), teisendatuna SI-ühikutesse, annab k väärtuseks 1.05×10^{10} . See väärtus on 17% suurem aktsepteeritud väärtusest 9×10^9 . Selle vea põhjus ei ole käesoleva teksti kirjutamise ajal teada. Kui teil on vea kohta selgitusi või ettepanekuid selle vähendamiseks, andke meile teada. Helistage PASCO tehnilisele toele numbril (800) 772-8700.

Märkmed

Tehniline tugi

Tagasiside

Kui teil on toote või juhendi kohta kommentaare, andke meile teada. Kui teil on ettepanekuid alternatiivsete katsete kohta või leiate juhendist vea, palun teavitage meid. PASCO hindab klientide tagasisidet. Teie arvamus aitab meil oma toodet hinnata ja täiustada.

PASCO kontaktandmed

Tehnilise toe saamiseks helistage numbril 1-800-772-8700 (USA-s tasuta) või (916) 786-3800.

faks:(916) 786-3292

e-post: techsupp@pasco.com

veeb: www.pasco.com

Tehnilise toega ühenduse võtmine

Enne PASCO tehnilisele toele helistamist on kasulik ette valmistada järgmine teave:

- Kui probleem puudutab PASCO seadet, märkige üles:
 - Nimetus ja mudelinumber (tavaliselt märgitud sildil);
 - Seadme ligikaudne vanus;
 - Probleemi / sündmuste jada üksikasjalik kirjeldus (juhuks kui te ei saa PASCO-le kohe helistada, ei lähe väärtuslik teave kaduma);
 - Võimaluse korral hoidke helistamise ajal seadet käeulatuses, et üksikuid osi oleks lihtsam kirjeldada.
- Kui probleem puudutab kasutusjuhendit, märkige üles:
 - Osa number ja redaktsioon (esikaanele märgitud kuu ja aasta järgi);
 - Hoidke juhend küsimuste arutamiseks käepärast.

