

# OÜ TOTALEDU

## Tsentripetaaljõu aparaat

(Tellimiskood CFA)

Tutvustav video <https://www.vernier.com/video/centripetal-force-apparatus-tech-tips/>

### Foto ingliskeelsel juhendil lk 1

CFA hõlbustab ringliikumise uurimist.

See võimaldab õpilastel hõlpsalt ja täpselt näha seost tsentripetaalse jõu, tangentsiaalse kiiruse (või nurkkiiruse), raadiuse ja massi vahel. CFA võimaldab õpilastel vahetult mõõta muutujaid ja saada suurepäraseid kvantitatiivseid andmeid.

Selle varustuse abil saavad õpilased uurida järgmisi suhteid

- ☐ tsentripetaalne jõud ja kiirendava objekti mass
- ☐ tsentripetaalne jõud ja liikumise raadius
- ☐ tsentripetaalne jõud ja kiireneva objekti tangentsiaalne kiirus
- ☐ tsentripetaaljõud ja kiireneva objekti nurkkiirus
- ☐ nurkkiirendus, pöördemoment ja inertsimoment

### Mida sisaldab tsentripetaaljõudude aparaat?

- ☐ ristkülikukujuline raam
- ☐ tugijalad (2)
- ☐ pöörlev völli, kooderratas, 3-astmeline rihmaratas, Pöörlev tala, Laagrikorpus
- ☐ libisev alus katsemasside hoidmiseks
- ☐ vastukaalukäru pöörleva tala tasakaalustamiseks
- ☐ Pöördmoodul (ühendab libiseva aluse jõuanduriga)
- ☐ Plokk
- ☐ Ploki kinnitus (eelinstalleeritud)
- ☐ Fotovärava kinnitus 1/4 x 20 kinnituskruviga (eelmonteeritud)
- ☐ Jõuanduri kronstein (eelinstalleeritud)
- ☐ 50 g mass (2)
- ☐ 100 g mass (4)
- ☐ Konks (ühendab juhtmeta dünaamilise andurisüsteemi (WDSS) libiseva aluse külge)
- ☐ WDSS-i kinnituskruvi ja mutter

### Foto ingliskeelsel juhendil lk 2

#### Komponentide lähem ülevaade

Ristkülikukujuline raam

Raam toetab pöörlevat agregati ja see mahutab mitmesuguseid andurid. Kaks raami ülaosas asuvat rihmaratta juhikut võimaldavad jõuandurit ühendada kelguga, mis libiseb piki pöörlevat tala.

### Foto ingliskeelsel juhendil lk 2

#### Pöörlev koost

# OÜ TOTALEDU

Pöörlev agregaat koosneb pöörlevast talast, pöördvõllist, laagri korpusest, andurrattast ja 3-astmelisest rihmarattast. Kärud asetatakse pöörlevale talale.

3-astmelise rihmaratta külge saab kinnitada nööri, et rakendada pöördemomenti pöördvõllile.

## Foto ingliskeelsel juhendil lk 3

### Kärud

Andmete kogumise ajal sõidavad pöörleval talal kaks vagunit. Libiseva vankri (vasakul näidatud) hõõrdelaagrid võimaldavad sellel libiseda piki tala. Lükandvanker on kinnitatud jõuanduri külge. Vastukaalude vedu (näidatud paremal) on kinnitatud teisele poole tala kruvide ja T-mutrite abil. Tala pöörmisel mõõdab jõuandur tsentripetaalset jõudu lükandvankril. Eraldi andur (st fotovärv) mõõdab nurga asendit ja nurkkiirust.

## Foto ingliskeelsel juhendil lk 3

### Pöördkoost

Pöördkomplekt koosneb kahest nöörist ja sellel olevast osast. Koost ühendab libisevat kelku jõuanduriga. Väike kruvi ühes otsas ühendatakse jõuanduri otsaga. Teine ots sisaldab aasa, mis kinnitatakse libiseva kelgu konksu külge.

## Foto ingliskeelsel juhendil lk 4

### Jõuanduri kronstein

See on kinnitatud raami paremale küljele. Libistage jõuandur posti külge ja kasutage 1/4 x 20 plastikkruvi, mis tarnitakse jõuanduriga, et kinnitada andur kronsteini külge. Kruvi kronsteini paremal küljel võimaldab kronsteini liigutada üles ja alla, see võimaldab muuta libiseva käru liikumise raadiust.

## Foto ingliskeelsel juhendil lk 4

### Fotovärava kinnitus

Kinnitus, mis asub raami põhjas, võimaldab raamile kinnitada fotoväravat. Kruvi 1/4 x 20 leiab kronsteini põhjast.

## Foto ingliskeelsel juhendil lk 4

### Rihmaratas ja rihmaratta kinnitus

Rihmaratas võimaldab pöördemomenti rakendada võllile. Kinnitage rihmaratas komplekti kuuluva 1/4 x 20 kruvi abil kronsteini külge. Kinnitage nööri üks ots pöördvõllile kinnitatud 3-astmelise rihmaratta külge. Kinnitage väike mass nööri teise otsa. Asetage nöör üle rihmaratta ja laske sel langeda, et rakendada pöördemomenti võllile.

## Foto ingliskeelsel juhendil lk 5

### WDSS kruvi ja klamber

# OÜ TOTALEDU

WDSS-krugi võimaldab teil WDSS-i kinnitada pöörlevale talale. Klamber ühendab WDSS-i libiseva vankri konksu külge.

## Foto ingliskeelsel juhendil lk 5

### Massid

Lisatud on kaks 50 g ja neli 100 g massi. Need libisevad kärudesse, et saaksite varieeruda vagunite masse.

## Foto ingliskeelsel juhendil lk 5

### Raami ja tugijalgade kokkupanek ja hoiustamine

Aparaat tarnitakse tasapinnalisena ja seda saab hoida tasapinnaliselt ka siis, kui seda ei kasutata. Pöörlev osa ja riskükükukujuline raam on täielikult kokku pandud. Jõuanduri, fotovärava ja ratta kinnituse on samuti eelinstalleeritud. Tugijalad on raami külgedel.

## Foto ingliskeelsel juhendil lk 6

### Seadme loodimine

Aparaadi loodimiseks toimige järgmiselt.

1. Kinnitage vastukaalukäru pöörleva tala välimise otsa külge.
2. Pange kandikusse kolm massi.
3. Laske CFA jaluse mõlemad jalad madalaima tasemeni.
4. Andke pöörlevale talale väga aeglaselt hoogu ja jälgige selle liikumist. Tala näitab kätte madalaima koha. Keerake madalaima punkti jalga paar pööret.
5. Tasakaalustage teised kolm jalga.
6. Korrake samme 4 ja 5, kuni tala ei võta samu asendeid.

### Kärude kinnitamine pöörleva tala külge

Oluline on kinnitada vankrid pöörlevale talale õiges suunas.

Tala ei ole sümmeetriline rihmaratta juhiku suhtes, mis asub rööbastee keskosas. Kui pöörleva tala joonlauaga külg on teie poole, läheb libisev vanker paremale ja vastukaalukäru vasakule poole.

## Foto ingliskeelsel juhendil lk 7

Kärude kinnitamiseks eemaldage pöörlevalt talalt otsad. Kui vaatate pöörleva tala joonlauaga külge, kinnitage libisev käru parempoolsele küljele järgmiselt:

1. Kahe komplekti laagreid on kelgu ülasas ja üks komplekt on põhjas.
2. Liugkäru talale libistades orienteerige kelk nii, et kelgu otsas, kelgu põhjas olev laagrikomplekt libiseb esimesena. Kui te libistate kelgu teistpidi, siis teie kelk ei saavuta maksimaalset raadiust (~ 16 cm) talal.
3. Libistage vastukaalukäru tala teisele küljele.

## Foto ingliskeelsel juhendil lk 7

# OÜ TOTALEDU

## Andurite kasutamine koos seadmega

Uurides selle aparaadiga tsentripetaalset jõudu, kasutavad õpilased andureid jõu ja nurkkiiruse mõõtmiseks (fotovärv ja jõu andur).

Jõu mõõtmiseks saab kasutada ka Vernieri juhtmevaba dünaamilist andurisüsteemi WDSS ja juhtmevaba jõuandurit.

Järgnevalt kirjeldatakse, kuidas ühendada iga andur aparaadiga.

## Jõuanduri kinnitamine raami külge

Jõuandur kinnitub aparaadi parempoolsele vertikaalsele küljele.

Järgige neid paigaldusjuhiseid.

1. Eemaldage jõuandurilt konks või pamper.
2. Raami ülaossa on kinnitatud kaks rihmaratast. Kui rihmarattad on suunatud teie poole, kinnitage jõuandur parempoolsel küljel asuva kronsteini külge.
3. Keerake pöördekoostu kruvi ots ülemise keskmise rihmaratta kohale. Keerake kruvi ots läbi rihmaratta raami paremal küljel.
4. Kinnitage pöördekoostu kruvi ots jõuanduri külge, nagu näidatud joonisel.
5. Paigaldage nöör, nagu näidatud suurel joonisel lk 7. Liugkäru peaks asuma paremal pööratava tala pool, joonlauaga küljega teie poole.

## Fotovärava kinnitamine

Fotovärava saab kinnitada fotovärava kronsteinile, mis asub kodeervõlli kõrval.

Järgige neid monteerimisjuhiseid:

1. Leidke fotovärava kronstein alumisest horisontaalsest raami osast.
2. Kinnitage fotovärv alusega 1/4 x 20 kinnituskruvi abil. Selles asendis katkestab kooderretas fotoväravat.

## Foto ingliskeelsel juhendil lk 9

## Andmekogumisliides ja tarkvara ühilduvus

Andmete kogumine CFA-ga on võimalik järgmiste kombinatsioonide abil.

- ☐ Logger Pro 3 kasutage seda arvutiprogrammi koos andmekoguritega LabQuest® 2, LabQuest, LabQuest Mini ja LabPro®.
- ☐ LabQuest App kasutage seda programmi koos andmekoguritega LabQuest 2 või LabQuestiga
- ☐ DataQuest App kasutage seda rakendust koos TI-Nspire™ Technology ja TI-Nspire™ liidese abil.
- ☐ LabVIEW™ National Instruments LabVIEW™ tarkvaraga. Kasutatakse koos andmekoguriga SensorDAQ.

Lisateabe saamiseks pöörduge Vernieri poole.

## Andmekogumise ülevaade ja tarkvara seadistamine

CFA-ga kasutatavad andurid annavad tulemuse libiseva vankri positsioonis hoidmiseks vajaliku jõu (tsentrifuugjõud) ja nurkkiiruse kohta. Andmeid saab koguda mõlemalt andurilt üheaegselt, kuid tarkvara andmete kogumise režiimi valimine sõltub teie eesmärkidest ja konkreetsest valitud anduritest.

# OÜ TOTALEDU

Katsed jagunevad kahte laia klassi: tsentripetaalsete jõudude suhete uurimine

( $F = mv^2 / r$ , kus  $v$  on tangentsiaalse kiirus, või

$F = mr \omega^2$ , kus  $\omega$  on nurkkiirus).

Tsentripetaalne jõud.

Kõige sagedamini toimub anduritega andmete kogumine ajapõhiselt, kus anduri väärtus registreeritakse ühtlaste ajavahemike järel, näiteks iga 0,02 sekundi järel või 50 korda sekundis. Fotovärvavalt andmete kogumine on tulemus aegadest, mil värava olek muutub. Need ajad ei ole tavaliselt ühtlased ajavahemikud. Kui koos fotovärvavaga registreeritakse jõu andmed (digitaalsete sündmuste režiim Logger Pro-s), ei paikne andmed ühtlaselt. Enamikule analüüsile ebaühtlaselt paigutatud punktid probleemsed pole. Kui jõu andmeid kogutakse ühetaoliste ajavahemike järel, tuleb nii jõu kui ka kiiruse andmeid interpoleerida, et luua graafik jõu ja kiiruse või kiiruse ruudu kohta.

Andurite ja liideste erinevad kombinatsioonid määravad, kuidas andmed on parim koguda. Fotovärvav annab sündmuste ajad alati, isegi kui muude andmete kogumine toimub ajapõhises režiimis. WDSS-i ja jõuandurit saab kasutada kas aja- või sündmustepõhises andmete kogumise režiimis LabQuestis, kui ka rakenduses Logger Pro.

Järgmistes jaotistes antakse seadistustepanekud ühe katse jaoks: tsentripetaalne jõud vs kiirus (või kiirus<sup>2</sup>). Kasutades erinevaid andurikombinatsioone, liideseid ja kas nurkkiiruse või palju lihtsama tangentsiaalse kiiruse lähenemisega. Meie soovitame teil alustada ühe meie Logger Pro katsefailiga, mis on saadaval kaustas Probes and Sensors Logger Pro versioonis 3.8.5.1 ja uuemas.

## Nurkkiirus - Logger Pro 3 koos jõuanduriga ja fotovärvavaga

Avage fail CFA-DFS-Photogate-angular.cmbl.

See fail on seadistatud jõuanduri ja fotovärvava jaoks. Fail sisaldab seadistusi ja arvutatud veerge, mis võimaldavad lihtsat andmete kogumist. Andmete kogumine režiim on ajapõhine, mis tähendab seda, et jõu näidud võetakse 50 Hz sagedusega ja fotovärvava näidud võetakse Encoderi ratta pöörlemisest. Selle tagajärjel on jõudude näidud tühjad kui kiirust loetakse ja vastupidi.

Veerg sildiga "Force" sisaldab anduri töötlemata väärtusi. Arvutatud veerg "Force Interpolated" või "F-i" täidab puuduvad väärtused. Et näha kuidas arvutatud veerg tekib, hõljutage hiirt andmetabeli F-i veeru päise kohal. Kõik jõu ja kiiruse vahelised graafikud peavad kasutama tabeli F-i veergu.

Fotovärvavat kasutatakse objekti liikumisandmete kogumiseks, kus "Distance" on veeru juurdekasv kindla summa võrra iga fotovärvav kaetud-kaetud paari jaoks, mida registreerib fotovärvav. Kuna kodeerija rattal on kümme pilu, on juurdekasv seatud 0,628, kasutades ühikuna radiaane või  $2\pi / 10$ . Kiirus ( $\omega$ ) veerus on siis radiaani sekundis.

Fail sisaldab ka arvutatud veergu, mida nimetatakse nurkkiiruseks  $2$  või  $\omega^2$ .

See veerg on andmete analüüsimisel abiks, kuna graafik on  $F$  vs.  $\omega^2$  on proportsionaalne kaldele  $mr$ , arvestades, et  $F = mr \omega^2$ .

Ühendage andmekogur, fotovärvav ja jõuandur ning avage uuesti fail CFA-DFS-Photogate-angular.cmbl. Asetage libisevale pinnale ja vastukaalule võrdsed massid. Reguleerige jõuanduri asukoht nii, et libisev vanker liigub umbes 10 cm raadiusega ringis ja vastukaaluga vanker sarnase raadiusega.

Hetkelist mõõdetud jõu näitu näidatakse Logger Pro reaajas kuvas. Keerutage tala nii, et jõud jõuab näiduni üle 5 N. Alustage andmete kogumist.

Jälgige graafikut Jõu-interpoleeritud vs. aeg ja seejärel kuvage Jõu-Interpoleerimine vs nurkkiirus. Samuti looge ja analüüsige graafikut jõud interpoleeritud vs.

Nurkkiirus<sup>2</sup>.

Teie graafikud näitavad, kuidas tsentrifuugjõud varieerub nurkkiirusega. Nüüd koguge

# OÜ TOTALEDU

andmed teiste masside ja raadiustega.

## Nurkkiirus - LabQuest rakendus koos jõuanduri ja fotoväravaga

Andmete kogumine jõuanduri ja fotovärava abil on lihtsustatud, kuna LabQuest App arvutab automaatselt interpoleeritud jõu.

Nurkkiiruse leidmiseks peate konfigurereerima fotovärava liikumise ajastamise režiimi koos nurgaasendi teabega, mida kirjeldatakse allpool.

1. Käivitage rakendus LabQuest ja laske sellel andureid automaatselt tuvastada.
2. LabQuesti rakenduse mõõdiku vaates valige "režiim".
3. Valige "kasutaja määratletud".
4. Sisestage kasutaja määratud väärtus  $1/10$  iga pesa nurgaasendi muutusest või  $2\pi / 10$ . Seda väärtust ei pea te iga kord muutma kui muudate raadiust, kuna nurkkiirus ei sõltu raadiust.
5. Lõpetada andmete kogumine nupuga Stop.
6. Puudutage nuppu OK.

Andmete kogumine ja graafikute uurimine. Täpsema analüüsi jaoks kuvage üht oma graafikut jõu vs kiiruse või jõu vs kiiruse<sup>2</sup>.

## Tangentsiaalne kiirus – jõu anduriga, logger Pro 3 tarkvaraga ja fotoväravaga

Soovi korral saate lisada Logger Pro faili arvutused tangentsiaalse kiiruse jaoks ja kasutada graafikute nurkkiiruse asemel neid väärtusi. Kuidas neid arvutusi faili CFA-DFS-Photogate-tangential.cmbl lisada? See fail on loodud jõuanduri ja fotovärava jaoks ning see pakub mitu arvutatud veergu.

Esimene on sama interpoleeritud jõu veerg nagu ülaltoodud näites.

Teine arvutus on vajalik tangentsiaalse kiiruse määramiseks, kuna pöörleva massi tangentsiaalse kiirus on selle liikumisraadiuse funktsioon, kasutades:  $v = \omega r$ . Fotovärav on seadistatud nagu varemgi liikumisandmete kogumiseks ja ekraanil "Tangentsiaalne kiirus" veergu kasutatakse nurkkiiruse ja hetke raadiuse leidmiseks. Fail sisaldab kasutajaparametrit nimega "Raadius". Õpilane peab seadistama parameetri, et see vastaks iga mõõtmise liikumisraadiusele. Võtke arvesse, et kui parameter muudetakse järgmiseks mõõtmiseks, värskendatakse sellest parameetrist sõltuvalt kõiki veerge. See hõlmab salvestatud mõõtmisi, seetõttu võib raadiuse muutmine häirida eelmisi arvutusi, sealhulgas joone sobitust.

Pärast andmete kogumist nagu varem, jälgige graafikut Jõu-interpoleeritud vs aeg ja siis kuvage Interpoleeritud jõud vs tangentsiaalse kiirus. Samuti saate luua ja analüüsida graafikut Interpoleeritud jõu ja kiiruse<sup>2</sup> vahel.

Teie graafikud näitavad, kuidas tsentripetaaljõud varieerub tangentsiaalse kiirusega. Nüüd mõõtkte lisamõõtmisi teiste masside ja raadiustega. Kiiruse<sup>2</sup> joone kalde graafik on proportsionaalne massiga ja pöördvõrdeline raadiusega  $F = mv^2 / r$ .

## Tangentsiaalne kiirus - LabQuesti rakendus jõuanduri ja fotoväravaga

Andmete kogumine jõuanduri ja fotovärava abil on lihtsustatud, kuna LabQuest App arvutab automaatselt interpoleeritud jõu.

Tangentsiaalse kiiruse leidmiseks peate konfigurereerima fotovärava liikumise ajastuse režiimi koos ümbermõõdu teabega, mida kirjeldatakse allpool.

1. Käivitage rakendus LabQuest ja laske sellel andureid automaatselt tuvastada.
2. Valige LabQuesti rakenduse vahekaardil režiim.
3. Kasutage valikut Kasutaja määratletud.

# OÜ TOTALEDU

4. Sisestage 1/10 massitee ümbermõõdust või  $2\pi r / 10$  kui kasutaja määratud väärtus. Seda väärtust peate korrigeerima iga kord, kui muudate raadiust.
  5. Valige sellel ekraanil suvand lõpetada andmete kogumine nupuga Stop.
  6. Puudutage nuppu OK.
- Andmete kogumine ja graafikute uurimine. Täpsema analüüsi jaoks kuvage ühte oma graafikut jõu vs kiiruse või jõu vs kiiruse<sup>2</sup>.

## CFA nädisandmed

Järgnevalt on toodud kokkuvõtted katsetest, mida saate teha Tsentripetaalse jõu aparaadiga.

## Tsentrifugaaljõud keerutamisega

CFA töö illustreerimiseks on kiire katse, kasutades teist vaatenurk kui sageli kasutatakse. Üsna sageli uuritakse tsentripetaalset jõudu kasutades võrrandit  $F = mv^2 / r$ , kus  $F$  = tsentripetaalne jõud,  $m$  = mass,  $v$  = tangentsiaalse kiirus ja  $r$  = liikumisraadius. Võrreldav võrrand on  $F = mr \omega^2$ , kus  $\omega$  on massi nurkkiirus. See sobib eksperimenti, mis võimaldab teil uurida mitmesuguseid kiirusi ühe mõõtmisega koos väga lihtsa graafilise tulemusega. Kui Te lihtsalt keerutate tala käega ja lasete sellel aeglustada üle 30 või 40 sekundi, siis saate jõu nurkkiiruse funktsioonina. Jõu graafik nurga ruudu suhtes kiirus on otsene proportsionaalsus, kus kalle tähistab massi ja raadiuse korrutist, kuna  $F = (mr) \omega^2$ . Lk 16 toodud graafik näitab kahte massi ja raadiuse kombinatsiooni. Mõlemal juhul kale on massi ja raadiuse korrutis ning suhe on proportsionaalne.

## Tsentripetaaljõud keerutamisega - üksikasjalik ülevaade

Vernier käsiraamatus Advanced Physics with Vernier - Mechanics on toodud eksperiment, mis uurib  $F = mv^2 / r$ . Eksperiment sarnaneb eelpool mainituga, kus õpilased keerutasid pöördtala ja koguge andmeid, kuni tala aeglustub. Graafik  $F$  vs  $v^2$  näitab lineaarset suhet. Seejärel varieerivad õpilased massi ja näevad, et  $F$  on otseselt võrdeline  $m$ -ga. Järgmisena võrdlevad nad erineva raadiusega mõõtmisi ja näevad jõud on raadiusega pöördvõrdeline. Laboritöö nimega "12A tsentripetaalkiirendus" on avaldatud ka meie veebisaidil aadressil [www.vernier.com/accessories/cfa/](http://www.vernier.com/accessories/cfa/)

## Inertsimoment

Samuti saate CFA abil mõõta inertsimomente. Esimene katse on kogu pöörleva sõlme inertsimomendi määramiseks. See mõõtmine toimub massi riputamise üle 3-astmelise ratta (mis võib olla kinnitatud raami küljele). Laske massil langeda, see avaldab pöördemomenti süsteemile. Kasutage fotoväravat süsteemi nurgakiirenduse mõõtmiseks ja arvutage seejärel inertsimoment. Kinnitage vankrid tala külge ja korrake ülaltoodud katset. Määrake seejärel süsteemi inertsimoment, lugedes vagunid punktmassideks.