

# FÜÜSIKA I

## LABORATOORSED TÖÖD

### I poolaasta

OHUTUSNÕUDED PRAKTILISTE TÖÖDE TEOSTAMISEL FÜÜSIKA LABORATOORIUMIS .....	2
1. KORRAPÄRASE KUJUGA KATSEKEHA TIHEDUSE MÄÄRAMINE .....	3
2. MEHAANILINE ENERGIA .....	5
3. RASKUSKIIRENDUS .....	7
4. HELI KIIRUS .....	9
5. SILINDRI INERTSMOMENT .....	12
6. VEE AURUSTUMISSOOJUSE MÄÄRAMINE EKSTRAPOLEERIMISMEETODIL .....	15



# **OHUTUSNÕUDED PRAKTILISTE TÖÖDE TEOSTAMISEL FÜÜSIKA LABORATOORIUMIS**

(Ärakiri<sup>1</sup> TTK rektori 15.05.2006 kinnitatud käskkirjast nr 50-P)

Töödega võib alustada alles peale juhendamist käesoleva juhendi alusel ja tutvumist teatava töö juhendmaterjaliga.

## **Üldnõuded**

1. Laboratooriumi ruumis on lubatud teha ainult õppeplaaniilisi töid. Muude tööde tegemine on keelatud.
2. Laboratoorse töö vahendeid mitte enne kasutada, kui on põhjalikult tutvunud tööjuhendiga
3. Iga üliõpilane vastutab tema poolt kasutatava laboriseadme ja mõõtevahendi eest
4. Mõõtevahendeid kasutada ainult selleks ettenähtud otstarbeks.
5. Elektriseadmeid ja skeeme võib pingestada ainult juhendava õppejõu loal.

## **Nõuded laboratoorsete tööde teostamiseks**

1. Laboratoorsete tööde läbiviimiseks lülitab toitepinge töökohal sisse juhendav õppejõud.
2. Enne mõõteriistade kasutamist teha kindlaks ja valida vastavalt sobivad mõõtepiirkonnad.
3. Klaasist mõõteriistu ja nõusid kasutada ettevaatlikult.
4. Voolu juhuslikul katkemisel tuleb kõik seadmed ja aparaadid kohe välja lülitada.
5. Töö lõpul lülitada välja toitepinge ja korrastada töökoht.
6. Elektriseadmete süttimisel tuleb elektrivool välja lülitada ja vajaduse korral kasutada pulberkustutit, veega ei tohi kustutada vee elektrijuhtivuse tõttu.
7. Õnnetusjuhtumi korral tuleb katkestada töö ja teatada sellest juhendajale, kes organiseerib esmaabi andmise ja olukorra hindamisel vajaduse korral kutsub välja kiirabi, helistades hädaabi numbril 112.

---

<sup>1</sup> Märkus: Antud dokumendiga tutvumist on kinnitanud üliõpilased TTK „Töötervishoiu- ja tööohutusalase juhendamise registreerimise kaardil“ oma allkirjaga esimeses laboritunnis.

# 1. KORRAPÄRASE KUJUGA KATSEKEHA TIHEDUSE MÄÄRAMINE

## **Tööülesanne**

Tutvumine tehniliste kaaludega või elektroonilise kaaluga. Katsekeha mõõtmete mõõtmine nihiku abil. Katsekeha ruumala ja tiheduse arvutamine.

## **Töövahendid**

Tehnilised kaalud või elektrooniline kaal, nihik, mõõdetavad esemed.

## **Töö teoreetilised alused**

### Mõõtmine nihikuga

Nihik on seade mis võimaldab mõõta pikkust, läbimõõtu ning sügavust. Mõõteharud võimaldavad mõõta ka siseläbimõõtu. Aukude sügavuse mõõtmiseks on liikuv haru varustatud ka vardaga. Mõõtmiseks asetatakse katsekeha, vastavalt soovitud mõõdule, mõõtotsikute vahele. Otsikud lükatakse tihedalt vastu katsekeha ning loetakse näit.

- Digitaalsete nihikute puhul saab näidu lugeda otse ekraanilt.
- Nooniusega varustatud nihikuga mõõtmisel määratakse kõigepealt põhiskaalalt number (mm-tes), milleks on viimane kriips põhiskaalal, mille on ületanud noonius 0-kriips. Seejärel leitakse, mitmes noonius kriips ühtib täpselt mõne põhiskaala kriipsuga. See arv korrutatakse noonius (nihiku) täpsusega ja liidetakse juurde põhiskaalalt saadud numbrile. See ongi lõplik lugem ehk mõõt. Nihiku noonius täpsus on tavaliselt 0,1 mm või 0,05 mm.

### Tutvumine tehniliste kaaludega

Tehnilised kaalud on määratud hinnaliste materjalide või analüüsiks määratud materjalide kaalumiseks. Oma konstruktsioonilt on nad võrdõlgised kangkaalud. Kaalumisel tuleb silmaspidada, et koormisi võime lisada või ära võtta vaid arreteeritud kaaludel. Arreteerimine toimub kaalude keskel asuvast vastavast krüvist. Võime ka kasutada elektromehaanilisi või elektroonseid kaalusid, mille täpsused on kõrged.

Katsekeha tiheduse saame arvutada kasutades valemit

$$D = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

kus  $D$  – katsekeha materjali tihedus ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  
 $m$  – katsekeha mass (kg)  
 $V$  – katsekeha ruumala ( $\text{m}^3$ )

Torukujulise katsekeha ruumala arvutame kui välisdiameetriga silindri ja sisediameetriga tühimikusilindri ruumalade vahe.

## **Töö käik**

Kõik mõõtmiste käigus saadud tulemused kanname tabelisse 1.

1. Teeme uuritavate katsekehade eskiisjoonised koos mõõdetavate suuruste tähistega (a, b, c) tabelis 1 tulpa 1. Laboritöö aruande jaoks võib ka teha katsekehade fotod, kuhu peale saab vormistamise käigus vajalikud suurused märkida.

2. Mõõdame kehade metalliosa ruumala arvutamiseks vajalikud mõõtmed.
3. Kaalume uuritavad katsekehad tehnilistel kaaludel või elektroonsel kaalul.
4. Arvutame katsekeha tiheduse eeltoodud valemi järgi.
5. Võrdleme leitud tihedused antud katsekeha materjalile kirjanduses toodutega.

ALUMIINIUM -  $2,7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

MESSING -  $8,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

VASK -  $8,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

TERAS -  $7,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

**Tabel 1. Korrapärase kujuga katsekeha ruumala määramine**

Nr	Katsekeha joonis/foto	$a$ , mm	$b$ , mm	$c$ , mm	$V$ , mm <sup>3</sup>	$m$ , g	$D$ , kg/m <sup>3</sup>
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							

## 2. MEHAANILINE ENERGIA

### Töö eesmärk

Määrata eri massidega kehade potentsiaalsed ja kineetilised energiad. Tutvuda energia salvestamise ja muutumise seadused.

### Töövahendid

Mehaanilise energia uurimise stand, statsionaarsed fotoväravad, mõõtelint, labori kaal, mõõtevahend aja ja kiiruse mõõtmiseks (Pasco .....

### Töö teoreetilised alused.

Kehade potentsiaalse energia  $E_p$  avaldis on

$$E_p = mgh, \quad (2)$$

kus:  $m$  – keha mass (kg)  
 $g$  – raskuskiirendus ( $m/s^2$ )  
 $h$  – keha kõrgus aluspinnast (m).

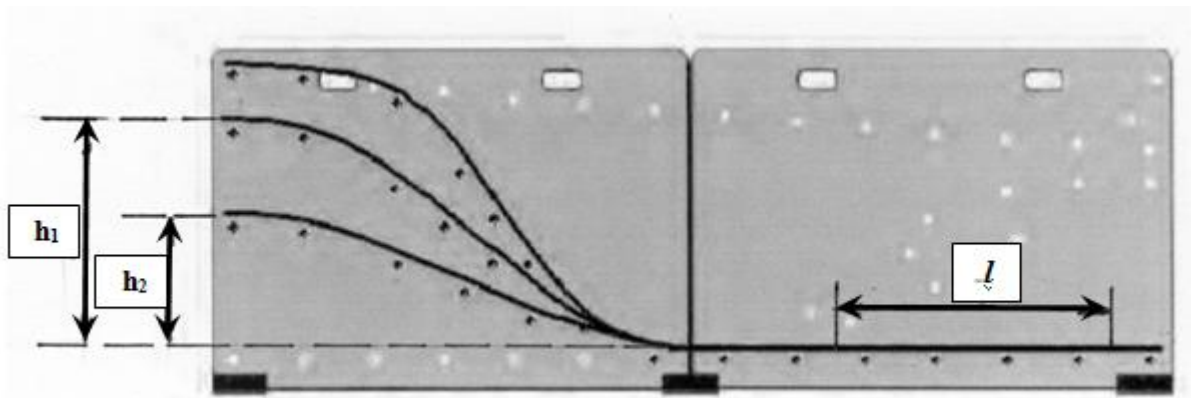
Sirgjooneliselt liikuva keha kineetilise energia  $E_k$  avaldis

$$E_k = \frac{mv^2}{2}, \quad (3)$$

kus:  $m$  – keha mass (kg)  
 $v$  – keha kiirus (m/s)

Mehaanilise energia jäävuse seadus katseseadme liikumissüsteemi kasutamisel miniautode juures (hõõrdejõu võime lugeda nulliks).

$$\Delta E_{meh} = \Delta E_p + \Delta E_k = 0, \quad (4)$$



Joonis 1. Mehaanilise energia uurimise stendi seadistused erinevatel mõõtmistel ning mõõdetavad suurused.

### Töö käik

Tulemused kanda tabelisse 2 ja 3.

1. Kaalume erivärvi miniautod, et leida massid ( $m$ ).

2. Mõõdame miniautode stardikõrgused horisontaaltasapinnast ( $h$ ) – vt Joonis 1.
3. Arvutame potentsiaalenergiad ( $E_p$ ) valemist (2).
4. Mõõdame väravate vahemaa horisontaalosal ( $l$ ) – vt Joonis 1.
5. Laseme miniautod stardikohast liikuma ja mõõdame horisontaalosas väravate vahe läbimiseks kulunud aega ( $t$ ).
6. Arvutame igale miniautole kiiruse horisontaalosas liikumisel ( $v_l$ ).
7. Mõõdame seadme abil nende kiirusi ( $v_2$ ) horisontaalosas ja võrdleme p.6 arvatud tulemustega.
8. Leiame miniautode kineetilised energiad  $E_k$  (1) ja  $E_k$  (2) mõlemate kiiruste järgi valemi (3) abil.
9. Kontrollime, kas energia jäävuse seadus kehtib.

**Tabel 2. Katsetulemused stardikõrgusel  $h_1$**

Katsekeha	$m$ , kg	$h_l$ , m	$l$ , m	$t$ , s	$v_l$ , m/s	$v_2$ , m/s	$E_p$ , J	$E_k$ (1), J	$E_k$ (2), J
Miniauto (kollane)									
Miniauto (roheline)									
Miniauto (punane)									

**Tabel 3. Katsetulemused stardikõrgusel  $h_2$**

Katsekeha	$m$ , kg	$h_l$ , m	$l$ , m	$t$ , s	$v_l$ , m/s	$v_2$ , m/s	$E_p$ , J	$E_k$ (1), J	$E_k$ (2), J
Miniauto (kollane)									
Miniauto (roheline)									
Miniauto (punane)									

### Järeldused

Järeldustes vastate küsimustele:

- kas energia jäävuse seadus kehtis?
- kas kiirus horisontaalosas sõltus massist?
- kas kiirus horisontaalosas sõltus kõrgusest?

### 3. RASKUSKIIRENDUS

#### Tööülesanne

Maa raskuskiirenduse määramine.

#### Töövahendid

Pendlid, sekundimõõtja, mõõtelint, fotovärvaga ühendatud taimer

#### Töö teoreetilised alused

Tahket keha, mis on kinnitatud raskuskeskmest kõrgemal asuvast punktist ja võib raskusjõu mõjul vabalt võnkuda seda punkti läbiva telje ümber nimetatakse füüsikaliseks pendliks.

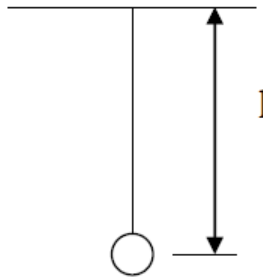
Idealiseeritud süsteemi, kus masspunkt võngub lõpmatult peene venimatu ja kaaluta niidi otsas, nimetatakse matemaatiliseks pendliks.

Matemaatilise pendli võnkeperiood  $T$ , mille jooksul antud pendel sooritab ühe täisvõnke, avaldub järgmiselt:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (5)$$

kus  $l$  – pendli pikkus (m),  
 $g$  – raskuskiirendus ( $\text{m/s}^2$ ).

Valem kehtib ainult väikeste võnkeamplituudide korral, kui võnkumist võib lugeda harmooniliseks. Matemaatilise pendlina kasutame antud töös peenikese ja kerge niidi otsa kinnitatud kuulikest (joonis 2).



Joonis 2. Matemaatiline pendel

#### Töökäik

Raskuskiirenduse määramine matemaatilise pendli abil.

1. Mõõtkte pendli õla pikkus.
2. Edasistel mõõtmistel vajalike täisvõngete arvu annab õppejõud ( $n = \dots$ ). Pange pendel võnkuma väikese amplituudiga. Veenduge, et pendel võngub ilma keerdvõnkumisteta. Määrake etteantud  $n$  täisvõngete kestvuse aeg  $t$ .
3. Mõõtmised teostage viie erineva pendliga.

4. Kuuenda pendli pikkuse mõõtmise järel mõõtke periood otse vastava seadme abil.
5. Avaldage matemaatilise pendli perioodi  $T$  avaldisest ( 5 )  $g$  arvutamiseks valem ja arvutage tabelis olevate andmetega kõik  $g$  väärtused välja.
6. Arvutage  $\bar{g}$  väärtus ja keskmine absoluutne viga  $\Delta k$ .
7. Tulemused kandke tabelisse 4.

**Tabel 4. Raskuskiirenduse määramine matemaatilise pendli abil**

Katse nr.	$l, \text{ m}$	$n$	$t, \text{ s}$	$T, \text{ s}$	$T^2, \text{ s}^2$	$g_k, \text{ m/s}^2$	$\Delta k =  \bar{g} - g_k , \text{ m/s}^2$
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
k – katse number						$\bar{g} =$	$\overline{\Delta k} =$

**Järeldus**

Hinnake saadud tulemuste kvaliteeti ja süstemaatilist viga.



## 4. HELI KIIRUS

### Töö ülesanne

Heli lainepikkuse ja kiiruse määramine õhus.

### Töö vahendid

Heligeneraator, valjuhääldi, mikrofon, ostsiloskoop.

### Töö teoreetilised alused.

Lainete levimisel keskkonnas levimise kiirus võrdub:

$$v = \lambda \cdot f, \quad (6)$$

kus  $v$  – on lainete levimise kiirus (m/s),  
 $\lambda$  – lainepikkus (m),  
 $f$  – sagedus (Hz).

Teooria annab heli kiiruse jaoks gaasilises keskkonnas valemi

$$v = \sqrt{\frac{\chi RT}{\mu}}, \quad (7)$$

seejuures

$$\chi = \frac{c_p}{c_v}, \quad (8)$$

kus  $\chi$  – gaasi isobaarilise ja isokoorilise moolsoojuste suhe,  
 $R$  – universaalne gaasikonstant ( $R = 8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ ),  
 $T$  – absoluutne temperatuur (K),  
 $\mu$  – moolmass (õhu jaoks  $\mu = 29 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$ ).

Seega kui heli kiirus antud gaasis on määratud, võib  $\chi$  arvutada valemi järgi

$$\chi = \frac{\mu v^2}{RT}. \quad (9)$$

Leidnud heli kiiruse  $v$  temperatuuril  $t$ , saab arvutada heli kiiruse mingil teisel temperatuuril, näiteks  $0^\circ \text{C}$  juures.

Kiiruste ruutude suhe võrdub temperatuuride suhtega ning kasutades lähendusmeetodit võib kirjutada

$$v_0 = \frac{v}{1 + 0,002t_k}, \quad (10)$$

kus  $t_k$  on gaasi temperatuur  $^\circ\text{C}$ .

### Faasinihke meetod hääle lainepikkuse määramiseks

Heligeneraatori (Function generator) väljundklemmidelt saadav helisageduslik siinussignaali muundatakse valjuhääldi abil helivõnkumisteks.

Kaugusel  $l$  (vt joonist 3) valjuhääldist asub kolvi ots, millest peegeldub tagasi helisageduslik siinussignaali ja selle võtab vastu toru otsas asetsev mikrofon. Mikrofon muudab heli võnkumised uuesti elektrilisteks võnkumisteks. Need elektrilised võnkumised antakse edasi ostsilloskoobi Y sisendile. Ostsilloskoobi X sisend on ühendatud heligeneraatori väljundiga. Y-teljele antav pinge sunnib elektroni kiirte võnkuma vertikaalsihis. X-teljele rakendatud pinge – horisontaalsihis.

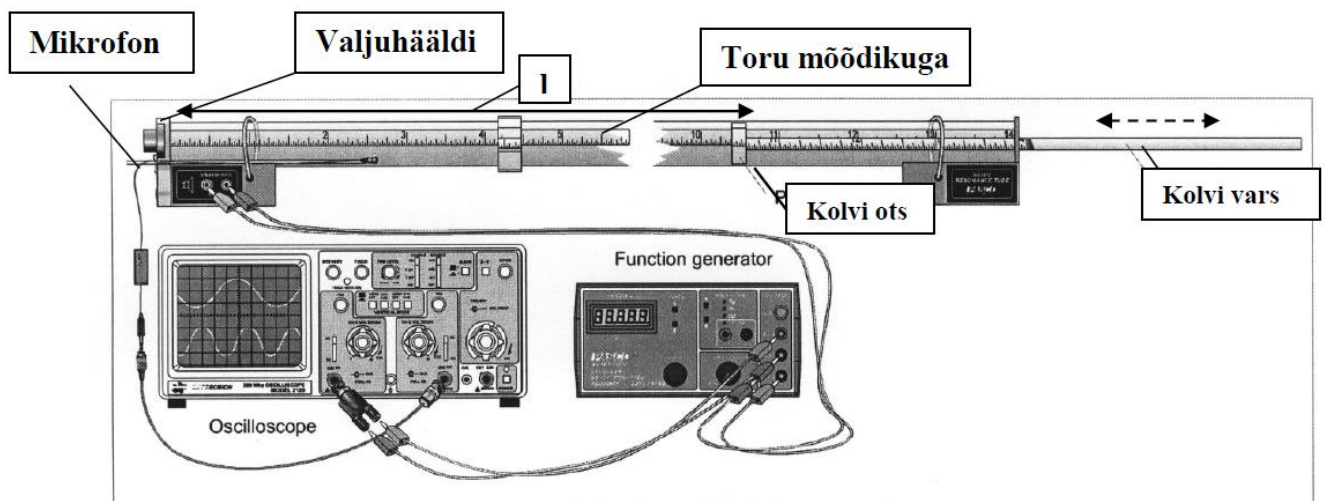
Seega liigub kiir ekraanil mööda trajektoori, mis vastab sama sagedusega ristsihiliste võnkumiste liitumisele.

- Kuna kiir juhivad korraga mõlemale teljele rakendatud siinuselisel muutuvad pinged, siis saadakse vastavalt võnkumiste teooriale kiire trajektoori võrrandiks ellipsi võrrand.
- Kui aga kahe risti oleva siinuse kujulise signaali liitmine toimub punktis, kus siinus läbib nulli, siis näeme ostsilloskoobi ekraanil vertikaalset sirgjoont.

Siit tuleb ka meie poolt kasutatav meetod lainepikkuse määramiseks. Selleks nihutatakse kolvi ja fikseeritakse kolvi otsa asukoha kordinaat toru mõõdukuga abil, kus näeme ostsilloskoobi ekraanil vertikaalset joont.

Jälgides ostsilloskoobi ekraani ja nihutades kolvi märgime allpool toodud tabelisse üksteisele järgnevad kolvi otsa kordinaadid hetkel mil ekraanile ilmub vertikaaljoon.

Teostatud nihke suurus võrdub poole lainepikkusega.



Joonis 3. Katseseadmete joonis

### Töö käik

Tulemused kandke tabelisse 5.

1. Juhendaja poolt lülitatakse sisse kõik seadmed.
2. Juhendaja poolt seatakse heligeneraator vastavale sagedusele  $f$ .
3. Leidke esimene kaugus  $l_0$  valjuhääldi ja kolvi otsa vahel nii, et ellips ostsilloskoobi ekraanil muutuks sirglõiguks. Märkige tulemus Tabelisse 5.
4. Nüüd leidke järgmine kaugus, kus ilmneb ellipsi asemel uus sirglõik. Antud kordinaat on samaaegselt nii esimese mõõtmise lõppkoordinaat  $l_n$ , kui ka teise mõõtmise alg-koordinaat  $l_0$ . Fikseerige andmed vastavalt.
5. Eelviidatud meetodil leidke kokku kuus järgmist kolvi otsa kordinaati ning märkige tulemused üles.

6. Mõõtkte ruumi temperatuur peale katsetsükli läbiviimist laual oleva termomeetri abil.  $t_k = \dots\dots\dots$  °C

7. Leidke valemiga (6) heli kiirus  $v$  (m/s):

8. Leidke valemiga (10) heli kiirus 0°C juures  $v_0$ :

9. Leidke valemiga (9) õhu moolsoojuste suhe  $\chi$ :

10. Leidke tegelikud  $v_0$  ja  $\chi$  väärtused käsiraamatust:

$v_0 = \dots\dots\dots$                        $\chi = \dots\dots\dots$

**Tabel 5. Faasinihke meetod hääle lainepikkuse määramiseks**

Katse nr.	$f$ , Hz	$l_0$ , cm	$l_n$ , cm	$\Delta l$ , cm	$\lambda$ , m
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
				$\bar{\Delta l} =$	

**Järeldused**

Võrrelge  $v_0$  ja  $\chi$  saadud väärtusi käsiraamatust toodud suurustega ja andke hinnang leitud heli kiiruse  $v$  arvulise suuruse täpsusele.

## 5. SILINDRI INERTSMOMENT

### Tööülesanne

Silindri inertsmomendi määramine kaldpinna abil.

### Töövahendid

Katseseade (kaldpind), silindrite komplekt, nihik, automaatne ajamõõtja.

### Töö teoreetilised alused

Antud töös mõõdetakse erinevate silindrite kaldpinnalt allaveeremise aeg ja arvutatakse nende inertsimomendid.

Veereva silindri kineetiline energia avaldub valemiga

$$W_k = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}, \quad (11)$$

kus  $m$  – silindri mass (kg),  
 $v$  – masskeskme kulgeva liikumise kiirus (m/s),  
 $I$  – inertsimoment ( $\text{kgm}^2$ ),  
 $\omega$  – nurkkiirus tsentrit läbiva telje suhtes (rad/s).

Lugedes hõrdejõudude töö tühiseks, võib võtta kineetilise energia ja potentsiaalse energia muutused võrdseks:

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}, \quad (12)$$

kus  $h$  – kaldpinna kõrgus (m)

Kui veeremisel puudub libisemine, siis võib nurkkiiruse avaldada joonkiiruse kaudu:

$$\omega = \frac{v}{r}, \quad (13)$$

kus  $r$  – silindri raadius (m).

Avaldame valemis (2) antud nurkkiiruse joonkiiruse kaudu:

$$gh = \frac{v^2}{2} \left( \frac{I}{mr^2} + 1 \right), \quad (14)$$

Veereva keha masskese liigub kaldpinnalt alla ühtlaselt kiirenevalt ja sirgjooneliselt. Tema kiirendus  $a$  ja lõppkiirus  $v$  avalduvad järgmiselt:

$$a = 2l / t^2 \quad (15)$$

$$v = at = 2l / t \quad (16)$$

kus  $l$  – kaldpinna pikkus (m)

$t$  – allaveeremise aeg (s).

Kaldpinna kõrguse saab leida pikkuse  $l$  ja kaldenurga  $\alpha$  järgi:

$$h = l \sin \alpha, \quad (17)$$

Asendades valemis (3) kiiruse avaldisega (4), saadakse pärast teisendusi inertsmomenti  $I$  jaoks valem :

$$I = mr^2 \left( \frac{gt^2 \sin \alpha}{2l} - 1 \right) \quad (18)$$

Suurused  $m$ ,  $r$ ,  $l$  ja  $t$  mõõdetakse katse käigus.  $\sin \alpha$  antakse ette õppejõu poolt.

Silindri teoreetilise inertsmomenti valem:

$$I_t = \frac{mr^2}{2} \quad (19)$$

### Töö käik

Tulemused esitada tabelis 6.

1. Mõõtke silindri mass  $m$  ja mõõtke tema läbimõõt  $d$ .
2. Mõõtke kaldpinna pikkus  $l$  vāravate vahel.
3. Arvutage silindri inertsmoment teoreetilise valemi (19) järgi.
4. Nullistage ajamõõtja.
5. Laske silinder vabalt veerema.
6. Kirjutage üles ajamõõtja näit. Korrake katset 3 korda.
7. Arvutage valemite (18) ja (19) järgi silindri inertsmoment. Võrdlemise lihtsustamiseks esitage tulemused tabelis kasutades sama suurusjärku ( $10^{-6}$ ). Võrrelge erinevatel meetoditel saadud tulemusi.
8. Korrake katset nelja erineva silindriga.
9. Katseandmed kandke tabelisse.

**Tabel 6. Silindri inertsmomendi eksperimendi mõõtetulemused**

Katse nr.	$l$ , m	$t$ , s	$m$ , kg	$d$ , m	$I$ , kgm <sup>2</sup>	$I_t$ , kgm <sup>2</sup>
1.						
		$\overline{\Delta t} =$				
2.						
		$\overline{\Delta t} =$				
3.						
		$\overline{\Delta t} =$				
4.						
		$\overline{\Delta t} =$				

**Järeldus**

Võrrelge  $I$  ja  $I_t$  tulemusi (leidke erinevuste protsent) ja andke iga katsekeha kohta hinnang empiirilise valemi abil saadud inertsmomendi  $I$  täpsuse kohta võrreldes  $I_t$  – ga.

Võtame erinevuse lubatud piiriks 10%.

## **6. VEE AURUSTUMISSOOJUSE MÄÄRAMINE** **EKSTRAPOLEERIMISMEETODIL**

### **Tööülesanne**

Määrata vee aurustumis(keemis)soojus.

### **Töövahendid.**

Keeduklaas, keeduspiraal, kaal, sekundimõõtja, ampermeeter, voltmeeter, pingeregulaator, anum vee juurdevalamiseks.

### **Töö teoreetilised alused ja töö käik.**

#### Vee soojenemis-ja keemisprotsess

- Kinnitame keeduspiraali käepidemest statiivi külge ja laseme seejärel keeduklaasis olevasse vette. Seejuures ei tohi spiraal puutuda klaasi põhja.
- Pingeregulaatori abil toidame spiraali esialgu 165 V pingega.
- Kuni vee keemise alguseni kulus soojus põhiliselt vee temperatuuri tõstmiseks. Vaatamata soojuse pidevale lisandumisele keemise kestel vee temperatuur ei muutu.

1 kg vedeliku täielikuks aurustamiseks kuluvat soojushulka dzaulides (J) nimetatakse selle vedeliku aurustumissoojuseks  $r$  teataval temperatuuril.

- Järgnevalt on meie ülesandeks määrata soojushulk  $r$ , mis on vajalik 1 kg vee täielikuks aurustamiseks keemistemperatuuril.

#### Vee aurustumissoojuse määramine keemistemperatuuril

Kui vesi keeb, siis kaalu ühe täisgrammi näidu juures ( $m_1$ ) käivitame sekundimõõtja ning seiskame ta uuesti, kui kaal näitab ( $m_1 - 10$ ) grammi. Seega saame teada aja 10 grammi vee aurustamiseks, et arvutada kulunud soojushulk.

Veele küttespiraali poolt antava soojushulga saame leida valemist

$$Q = IUt, \quad (20)$$

See soojushulk  $Q$  kulub vee keemisel  $m$  kg auru tekitamiseks ja soojuskadudele  $Q_2$ .

Soojusliku tasakaalu põhjal on kogu soojushulk seega

$$Q = Q_1 + Q_2 = mr + Q_2 \quad (21)$$

Seejuures  $Q_1 = mr$ .

Jagades  $Q$  aurustunud vee massiga  $m$ , leiame soojushulga  $r$ , mis kulutatakse 1 kg vee aurustamiseks (ja soojuskadudeks):

$$\frac{Q}{m} = r + \frac{Q_2}{m} = \frac{IUt}{m} \quad (22)$$

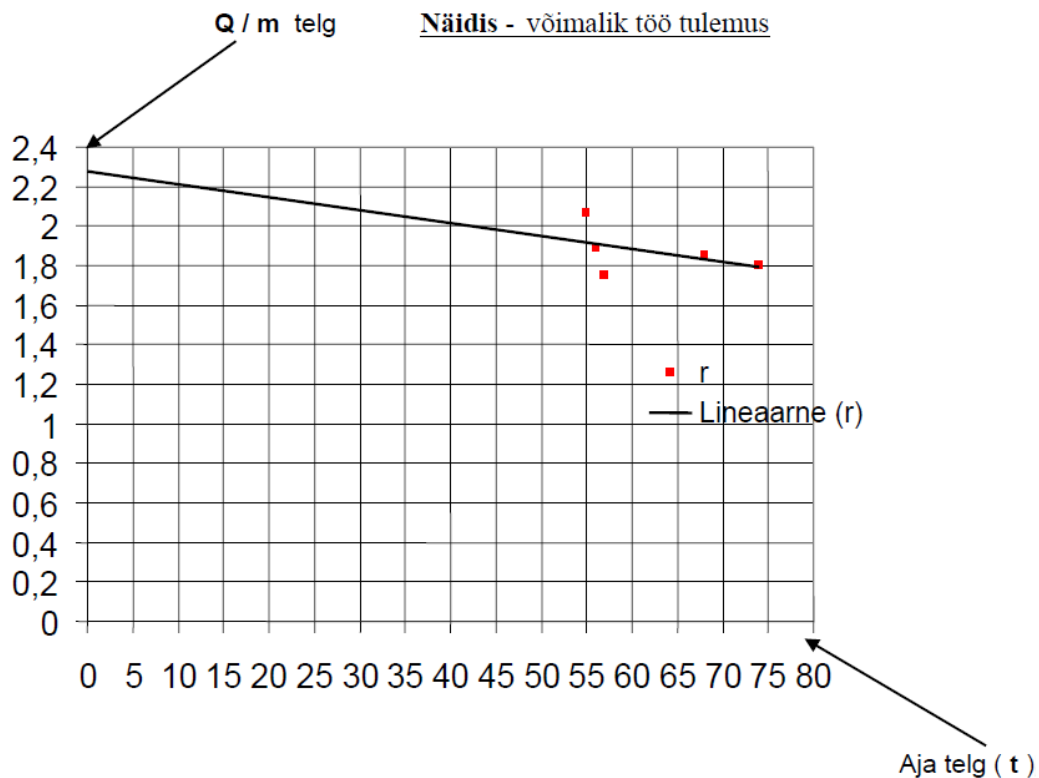
Saadud seose järgi võime leida  $r$ , kui  $Q_2/m$  oleks teada, sest voolutugevus  $I$ , pinge  $U$ , aeg  $t$  ja aurustunud vedelikuhulk  $m$  on mõõdetavad. Suuruse  $Q_2/m$  võime aga elimineerida ekstrapoleerimise teel. Selleks teeme vähemalt 5 mõõtmist, igauks erineva pingega.

Ekspirimendis kasutatavad pinged on esitatud tabelis 7 kuhu kantakse ka katsetulemused.

**Tabel 7. Vee aurustumissoojuse määramine keemistemperatuuril**

$U$ (V)	160	170	180	190	200
$I$ (A)					
$m$ (kg)					
$t$ (s)					
$Q/m$ (kJ/kg)					

Kasutades tabelis toodud andmeid Excelis teeme  $Q/m=f(t)$  graafiku (xy-teljestik), laseme arvutil funktsiooni lineaarselt ekstrapoleerida ning pikendame ekstrapoleerimissirget kuni  $Q/m$  teljeni. Loeme  $r$  väärtuse teljelt.



Joonis 4. Näidis ekstrapoleerimismetodist ja tulemustest

### Järeldus

Võrdleme saadud tulemust käsiraamatus toodud vee aurustumissoojusega keemistemperatuuril ja anname hinnangu töötulemuse täpsusele.