

TARTU RIIKLIK ÜLIKOO

ÜLDFÜÜSIKA  
PRAKTIKUMI  
TÖÖJUHEIDID

1.

TARTU 1961

A-23672

TARTU RIIKLIK ÜLIKOOI

ÜLDFÜSIKA KATEEDER

ÜLDFÜSIKA  
PRAKTIKUMI  
TÖÖJUHENDID

1.

42212

TARTU 1961

Тартуский государственный университет  
ЭССР, г. Тарту, ул. Ülikooli, 18

РУКОВОДСТВО ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО  
ОБЩЕЙ ФИЗИКЕ

На эстонском языке

Tööjuhendid paljundatakse J. Langi ja A. Pae füüsika  
praktikumi raamatust "Füüsika praktikum Tartu Riiklikus  
Ülikoolis" II osa, 1946.a.

2



Vastutav toimetaja U. Kuddu

=====

TRÜ Rotaprint 1961. Trükipoognaid 1,25.  
Tir. 500 eks. MB 00757. Tell. nr. 467.

Hind 4 kop.

# VESILOOD. VESILOE KALIIBRIMINE JA TUNDLIKKUSE MÄÄRAMINE.

## 1. Töövahendid.

Vesilood, kolmele jalakrurile toetuvad alused, vesiloe kaliibriga, ca 5 mm paksune klaasplaat ja mikromeeter.

## 2. Tööülesanne.

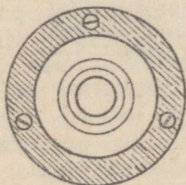
Tutvumine vesiloega, vesiloe õiendamine, kolmele jalakrurile toetava aluse horisontaalseks seadmine, vesiloe kaliibrimine ja tundlikkuse määramine vesiloe kaliibriga.

## 3. Töökäik.

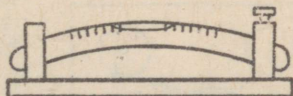
a) Vesiloe ehitus. Vesilood kasutatakse tasapindade ja aparaatide horisontaalasendi kontrollimiseks. Väliskujult võime neid jaotada kahte liiki.

Ümmargune vesilood on klaaskaanega karp, mille klaaskaane seesmine külg on siledaks lihvitud kerapind. Karp täidetakse kuuma piirituse ja eetri seguga ning suletakse õhukindlalt. Jahutades tõmbub vedelik kokku ja karpi tekib vedeliku auruga täidetud ruum — vesiloe mull. Karp kinnitatakse alt tasasele metallalusele.

Et mull on vedelikust kergem, siis asetseb ta alati karbi kõrgeimas osas. Vesiloe ehitus on säärane, et mull on karbi kaane



Joon. 1. Ümmargune vesilood.



Joon. 2. Piklik vesilood.

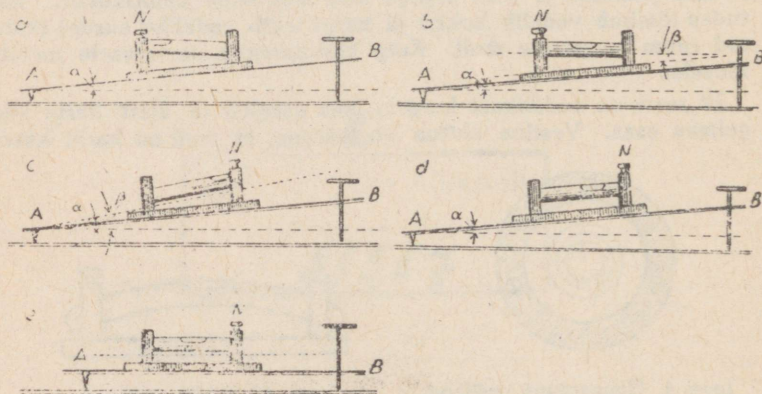
all keskel, kui vesilood paigutatakse horisontaalpinnale. Mulli seisu paremaks jälgimiseks on kaanel rida kontsentrilisi ringe. Seesuguse vesiloega saame pealeasetamisega otsekohe veenduda tasapinna kallakuses. Kui aluspind pole horisontaalne, siis nihkub mull kõrgema serva poole. Ümmargust vesiloodi kasutatakse kiiretel ja vähema täpsusega loodimistel.

Täpsemateks loodimisteks tarvitatakse piklikke vesilooe.

Piklik vesilood on veidi painutatud klaastoru, mis samuti nagu ümmargune vesilood on täidetud piirituse ja eetri seguga. Kasutamiseks kinnitatakse klaastoru vastavasse metallraami. Mulli asukoha määramiseks on klaasi pealmisele küljele tõmmatud rida 2-mm-se vahega kriipse.

b) Pikliku vesiloe õiendamine. Vesilood on õiendatud, kui horisontaalpinnal asetsetes ta mull on keskel. Kui aluspind pole horisontaalne, siis nihkub mull kõrgemal asuva otsa poole. Et veenduda, kas vesilood on õiendatud, selleks asetame ta mingile enamvähem horisontaalsele pinnale ja määrame mulli asukoha; pöörame vesiloodi  $180^{\circ}$  ja määrame jälle mulli asukoha. Kui vesilood näitab mõlemal juhul tasapinna sama suurit kallakust, s. o. mull ei nihku üldse või nihkub niisama palju keskasendist kõrvale, siis on vesilood õiendatud. Kui aga vesilood näitab kummaski asendis tasapinna erineva suurusega kallakust, siis vajab vesilood ise õiendamist.

Õiendamiseks asetame vesiloe reguleeritava kaldega alusele  $AB$  (joon. 3 -a). Reguleerime aluse kalde nii, et mull asetseks kesk-



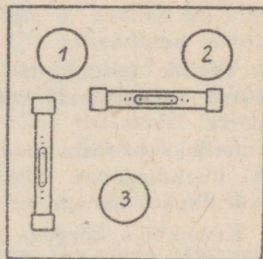
Joon. 3 . Vesiloe õiendamine.

seisus (joon. 3 -b). Pöörame vesiloodi  $180^{\circ}$ . Õiendamata vesiloe mull kaldub siis kõrvale keskasendist (joon. 3 -c). Viime mulli ümesti keskasendisse, muutes krüviga  $N$  vesiloe kaldenurka alusraami suhtes nii, et mull nihkub poole kõrvalkaldest keskeisni poole ja ülejäänud poole kaotame, muutes aluspinna kallet.

Teoreetiliselt oleme juba vesiloe õiendanud kruvi  $N$  keeramisega, sest aluslaua kaldenurk  $\alpha$  horisontaalpinnaga on võrdne vesiloe kaldenurgaga  $\beta$  laua suhtes (joon. 3 -b) ja pööratud asendis (joon. 3 -c) on vesiloe kaldenurk horisontaalpinnaga  $\alpha + \beta$ . Seega tehes poole vesiloe mulli nihutamist kruvi  $N$  keeramisega oleme nurga  $\beta$  kaotanud ja vesilood on paralleelne oma alusega (joon. 3 -d). Vesiloe mulli nihkumine pole aga täpselt jälgitav ja seepärast peame reguleerimist jätkama ning reguleerima ka aluse horisontaalseks (joon. 3 -e). Pöörame vesiloodi jälle  $180^\circ$ , s. o. esimesse asendisse, ja jälgime, kas mull jääb keskele. Kõrvalekaldumine on palju väiksemaks muutunud. Viime jälle mulli keskele, tehes pool nihutamist loe kruvi keeramisega ja teise poole aluspinna kaldenurga muutmisega. Pöörame loodi  $180^\circ$  ja kordame võtet, kuni mull jääb keskele mõlemas asendis. Siis on vesilood õiendatud ja mull on vesiloe horisontaalpinnal, asetledes keskel, s. o. nullseisus.

Tundlikkude loodide puhul ei jälgitagi mulli poole võrra nihkumist, vaid tehakse kogu nihutamine vesiloe kruvi  $N$  pööramisega pöördeid loendades, kuni mull on keskasendis. Poole nihkumise saamiseks pööratakse pool pöörete arvust tagasi.

c) Kolmele jalakruvile toetuva aluse horisontaalseks seadmine. Vesiloeaga võime horisontaalasendisse viia kolmele jalakruvile toetuvaid aluseid, kusjuures seesugused alused on kasutatavad ka loe õiendamiseks. Selleks kasutame eelmises punktis kirjeldatud menetlust järgmiselt. Asetame vesiloe paralleelselt kaht jalakruvi ühendava sirgega üks kord ühes ja teine kord  $180^\circ$  võrra pööratud suunas (joon. 4.). Aluse kaldenurka muudame kahe vastava jalakruvi (1,2) vastassuunalise pööramisega. Kui mull asetseb vesiloe mõlemas asendis keskel, siis on alus selles sihis horisontaalne. Asetame vesiloe risti eelmise sihiga, s. o. kolmanda jalakruvi suunas, ja viime mulli keskele ainult kolmandat jalakruvi keerates. Nüüd on alus horisontaalne, ja ükskõik millises suunas ka vesilood asetseb, ikka jääb mull keskele. Enamik loodidega varustatud aparate toetubki kolmele jalakruvile (katetomeeter, teodoliit, anal. kaalud jne.). Selliste aparatuuride rõhtsaks seadmiseks rakendataksegi eespool kirjeldatud meetodit.



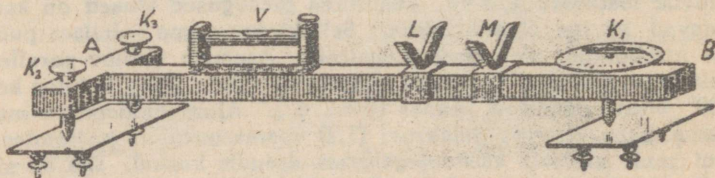
Joon. 4. Kolmele kruvile toetuva aluse horisontaalseks seadmine.

d) Vesiloe kalibriimine ja tundlikkuse määramine. Vesilood on kasutatav ka väikeste kaldenurkade määramiseks, kui teame nurga suurust, mille võrra tuleb vesiloodi kallutada, et mull nihkuks ühe jaotise võrra. Seda nurga suurust nimetatakse vesiloe tundlikkuseks. Headel vesiloodidel on kumerus ühtlane ringi kaar ja mulli igale jaotise võrra nihkumisele vastab sama suur kaldenurk.

Vesiloe tundlikkuse määramiseks kasutatakse vesiloe kalibriijat ehk eksaminaatorit.

Vesiloe kalibriija (joon. 5.) on kolmele jalakruvile  $K_1$ ,  $K_2$  ja  $K_3$  toetuv  $T$ -kujuline metalltelg. Telje ühes otsas üksikult asetsev kruvi  $K_1$  on varustatud pöörete täpseks lugemiseks 100 osaks jaotatud ringskaalaga. Teljel  $AB$  asetsevad alused  $L$  ja  $M$  torukujuliste alusraamita vesiloodide asetamiseks.

Et kalibriijat kasutada vesiloe tundlikkuse määramiseks, peame ta mõõtmiseks korda seadma ja kalibrima. Selleks asetame kalibriija ühe otsa ühele ja teise otsa teisele kolmele kruvile toetuvale horisontaalseks seatud klaasplaadile. Seame kalibriija vesiloe  $V$  abil horisontaalseks telje  $AB$  sihis ja ka sellele ristisihis (kruvide  $K_2$ ,  $K_3$  sihis). Nii korrastatud vesiloe kalibriijaga on ka väga mugav alusraamile kinnitatud vesiloodi õiendada, asetades neid teljele  $AB$  üks kord ühes ja teine kord  $180^\circ$  pööratud suunas.



Joon. 5. Vesiloe kalibriija.

Vesiloe tundlikkuse määramiseks peame teadma nurka, mille võrra kaldub kalibriija telg kruvi  $K_1$  pöördumisel ühe jaotise võrra.

Selleks on vaja teada telje  $AB$  pikkus  $l$ , kruvi  $K_1$  ja kruvide  $K_2$ ,  $K_3$  ühendusjoone vahel ning kruvi  $K_1$  käigukõrgus.

Pikkus  $l$  on kas antud või mõõdetakse suure täpsusega.

Kruvikäigu kõrguse määramiseks asetame vesiloe kalibriija teljele  $AB$  ja reguleerime kruvi  $K_1$ -ga mulli keskseisu. Asetame nüüd kruvi  $K_1$  alla ca 5 mm paksusega klaasplaadi, mille täpse paksuse  $d$  mõõdame sfäromeetriga või mikromeetriga, ja keerame

kruvi  $K_1$ , kuni vesiloe mull asetseb jälle keskseisus. Kui selleks kulunud ringide arv on  $n$ , siis on kruvi ühele täispöördele vastav tõus — kruvikäigu kõrgus ehk kruvisamm

$$h = \frac{d}{n} \quad (1)$$

ja ringskaala ühele jaotisele vastav tõus

$$h_1 = \frac{d}{100n} \quad (2)$$

Kruvi  $K_1$  ühe jaotise võrra pöörämisel tekkiv telje  $AB$  pöördenurk radiaanides

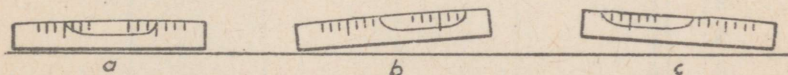
$$a = \frac{h_1}{l} \quad (3)$$

või ümberarvutatuna kraadimõõdu sekunditesse

$$a'' = \frac{h_1}{l} \cdot 206265, \quad (4)$$

sest  $1 \text{ radiaan} = 57^\circ 17' 45'' = 206265''$ .

Vesiloe tundlikkuse määramiseks seame kaliibrija telje  $AB$  horisontaalasendisse ja asetame uuritava vesiloe paralleelselt teljega kas otseselt teljele  $AB$  või alustele  $L$  ja  $M$ , olenevalt sellest, kas vesilood ise on raamiga või ilma. Vesiloe mull peab siis asetsema keskkohal (joon. 6-a).



Joon. 6. Vesiloe asendid kaliibrimisel.

Nüüd kruvime kaliibrija telje nii, et mull asetseks äärmisel jaotisel (joon. 6-b) ja hakkame telje kallet vähendama ning loeme ringskaalalt jaotiste arvu, mis küüb mulli nihutamiseks iga vesiloe jaotise võrra, kuni jõuame asendisse c, saades sel viisil 6 lugemit. Edasi hakkame telje kallet jälle vähendama ja toimetama lugemeid endisel viisil, kuni mull on jõudnud tagasi asendisse b, saades jällegi 6 lugemit. Lugemid kanname tabelisse ja võtame vesiloe samadele kriipsuvahedele vastavaist lugemeist keskmised, millised väärtused korrutame tundlikkuse saamiseks kraadimõõdus valemis (4) määratud  $a''$ -ga.

Vesiloe tundlikkuse hindamiseks ühe arvuga võtame nii saadud kuuest arvust keskmise.

Heal vesiloele vastab mulli iga kriipsuvahe võrra nihkumisele sama suur kaldenurk. Seega võime vesiloe headuse üle otsustada tabeli eelviimase veeru arvude hajuvusest.

Vesiloega on võimalik mõõta ka väikesi kaldenurki. Selleks peame teadma nurga, mille moodustab vesiloe alus horisontaalpinnaga, kui mull asetseb mingil jaotisel.

Joonisel 6-a on vesilood kujutatud horisontaalasendis. Kolm kriipsuvahet nihkudes jõuab mull üks kord asendisse 6-b ja teine kord asendisse 6-c. Seega tabelis toodud lugemid järjekorras 3, 2, 1 annavad kaldenurga suurenemise ühes ja 4, 5, 6 teises suunas.

Kaldenurk horisontaalasendiga mulli ühe kriipsuvahe võrra nihkudes on seega tabelis lugemile nr. 3 või 4 vastav  $ka''$  väärtus olenevalt kaldenurga muutmise suunast. Teise kriipsuni nihkumiseks vajalik kaldenurk on lugemitele nr. 3 ja nr. 2, teisele poole nr. 4 ja nr. 5 vastavate  $ka''$ -de summa ning asenditele b ja c joon. vastavad kaldenurgad lugemitele nr. 3, 2 ja 1 ning teises suunas nr. 4, 5, 6 vastavate  $ka''$ -de summad.

Lugemi nr.	Ringskaala jaotiste arv $k$	keskmine $k$	$ka''$	Kaldenurk
1	↑			
2				
3				
4				
5				
6		↓		

Keskmine tundlikkus . . . . .

#### 4. Täiendavaid küsimusi.

1. Kuidas kasutada vesiloodi koos kaliibrijaga väikeste kaldenurkade määramisel?

2. Kas ja kuidas on võimalik teostada ümmarguse vesiloe õiendamist?

## NURKADE MÕÕTMINE TEODOLIIDI ABIL.

### 1. Töövahendid.

Teodoliit statiivil.

### 2. Tööülesanne.

Teodoliidi chitusega tutvumine. Nurkade mõõtmine teodoliidi abil.

### 3. Töökäik.

a) Üldine tutvumine riistaga. Teodoliit on püst- ja rõhttelje ümber pööratav väike pikksilm, mis on varustatud vesiloodidega riista rõhtasendisse seadmiseks ja püst- ning rõhttasapinnas olevate ringskaaladega nurkade mõõtmiseks. Paraja töötamiskõrguse saamiseks kinnitatakse teodoliit kolmejalalisele statiivile toetuvale alusele. Jalad tuleb asetada pörandale või maapinnale

nõnda, et nende otsad moodustaksid võrdkülgse kolmnurga, sest siis on riista tasakaal kõige püsivam. Ka tuleb silmas pida, et toetuspiirkond oleks küllalt suur, siis on suurem ka kogu riista stabiilsus.

Püsttelje antud punkti kohale asetamiseks ehk tsentreerimiseks kasutatakse statiivi keskelt, nn. põhikruvilt alla rippuvat raskusloodi. Väiksemaid püsttelje nihutamisi saab toimetada teodoliidi edasi-tagasi nihutamisega alusel.

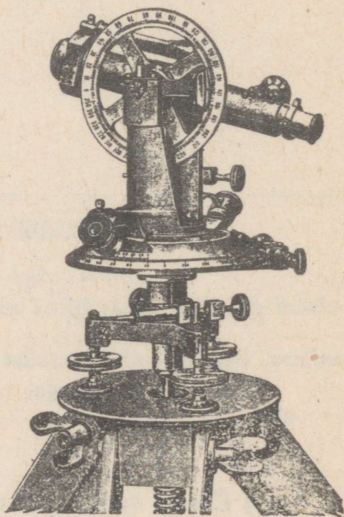
Teodoliit on ühendatud statiiviga erilise kinnituskruvi — põhikruvi abil, mis pigistab teodoliidi vastu alusplaati. See ühendus on tehtud terasvedru abil elastseks, et kaitsta riista võimalike põrutuste eest.

Statiivi massiivsele vaskplaadile toetub teodoliit kolme reguleeritava kõrgusega kruvi abil. Need kruvid ei tohi toetuda alusele liiga lodevalt; vastasel korral võib riista asend kergesti muutuda. Parajat toetuspinget reguleerime põhikruvi abil.

Pikksilm pöörduv rõht- ja püsttelje ümber; viimasel juhul koos kogu riistaga. Suuremaulatlikuks pööramiseks ühe või teise telje ümber tuleb vabastada vastav areteerimiskruvi ja pöörata riista (mitte pikksilma torust hoides!) ettevaatlikult käega soovival määral. Siis keeratakse areteerimiskruvi kinni ja toimetatakse peent reguleerimist areteerimiskruviga risti oleva kruvi kaudu. Selle kruvi töötamine on riistast otseselt nähtav.

Enne tööle asumist tuleb reguleerimiskruviga seada areteerimiskruvi vastava klambri keskkoha, siis on mõlemale poole nihutamise võimalused kõige soodsamad.

Nurgamõõtmine toimub kahe ringi abil, mis on varustatud skaaladega. Paigaloleva välise ringi — limbi — skaala on jagatud kraadideks ja kraadi osadeks. Limbiga kokkupuutuvalle liikuvale sisemisele ringile — alidale — on tehtud nullkriips ja sellest edasi noonius ehk vernjee, mis võimaldab võtta limbilt lugemeid suurema täpsusega. Noonius



Joon. 7. Teodoliit.

mõõtmistäpsuse määramiseks seame alidaadi nullkriipsu täpselt mõne limbi ümmarguse arvuga kriipsu kohale ja vaatame, mitmenda limbi kriipsuga on kohakuti nooniusse lõppkriips. Kui näiteks limbi kõige väiksemad jaotised on  $\frac{10}{2}$  ehk 30' ja 29 limbi sellist jaotist võrdub 30 nooniusse jaotisega, siis iga nooniusse jaotis on väiksem igast limbi jaotisest  $\frac{1}{30}$  limbi jaotise ehk 1' võrra. Sel juhul öeldakse, et nooniusse täpsus on 1'. Et nooniused võivad olla ehitatud väga mitmesuguse täpsusega, tuleb iga riista puhul enne mõõtmisele asumist selgusele jõuda, milline on tema nooniusse täpsus.

Lugemite võtmisel tuleb silmaga otseselt määrata limbi skaalalt täisjaotiste arv kuni nooniusse nullkriipsuni (kraadid ja kraadi osad). Olgu neid näiteks  $15\frac{10}{2}$  ehk  $15^{\circ}30'$ . Edasi, kui nooniusse 17. kriips kõige enam ühte langeb mõne limbi kriipsuga, siis on nooniusse nullkriipsu ja limbit võetud lugemi viimase täiskriipsu vahe  $17 \cdot 1'$  ehk  $17'$ . Järelikult kogu lugem on  $15^{\circ}30' + 17' = 15^{\circ}47'$ .

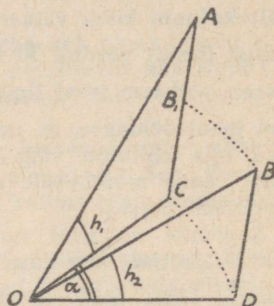
Täpsema lugemi saamiseks kasutatakse sageli luupi. Sel juhul tuleb seada luubi keskoht vaadeldava kriipsu kohale ja hoida silm otse vastu luupi.

Et teodoliidiga mõõdame nurki horisontaal- ja vertikaaltasapinnas (asimuut ja kõrgus), siis tuleb enne mõõtmisele asumist seada teodoliidi püsttelg vertikaalseks. Seda toimetatakse vesiloe abil, mis on liikumatult ühendatud teodoliidiga.

Eeldades, et teodoliidi pöördumistelg on risti rõhtlidaadi ringiga ja vesilood õiendatud (vt. lk. 2.), s. o. vesiloe mull on keskel, kui teodoliidi telg on vertikaalne, toimetame teodoliidi püsttelje vertikaalseks seadmist järgmiselt. Teodoliidi pööramisega seame vesiloe kahe jalakruvi sihis. Kui vesiloe mull pole keskel, viime ta sinna vesiloe sihis asuvate jalakruvide reguleerimise abil. Nüüd seame vesiloe eelmise sihiga ristiasendisse ja kolmanda jalakruvi abil reguleerime vesiloe mulli keskele. Kontrollime, kas ka eelmises asendis on vesiloe mull veel keskel. Pole ta seda mitte, tuleb esimest võtet korrata. Riist on fõõtamiskorras, kui vesiloe mull püsib keskel igas asendis teodoliidi pööramisel ümber vertikaaltelje.

Juhul, kui vesilood ise pole korralikult õiendatud, on mulli keskel püsimine igas asendis võimatu. Sel korral tuleb vesilood enne ära õiendada (vt. lk. 2.) ja siis alles asuda telje vertikaalseks reguleerimisele. Sama kehtib ka pikksilmaga ühenduses oleva vesiloe kohta.

b) Rakendame korrastatud teodoliidi kahe antud punkti ( $A$  ja  $B$ ) nurkkauguse (asimuudi) ja -kõrguse mõõtmiseks mõne kolmanda punkti ( $O$ ) suhtes (joon. 8.). Olgu  $OAC$  ja  $OBD$  antud punkte  $A$  ja  $B$  ning lähtepunkti  $O$  läbivad vertikaaltasandid ja  $OCD$  rõhttasand. Nurk  $\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$  on joon-nurk vertikaaltasapindade  $OAC$  ja  $OBD$  vahel. Nurgad  $h_1$  ja  $h_2$  on antud punktide  $A$  ja  $B$  kõrgused rõhttasandi suhtes ning nurk  $h = h_1 - h_2$  mõõdab punkti  $A$  kõrgust punkti  $B$  suhtes. Töö ülesandeks ongi määrata  $\alpha$  ja  $h$ . Selleks:



Joon. 8. Suhtelise nurkkauguse mõõtmine.

1) Tsentreerime põhikruvile kinnitatud loe abil teodoliidi püsttelje antud punkti  $O$  kohale.

2) Kontrollime, kas teodoliidi püsttelg on vertikaalne ja pikksilma veeliin lood õiendatud.

3) Juhime pikksilma niitristi punktile  $A$ , teeme rõhtlimbilt lugemi  $\alpha_1$  ja püsflimbilt lugemi  $h_1$ .

4) Nüüd juhime pikksilma punktile  $B$  ning samuti võtame vastavad lugemid  $\alpha_2$  ja  $h_2$ .

Vaatlustulemused kanname tabelisse järgmiselt:

Järjek. nr.	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$	$h_1$	$h_2$	$h = h_1 - h_2$
1	.....	.....	.....	.....	.....	.....
...	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	Keskmine		.....	Keskmine		.....

Sedaviisi toimetame vähemalt 5 mõõtmist. Iga järgmise mõõtmise korral pöörame limbi samas suunas (päripäeva) edasi umbes  $\frac{1}{5}$  täispöörde võrra, siis toimub lugemite võtmine limbi skaala teiselt kohalt, skaala pilt on teistsugune ja seetõttu pole tõenäone, et teeksime samasuguse vea kui eelmisel mõõtmiselgi. Sama võtte tulemusena hävivad suurelt osalt ka limbi skaala süstemaatilised vead.

Saadud tulemustest võtta aritmeetiline keskmine ja määrata keskmine absoluutviga ( $r$ )!

#### 4. Täiendavaid küsimusi.

1. Mispärast limbi süstemaatilised vead hävivad, kui  $n$  lugemi tegemisel iga kord pöörata limbi samas suunas  $\frac{1}{n}$  täispöörde võrra.

2. Kas nurkade  $a$  ja  $h$  suurus oleneb punkti  $O$  kõrgusest pööranda suhtes?

## KEHADE KESKKONNATAKISTUSE MÄÄRAMINE LIIKUMISEL ÕHUS.

### 1. Töövahendid.

Tuulekanal, kang, vedrukaal, uuritavad mitmekujulised kehad ja vahend tuule kiiruse määramiseks (Prandtl'i toru manomeetriga või anemomeeter sekundomeetriga).

### 2. Tööülesanne.

Määrata mitmesuguste võrdsete frontlõigetega kehade suhtelised takistused liikumisel õhus ja mõõta takistuse olenevus tuule kiirusest. Tutvuda anemomeetriga ja Prandtl'i toruga.

### 3. Töökäik.

a) Keskkond mõjub igale temas liikuvale kehale takistavalt. Liikumist takistavat tungi nim. keskkonnataktistuseks.

Katsed näitavad, et keskkonnataktistus on põhjustatud kiirusest, millega keha liigub keskkonna suhtes. Väikeste kiiruste puhul ei teki keha taga keskkonnas keeriseid ja liikumist takistavat tungi on võrdeline kiirusega. Sel juhul on takistus tingitud keskkonna sisehõõrdumisest. Suuremate kiiruste juures tekivad aga keskkonnas liikuva keha taga keerised. Siin annab keha keskkonnale kineetilist energiat, mille tõttu ka keskkonna takistavat mõju kehale suureneb. Niisugusel juhul on keskkonnataktistus võrdeline kiiruse ruuduga. Ka on takistus tekkinud keeriste suurusest, olles suuremate keeriste puhul suurem. Keeriste suurus on keha kujust ja frontlõikest ning keeriste kineetiline energia ka keskkonna tihedusest. Keha frontlõikeks nimetatakse selle keha projektsiooni liikumise sihiga risti olevale tasapinnale, s. o. tegelikku liikumist takistavat pindala. Takistus  $R$  avaldub siis järgmiselt

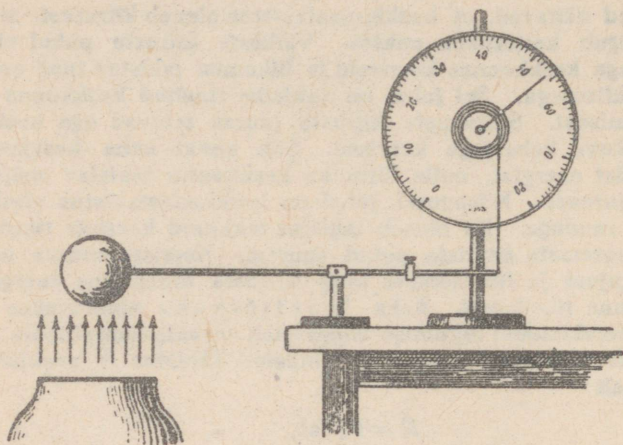
$$R = C \rho S v^2, \quad (1)$$

kus  $\rho$  on keskkonna tihedus,  $v$  kiirus,  $S$  keha frontlõike pindala ja  $C$  keha kujust ning vähesel määral ka frontlõikest olenev arv, mida nimetatakse kujuteguriks. Seadus on kehtiv teatud kiiruste vahemikus, mis on igale keskkonnale erinev. Suuremate kiiruste puhul (kuni hääle kiiruseni) suureneb takistus kiiruse kõrgema astmega kui 2. Käesolevas töös kasutatavatel kiirustel on valem kehtiv.

b) Õhuvoolu tekitamiseks kasutame tuulekanalit. Tuulekanal on plekksilinder, milles asub elektrimootoriga käivitav ventilaator. Õhuvoolu tekkinud keeriste tasandamiseks on väljavoolu-poolne kanali ots jaotatud plekkribadega sektoriteks. Tuulekiirust saame reguleerida mootori tširude arvu muutmise ja voolu-ahelasse lülitatud reostaadiga.

Asetame uuritava keha kangi ühe õla otsas tuulekanaliga tekitatud õhuvoolu. Kangi teise õla otsa kinnitame nõõriga vedrukaalu külge, nii et see mõõdab takistustungi. Et uuritav keha tuule mõjul kergesti paigalt nihkub, siis tuleb katse ajal nihutada vedrukaalu nii, et keha ristlõige oleks alati risti tuule suunaga. Eriti tuleb seda silmas pidada piklikkude kehade puhul. Samuti peame hoolitsema, et kangi teist otsa vedrukaaluga ühendav niit oleks risti kangi õlaga (joon. 9).

Kui tahame takistustungi absoluutset suurust mõõta, siis peame arvestama kangi õlgade pikkuste suhet. Kangi õla pikkuseks keha-poolses otsas tuleb pidada kaugust kangi toetuspunktist kuni



Joon. 9. Seadeldis kehade õhutakistuse määramiseks.

keha ristlõike keskpunktini. Takistuste võrdlemisel tuleb ainult hoolitseda, et kogu katseseeria kestel õlgade pikkus ei muutuks.

Takistusi võrdleme järgmiste võrdsete frontiõigetega kehade puhul, kus nooled näitavad tuule suunda (joon. 38).

Takistuste võrdlemisel võtame ühikuks ketta takistuse ja arvutame selles ühikus teiste kehade takistused. Tulemused paigutame tabelisse, nagu see on näidatud tabelis 1.

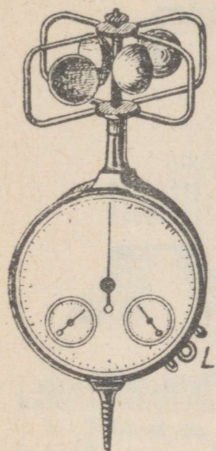


Joon. 10. Uuritavad kehad.

Järgmisena määrame takistuse olenevuse tuule kiirusest. Selleks muudame tuulekanaliga tekitatava tuule kiirust ja määrame ühe keha (näiteks ketta) takistuse erinevatel kiirustel. Saadud andmed

kanname tabelisse 2 ja arvutamiseks veendume seose  $R = K \cdot v^2$  kehtivuses, kus konstant  $K = C \rho S$ .

Tuule kiirust mõõdame anemomeetriga või Prandtli toruga.



Joon. 11.  
Anemomeeter.

c) Anemomeetri peaosa moodustavad poolkerakujulised varda otsa kinnitatud kopad, mida nimetatakse tuulikuks. Tuulikuga on ühendatav ja eraldatav vastava lülja  $L$  abil tiirudelugeja (Joon. 11.). Et õõnsa poolkera takistus on umbes 4 korda suurem sama suure kumera poolkera takistusest, siis õhuvoolu asetatuna hakkavad kopad tiirlema. Tiirlemise kiirus on tuule kiirusest.

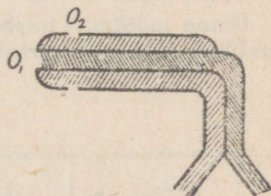
Tuule kiiruse määramiseks asetame anemomeetri mõõdetavasse õhuvoolu, ilma et ühendaksime tiirudelugejat tuulikuga. Korraga sekundomeetrit käivitades ja tiirudelugejat tuulikuga ühendades laseme anemomeetrit pöörelda umbes 100 sek., mille järel paneme sekundomeetri seisma ühel ajal tiirudelugeja eraldamisega tuulikust. Tiirudelugejalt loeme vaatlusvahemikus tehtud tiirude arvu ja jagame selle sekundomeetrit loetud vaatlusvahemiku pikkusega sekundeis. Nii viisi leiame tuuliku tiirlemiskiiruse ja anemomeetriga kaasas ole-

vast tabelist otsime, tarbe korral interpoolides, tiirlemiskiirusele vastava tuule kiiruse m/sek.

d) Prandtli toru koosneb kahest koaksiaalsest silindrilisest torust, millest ühel on avaus otsas ja teisel külgedel (Joon. 12.). Torude teised otsad on ühendatud manomeetriga, mis mõõdab torudes valitsevat rõhuvahet.

Asetades toru lahtise otsaga vastu õhuvoolu, näitab manomeeter kogurõhu  $p_0$  ja staatilise rõhu  $p$  vahet  $p_0 - p$ . Esimene neist valitseb avausel  $O_1$  ja teine avausel  $O_2$ .

Rõhkude vahe  $p_0 - p$  näitab dünaamilise rõhu suurust ja Bernoulli seaduse põhjal

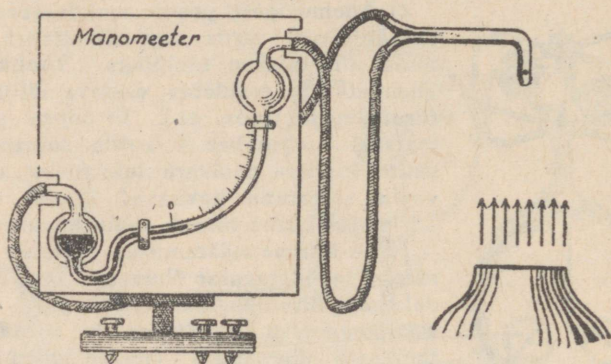


Joon. 12. Prandtli toru läbilõige.

$$p_0 - p = \frac{1}{2} \rho v^2, \quad (2)$$

kus  $\rho$  tähendab õhu tihedust ja  $v$  kiirust. Seega

$$v^2 = \frac{2(p_0 - p)}{\rho}. \quad (3)$$



Joon. 19. Tuule kiiruse mõõtmine Prandfli toru ja manomeetriga.

Mõõtmiseks asetame Prandfli toru õhuvoolu keskele uuritava keha asemele paralleelselt õhuvooluga lahtise otsaga vastu voolu. Manomeetrit loeme rõhuvahe ning arvutame valemil (3) põhjal kiiruse  $v$ .

Manomeetri jaotised näitavad kas vastavat rõhku või juba vahetult tuule kiirust.

(Enne mõõtmist tuleb manomeeter loodi seada ja vedeliku nivoo nullkriipsule reguleerida.)

Tabel 1.

Keha		)	(	○	◐	◑	◒
Takistustung							
Suhteline takistus	1						

Tabel 2.

Vaatluse nr.	1	2	3	4	5
Tuule kiirus $v$					
$v^2$					
Takistustung					
$K$					

## 4. Täiendavaid küsimusi.

1. Miks kasutatakse antud katse juures joonisel 13 antud konstruktsiooniga manomeetrit?
2. Millest on tingitud lennukipommi ja kahurikuuli erinevad kujud?
3. Miks on voolujooneliste sõidukite (auto) tagaosa katete paigutus tähtsam esiosa katete paigutusest?
4. Milline on vihmapiiskade langemise kiirendus?
5. Miks püsivad udupiisad kaua õhus?

## SISUKORD.

1. Vesilood. Vesiloe kaliibrimine ja tund-  
likkuse määramine 3
2. Nurkade mõõtmine teodoliidi abil 10
3. Kehade keskkonnatakistuse määramine  
liikumisel õhus 15

Hind 4 kop.

A-23672

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00365870 7