

Laboratoorne töö nr 1 Vaba langemise kiirenduse määramine

Töö eesmärk

1. Vaba langemise kiirenduse määramine fotovärava ja triipriba abil
2. Andmetöötluse regressioonanalüüsi meetodi tundmaõppimine *PASCO DataStudio* (DS) tarkvara abil.

Töövahendid

PASCO Science Workshop (SW) või *xPlorer GLX* intefeis, fotovärav statiiviga, triipriba. *xPlorer GLX* interfeisi kasutamisel on vajalik ka *PASCO Digital Adapter*.

Töö käik, teoreetiline osa

Kui objekt langeb vabalt, siis tema liikumine kiireneb tänu talle mõjuvale raskusjõule. Kui õhutakistus jätta arvestamata ning mõõta objekti kiirust järjestikku lühikeste ajavahemike järel, siis objekti kiiruste erinevusi saame kasutada vaba langemise kiirenduse määramiseks.

Matemaatiliselt on kiirus tuletis koordinaadist aja järgi ehk $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$. Kiirendus on

tuletis kiirusest aja järgi ehk $a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$. Sellist liikumist nimetatakse ühtlaselt kiirenevaks liikumiseks ning keha kiiruse muutumist liikumise jooksul kirjeldab siis valem:

$$v = v_0 + at, \quad (1.1)$$

Keha koordinaadi (antud juhul kõrguse) muutumist kirjeldab valem

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2, \quad (1.2)$$

kus v on keha liikumise kiirus ajahetkel t , v_0 on keha liikumise algkiirus (kiirus hetkel $t=0$), a on keha liikumise kiirendus; keha kukkumisel vaba langemise kiirendus $g=9,81 \text{ m/s}^2$. $h(=x)$ – on keha kõrgus (asukoht, koordinaat) hetkel t liikumise algpunktist x_0 .

Teostades mõõtmisi arvuti abil, jääb mõõtmiste vaheline ajavahemik Δt väga väikeseks, kuid siiski lõplikuks suuruseks. St, keha hetkkiirust määratakse seosega $v \approx \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1}$.

Kiirendust määratakse seosega $a \approx \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$. Kuivõrd ajavahemik, mille korral keha

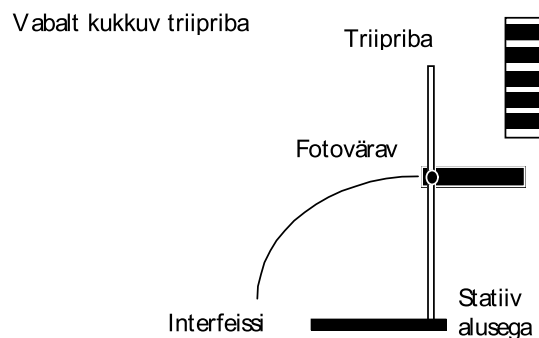
asukoha muutus määratakse on lõplik, tekib mõõtmisel viga. Kui kiirendust määratakse kiiruse muutumise järgi, siis vead kuhjuvad ning kiirenduse määramise viga on suurem. Seega jääb alati sisse mõõtmisviga, mida annab vähendada, kui mõõtmisi piisavalt palju korrata või mõõta keha asukohta väga väikeste ajavahemike järel (või väikeste asukoha muutuste järel). Selleks kasutame triipriba, 8 triibuga triipriba kukkumisel leitakse kiirus 7 korda, kiirenduse jaoks saadakse 6 väärtust – teeme korraka mitu mõõtmist. Kuivõrd iga kiiruse väärtus vastab erinevale ajahetkele, saab kiirenduse g leida vähimruutude meetodi abil – sobitame kiiruse sõltuvuse ajast sirgele ehk – leiame regressioonisirge – (võrdle: $v = v_0 + gt$, $y = b + mx$ - kiiruse sõltuvus ajast ning y sõltuvus x -st) ning leiame vastava sirge tõusu.

Teine meetod kiirenduse leidmiseks regressioonanalüüsi meetodi abil on lähtudes seosest (1.2) ning sobitades asukoha muutuse sõltuvuse ajast parabooliga ning leides andmeanalüüsi

kasutades parabooli võrrandis kordajad (võrdle $h = h_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$, $y = c + b x + a x^2$). Antud töös viiakse andmete kogumine, analüüs ning sirge või parabooli parameetrite leidmine läbi kasutades DataStudio andmetöötlusvõimalusi.

Töö käik, praktiline osa

1. Ühendage interfeisi digitaalpessa fotovärava pistik. Juhul, kui kasutate xPlorer-tüüpi interfeisse (sinist värvi), kasutage ühendamiseks digitaaladapterit. SW-tüüpi interfeissi (musta värvi) saab fotovärava pistiku ühendada ilma täiendava adapterita.
2. Avage arvutist *DataStudio* ning selle fail vaba_langemine.ds. Antud failis on fotovärav interfeisiga programselt ühendatud ning seadistatud eelnevalt, et toimub fotovärava kasutamine koos triipribaga, mille triipude vaheline vahemaa on 0,05m. Samuti on ära määratud, milliseid füüsikalisi suurusi saab mõõta.
3. Keerake fotovärav horisontaalasendisse (nagu näidatud joonisel 1.1), nii et te võite triipriba lasta fotovärava vahelt vertikaalselt alla läbi kukkuda. Et triipriba saaks kukkuda terves pikkuses fotovärava vahelt läbi, võib fotovärava asetada laua servale nii, et triipriba saaks kukkuda põrandale. Vaadake, et triipriba ei kukuks vastu sensorit!



Joonis 1.1. Fotovärava asetus vaba langemise kiirenduse määramiseks.

4. Enne kui alustate andmete salvestamisega hilisemaks analüüsiks, peaksite te eksperimenteerima fotovärava ja triipribaga. Andmete salvestamiseks vajutage Start-nuppu. Andmete salvestamine lõpeb, kui vajutada Stop-nuppu. Proovige mõned korrad enne põhilise katse sooritamist teha mõõtmisi – kas kiirus näidikul muutub, kas ilmuvad andmed graafikule (position=kõrgus, velocity=kiirus) ning tabelisse (acceleration=kiirendus). Kustutage need andmed enne mõõtmiste sooritamist.
5. Katse läbiviimiseks toimige järgmiselt. Hoidke triipriba nii, et selle alumine serv oleks just fotovärava kiire kohal. Vajutage Start-nuppu ning laske triipriba fotovärava vahelt läbi kukkuda. Korrake mõõtmisi vähemalt 2 korda, soovitatav isegi 4-5korda.

Andmete analüüs

1. Aktiveerige graafikuaken. Selleks, et andmed sobituksid üle graafikuakna, tuleks valida akna tegumiribalt vasakpoolseim ikoon ning vajutada seda. Nii näete graafikul suuremalt kogutud andmeid kui ka neile sobitatud vastavat kõverat (või sirget).
2. Uurige graafikut kiirus-aeg. Määrake nende andmetega kõige paremini sobiva sirge (lineaarse funktsiooni graafiku) tõus. (tõusunurga tangens). Selleks valige Fit-ikoon ning

selle alt *Linear Fit* (kui see pole juba valitud). Määrake tõus (*slope*) ning kandke andmetabelisse 1.1. Järgnevalt katsete kordamisel, tuleb analüüsi tegemisel valida *Data*-ikooni alt vaid vastav katseseeria (kas Run #1, Run #2 vms – ainult selle ees peab siis linnuke olema).

3. Analoogiliselt ülaltooduga valige graafikul positsioon-aeg välja *Fit* ja sealt *Quadratic Fit*, mis vastab seosele $y = Ax^2 + Bx + C$ (võrrelge valemiga (1.2)). Leidke saadud tulemuste põhjal vaba langemise kiirendus g ning kandke tabelisse 1.2.
4. Kolmas võimalus vaba langemise kiirenduse määramiseks antud katses on Kiirenduse (*acceleration*) tabelist – valides selle alt 'Mean'. Standardhälve (*Standard Deviation*) iseloomustab iga katseseeria puhul andmete hajumist.

Andmetabelid

Tabel 1.1. Vaba langemise kiirendus kiirus-aeg graafiku järgi.

1	2	3	4	5	6	Keskmine	Mõõtmis-määramatus

Tabel 1.2. Vaba langemise kiirendus positsioon-aeg graafiku järgi.

1	2	3	4	5	6	Keskmine	Mõõtmis-määramatus

Tabel 1.3. Vaba langemise kiirendus tabeli põhjal.

1	2	3	4	5	6	Keskmine	Mõõtmis-määramatus

Küsimused ja analüüs

1. Kui palju erineb teie poolt erinevate analüüsimeetoditega saadud kiirenduse väärtus aktsepteeritud kiirenduse väärtusest ($g_{akt} = 9,81 \text{ m/s}^2$)?

- Meeldetuletuseks: suhteline erinevus: $R_g = \left| \frac{g_{akts} - g_{mõõd}}{g_{akts}} \right| * 100\%$

2. Leidke mõõteseriade keskmiste tulemuste mõõtemääramatused vastavalt seosele

$$\Delta x = t_{n\beta} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n(n-1)}}$$

, kus $\bar{x}$ on mõõdetava suuruse aritmeetiline keskmine, x_i on konkreetne mõõtetulemus (1., 2. jne), n on mõõtmiste koguarv. $t_{n,\beta}$ on Studenti tegur. 95%

usaldusväarsuse ning 6 mõõtmise korral on $t_{6,95\%} = 2,57$. Hinnake, kas aktsepteeritud tulemus jääb erinevate meetodite korral veapiiridesse: $g_{akts} \in [\bar{g} - \Delta g, \bar{g} + \Delta g]$.

3. Millised faktorid võisid mõjutada teie poolt saadud andmete erinevust aktsepteeritud tulemustest? Millest võib olla tingitus erinevate katsete korral saadud tulemuste erinevus? Millest võib olla tingitud tabeli ja graafiku abil saadud tulemuste erinevus?