

HÁSKÓLINN Í REYKJAVÍK



Línuleg Hreyfing (Linear Motion LIM)

Eðlisfræði 1

Vinnuseðill fyrir verklega æfingu

Útgáfa 210822

Kennari

Andrei Manolescu

Sigurður I. Erlingsson

21. ágúst 2022

1 Tilgangur tilraunar

Í þessari tilraun skoðum við áhrif núningskrafta á hreyfingu hluta á skábretti. Ef halli skábrettis er lítill þá hreyfist hluturinn ekki. Við þessar aðstæður eru kraftarnir sem verka á hlutinn í jafnvægi. Ef hallinn er aukinn þá rennur hluturinn af stað. Eðli og eiginleikar krafta eru t.d. ræddir í köflum 4 og 5 í Young og Freedman. **Fyrir verklegu æfinguna eiga nemendur að lesi yfir Sýnidæmi 5.17 til að kynnst grunnhugtökum tilrauninnar**. Þeir kraftar sem við höfum mestan áhuga á eru (i) stöðunúningskraftur (*e. static friction force*) og (ii) veltinúningskraftur (*e. rolling friction force*) og áhrif þeirra á hreyfingu hluta. Í tilrauninni munum við sjá hvernig greining á hreyfingu hlutar þ.e.a.s. hraða hans, veitir okkur í innsýn í samspil ólíkra krafta sem verka á hlut á skáplani.

2 Búnaður

Til að framkvæma tilraunina þarf: **málmbraut, kassa og vagn, málband og hreyfiskynjara**. Hreyfiskynjarinn notar úthljóð (*e. ultrasound*), stundum kallað sónar. Sónarinn mælir hraða og staðsetningu hlutar á hreyfingu og eru gögnin send í tölvu og sýnd í **LoggerPro** hugbúnaði frá Vernier: www.vernier.com. Hugbúnaðinn er einnig hægt að setja upp frá <http://nano.ru.is/site/lab/>

3 Framkvæmd

Tilrauninni er skipt í tvo hluta þar sem við vinnum með: (i) stöðunúningsstuðul milli kassa og skábrautar, og (ii) veltinúningsstuðul fyrir vagn sem rennur niður skábraut.

3.1 Hluti (i): Stöðunúningsstuðull

1. Setjið kassann ofan á brautina, við annan endann, og hallið brautinni þangað til að kassinn rennur af stað. Mælið hæðina sem endi brettis var við þegar hlutur fór að hreyfast, **endurtakið 10 sinnum** og skráið niður mælingarnar. Út frá mældri hæð á enda brautar og lengd hennar er hægt að finna hornið θ sem skábrettið myndar við lárétta planið.

3.2 Hluti (ii): Veltinúningsstuðull

1. Skiptið kassanum út fyrir vagninn. Tengid hreyfiskynjara við tölvu og opnið **LoggerPro**. Þið eigið að sjá gröf af staðsetningu og hraða sem fall af tíma. Efst á skjánum þá ýtið þið á **Experiment - Data Collection**. Veljið **Sampling rate** 50 mælingar á sekúndu [Hz] og veljið **Continuous Data Collection** (annars stoppar mælingin eftir 5 sekúndur.)
2. Stillið vandlega upp sönarnum á brautinni þannig að hann mæli bakhlið vagnsins. Stundum þarf að stilla á **Wide beam** eða **Narrow beam**, sem er gert með rofa.
3. Ýtið á **Collect** og sleppið vagninum varlega niður halann. Haldið við hinn endann á brautinni svo hún hreyfist ekki þegar vagninn lendir á fyrirstöðunni. Eftir að vagninn stoppar ýtið þá á **Stop**. Vistið gögnin (t, v_x) í

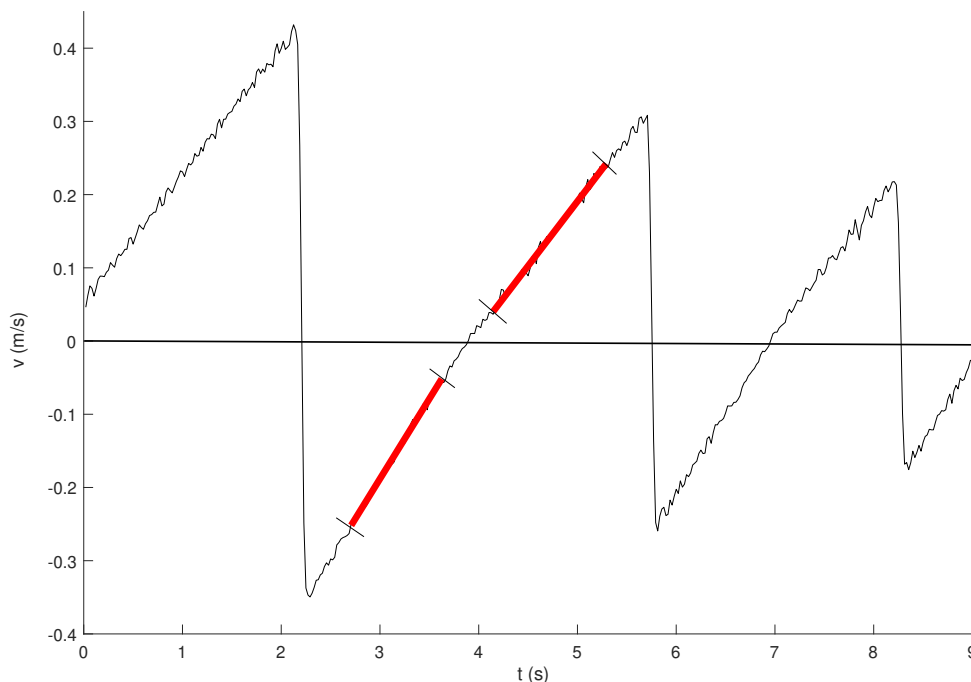
gagnaskrá sem þið notið síðar í gagnaúrvinnslu í **MatLab**.

4. Fyrir hvert horn þá framkvæmið þið þrjár mælingar (sleppið vagninum þrisvar sinnum) og vistið gögnin (t, v_x) í hvert skipti. Þetta er ein *mælisyrpa*.
5. Breytið horninu og framkvæmið aðra *mælisyrpu* og munið að vista gögnin.
6. Setjið einnig lóð á vagninn og framkvæmið aðra *mælisyrpu* (ekki nota of þung lóð því þá verða árekstrar of harkalegir).

4 Gagnagreining

4.1 Stöðunúningsstuðull

Út frá 10 mælingu á halla brautar setjið þið fram gildi á stöðunúningsstuðli með óvissu. Notast skal við hornaföll og mælingar á hæð brettis og lengd þess til að finna undir hvaða horni hluturinn fór að renna af stað. Út frá þeim gildum má finna stöðunúningsstuðulinn, meðaltal og óvissu, eins og kemur fram í "Kveri um meðferð mæligagna".



Mynd 1: Hraði vagnsins eftir skábrettinu. Skörpu stökkinn eiga sér stað þegar vagninn lendir á vegg og skoppar til baka. Rauðu línurnar eru mátun (*e. fit*) fyrir $v_x > 0$ og $v_x < 0$ hluta hreyfingar. Athugið að hallatölur er ekki þær sömu fyrir upp og niður hreyfingu.

4.2 Veltinúningsstuðull

Gögnin úr **LoggerPro** (hraði v sem fall af tíma t) eru sýnd í Mynd 1. Notið **MatLab** til að búa til samskonar graf fyrir ykkar gögn. Þar er nóg að sýna eitt svona graf, ekki margar fyrir hvert skipti sem vagni var sleppt. Út úr grafinu

getið þið fundið hröðun upp og niður út frá halltölu - notið *polyfit* skipun í **MatLab**. Venjulega er hægt að finna 3-4 fjögur gildi á $a_{x,u}$ (hröðun vagns á leið upp braut) og $a_{x,n}$ (hröðun vagns á leið niður braut) úr hverri mælingu. Fyrir hverja *mælisyrrpu* eigið þið að finna **10 gildi** á $a_{x,u}$ og $a_{x,n}$, og með þeim fundið **10 gildi** veltuningsstuðlinum μ_r . Út frá þeim gildum má finna meðaltal og óvissu, eins og kemur fram í "Kveri um meðferð mæligagna".

Þið eigið að hafa mælisyrrpu fyrir tvö mismunandi horn og einnig með aukamassa. Hvað er hægt að segja um hegðun μ_r fyrir mismunandi horn og massa?

5 Fræðin

Athugið að fyrir skýrslurnar ykkar en nóg að hafa umfjöllun um jöfnur (6)-(7) og (9)-(11).

Hreyfingin eftir skáplaninu er dæmi um hreyfingu í einni vídd með fastri hröðun (sjá kafla 2.4 í kennslubókinni eftir Young og Freedman). Hröðunin orsakast af kröftunum sem verka á hlutinn eins og 2. lögmál Newtons segir til um

$$\Sigma F_x = ma_x \quad \text{og} \quad \Sigma F_y = 0, \quad (1)$$

þar sem gerum ráð fyrir að x -ásinn er samsíða skáplaninu, og að engin hreyfing sé í y -átt (hornrétt á skáplanið). Eins og fjallað var um í fyrirlestri F6 og F7 þá eru þættir kraftanna gefnir með

$$\Sigma F_x = mg \sin(\theta) \pm f \quad (2)$$

$$\Sigma F_y = n - mg \cos(\theta) \stackrel{!}{=} 0, \quad (3)$$

þar sem f er viðeigandi núningskraftur, og formerkið \pm ræðst af eðli hreyfingar, sjá nánari umfjöllun að neðan. Normalkrafturinn er ákvarðaður af jöfnu (3), sem gefur

$$n = mg \cos(\theta), \quad (4)$$

sem gildir fyrir bæði kyrrstæða hluti og hluti á hreyfingu.

5.1 Stöðunúningsstuðull

Hlutur sem er kyrrstæður á skáplani hefur enga hröðun ($a_x = 0$). Núningskrafturinn við þessar aðstæður er stöðunúningskraftur sem leitast við að halda hlutnum kyrrstæðum. Þáttur krafta eftir skáplani er þá

$$\Sigma F_x = mg \sin(\theta) - f_s \stackrel{!}{=} 0, \quad (5)$$

og tengsl stöðunúningskrafts við stöðunúningsstuðul eru gefin með

$$f_{s,\max} = \mu_s n = \mu_s mg \cos(\theta), \quad (6)$$

þar sem $f_{s,\max}$ er hæsta gildi á stöðunúningskrafti **rétt áður en hlutur byrjar að renna**. Saman gefa jöfnur (5) og (6) gildið á μ_s

$$\mu_s = \tan(\theta) \quad (7)$$

út frá horninu θ , mælt rétt áður en hluturinn byrjar að renna.

5.2 Veltinúningsstuðull

Vagn sem rúllar niður skábrettið er ekki í jafnvægi og hefur því hröðun. Þegar vagninn rennur niður skábrettið þá verkar á hann kraftur

$$\Sigma F_x = mg \sin(\theta) - f_r, \quad (8)$$

þar sem $f_r = \mu_r n$ vinnur á móti þyngdarkrafti og hröðunin (n)íður skábrettið því

$$a_{x,n} = g \sin(\theta) - g\mu_r \cos(\theta). \quad (9)$$

Á sama hátt finnum við hröðun vagns (u)pp skábrettið

$$a_{x,u} = g \sin(\theta) + g\mu_r \cos(\theta), \quad (10)$$

þar sem núningskraftur og þáttur þyngdarkrafts samsíða skábretti verka í sömu átt. Jöfnur (9) og (10) leiða svo til

$$\mu_r = \frac{a_{x,u} - a_{x,n}}{2g \cos(\theta)}. \quad (11)$$