

Leveyspiirin määrittäminen heilurin avulla

Paula Pennanen

Valkeakosken lukio/ Päivölän matematiikkalinja

Viksu tutkielma

30.11.2007

Tiivistelmä

Tutkielman tarkoituksena oli selvittää, onko leveyspiirin mittaaminen heilurin avulla mahdollista järkevällä tarkkuudella. Leveyspiiriä mitattiin kahden eri menetelmän avulla.

Toisessa menetelmässä mitattiin heilurin jaksonaika, jonka avulla laskettiin paikallinen putoamiskiihtyvyys. Saatua putoamiskiihtyvyyttä verrattiin taulukoituihin putoamiskiihtyvyyksiin ja pyrittiin näin saamaan leveyspiiri selville. Toinen menetelmä perustui Coriolis-ilmiön aiheuttamaan heilahdustason kiertymään, joka on ominainen kullekin leveyspiirille.

Jaksonaika paikallista putoamiskiihtyvyyttä varten mitattiin ripustamalla heiluri voimanturin varaan, jolloin heilurin jaksonaika oli kahden voimakäyrän jaksonajan pituinen.

Heilahdustason kiertymisnopeutta varten heilurin rakennetta jouduttiin muuttamaan muutamaan otteeseen, jotta kiertymisnopeuteen vaikuttavat häiritsevät tekijät saatiin minimoitua. Kun heilurin rakenne saatiin toimiaan tyydyttävästi, mitattiin kiertymisnopeus metallilevyn ja äänianturin avulla.

Tuloksia vertailtaessa huomattiin, että heilahdustason kiertymään perustuva leveyspiirin mittaaminen on paljon tarkempi ja luotettavampi kuin jaksonaikaan perustuva mittaaminen.

LEVEYSPIIRIN MÄÄRITTÄMINEN HEILURIN AVULLA.....	1
TIIVISTELMÄ.....	1
1 JOHDANTO.....	1
2 AINEISTO JA MENETELMÄT.....	1
2.1 PUTOAMISKIIHTYVYYDEN MÄÄRITTÄMINEN HEILURILLA.....	1
2.2 CORIOLIS-ILMIÖ.....	1
2.3 FOUCAULT'N HEILURI.....	3
3 TUTKIMUKSEN ETENEMINEN.....	3
3.1 ALKUPERÄINEN KONSTRUKTIO.....	3
3.2 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS.....	5
3.3 KIERTYMISNOPEUDEN LASKENNALLINEN TARKASTELU	6
3.4 ENSIMMÄINEN KOE.....	8
3.5 TOINEN KOE.....	8
3.6 KOLMAS KOE.....	9
3.7 NELJÄS KOE.....	10
4 TULOKSET.....	11
4.1 LEVEYSPIIRI HEILURIN JAKSONAJAN PERUSTEELLA.....	11
4.2 LEVEYSPIIRI HEILAHDUSTASON KIERTYMÄN PERUSTEELLA.....	12
4.3 MENETELMIEN VERTAILU.....	12
5 PARANNUSEHDOTUKSET.....	13
6 LÄHTEET.....	13

1 Johdanto

Leveyspiiri voidaan määrittää usealla eri tavalla, esimerkiksi horisontin ja taivaankappaleiden välisen kulman avulla. Tässä tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään leveyspiiri heilurin avulla kahdella eri menetelmällä.

Heilurin käyttäminen putoamiskiihtyvyyden määrittämiseen on yksi fysiikan tavallisimmista havainnollisista kokeista. Toisaalta putoamiskiihtyvyyden arvo eri leveyspiireillä on taulukoitua tietoa, jolloin heilurin antaman putoamiskiihtyvyyden arvon avulla voidaan teoriassa määrittellä leveyspiiri, jolla heiluri sijaitsee.

Toinen tapa on tutkia leveyspiiri Foucault'n heilurin avulla. Heilurin heilahdustason kiertymisnopeudesta voidaan laskea leveyspiiri tietämällä vain ja ainoastaan heilahdustason kiertymisnopeus, joka on kullekin leveyspiirille ominainen.

2 Aineisto ja menetelmät

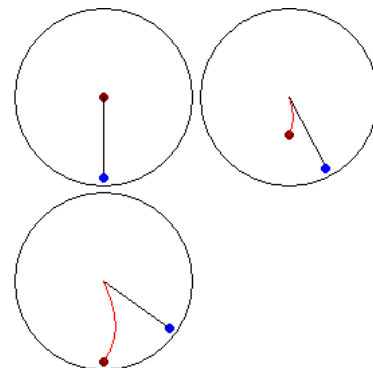
2.1 Putoamiskiihtyvyyden määrittäminen heilurilla

Putoamiskiihtyvyyden määrittäminen heilurin avulla onnistuu selvittämällä heilurin jaksonaika ja pituus. Kun nämä tiedot on selvitetty, ratkaistaan putoamiskiihtyvyys heilahdusajan kaavan avulla

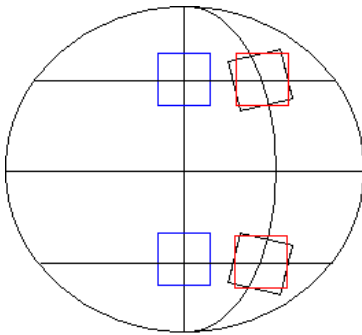
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \Leftrightarrow g = 4\pi^2 \cdot \frac{l}{T^2} \quad (1)$$

2.2 Coriolis-ilmiö

Jos pyörivällä pöydällä lepäävälle pallolle annetaan nopeus v , ja pöytä ei kohdistu palloon muita voimia kuin tukivoiman, pallon rata näyttää pöydällä olevasta tarkastelupisteestä nähden kaarevalta. Paikallaan seisova tarkkailija havaitsee kuitenkin, että pallon liikerata on täysin lineaarinen paikallaan pysyvään ympäristöön



nähdessä. Coriolis-ilmiö saa pyörivässä koordinaatistossa suoraviivaisesti liikkuvan kappaleen liikeradan näyttämään kaareutuvalta. Ilmiö on nimetty ranskalaisen fyysikon Gaspard Gustave Corioliksen mukaan, tämän kehitettyä ensimmäisen ilmiötä kuvaavan matemaattisen mallin. Coriolis-ilmiötä ja sen matemaattista mallinnusta on käsitelty muun muassa kahdessa Perssonin artikkelissa *How Do We Understand the Coriolis Force?* (*Bulletin of the American Meteorological Society* Vol. 79, No. 7, July 2007, sivut 1373-1385) ja *The Coriolis Effect* (*History of Meteorology* Vol. 2, 2005, sivut 1-24) ja Coriolis-ilmiön esitys perustuu näihin lähteisiin.



Coriolis-ilmiö on havaittavissa kaikissa pyörivissä koordinaatistoissa, myös maapallolla. Ilmiön takia esimerkiksi meri- ja magmavirrat ovat kaartuvia ja ilma kiertää matalapaineen ympärillä spiraalimaista rataa pitkin. Ekvaattorin eri puolilla Coriolis-ilmiö saa liikeradan kääntymään eri suuntiin: pohjoisella pallonpuoliskolla liike kaartuu oikealle ja eteläisellä puoliskolla vasemmalle.

Vaikka Coriolis-ilmiö ei ole minkään voiman varsinaisesti aiheuttama, käytetään usein maapallolla liikeratojen laskussa kuitenkin niin kutsuttua Coriolis-voimaa:

$$F_C = -2m \cdot (w \times v) \quad (2)$$

missä m on kappaleen massa, v kappaleen suhteellinen nopeus ja w koordinaatiston kulmanopeus – miinusmerkki johtuu ristitulon määritelmästä. Voiman suuruus on määritelty siten, että, jos liikkuvaan kappaleeseen kohdistuisi Coriolis-voiman suuruinen kaartumista vastustava voima, kappaleen liikerata olisi lineaarinen liikkuvaan koordinaatistoon nähden.

Kaavasta voidaan myös huomata, että nopeuden ollessa yhdensuuntainen pyörimisakselin kanssa, Coriolis-kiihtyvyys on nolla. Maapallon ellipsoidisuuden takia kyseinen ilmiö on havaittavissa vain ekvaattorilla - muualla liike on aina hieman kallistunut pyörimisakseliin nähden. Lisäksi, jos kappaleella on leveyspiirien suuntaista nopeutta,

kappaleeseen kohdistuva maan keskipisteen suuntainen havaittu kiihtyvyys on eri kuin lepotilassa vaikuttava putoamiskiihtyvyys.

2.3 Foucault'n heiluri

Vuonna 1851 Pariisissa ranskalainen fyysikko Jean Beranrd Léon Foucault osoitti suurelle joukolla ihmisiä, että maapallo todella pyörii. Osoituksena maan pyörimisestä Foucault käytti 65m pituista heiluria, johon oli ripustettu 28 kg paino. Heiluri ripustettiin Pariisin Pantheonin kattoon ja se päästettiin heilumaan vapaasti. Pian havaittiin, että heilurin heilahdustaso ei pysynyt paikallaan, vaan kiertyi hitaasti myötöpäivään. [1]

Heilahdustason muuttuminen johtuu Coriolis-ilmiöstä. Heilurin avulla Corioliksen aiheuttama sivuttaissuuntainen siirto kasvaa ja ilmiö, jota ei yhden heilahduksen aikana näkyisi, tulee huomattavaksi. Heilurin yhden päivän aikana kiertämä kulma on:

$$\alpha = -2\pi \sin\phi \quad (3)$$

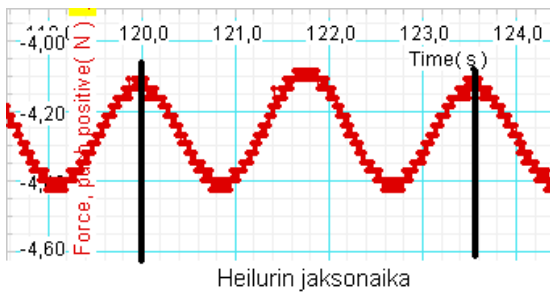
missä ϕ on se leveyspiiri, jolla heiluri sijaitsee; ϕ on positiivista pohjoisella pallonpuoliskolla ja negatiivista eteläisellä puoliskolla. [2]

Päiväntasaajalla heilahdustaso pysyy paikallaan, sillä tuolloin heilahduksen pohjois-etelä-suuntainen komponentti on maapallon pyörimisakselin suuntainen ja itä-länsi suuntainen komponentti vaikuttaa vain maan keskipisteen suuntaisen kiihtyvyyden suuruuteen. Navoilla taasen heilahdustaso pyörrähtää täyden ympyrän yhden päivän aikana. Näin on siksi, että heilurin kiinnityspiste on maapallon pyörähdysakselilla ja heilahdustaso ei muutu ympäröiviin tähtiin verrattuna; maapallo taas kiertää heilurin alla täyden ympyrän.

3 Tutkimuksen eteneminen

3.1 Alkuperäinen konstruktio

Jotta heilurin avulla voidaan mitata leveyspiiri ja putoamiskiihtyvyys, pitää heilurin heilahdustason kiertymä ja heilurin jaksonaika saada mitattua.

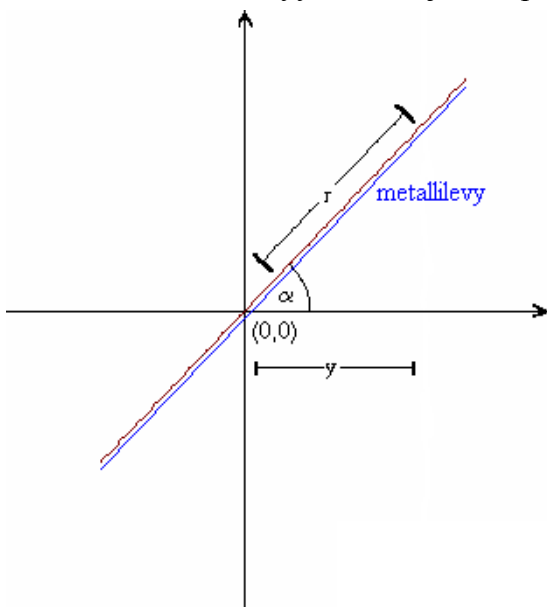
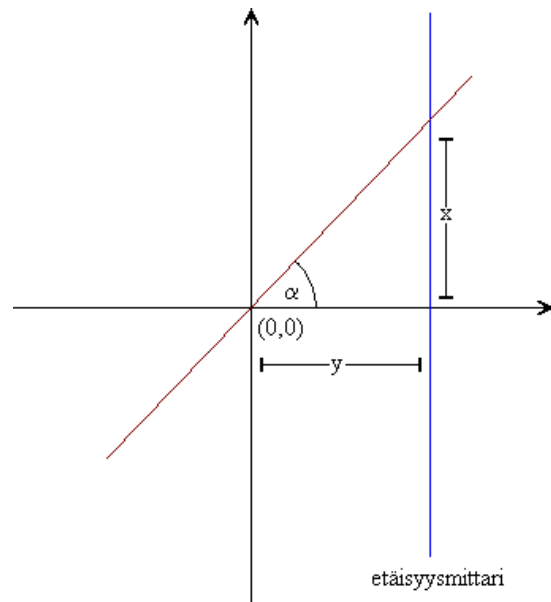


Jaksonaika saadaan selville ripustamalla heiluri voima-anturin, Pasco Force Sensor PS-2104, varaan. Tällöin anturin antamasta sinimuotoisesta narun jännitysvoiman kuvaajasta voidaan katsoa heilahduksen kesto, joka on kahden jaksonajan pituinen.

Kiertymisnopeus on helpointa mitata etäisyysanturin avulla. Tällöin anturi voidaan asettaa tunnetulle etäisyydelle heilurin tasapainopisteestä heilurin alkuperäiseen heilahdustasoon nähden yhdensuuntaisesti. Kun heiluri ensimmäisen kerran havaitaan anturilla, voidaan kulma laskea arkustangentin avulla

$$\alpha = \arctan\left(\frac{x}{y}\right) \quad (4)$$

ja kiertymiseen kuluva aika nähdään etäisyysmittarin aika-akselilta. Saatavilla ei kuitenkaan ollut etäisyysanturia, jolloin piti kehittää toinen mittausmenetelmä.



Samantyyppinen rakennelma voidaan tehdä metallilevyn ja äänianturin avulla, jolloin metallilevy asetetaan määrättyyn kulmaan α lähtötason kanssa ja äänianturi, Pasco Temperature, Sound level, Light sensor PS-2100, asetetaan metallilevyn lähelle. Kun heilahdustaso on kiertynyt kulman α , messinkinen paino osuu metallilevyyn. Metallien osumasta lähtevä ääni havaitaan äänianturin käyrästä äkillisenä piikkinä.

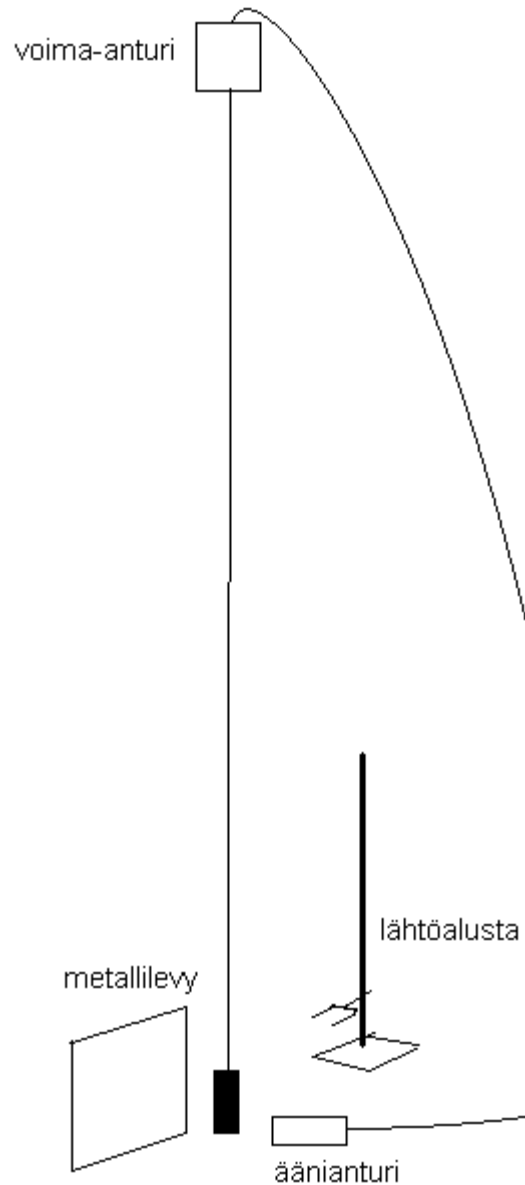
Samaten törmäys muuttaa heilurin narun jännitysvoimaa, jolloin voima-anturin käyrä muuttuu äkillisesti. Näistä kahdesta käyrästä on mahdollista katsoa törmäysajankohta ja laskea heilahdustason kulmanopeus suureyhtälöstä

$$w = \frac{\alpha}{t} \quad (5)$$

3.2 Käytännön toteutus

Jotta heilurin heilahdustason kiertymä olisi mahdollisimman hyvin nähtävissä, pitää heilurin olla mahdollisimman pitkä. Heilurin pituudeksi määräytyi käytettävissä olevien tilojen suurimman huoneenkorkeuden takia 3,15 metriä. Heilurin vaimenemisen tulee lisäksi olla tarpeeksi hidasta, jotta kiertyminen on havaittavissa, ennen kuin heiluri ehtii vaimeta liikaa. Jotta liikevastusvoimien aiheuttama amplitudin pieneneminen on mahdollisimman pientä, pitää heilurin painon massa olla mahdollisimman iso. Rajat painon massalle asetti voima-anturin kestävä maksimimassa 50 kilogrammaa ja käytettävissä olevien punnusten määrä. Siksi heiluriin ripustettiin 50 gramman painotanko ja lisäksi kahdeksan kappaletta messinkisiä 50 gramman painoja, kokonaismassaksi saatiin 450 grammaa.

Jotta lähtöarvot olisivat samat, piti heilurin irtipäästämiseen tehdä alusta, jolta heiluri lähtisi joka mittauskerralla liikkeelle mahdollisimman samalta etäisyydeltä. Tätä tarkoitusta varten tehtiin laukaisualusta statiivista ja rautalankahaarukasta. Heilurin paino ripustetaan haarukan piikkien väliin narulla ja päästetään irti polttamalla naru poikki. Narun katkaiseminen polttamalla on oleellista, jotta heiluri ei lähtiessään saisi sivuttaissuuntaista kiihtyvyyttä, joka vääristäisi mittaustuloksia. [3]



3.3 Kiertymisnopeuden laskennallinen tarkastelu

Ideaalinen Foucault'n heiluri kiertyy päivän aikana kaavan (3) antaman asteluvun verran.

Tästä saadaan kulmanopeus

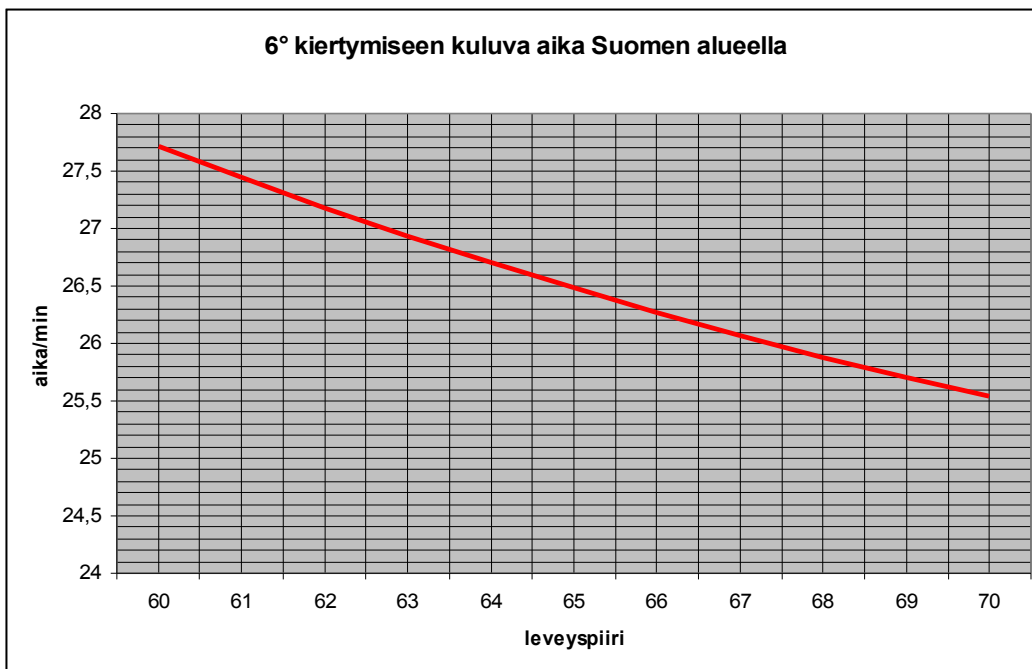
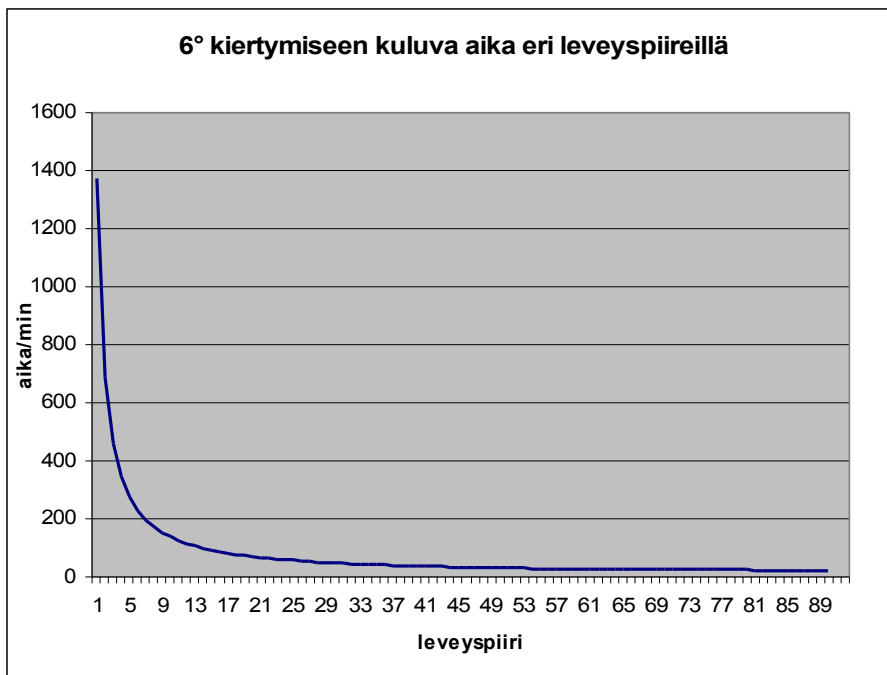
$$w = \frac{\text{kiertymiskulma}}{24 \cdot 60 \text{ min}} \quad (6)$$

joka on kullekin leveyspiirille ominainen vakio. Tämän kulmanopeuden avulla pystytään laskemaan aika, joka kuluu määrätyn kulman α suuruiseen kiertymiseen

$$\frac{\alpha}{t} = w \Leftrightarrow t = \frac{\alpha}{w} \quad (7)$$

Siis 61. leveyspiirillä heilahdustason kiertyminen 6° myötäpäivään vaatisi aikaa

$$t = \frac{6^\circ}{360^\circ \cdot \sin(61^\circ)} \cdot 1440 \text{ min} = 27.4 \text{ min}$$



Kun 6° kiertymiseen kulunut aika saadaan mitattua, pystytään tuloksesta laskemaan leveyspiiri suureyhtälöstä

$$\arcsin\left(\frac{6^\circ}{t} \cdot \frac{1440 \text{ min}}{360^\circ}\right) = \varphi \quad (8)$$

3.4 Ensimmäinen koe

Ennen kuin varsinaisia mittauksia alettiin tehdä, piti heilurin ja mittalaitteiden toimivuus testata. Ensimmäisissä kokeiluissa huomattiin, että heilahdustaso näytti kiertyvän liian nopeasti, sillä heiluri osui metallilevyyn jo vajaan kahden minuutin kuluttua irtipäästöstä. Mahdollisia virheitä oli heiluriin ripustetun painon epäsymmetrisyys ja ripustuskoukun pyrkimys ohjata heilahdustaso koukun suuntaiseksi.

Painon epäsymmetrisyyttä tasoitettiin siirtämällä painolevyjen lovet mahdollisimman tasaisesti eri puolille keskustankoa. Kun kokeet uusittiin, huomattiin, että epäsymmetrisyydellä todella näytti olevan vaikutusta mittaustuloksiin. Tosin vaikutus jäi varsin pieneksi, sillä symmetrisemmällä painolla tehtyjen kokeiden kiertymisnopeus piteni vain vajaalla minuutilla.

Epäsymmetrisyyttä suurempi tekijä oli kuitenkin ripustuskoukun aikaansaama tietyn heilahdustason suosiminen. Paras tapa ratkaista ongelma olisi ollut korvata ripustuskoukku pallonivelellä. Toinen – helpommin toteutettavissa oleva – ratkaisu oli liimata heilurin lanka kovalla kaksikomponenttiliimalla ruuviin, jolloin lanka pystyy kiertymään ja heilahtelemaan joka suuntaan yhtä helposti.

3.5 Toinen koe

Uusi kiinnitystapa vaikutti heilurin kiertymiseen odotetun laisesti pienentämällä kulmanopeutta. Kaikesta huolimatta heilahdustaso kiertyi liian nopeasti, sillä 6° kiertyminen kesti vain 5 minuuttia. Syynä liian nopeaan kiertymiseen oli heilurin radan elliptisyys.

Ilmeisiä syitä radan elliptisyyteen ei kuitenkaan löytynyt. Syynä saattoi olla metallilevyn ja heilurin painon välille muodostuva ilmavirta, joka voisi imeä painoa kohti metallilevyä. Tämän vaikutusta kokeiltiin asettamalla pystyssä ollut metallilevy vaakatasoon ja uusimalla mittaukset useampaan kertaan. Kiertymisaika ei kaikesta huolimatta muuttunut merkittävästi, joten oletus oli virheellinen.

Ellipsirata on yleinen lyhyillä alle kahden metrin heilureilla, mutta lähes olematon pidemmillä.[4] Yleensä sivuttaissuuntainen liike pyritään minimoimaan asettamalla täydellisesti hiottu sylinterimäinen Charron rengas ripustuslangan ympärille. Jos heilurilla ei ole sivuttaissuuntaista liikettä, osuu se renkaan pintaan kohtisuorassa ja näin kitka on pienimmillään. Jos heiluri on sivuttaissuuntaisessa liikkeessä, osuu lanka renkaaseen hieman sivuttain. Tällöin kitka vaimentaa sivuttaissuuntaiset voimat ja heiluri heilahtelee taas tasossa.[5]

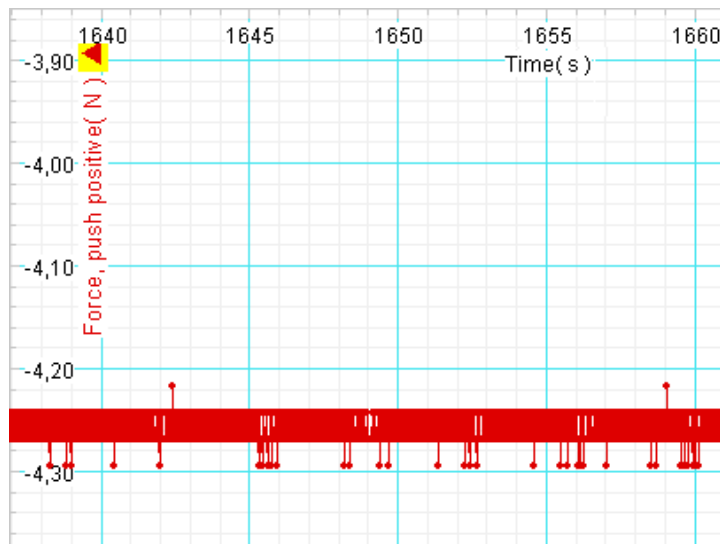
Jotta Charon rengas olisi toimiva, pitää renkaan sisäpinnan olla kuitenkin symmetrinen ja sileä. Vaatimukset täyttävä rengas on kuitenkin vaikea löytää ja renkaan asettaminen siten, että sen keskipiste on tasan heilurin tasapainopisteen kohdalla on hankalaa ja aikaa vievää. Näistä syistä johtuen rengasta ei yritettykään toteuttaa.

Tässä vaiheessa mittauksia naru katkesi, jolloin sekä naru että liimaus jouduttiin uusimaan.

3.6 Kolmas koe

Kiinnityksen uusimisen jälkeen heilahdustason kiertyminen hidastui merkittävästi ja joissakin kokeissa kiertymisajaksi saatiin yli 20 min. Ensimmäinen liimaus ei ollut ollut tarpeeksi symmetrinen, vaan oli aiheuttanut mittauksia häiritsevän heilahdusradan elliptisyyden.

Vaikka heilurin ripustus vaikutti nyt ilmeisesti mahdollisimman vähän heilurin liikkeeseen, ei leveyspiirin mittaaminen onnistunut vaadittavalla tarkkuudella, sillä



mittaustuloksia tutkittaessa huomattiin, että kummankaan sekä voima-anturin että äänianturin tarkkuus ei riitä tarkan osumishetken määrittämiseen. Amplitudin vaimeneminen pienentää jännitysvoiman vaihtelun alle 0,05 Newtonin, jolloin jännitysvoiman vaihtelut eivät enää olleet

havaittavissa voima-anturin antamasta käyrästä.

Vaimeneminen vaikuttaa myös metallilevystä lähtevän äänen voimakkuuteen, sillä, mitä hitaampi heilurin liike on, sitä vaimeampi on törmäyksestä lähtevä ääni. Koska ääni on vaimea, ei se enää mittaustuloksissa ole selvästi erotettavissa ympäristön taustahälystä.

Siksi, vaikka heiluri heilahteli häiriöttä, ei mittauksista saatu tarvittavaa tietoa ja piti tehdä vielä uusi koe.

3.7 Neljäs koe

Neljättä koetta varten heilurin liimaus jouduttiin jälleen kerran uusimaan, koska jatkuva rasitus oli liikaa liimaukselle, jolla heiluri oli kiinnitetty voima-anturiin, ja heilurin heilahdustaso muuttui taas elliptiseksi.

Koska kummankaan anturin tarkkuus ei riittänyt painon törmäyksen metallilevyn rekisteröimiseen, eikä saatavilla ollut tarkempia antureita, piti mittaustapoja muuttaa. Metallilevy jätettiin paikoilleen, mutta törmäyksen ajankohdan mittaamiseen käytettiin antureiden sijasta sekuntikelloa.

4 Tulokset

4.1 Leveyspiiri heilurin jaksonajan perusteella

Putoamiskiihtyvyyden muutos leveyspiirien muuttuessa 10 asteen verran näkyy vasta putoamiskiihtyvyyden neljännessä desimaalissa. Jotta heilurin ominaisuuksista saataisiin tarkka tulos kaavan

$$g = 4\pi^2 \cdot \frac{l}{T^2} \quad (9)$$

mukaan, pitää sekä heilurin pituus että jaksonajan toinen neliö saada selville vähintään neljän desimaalin tarkkuudella. Tämä tarkoittaa sitä, että heilurin pituus tulee saada selville ainakin millimetrin tarkkuudella ja jaksonaika yli sekunnin tuhannesosan tarkkuudella, jotta leveyspiiri saataisiin määriteltyä riittävällä tarkkuudella.

Tutkielman heiluri oli 3,15 metriä pitkä ja sen jaksonajaksi saatiin määriteltyä 3,56 sekuntia. Näistä tiedoista saadaan putoamiskiihtyvyyden arvoksi noin 9.8123 m/s². MAOL:n taulukkokirjasta katsottuna saatu arvo osuu 50. ja 60. leveyspiirin välille. Tarkempi arvo olettamalla että putoamiskiihtyvyys kasvaa lineaarisesti leveyspiirien 50 ja 60 välillä

$$g_H = g_{50} + \frac{g_{60} - g_{50}}{10} \cdot (\varphi - 50) \Leftrightarrow \varphi = \frac{g_H - g_{50}}{g_{60} - g_{50}} \cdot 10 + 50 \quad (10)$$

Sijoittamalla g_H :n paikalle jaksonajasta saatu putoamiskiihtyvyys 9.8123 m/s² ja g_{50} :n paikalle taulukkoarvo 9.8107m/s² ja g_{60} paikalle arvo 9.8197m/s² saadaan leveyspiiriksi noin 51.7 astetta.

Tarkastellaan vielä tuloksen tarkkuutta. Jos heilurin jaksonaika vaihdetaan 3.555 sekuntiin, joka pyöristyy 3.56 sekuntiin, saadaan leveyspiiriksi noin 82,5 astetta. Jos taas jaksonaika on 3.565 sekuntia, on leveyspiiri 21,2 astetta. Pitämällä jaksonajan 3.56 sekunnissa, mutta vaihtamalla heilurin pituudeksi 3.155 metriä, saadaan leveyspiiriksi 69.1 astetta, pituudella 3.145 metriä on leveyspiiri 34.5 astetta.

Kuten huomataan perinteinen heilurin jaksonajan avulla määritelty putoamiskiihtyvyys ei anna kovinkaan tarkkoja arvoja heilurin leveyspiirille.

4.2 Leveyspiiri heilahdustason kiertymän perusteella

Kun heiluri oli viimein saatu kolmen hieman erilaisen konstruktion jälkeen toimimaan mallin mukaan, mitattiin neljännessä kokeessa 6° kiertymiseen menevään aikaan seuraavat tulokset:

25.17 minuuttia	26.38 minuuttia	26.03 minuuttia	27.31 minuuttia	26.52 minuuttia
Otoshajonta	0.77989101	Keskiarvo	26.29 minuuttia	
		Leveyspiiri	65.93	
Olet. Virheet normaalijakautuneita ja käytetään luottamusväliä 95%				
Alaraja	24.76 minuuttia	Yläraja	27.81 minuuttia	
Leveyspiiri	75.77		59.65	

Taulukko 1: leveyspiirin laskeminen heilahdustason kiertymisnopeuden perusteella

Mitatusta viidestä tuloksesta laskettiin otoshajonta ja keskiarvo. Tämän jälkeen oletettiin, että mittauksen virheet ovat normaalijakautuneita ja laskettiin mittaustuloksille ala- ja yläraja 95% luottamusvälillä. Tämän jälkeen laskettiin saatuja virherajoja ja keskiarvoa vastaavat leveyspiirit kaavan (8) avulla.

4.3 Menetelmien vertailu

Tutkimuksen perusteella leveyspiirin mittaaminen heilahdustason kiertymisen perusteella on tarkempaa kuin leveyspiirin mittaaminen paikallisen putoamiskiihtyvyyden avulla.

Vaikka heilurin jaksonajan mittaaminen on periaatteessa yksinkertaista, on tarvittavien arvojen mittaaminen tarpeeksi tarkasti erittäin hankalaa. Heilahdustason kiertymisen määrittäminen vaatii heilurilta rakenteellisesti enemmän, jotta kiertymisnopeuteen ei vaikuttaisi Corioliksen lisäksi muita voimia. Heilurin rakenteen ollessa kunnossa kiertymän mittaaminen on kuitenkin erittäin yksinkertaista. Tosin, mitä lähemmäs napoja mennään, sitä tarkemmin kiertymisaika pitää saada selville. Vaadittava tarkkuus on silti 88. leveyspiirille asti yli yhden sekunnin.

Kiertymisaikaan perustuvan mittauksen etuna jaksonaikaan perustuvaan verrattuna on vielä se, että pohjoisella pallonpuoliskolla heilahdustaso kiertyy myötöpäivään ja eteläisellä pallonpuoliskolla vastapäivään, jolloin mittauksesta saadaan selville myös, onko kyseessä pohjoinen vai eteläinen leveyspiiri. Jaksonaikaan perustuva mittaus kertoo vain ja ainoastaan etäisyyden ekvaattorista; ei ilmansuuntaa.

5 Parannusehdotukset

Jotta leveyspiirin mittaaminen olisi tarkempaa myös suuremmilla leveysasteilla, pitäisi mitattavan kiertymiskulman olla suurempi kuin käytetty 6° . Suuremman kulman kiertyminen vie kuitenkin pidemmän ajan. Tällöin vaimeneminen tulee minimoida, jotta kiertyminen voidaan ylipäättänsä havaita. Vaimeneminen voidaan joko kokonaan poistaa korvaamalla vastusvoimien aiheuttama heilurin energiahäviö tai lisäämällä painoa narun päähän.

Energian korvaaminen vaatii hienoista teknistä ymmärrystä ja taitoa, mutta tällöin saadaan parhaimmillaan aikaan vaimenematon heiluri ja mitattava kulma voi olla mielivaltaisen suuri. Painon lisääminen taas on helpompaa kuin energian korvaaminen, mutta suurten massojen lisääminen heilurin naruun vaatii kestävämmän voima-anturin.

Tutkimuksessa käytettyjen mittalaitteiden tarkkuus ei riittänyt, jolloin kiertymisaika jouduttiin mittaamaan käsin sekuntikellolla. Käsin mittaamalla mittaustulokseen vaikuttaa tutkijan reaktiokyky, ja mittaus vaatii tutkijan jatkuvaa paikallaoloa. Tästä syystä mittauksien helpottamiseksi tulisi hankkia herkemmit mittalaitteet.

Heilurin materiaalien heikkoudesta johtuen mittauksia ei tutkimuksessa pystytty toistamaan erityisen usein. Jotta otoskokoa pystyttäisiin kasvattamaan, tulisi myös heilurin materiaaleja parantaa.

6 Lähteet

Persson, A. 2005. The Coriolis Effect. History of Meteorology, Vol. 2, sivut 1-24

Persson, A. 1998. How Do We Understand the Coriolis Force, Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 79, No. 7

[1] Wolfe, J. The Foucault Pendulum.

http://www.physclips.unsw.edu.au/jw/foucault_pendulum.html (Luettu 30.11.2007)

[2] Phillips, N. 2000. An Explication of the Coriolis Effect. Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 81, No. 2

[3] Baker, R. 2001. South Pole Foucault Pendulum. <http://www.phys-astro.sonoma.edu/people/students/baker/SouthPoleFoucault.html> (Luettu 30.11.2007)

[4] Bétrisey, M. 2007. <http://www.betrisey.ch/eindex.htm> (Luettu 30.11.2007)

[5] Kind, P. 2000. Der Charron-Ring. <http://www.delphi.uni-wuppertal.de/~kind/fcwupchr.html> (Luettu 30.11.2007)