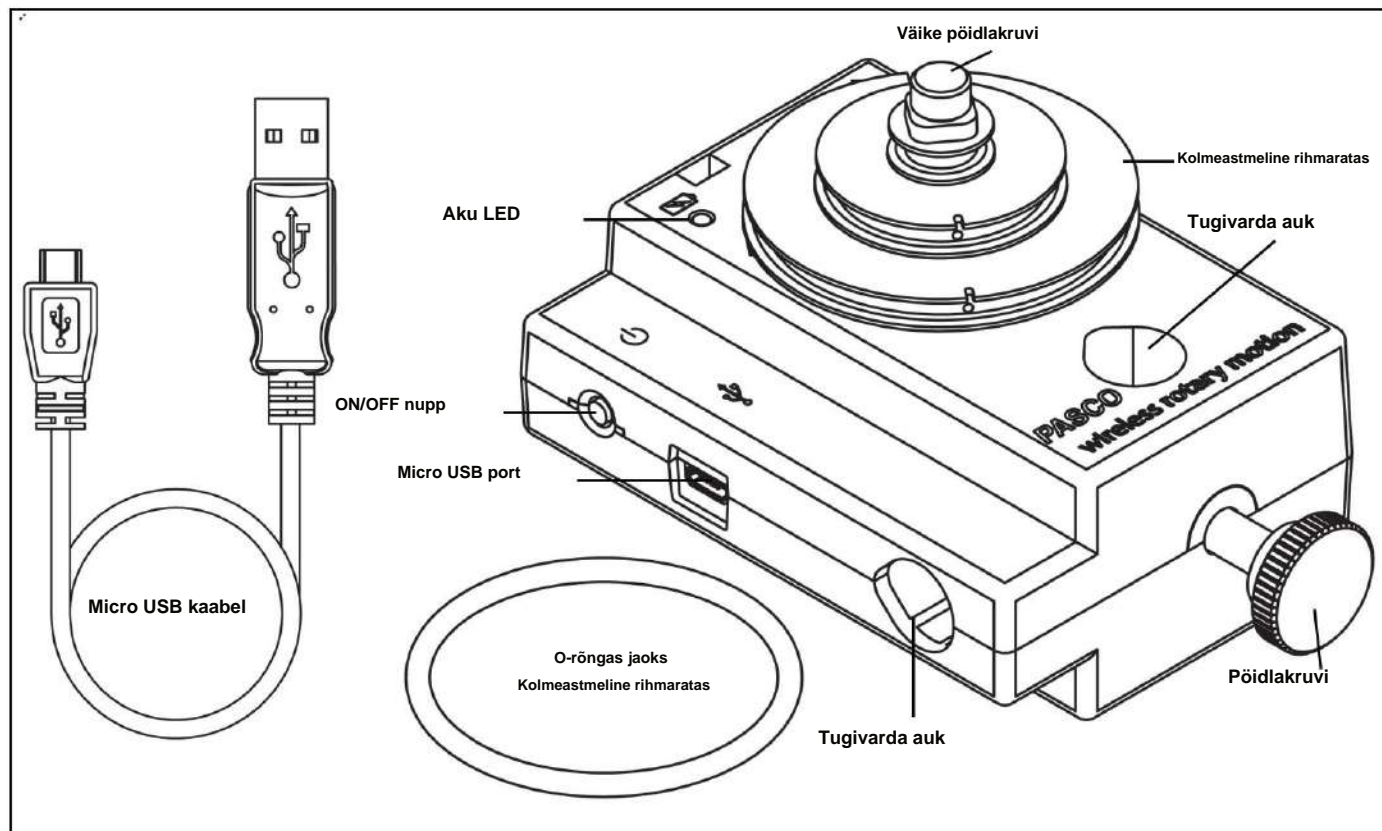


Juhtmevaba pöörleva liikumisandur

PS-3220



Varustus kaasas	Varustus kaasas
Juhtmevaba pöörleva liikumisandur	Kolmeastmeline rihmaratas
O-rõngas	Väike pöidlakruvi
Mikro-USB kaabel (1 meeter)	Pöidlakruvi

Nõutav toode*	Osa number
PASCO andmete kogumise tarkvara: Capstone või SPARKvue vaadake	www.pasco.com

*Lisateavet leiate PASCO kataloogist või PASCO veebisaidilt.

www.pasco.com

Allalaaditavate katsete vaatamiseks minige aadressile www.pasco.com ja sisestage otsinguaknasse PS-3220. Kontrollige jaotist Ressursid.

Kas teil on küsimusi?

Küsi PASCO globaalse teadushariduse partnerilt Eestis DIFI.NET OÜ-lt

ask@ste.education

+372 5551 5542

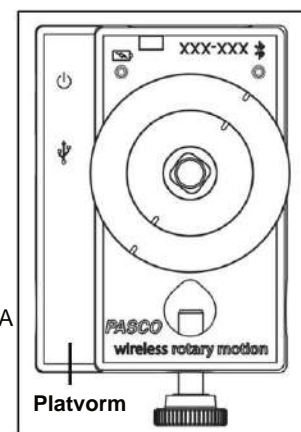
<https://oppelabor.ee>

Anduriga kasutatud seadmed	Anduriga kasutatud seadmed
Pöörleva inertsia tarvikute komplekt (ME-3420) (sisaldab rõnga ja ketta komplekti (ME-3419), pendlit Tarvik (ME-8969) ja klambri superrihmaratas (ME-9444B)	
Füüsilise pendli komplekt (ME-9633)	Loo stringi adapter (ME-6569)
Pöörlev platvorm (ME-8951)	Tsentripetaalne jõupendel (ME-9821)
Güroskoopi kinnitusklamber (ME-8963)	Polarisatsioonianalüsaator (OS-8533A)
Dynamics rööbastee kinnitustarvik (CI-6692)	Kolme teljega güroskoop (ME-8960)
Kolmeastmelise rihmaratta tarvik (CI-6693)	

Sissejuhatus

PASCO juhtmevaba pöörlev liikumisandur on mitmekülgne asendi ja liikumise mõõtmise seade. See mõõdab nurki eraldusvõimega $0,18^\circ$ ja tuvastab liikumise suuna. Korpuse välisküljel olevad märgised näitavad, milline on vaikumise positiivne suund. The maksimaalne kiirus on vahemikus 20 kuni 80 pöret sekundis.

Anduriga on kaasas eemaldatav kolmeastmeline rihmaratas (10 mm (mm), 29 mm ja 48 mm läbimõõduga) ja kummist O-rõngas, mis sobib suurima läbimõõduga astmesse. The kolmeastmelise rihmaratta saab asetada võlli suure läbimõõduga alla või suure läbimõõduga üles. A rihmaratta siseküljel olev sakk ühtib võlli välisküljel oleva sälguga. Rihmarattal on suurima ja suuruselt teise astme välisservas sälk ja väike auk nõõri kinnitamiseks. Anduri ühel küljel on platvorm Super Rihmaratta paigaldamiseks Lauaklamber (valikuline).



Anduri kasutamine

Andur on loodud töötama koos PASCO andmete kogumise tarkvaraga, et mõõta asendit, kiirust ja kiirendust. Kasutage seda optika, dünaamika, tsentripetaaljõu või pendli liikumise uurimiseks.

Andmete kogumise tarkvara

PASCO Capstone



- Mac OS X
- Aknad

SPARKvue



- Mac OS X
- Aknad
- iOS
- Android
- Chromebook

Vaadake PASCO veebisaiti aadressil

www.pasco.com/software

abi saamiseks õige PASCO tarkvara valimisel ja uusimate versioonide kontrollimiseks.

Tarkvara abi

Andmete kogumise, kuvamise ja analüüsimise kohta teabe saamiseks vaadake SPARKvue spikrit või PASCO Capstone'i spikrit.

- SPARKvue'is valige nupp HELP () mis tahes ekraanil, sealhulgas avakuval.
- Valige PASCO Capstone'i menüüst **Help** valik **PASCO Capstone'i spikker** või vajutage klahvi **F1**.

Bluetooth[®] Ühilduvus

Lisateavet juhtmeta ühilduvuse kohta leiate PASCO veebisaidilt:

www.pasco.com/compatibility

Platvorm	Bluetooth SMART ühilduvus
iOS	iPad 3 ja uuemad iPhone 4S ja uuemad iPod touch 5 ja uuemad
SPARK LX / LXi	Kõik mudelid
Android	Android 4.4 ja uuemad
Chromebook	Chrome OS (vaja on PS-3500 adapterit*)
Mac OS X	2011. aasta juulis või hiljem tutvustatud mudelid*
Windows	Windows 7 ja uuemad (vajalik PS-3500 adapter*)

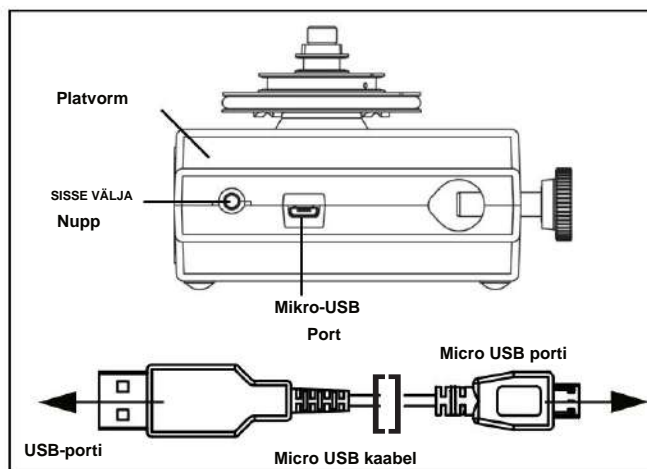
Lisateabe saamiseks PS-3500 adapteri ja Mac OS X mudelite kohta vaadake lisa B.

Esialgne samm: laadige aku

- **Ühendage kaabel:** kasutage mikro-USB-kaablit ühendage anduri küljel olev mikro-USB-port USB- **porti** või USB- **laadijasse** (nt PASCO) PS-2575 USB ühe pordiga laadija. Laadimine algab automaatselt. Anduri sees olev laadimisahel lülitub ise välja, kui seade on täielikult laetud. The aku oleku LED põleb kollaselt, kui aku on laadimisel ja põleb roheliselt, kui aku on laetud laetud. Aku on osaliselt laetud tehas. Esialgne laadimisaeg võib olla kolm tundi või kauem, sõltuvalt toiteallikast ja aku seisukord.

ON/OFF teave

Anduri sisselülitamiseks vajutage nuppu ON. Seisund LED-tuled hakkavad vilkuma. Anduri väljalülitamiseks vajutage ja **hoidke** hetkeks ON nuppu all, kuni oleku LED-tuled lakkavad vilkuv. Andur lülitab end magama pärast ühetunnist tegevusetust, kui see on ühendatud, ja mitme minuti pärast, kui see pole ühendatud ühendatud.



LED teave

Bluetoothi ja aku oleku LED-tuled töötavad järgmiselt.

Juhtmevaba Bluetooth-ühenduse jaoks:

Bluetoothi LED-i olek	
Punane vilkumine	Sidumiseks valmis
Roheline vilkumine	Ühendatud
Kollane vilkumine	Logimine*

Aku LED-olek	
Punane vilkumine	Väike võimsus

Mikro-USB-kaabli ühendamiseks USB- porti:

Bluetoothi LED-i olek	
VÄLJAS	--
VÄLJAS	--
Kollane vilkumine	Logimine*

Aku LED-olek	
Kollane ON	Laadimine
Roheline ON	Laetud

Mikro-USB-kaabli ühendamiseks USB-laadijaga :

Bluetoothi LED-i olek	
Punane vilkumine	Sidumiseks valmis
Roheline vilkumine	Ühendatud
Kollane vilkumine	Logimine*

Aku LED-olek	
Kollane ON	Laadimine
Roheline ON	Laetud

***Logimine:** PASCO juhtmevabad andurid võivad voogesitada reaajas andmeid ühilduvasse seadmesse või logida andmeid (salvestage need anduri mälu). Seejärel saab andmed hiljem kuvamiseks ja analüüsiks seadmesse üles laadida. Logimine võimalus toetab pikaajalist või kaugandmete kogumist, kui seade pole ühendatud.

Märkus. SPARKvue ja PASCO Capstone uusimad versioonid toetavad logimist. Kontrollige PASCO veebilehte aadressil:

www.pasco.com/software

uusima tarkvaraversiooni jaoks.

Seadistage tarkvara

SPARKvue

Anduri ühendamine tahvelarvuti või arvutiga Bluetoothi kaudu

- SPARKvue jaoks valige Bluetoothi ikoon. **Traadita seadmete** loendis. Andurid on järjestatud läheduse järgi seadmele. Valige õige aadress, mis vastab andurilt leitud seadme ID XXX-XXX numbrile. Valige **Valmis**.

Anduri ühendamine arvutiga mikro-USB-kaabli abil

- Ühendage kaasasoleva mikro-USB-kaabli mikroots anduri küljel olevasse mikro-USB-porti. Ühendage mikro-USB-kaabli teine ots arvuti USB-porti või toitega USB-jaoturisse arvutiga ühendatud.
- Valige SPARKvue avakuval anduri nime all olevast loendist mõõtmine. Graafik mõõtmine versus aeg avaneb.

Andmete kogumine

- Andmete kogumise alustamiseks valige nupp Start.

PASCO Capstone

Anduri ühendamine tahvelarvuti või arvutiga Bluetoothi kaudu

- PASCO Capstone'i jaoks valige tööriistade paletist **Hardware Setup** . Riistvara seadistuses on andurid tellitud seadme läheduse järgi. Valige aadress, mis ühtib seadme ID XXX-XXX numbriga andur.

Valige ekraan peaaknas või **kuvapaletist** . Kasutage kuval kuvatava mõõtmise valimiseks menüüd **<SelectMeasurement>** .

Anduri ühendamine arvutiga mikro-USB-kaabli abil

- Ühendage kaasasoleva mikro-USB-kaabli mikroots anduri otsas olevasse mikro-USB-porti. Ühendage mikro-USB-kaabli teine ots arvuti USB-porti või arvutiga ühendatud toiteallikaga USB-jaoturisse.
- Valige PASCO Capstone'is ekraan peaaknas või **kuvade** paletist. Ekraanil kasutage kuvatava mõõtmise valimiseks menüüsid **<Select Measurement>** .

Andmete kogumine

- Andmete salvestamise alustamiseks valige **Salvesta** .

Anduri tõrkeotsing

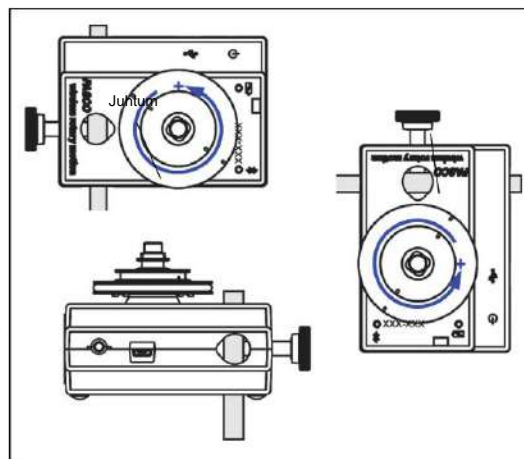
- Kui andur kaotab Bluetooth-ühenduse ega loo uuesti ühendust, proovige vajutada nuppu ON. Vajutage nuppu ja **hoidke** seda lühidalt all, kuni oleku LED-tuled vilguvad järjestikku, seejärel vabastage nupp. Käivitage andur tavapärasel viisil.
 - Kui andur lõpetab arvutitarkvara või tahvelarvuti rakendusega suhtlemise, proovige tarkvara või rakendus taaskäivitada. Kui probleem püsib, vajutage ja **hoidke** ON nuppu 10 sekundit all ja seejärel vabastage. Käivitage andur tavapärasel viisil.
- Lülitage Bluetooth välja ja seejärel uuesti sisse. Uuesti proovima.

Juhtmevaba pöörleva liikumisanduri paigaldamine

Anduri korpusel on kaks tugivarda auku, mis sobivad kuni 12,7 mm läbimõõduga varrastele, näiteks ME-8736 45 cm roostevabast terasest vardale, ja korpuse saab tugivardale panna, kasutades ükskõik kumba tugivarda auku.

Juhtmevaba pöörleva liikumisanduri on võimalik paigaldada horisontaalselt tugivardale nii, et kolmeastmeline rihmaratas on suunatud üles või külgsuunas. Saate anduri paigaldada vertikaalselt, rihmaratas ettepoole.

Kui see on joonisel näidatud viisil rajale paigaldatud, saab pöörlevat liikumisandurit kasutada PASCO käru liikumise mõõtmiseks, kui seda tõmmatakse anduri kolmeastmelise rihmaratta kohale riputatud ja rippuva massi külge kinnitatud nõõri abil.



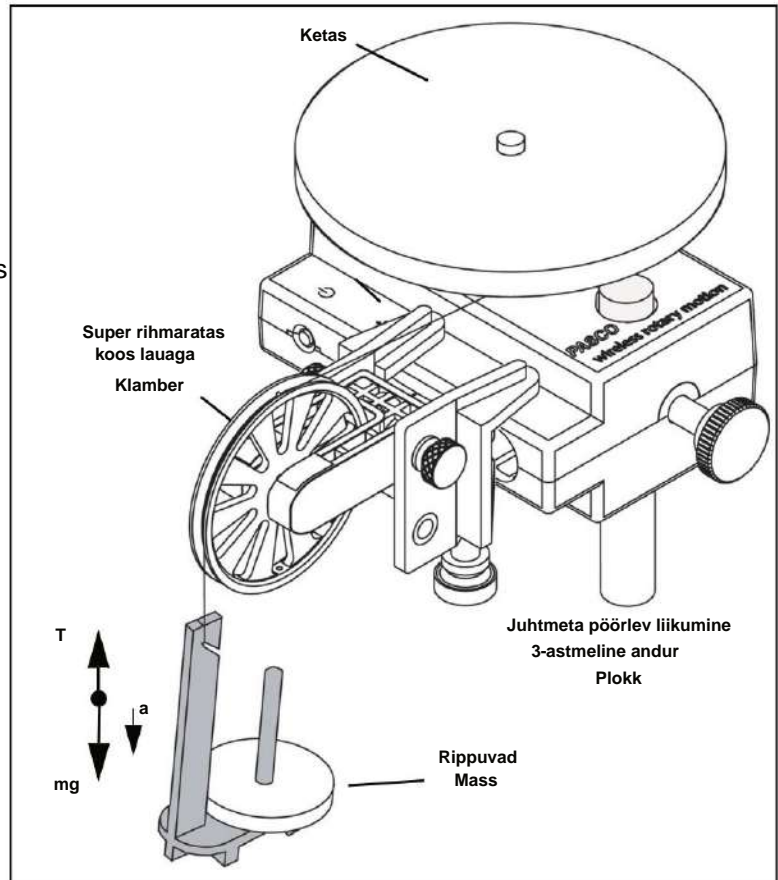
Tarvikute kinnitamine juhtmevaba pöörleva liikumisanduri külge

Ketta kasutamine ketta ja helina komplektist (ME-3419)

Pöörlemise inertsi katseteks paigaldage juhtmevaba pöörleva liikumisandur nii, et ketta on horisontaalselt. Ketta alumisel küljel on ruudukujuline taane, mis sobib 3-astmelise rihmaratta ruudukujulise ülaosaga. Paigaldage klambri superrihmarattas (ME-9448B) anduri küljele platvormile. Teadaoleva pöördemomendi tagamiseks keerake nõör ümber 3-astmelise rihmaratta ühe astme. Aseta nõori ots üle Super Pulley ja kinnita rippuv mass.

Reguleerige platvormil olevat superrihmarattast nii, et nõör puutuks anduri 3-astmelise rihmaratta astmega.

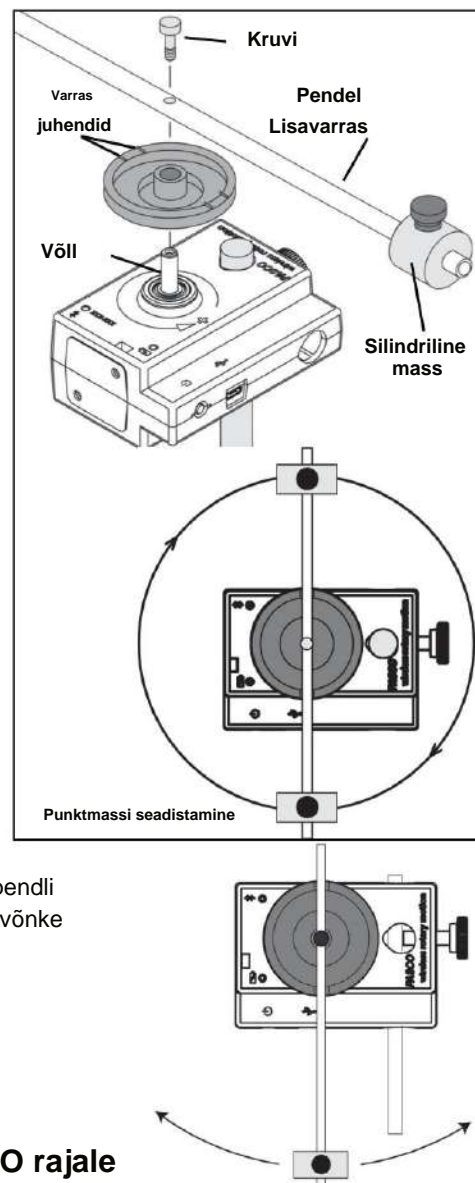
Tehke nurkimpulsi säilitamise katse, kukutades teise ketta esimesele kettale, kui see pöörleb. Teise võimalusena kinnitage üks rõnga joondusseade esimesele kettale ja seejärel kukutage rõngas esimesele kettale. (Vaadake soovitatud katseid.)



Pendli lisaseadme varda (osa ME-8969 pendliarvikust) juhtmevaba pöörseadme külge Liikumisandur

Pendli lisaseadme varda kinnitamiseks juhtmevaba pöörleva liikumisanduri külge suunake 3-astmeline rihmaratas nii, et suure läbimõõduga samm oleks anduri korpusest eemal. Suure läbimõõduga astmel on ülemises servas kaks paari vardajuhikuid üksteise vastas. Joondage varras vardajuhikutega ja kasutage varda keskel asuvat kinnituskruvi, et kinnitada varras ja rihmaratas anduri võllile.

Punktmassi seadistamine Kinnitage varda keskosa 3-astmelise rihmaratta ja võlli külge ning paigaldage silindrilised massid varda otstes, et uurida punktmasside pöörlemisinerstust (inertsimomenti).



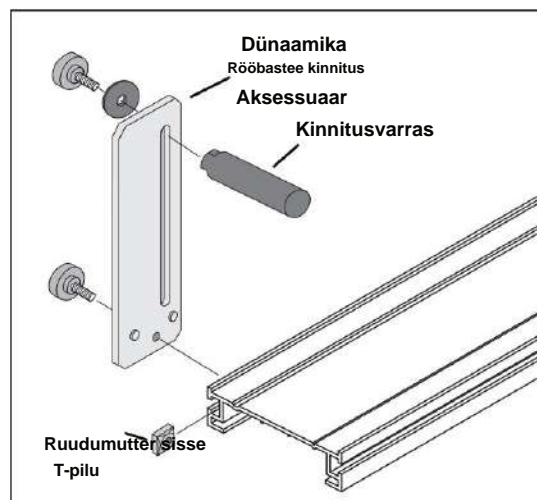
Pendli seadistamine Kinnitage varda ots 3-astmelise rihmaratta ja võlli külge. Varda pendlina kasutamiseks paigaldage vardale silindriline mass. Uurige pendli võnkeperioodi massi koguse või massi asukoha muutmisel. Uurige võnkeperioodi võnke amplituudi muutumisel.

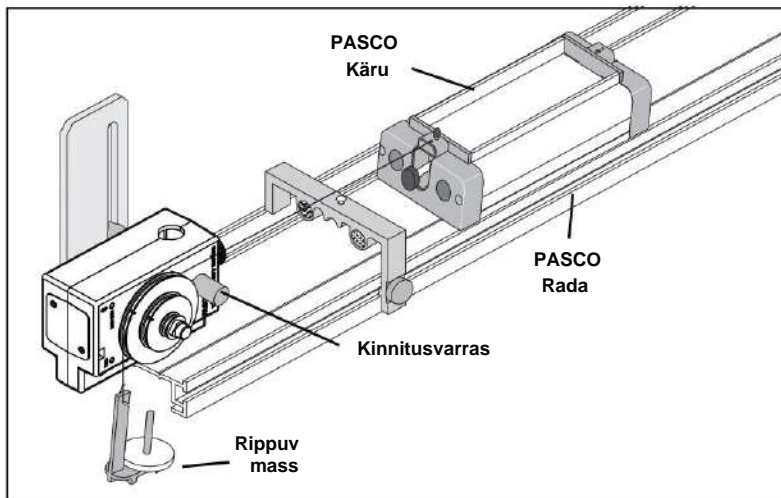
Juhtmevaba pöörleva liikumisanduri paigaldamine PASCO rajale

Anduri saab paigaldada ka lühikesele vardale, mis on Dynamics Track Mount Accessory (CI-6692) osa.

Lükake Dynamics Track Mount Accessory kandiline mutter rööbastee küljel olevasse T-pilusse. Reguleerige kinnitusvarda asendit Dynamics Track Mount Lisatarvikul.

Kui see on joonisel näidatud viisil rajale paigaldatud, saab juhtmevaba pöörlevat liikumisandurit kasutada PASCO käru liikumise mõõtmiseks, kui seda tõmmatakse anduri kolmeastmelise rihmaratta kohale riputatud nõõri abil ja mis on kinnitatud massiriideti külge.



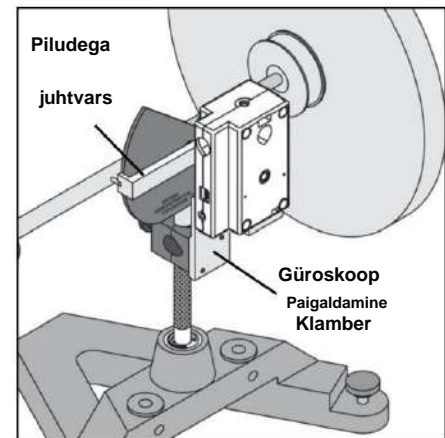


Lisateabe saamiseks vaadake PASCO veebisaiti www.pasco.com.

Juhtmeta pöörleva liikumisanduri paigaldamine güroskoopile

Kasutage güroskoobi kinnitusklambrit (ME-8963, saadaval eraldi), et kinnitada juhtmevaba pöörleva liikumisanduri kolmeteljelisele güroskoopile (ME-8960). Eemaldage güroskoobi koost suure A-aluse vertikaalvõlliit. Paigaldage güroskoobi kinnitusklamber vertikaalsele võllile. Eemaldage traadita pöörleva liikumisanduri kolmeastmeline rihmaratas ja kinnitage andur güroskoobi kinnitusklambri kronsteiniga kaasas olevate pöidlakruvidega. Paigaldage piludega juhthoob juhtmevaba pöörleva liikumisanduri võllile. Asendage vertikaalsel võllil olev güroskoopi koost.

Lisateabe saamiseks vaadake PASCO veebisaiti www.pasco.com.



Eksperimendid

Elektroniises vormingus juhtmevaba pöörleva liikumisanduri katsed on allalaadimiseks saadaval PASCO veebisaidilt.

www.pasco.com

Minge veebisaidile, sisestage otsinguaknasse PS-3220 ja märkige jaotises Ressursid.

Kolm soovitatud katsed on järgmised:

- Punktmassi pöörlemisinerts
- Ketta ja rõnga pöörlemisinerts
- Nurkmomendi säilitamine.

Tehnilised andmed

Üksus:	Väärtus
Kolmeastmeline rihmaratas	10, 29 ja 48 mm läbimõõduga
Anduri mõõtmed	9 cm x 6,5 cm x 4 cm, varre läbimõõt 6,35 mm
Resolutsioon	$\pm 0,09^\circ$ või 0,0078 mm 0,02 mm (lineaarne) ja $0,09^\circ$ (nurk) 2000 punktiga pöörde kohta

Üksus:	Väärtus
Pöörlemisvõime	0,00157 radiaani
Maksimaalne pöörlemiskiirus	30 pööret sekundis
Optiline kodeerija	Kahesuunaline, näitab liikumissuunda, 4000 jagamist / pöörlemine

Tehniline abi

Mis tahes PASCO tootega seotud abi saamiseks võtke ühendust PASCOga aadressil:

Address: Kotzebue 8, Tallinn, Eesti

Võrk: www.oppelabor.ee

Tel: +372 5551 5542

Meil ask@ste.education

Kasutusjuhendi uusima versiooni leiate PASCO veebisaidilt.

www.pasco.com/manuals

Piiratud garantii Toote garantii kirjeldust leiate PASCO kataloogist. **Autoriõigus** PASCO teaduslik *kasutusjuhend* on autoriõigusega kaitstud, kõik õigused kaitstud. Mittetulundusühingutele antakse luba selle juhendi mis tahes osa reprodutseerimiseks, eeldusel, et reproduktsioone kasutatakse ainult nende laborites ja klassiruumides ning neid ei müüda kasumi saamiseks. Paljudamine mis tahes muu all asjaoludel, ilma PASCO teadusliku kirjalliku nõusolekuta, on keelatud. Rev: 11/18. **Kaubamärgid** PASCO, PASCO Capstone ja SPARKvue on ettevõtte PASCO science kaubamärgid või registreeritud kaubamärgid Ameerika Ühendriikides ja/või teistes riikides. Rohkem informatsiooni külastada

www.pasco.com/legal.

Toote kasutusea lõppemise juhised:

Sellele elektroonikatootele kehtivad kõrvaldamise ja ringlussevõtu eeskirjad, mis on riigiti ja piirkonniti erinevad. See on sinu selle tagamiseks vastutate oma elektroonikaseadmete taaskasutamise eest vastavalt kohalikele keskkonnaseadustele ja -eeskirjadele see võetakse ringlusse viisil, mis kaitseb inimeste tervist ja keskkonda. Et teada saada, kuhu saab maha panna jäätmete ringlussevõtuks, võtke ühendust kohaliku jäätmekäitlus-/käitlemisteenistusega või kohaga, kus otsite toote.

Euroopa Liidu WEEE (elektroonika- ja elektriseadmete jäätmed) sümbol (paremal) ja tootel või selle pakendil on märgitud, et seda toodet **ei tohi** ära visata a standardne prügikonteiner.



Lisa A: Ühilduvus

Kontrollige PASCO veebilehte aadressil

www.pasco.com/compatibility

uusima teabe saamiseks Bluetooth SMARTi ühilduvuse kohta.

Platvorm	Bluetooth SMART ühilduvus
iOS	iPad 3 ja uuemad iPhone 4S ja uuemad iPod touch 5 ja uuemad
SÅDE Element	Kõik mudelid
Android	Android 4.3 ja uuemad
Chromebook	Chrome OS (vaja on PS-3500 adapterit*)
Mac OS X1	2011. aasta juulis või hiljem tutvustatud mudelid
Windows 7 ja 8 nõuavad	PS-3500 adapterit*
Windows 10	Bluetooth SMART ühilduv

* PS-3500 USB Bluetooth 4.0 adapter võimaldab USB-porti ühendatuna ühendada kuni kolme Bluetoothi SMART-seadme, näiteks selle PASCO juhtmeta seadmega, Windowsi arvutite, Chromebookide ja vanemate Macintoshi arvutitega.

Märkus: PS-3500 USB Bluetooth 4,0 adapter on ainus adapter, mida saame praegu soovitada. Saadaval on palju teisi Bluetooth 4.0 adaptereid, kuid sellel adapteril on spetsiifiline disain, mis võimaldab Bluetooth SMART andurite rakendusesisest sidumist.

1Maci arvuti Bluetoothi ühilduvuse kontrollimiseks tehke järgmist.

- Klõpsake (Apple) menüüd.
- Valige Teave *selle Maci kohta*
- Klõpsake nuppu *Rohkem teavet...*
- Klõpsake nuppu *System Report...*
- Valige vasakpoolsel külgribal, jaotise Riistvara all, *Bluetooth* .
- Sirvige teabe loendit allapoole, kuni leiate „LMP versioon“.
- Kui teie Mac on varustatud Bluetooth SMART-iga, näitab LMP versioon **0x6**. (Kõik, mis on madalam kui **0x6**, tähendab Bluetoothi vanemat versiooni. Teie seade vajab PS-3500 USB Bluetooth 4.0 adapterit.)

1Mac Mini ja MacBook Air uuendati Bluetooth SMART toega 2011. aastal. MacBook Pro värskendati 2012. aastal. 2013. aasta detsembris debüteerinud Mac Pro on Bluetooth SMART tugi.

Erand: enne versioonile El Capitan (Mac OS X 10.11.x) üleminekut, kui teil on LMP versiooniga 0x4 Macintosh, mis nõuab PS-3500 USB Bluetooth 4.0 adapterit, võtke edasiste juhiste saamiseks ühendust PASCO tehnilise toega.



Katse 1: Punktmassi pöörlemisinerts

Vajalik varustus*	Vajalik varustus*
Juhtmeta pöörlev liikumisandur (PS-3220)	Alus ja tugivarras (ME-9355)
PASCO andmete kogumise tarkvara	Massi ja riidepuu komplekt (ME-8979)1
Pöörleva inertsit tarvikute komplekt (ME-3420)	Triple Beam Balance (SE-8723)
Kalibrid (SF-8711)	Kirjaklambrid (massidele <1g)

*Lisateavet leiate PASCO veebisaidilt www.pasco.com

Eesmärk

Selle katse eesmärk on leida katseliselt punktmassi pöörlemisinerts ja seda kontrollida väärtus vastab arvutatud teoreetilisele väärtusele.

teooria

Teoreetiliselt on punktmassi pöörlemisinerts I antud valemiga $I = MR^2$, kus M on mass ja R on kaugus mass pöörlemisteljest. Kuna selles katses kasutatakse kahte massi, mis asuvad keskpunktist võrdse kaugusel pöörlemine, on kogu pöörlemise inerts

$$I_{\text{kokku}} = M_{\text{total}} R^2$$

kus $M_{\text{total}} = M_1 + M_2$, mõlema punktmassi kogumass.

Pöörlemisinertsit eksperimentaalseks leidmiseks rakendatakse objektile teadaolevat pöördemomenti ja saadud nurk mõõdetakse kiirendust. Alates $\tau = I \alpha$,

$$m a =$$

kus on nurkkiirendus, mis on võrdne a/r -ga (a = lineaarne kiirendus), ja pöördemoment, mille 3-astmelise rihmaratta ümber mähitud niidi küljes ripuvad raskus.

$$\tau = r T$$

kus r on valitud rihmaratta raadius, mille ümber niit on keritud, ja T on keermepinge, kui seade pöörleb.

Newtoni teise seaduse rakendamine rippuvale massile m annab

$$F = m g - T = m a$$

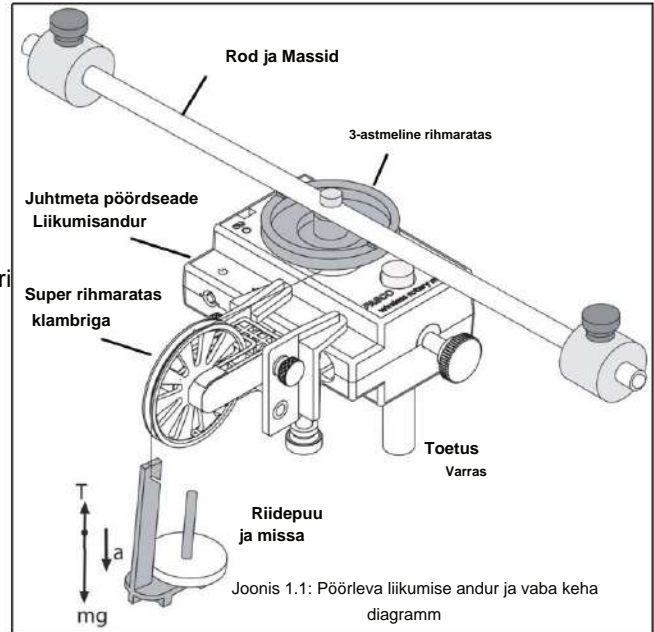
(vt joonis 1.1). Keermepinge lahendamine annab:

$$T = m g - m a$$

Pärast massi nurkkiirenduse (α) mõõtmist on võimalik saada pöördemoment ja lineaarkiirendus pöörlemisinertsit arvutamiseks.

Seadmete seadistamine

1. Kinnitage mass varda mõlemale otsale (osa Rota-Inertia IAccessory Kit'ist), mis on varda keskpunktist võrdsele kaugusel. Saate valida mis tahes soovitud raadiuse.
2. Siduge niidi üks ots riidepuu külge ja siduge teine ots juhtmevaba pöörleva liikumisanduri (WRMS) 3-astmelise rihmaratta ühele tasemele.
3. Kinnitage varras ja massid juhtmevaba pöörleva liikumisanduri rihmarattale. Pange tähele 3-astmelise rihmaratta orientatsiooni.
4. Paigaldage WRMS tugivardale. Veenduge, et tugivarras ei segaks varda ja masside pöörlemist. Vaata joonist 1.1.
5. Paigaldage superrihmaratas klambriga (osa ME-3420) juhtmevaba pöörleva liikumisanduri platvormil.
6. Tõmmake niit üle superrihmaratta nii, et niit oleks rihmaratta ja massirihmade soones.



7. Tõmmake niit üle superrihmaratta nii, et niit oleks rihmaratta ja massirihmade soones.

Märkus. Klambriga superrihmarattast tuleb reguleerida nurga all nii, et niit jookseks puutujaga punktis, kus see väljub 3-astmelisest rihmarattast, ja otse klambriga Super rihmaratta soone keskest alla.

7. Reguleerige Super Rihmaratta kõrgust nii, et niit oleks 3-astmelise rihmarattaga samal tasemel.

Menetlus**Osa 1: Teoreetilise pöörlemisinerntsi mõõtmised**

1. Kaaluge kaks massi peenikese varda otstest, et leida kogumass M_{total} , ja salvestage väärtus välja Andmed. Tabel 1.
2. Mõõtke kaugus pöörlemisteljelt masside keskpunktini ja registreerige see raadius andmetabelisse 1.

Andmete tabel 1: teoreetiline pöörlemisinernt

Kogu mass	
Raadius	

2. osa: Katsemeetodi mõõtmine**A. Punktmasside ja aparatuuri kiirenduse leidmine**

1. Looge andmete kogumise tarkvaras katse nurkkiiruse mõõtmiseks (radiaanides sekundis) punktmasside ja aparatuuri aja (sekundites) suhtes.
 - Näiteks rakenduses PASCO Capstone lohistage graafiku ikoon kuvade paletist tööviikusse. Valige vertikaaltelje jaoks "Angular Velocity (rad/s)" ja horisontaaltelje jaoks "Time (s)".
 - Paneeli „Hardware Setup” avamiseks klõpsake tööriistade paletis ikooni Hardware Setup. Klõpsake paneelil atribuutide nuppu (see näeb paremas alanurgas välja nagu hammasratas).

- Lineaarse tarviku atribuutide aknas valige kasutatava 3-astmelise rihmaratta suurus. Vaikesäte on "Suur rihmaratas (soon)". Klõpsake nuppu OK.
- 2. Pange 50-grammine mass massirihmarile ja keerake 3-astmelist rihmaratast, et niit üles kerida, nii et riidepuu oleks täpselt Super Rihmaratta all. Hoidke 3-astmelist rihmaratast.
- 3. Klõpsake andmete salvestamise alustamiseks nuppu Salvesta ja vabastage 3-astmeline rihmaratas, lastes riidepuul alla kukkuda.
- 4. Ettevaatust! Andmete salvestamise lõpetamiseks klõpsake nuppu Stop ENNE, kui riidepuu jõuab põrandani või niit 3-astmelise rihmaratta küljest täielikult lahti kerib.
- 5. Valige graafiku kuval andmepiirkond, mis tähistab punkti masside ja seadmete määramise aega. kiirendades.
- 6. Valige ekraanil kõvera sobitamise menüüst "Linear".

Lineaarse sobivuse kalle m tähistab punkti massi ja seadme nurkkiirendust (a)

- 7. Märkige kalde väärtus m nurkkiirendusena andmetabelisse 2.
- 8. Mõõtke nihikute abil rihmaratta läbimõõt, mille ümber niit on mähitud, ja arvutage raadius. Märkige raadius andmetabelisse 2.

Eelmises protseduuris seade pöörleb ja aitab kaasa kogu pöörlemisinertsile. Järgmine samm on leida seadme pöörlemisinerts ise, et seda pöörlemisinertsust saaks lahutada kogusummast.

B. Seadme kiirenduse leidmine üksinda

1. Võtke punktmassid varda otstest maha.

2. Seadme nurkkiirenduse leidmiseks korrake A osa protseduuri.

- Võimalik, et peate vähendama rippuva massi kogust, et seade ei kiirendaks liiga kiiresti. sujuv andmete kogumine.

- Pidage meeles, et kalde väärtus on nurkkiirendus.

3. Salvestage andmed andmetabelisse 2.

Andmete tabel 2: Eksperimentaalsed pöörlemisinerksi andmed

	Punktised ja Aparaat	Aparaat üksi
Rippmissa		
Kalle, m		
Raadius		

Arvutused

1. Arvutage punktmasside ja aparatuuri pöörlemise inerts eksperimentaalne väärtus koos ja registreerige arvutus andmetabelisse 3.

2. Arvutage ainuüksi aparadi pöörlemisinerksi eksperimentaalne väärtus ja registreerige arvutus Andmete tabel 3.

3. Lahutage seadme pöörlemisinerks punktmasside ja aparatuuri koos pöörlemisinerksist. Märkige see andmete tabelisse 3 ainult punktmasside pöörlemisinerksina.

4. Arvutage punktmasside pöörlemisinerks teoreetiline väärtus ja registreerige arvutus Andmetes Tabel 3.

5. Arvutage erinevus protsentuaalselt, et võrrelda eksperimentaalset väärtust teoreetilise väärtusega ja registreerida protsentuaalne erinevus andmetabelis 3.

Andmete tabel 3: tulemused

Komponent	Pöörlemisinerks
Punktmassid ja aparaat kombinatsioon	
Aparaat üksi	
Punktmassid (katseline väärtus)	
Punktmassid (teoreetiline väärtus)	
Protsentuaalne erinevus	

Katse 2: ketta ja rõnga pöörlemisineeritus

Vajalik varustus*

Juhtmeta pöörlev liikumisandur (PS-3220)
 PASCO andmete kogumise tarkvara
 Pöörleva inertsiga tarvikute komplekt (ME-3420)
 Kalibrid (SF-8711)

Vajalik varustus*

Alus ja tugivarras (ME-9355)
 Massi ja riidepuu komplekt (ME-8979)1
 Triple Beam Balance (SE-8723)
 Kirjaklambrid (massidele <1g)

*Lisateavet leiate PASCO veebisaidilt www.pasco.com

Eesmärk

Selle katse eesmärk on katseliselt leida rõnga ja ketta pöörlemisineerits ning kontrollida, kas need väärtused vastavad arvutatud teoreetilistele väärtustele.

teooria

Teoreetiliselt saadakse rõnga pöörlemisineerits I oma massikeskme ümber järgmiselt: 1

$$I_{\text{ma}} = \frac{1}{2} M R_1^2 + R_2^2$$

kus M on rõnga mass, R_1 on rõnga siseraadius ja R_2 on rõnga välimine raadius. Vaata joonist 2.1.

Ketta pöörlemisineerits selle massikeskme ümber arvutatakse järgmiselt:

$$I = \frac{1}{2} M R^2$$

kus M on ketta mass ja R on ketta raadius. Vaata joonist 2.2. Pöörlemise inertsiga katseliselt leidmiseks rakendatakse objektile teadaolevat pöördemomenti ja mõõdetakse sellest tulenevat nurkkiirendust, kuna

$$I \alpha = \tau$$

kus α on nurkkiirendus, mis on võrdne a/r -ga (a = kiirendus), ja pöördemoment, mis on põhjustatud pöörleva liikumisanduri 3-astmelise rihmaratta ümber määratud keerme küljes ripuvast raskusest. Pöördemoment saadakse järgmiselt: $\tau = rT$

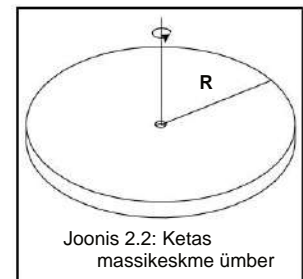
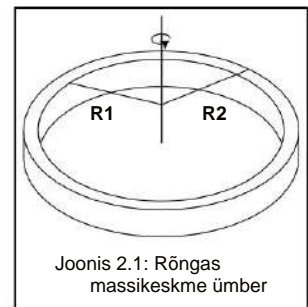
kus r on rihmaratta astme raadius, mille ümber niit on keritud, ja T on keerme pinget, kui seade pöörleb.

Newtoni teise seaduse rakendamine rippuvale massile m annab:

$$F = mg - T = ma$$

Vaata joonist 2.3. Keerme pinget lahendamiseks annab: $T = mg - ma$

Kui nurkkiirendus on mõõdetud, saab pöördemomendi arvutamiseks saada raadiuse ja lineaarkiirenduse a .



Menetlus

Teoreetilise pöörlemisinerti mõõtmised

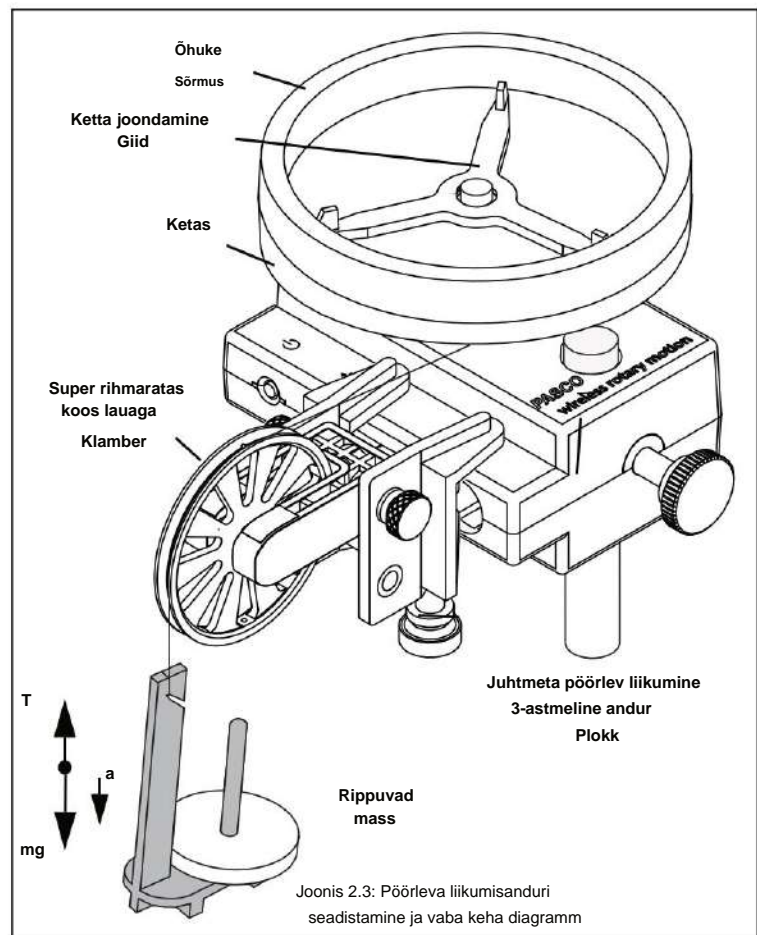
1. Kaaluge rõngast ja kettast, et leida nende massid, ja registreerige need massid andmetabelisse 1.
2. Mõõtke rõnga sise- ja välisläbimõõt ning arvutage raadiused R_1 ja R_2 . Salvestage andmetabelisse 1.
3. Mõõtke ketta läbimõõt ja arvutage raadius R ning kandke andmetabelisse 1.

Andmete tabel 1: teoreetiline pöörlemisinerts.

Sõrmuse mass	
Ketta mass	
Rõnga sisemine raadius	
Rõnga välimine raadius	
Ketta raadius	

Seadistamine

1. Paigaldage juhtmevaba pöörleva liikumisandur (WRMS) tugivardale.
2. Paigaldage superrihmaratas koos klambriga WRMS-i küljele, nagu on näidatud joonisel 2.3.
3. Siduge niidi üks ots riidepuu külge ja keerme teine ots RMS-i 3-astmelise rihmaratta ühele tasemele.
4. Tõmmake niit üle Super Rihmaratta nii, et niit oleks Super Rihmaratta soones ja Mass Hanger ripub vabalt.
5. Reguleerige superrihmaratas klambriga asendisse an nurk nii, et niit jookseks puutujaga punktiga, kus see väljub kolmeastmelisest rihmarattast ja on otse Super Rihmaratta soone keskel.
6. Eemaldage 3-astmelise rihmaratta küljest pöidlakruvi. Asetage ketas otse 3-astmelise rihmaratta ruudukujulisele ülaosale, nagu on näidatud joonisel 2.3.
7. Asetage üks ketta joondusjuhikutest kettale. Asetage pöidlakruvi 3-astmelisele rihmarattale nii, et ketta joondusjuhik püsiks kindlalt paigal.
8. Asetage õhuke rõngas ketta ülaosas olevale ketta joondusjuhikule, nagu näidatud joonisel 2.3.



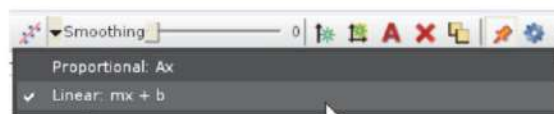
Menetlus

Katsemeetodi mõõtmised

A. Rõnga ja ketta kiirenduse leidmine

1. Looge andmete kogumise tarkvaras katse nurkkiiruse mõõtmiseks (radiaanides sekundis) rõnga ja ketta aja (sekundites) suhtes.
 - Näiteks rakenduses PASCO Capstone lohistage graafiku ikoon kuvade paletist töövihikusse. Valige vertikaaltele jaoks "Angular Velocity (rad/s)" ja horisontaaltele jaoks "Time (s)".
 - Paneeli „Hardware Setup” avamiseks klõpsake tööriistade paletis ikooni Hardware Setup. Klõpsake paneelil atribuutide nuppu (see näeb paremas alanurgas välja nagu hammasratas).
 - Lineaarse tarviku atribuutide aknas valige kasutatava 3-astmelise rihmaratta suurus. Vaikesäte on "Suur rihmaratas (soon)". Klõpsake nuppu OK.
2. Pange 50-grammine mass massirihmarile ja keerake 3-astmelist rihmaratast, et niit üles kerida, nii et riidepuu oleks täpselt Super Rihmaratta all. Hoidke 3-astmelist rihmaratast.
3. Klõpsake andmete salvestamise alustamiseks nuppu Salvesta ja vabastage 3-astmeline rihmaratas, lastes riidepuul alla kukkuda.
4. Ettevaatust! Andmete salvestamise lõpetamiseks klõpsake nuppu Stop ENNE, kui riidepuu jõuab põrandani või niit 3-astmelise rihmaratta küljest täielikult lahti kerib.
5. Valige graafiku kuval andmete piirkond, mis tähistab rõnga ja ketta kiirendamist.
6. Graafiku kuval valige kõvera sobitamise menüüst "Linear".

Lineaarse sobivuse kalle m tähistab punkti massi ja seadme nurkkiirendust (α)



7. Märkige kalde väärtus m nurkkiirendusena andmetabelisse 2.

Andmete tabel 2: Eksperimentaalsed pöörlemisineritsi andmed

	Ring ja ketas Kombineeritud	Üksi ketas
Rippmissa		
Kalle, m		
Raadius		

C. Üksinda ketta kiirenduse leidmine

1. Jaotises „Rõnga ja ketta kiirenduse leidmine” pöörlevad nii ketas kui ka rõngas; Seetõttu on vaja ketta kiirendus ja pöörlemisinerits ise määrata, et seda pöörlemisineritsust saaks lahutada kogusummast, jättes alles ainult rõnga pöörlemisinerits.
2. Eemaldage rõngas seadmelt ja korrake jaotises „Rõnga ja ketta kiirenduse leidmine” toodud samme ainult ketta jaoks. Registreerige tulemused andmetabelisse 3.

Arvutused

3. Arvutage rõnga ja ketta pöörlemisineritsi eksperimentaalne väärtus koos ja salvestage väärtus Andmete tabel 3.

Juhtmeta pöörleva liikumisanduri katse 2: ketta ja

- Arvutage üksi ketta pöörlemisinerti eksperimentaalne väärtus ja kandke väärtus Andmetabelisse 3.
- Lahutage ketta pöörlemisinerts rõnga ja ketta kogu pöörlemisinertsist ja registreerige see ainult rõnga pöörlemisinerts.
- Kasutage katseväärtuste võrdlemiseks teoreetiliste väärtustega protsentide erinevust.

Andmete tabel 3: tulemused

Üksus	Pöörlemisinerts
Ring ja ketas	
Üksi ketas	
Helista üksi	
Protsentuaalne erinevus ketta jaoks	
Sõrmuse protsentuaalne erinevus	

Katse 3: nurkmomendi säilitamine

Vajalik varustus*

Juhtmeta pöörlev liikumisandur (PS-3220)

PASCO andmete kogumise tarkvara

Mini-pöörlemistarvik (CI-6691)

Kalibrid (SF-8711)

Vajalik varustus*

Alus ja tugivarras (ME-9355)

Massi ja riidepuu komplekt (ME-8979)1

Triple Beam Balance (SE-8723)

Kirjaklambrid (massidele <1g)

*Lisateavet leiate PASCO veebisaidilt www.pasco.com

Eesmärk

Pöörlevale kettale kukutatakse mittepöörlev õhuke rõngas ja süsteemi lõplikku nurkkiirust võrreldakse nurkimpulsi jäävuse põhimõttel ennustatud väärtusega.

teooria

Kui rõngas kukutatakse pöörlevale kettale, puudub süsteemil puhas pöördemoment, kuna rõnga pöördemoment on võrdne ja vastupidine ketta pöördemomendile. Seetõttu nurkimpulss ei muutu; nurkimpulss (L) säilib.

$$L = I_i \omega_i = I_f \omega_f$$

kus I on esialgne pöörlemisinerst ja ω on lõplik nurkkiirus koos.

I_i on ketta esialgne nurkkiirus ja I_f on ketta ja rõnga lõplik pöörlemisinerst

Ketta pöörlemisinerst on esitatud järgmiselt:

$$I_i = \frac{1}{2} M R^2$$

ning ketta ja rõnga lõplik pöörlemisinerst koos on:

$$I_f = \frac{1}{2} M R^2 + \frac{1}{2} M_2 (r_1^2 + r_2^2)$$

kus M on ketta mass, M_2 on rõnga mass, R on ketta raadius ning r_1 ja r_2 on rõnga välisraadiused.

r_1 ja r_2 on sisemised

Selle põhjal saadakse lõplik pöörlemiskiirus:

$$\omega_f = \frac{M R^2 \omega_i}{M R^2 + M_2 (r_1^2 + r_2^2)}$$

Seadistamine

1. Kinnitage juhtmevaba pöörleva liikumisandur tugivarda külge. Eemaldage pöidlakruvi 3-astmelise rihmaratta küljest. Asetage ketas otse 3-astmelise rihmaratta ruudukujulisele ülaosale, nagu on näidatud joonisel 3.1.
2. Asetage üks ketta joondusjuhikutest kettale. Asetage pöidlakruvi 3-astmelise rihmaratta külge nii, et ketta joondusjuhik on kindlalt paigal.

3. Loo andmete kogumise tarkvaras an katse mõõta ketta nurkkiirus (radiaanides sekundis) ajas (sekundites) enne ja pärast rõnga laskmist selle peale.

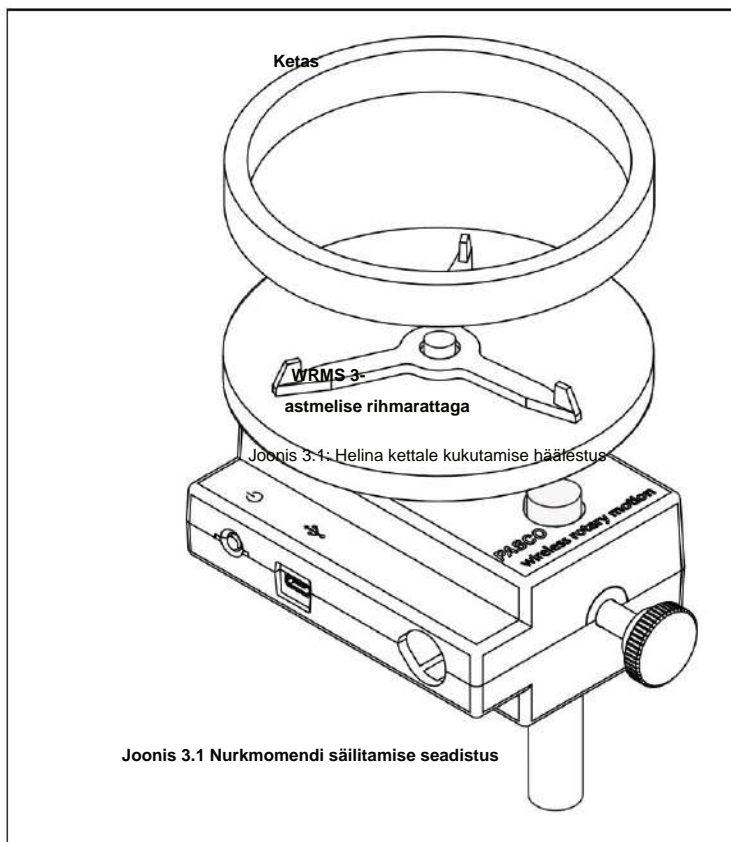
- Näiteks rakenduses PASCO Capstone lohistage graafiku ikoon kuvade paletist tööviikusse. Valige vertikaaltele jaoks "Angular Velocity (rad/s)" ja horisontaaltele jaoks "Time (s)".

Menetlus

- Hoidke õhukest rõngast ketta ülasas oleva ketta joondusjuhiku kohal.
- Keerake kettast käega ja klõpsake andmete salvestamise alustamiseks nuppu Salvesta.
- Pärast umbes 25 andmepunktide kogumist salvestatud, kukutage õhuke rõngas ketruskettale. Vaata joonist 3.1.
- Klõpsake nuppu Stop, et lõpetada andmete salvestamine pärast seda, kui ketas ja rõngas on mõne pöörde teinud.
- Valige graafiku kuval andmete piirkond, mis tähistab sõrmuse kettale langetamist.
- Valige graafiku kuval andmeanalüüsi tööriist, mis näitab andme graafiku mis tahes punkti koordinaate, ja liigutage kursor andmepunkti, mis on vahetult enne kokkupõrget. Registreerige nurkkiirus selles punktis algse nurkkiirusena andmetabelisse.
- Viige kursor kohe pärast kokkupõrget andmepunkti. Salvestage nurkkiirus selles punktis kui lõplik nurkkiirus andmetabelis.
- Kaaluge rõngas ja ketas ning registreerige nende mass. Mõõtke rõnga sisemine ja välimine raadius ning ketta raadius. Salvestage need väärtused andmetabelisse.

Analüüs

- Arvutage lõpliku nurkkiiruse teoreetiline väärtus ja registreerige see väärtus andmetabelisse.
- Arvutage lõpliku nurkkiiruse eksperimentaalsete ja teoreetiliste väärtuste protsentuaalne erinevus ja registreerige see andmetabelisse.



Küsimused

1. Kuidas võrreldakse lõpliku nurkkiiruse katsetulemust lõpliku nurkkiiruse teoreetilise väärtusega nurkkiiruse?
2. Kui suur protsent pöörlemise kineetilise energiast "kadus" kokkupõrke käigus? Arvutage kaotatud energia ja registreerige tulemused andmetabelisse.

$$\% \text{ KE kaotatud} = \frac{\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} I_1 \omega_1^2}{\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + \frac{1}{2} I_2 \omega_2^2}$$

.Andmete tabel: andmed ja tulemused

Algne nurkkiirus	
Lõplik nurkkiirus (katseline väärtus)	
Ketta mass (M1)	
Rõnga mass (M2)	
Rõnga sisemine raadius (r1)	
Rõnga välisraadius (r2)	
Ketta raadius (R)	
Lõplik nurkkiirus (teoreetiline väärtus)	
Protsentuaalne erinevus eksperimentaalsete ja teoreetiliste väärtuste vahel	
Kaotatud kineetilise energia protsent	

Kas teil on küsimusi?

Küsi PASCO globaalse teadushariduse partnerilt Eestis DIFI.NET OÜ-lt

ask@ste.education

+372 5551 5542

<https://oppelabor.ee>