

Slänggungor och Kättingflygare - tema med variationer

Ann-Marie Pendrill

Detta är en milt reviderad översättning av en artikel "Rotating swings - a theme with variations" som publicerats i *Physics Education* **51** (1) 015014 (2015).

IOP Publishing Ltd is not responsible for any errors or omissions in this version of the manuscript or any version derived from it. The Version of Record is available online at <http://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/51/1/015014>



Figure 1: Himmelskibet på Tivoli i Köpenhamn, Eclipse på Gröna Lund, Stockholm och Praterturn i Wien. Tre "Star Flyers"

Abstract

Kättingflygare finns i många nöjesparker, i olika storlekar och tematiseringar och från olika tillverkare. I klassiska "vågflygare" ("Wellenflieger"), som Kättingflygaren på Gröna Lund och Slänggungan på Liseberg, lutar taket, vilket leder till att gungorna gungar in och ut i en vågliknande rörelse. En nyare version är "Star Flyers", som Eclipse på Gröna Lund och Himmelskibet på Tivoli, som blir extra spännande genom att gungorna lyfts 60 m eller mer över marken. Dessa attraktioner ger exempel på vacker fysik, som kan vara överraskande, men samtidigt lätt kan observeras om man blir uppmärksam

på den. Attraktionerna kan användas för arbetsblad och undersökningar med olika svårighetsgrad, som berör flera olika områden inom matematik och fysik. I denna artikel presenteras ett antal variationer av elev- och studentuppgifter med anknytning till temat Kättingflygare.



Figure 2: Kättingflygaren på Gröna Lund, De 16 gungorna i den yttre cirkeln hänger på ett avstånd av 2 m och de fyra kedjorna som håller gungorna är ca 5.5 m långa, (inklusive den extra kedjan högst upp och höjden på sätet)

1 Introduktion

Kättingflygare finns i många nöjesparker. Patentklassifikationen A63G1/28 [1] "Roundabouts ... with centrifugally-swingable suspended seats" omfattar 394 patent. Det första kom redan 1869, med the "Flying horse machine" av Newhall and Cummings [2]. De klassiska attraktionerna Slänggungan på Liseberg och Kättingflygaren på Gröna Lund är båda exempel på "Wellenflieger" från Zierer [3], som finns i många parker, i olika storlekar och med olika tematisering för att passa in i de olika parkerna. Genom att taket lutar åstadkoms en vågrörelse, medan gungorna rör sig in och ut. En nyare version är "StarFlyer" [4], där gungorna lyfts 60 m eller mer över marken. Passagerare som kommer ut från Köpenhamn C kan sedan 2006 fascineras av gungorna i Himmelskibet. Andra exempel är Eclipse på Gröna Lund och Praterornet i Wien (Fig 1).



Figure 3: Slänggungan på Liseberg med lutat tak

Dessa attraktioner ger exempel på vacker fysik, som kan vara överraskande, samtidigt som den är lätt att observera om man blir uppmärksam på den. Attraktionerna kan användas för uppgifter av olika svårighetsgrad, inom många områden av matematik och fysik. I denna artikel presenteras flera exempel på variationer av uppgifter i anslutning till temat kättingflygare.

Teoretiska undersökningar kan genomföras i klassrummet med hjälp av data från data-blad, foto, filmer eller accelerometerdata. Fysikaliska modellexperiment kan användas för att få en djupare förståelse för fysiken. Arbetsblad under besök i en nöjespark kan ge stöd för mätningar som behöver göras på plats, och även för uppföljning (se t.ex. [5] - [9]). Genom variationer i uppgiftsformuleringar och i val av data som presenteras kan svårighetsgraden anpassas liksom den matematik eller fysik som kommer i fokus. Vilka områden inom matematik kan vara relevant i anslutning till Kättingflygare? Vilka frågor kan man ställa och vilka uppgifter kan man identifiera genom foton av attraktionerna? Vilka undersökningar kan genomföras på plats eller i attraktionen? Vilka uppgifter skulle du vilja ha med i arbetsblad för just din klass?

Om jag går runt med en grupp på Liseberg så försöker jag komma fram till Slänggungan när den står stilla medan gästerna som ska åka lastas på. Jag frågar då vilken gunga de tror kommer att hänga längst ut: en tom gunga eller en gunga med en tung vuxen? Några fokuserar på tyngdkraften som gör det svårare att få den tyngre vuxna att åka utåt vilket skulle leda till en mindre vinkel. Andra fokuserar på att det behövs en större kraft för att få den tyngre vuxna att röra sig i en cirkel, vilket skulle ge en större vinkel för den vuxna. Eftersom båda dessa effekter är proportionella mot massan, blir vinkeln faktiskt oberoende av massan. Det händer att studenter diskuterar att gungorna längre in skulle riskera att kollidera med gungorna längre ut om vinkeln berodde på massan.

Fotografier som i figur 1–3 kan användas för klassrumsuppgifter. Kan du t.ex. uppskatta hur lång tid det tar för karusellen att snurra ett helt varv om du vet att stjärnans

diameter i Himmelskibet är 14 m? I princip finns all information som behövs, men man måste göra uppskattningar från ett foto och använda kunskaper i matematik och fysik. De flesta elever behöver ganska mycket stöd för att kunna lösa uppgiften som kräver många steg, med förståelse för geometri, acceleration och Newtons andra lag. I denna artikel presenteras exempel på elevuppgifter av olika svårighetsgrad, inklusive ett sätt att ta fram relationer mellan dimensioner, vinkel och rotationstid. Svar på de flesta uppgifterna ges i texten eller i figurer och tabell. Artikeln ger också exempel på hur man kan samla in, analysera, behandla och presentera data. Dessutom ges några förslag för undersökningar som lämpar sig för mer omfattande projektarbete. Avslutningsvis diskuteras lärarroller och användningen av arbetsblad.

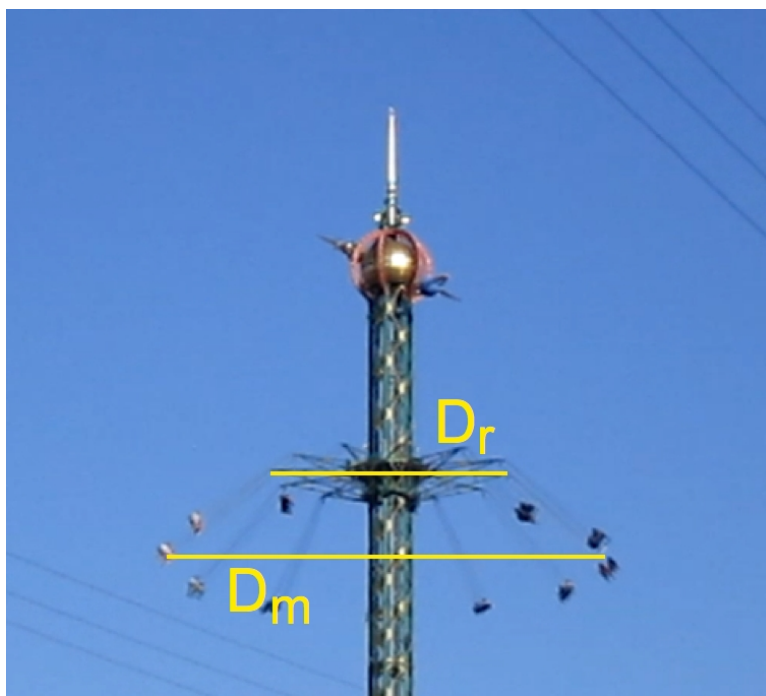


Figure 4: Ett foto av Himmelskibet kan användas för att uppskatta kvoten $D_m/D_r \approx 1.9$ mellan diametern, D_m i rörelse och diametern i vila, D_r .

2 Geometri

Låt oss börja med att titta på rörelse i ett horisontalplan, och använda foton för att analysera rörelsen utan lutning av taket. Radien eller diametern är alltid en relevant parameter i cirkelrörelse. I detta fall kan diametern D_m , för cirkelrörelsen hos gungorna i Himmelskibet uppskattas från fotot i figur 1, genom att jämföra med diametern, D_r , när gungorna är i vila, vilket svarar mot storleken hos stjärnan i mitten (Se figur 4).

1. Mät diametern för cirkeln som svarar mot gungorna i rörelse och storleken av stjärnan i det första fotot i figur 1. Använd kvoten mellan dem för att uppskatta diameterna för gungornas rörelse och värdet 14 m för stjärnan.

En motsvarande uppgift för Slänggungan (figur 2) skulle kunna vara:

2. Hur stor är omkretsen för cirkeln med gungor när karusellen är i vila. Det finns 16 gungor i den yttre ringen och de hänger på ett avstånd 2 m från varandra.
3. Hur stor är cirkelns diameter när karusellen är i vila?
4. Hur stor är cirkelns diameter när karusellen rör sig. Använd fotot för att jämföra diametern för upphängningspunkterna i taket och gungorna längst ut på kedjorna?

Beroende på förkunskaper kan eleverna eventuellt behöva ledtrådar för hur man kan räkna ut diametern i vila från omkretsen (32 m) som bara har angetts indirekt.

2.1 Fart

Farten är en annan viktig parameter. Den kan beräknas om man vet (eller mäter) hur lång tid det tar för ett helt varv. Vid behov kan steg-för-steg uppgifter ge eleverna stöd för beräkningen.

5. Hur långt rör sig en gunga under ett helt varv?
6. Hur lång tid (T) tar ett helt varv om karusellen rör sig 11 varv i minuten?
7. Hur snabbt rör sig en gunga?

Man kan också introducera vinkelhastigheten $\Omega = 2\pi/T$.

Om eleverna har läst trigonometri kan man lägga till några ytterligare frågor om geometrin.

8. Använd diametern D_m för rörelsen för att uppskatta vinkeln som kedjorna hänger ut. Använd längden $L = 5.5\text{ m}$ för Slänggungan,
9. Hur mycket ändras din uppskattning av cirkelns omkrets om du tar hänsyn till att mätningen gav omkretsen för en 16-hörning i stället för en cirkel.

Vinkeln kan också uppskattas direkt från ett foto, även om kameravinkeln kan leda till en överskattad vinkel för kedjorna. Ett annat sätt att uppskatta vinkeln är att använda passare för att konstruera situationen där änden av kedjorna som är upphängda vid den inre radien precis når den yttre radien. Vinkeln kan sedan mätas med gradskiva.

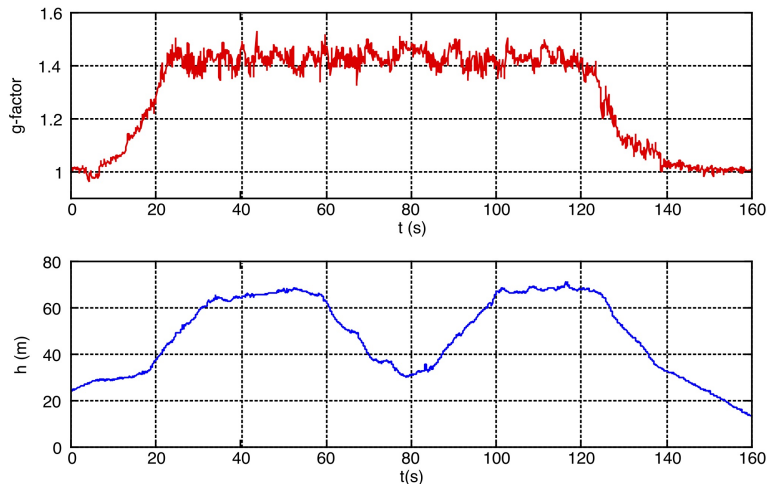


Figure 5: Accelerometer- och höjd data för Eclipse på Gröna Lund. Från höjdgrafen ser vi att gungorna rör sig upp och ned ett par gånger under turen, även om accelerationen som hänger ihop med stjärnans rörelse är för liten för att synas i g-faktorn. Det genomsnittliga värdet för huvuddelen av turen är 1.43 och är relaterad till kedjornas vinkel

3 Acceleration och kraft

Cirkelrörelse innebär alltid acceleration, eftersom rörelsens riktning ändras hela tiden. En typisk arbetsbladsfråga skulle kunna vara:

10. Centripetal-accelerationen ges av uttrycket $a_c = v^2/r$, där $r = D/2$ är cirkelns radie. Använd dina tidigare uppskattningar för fart och diameter för att få en uppskattning av a_c för Slänggungan.

En lärare som nyligen har introducerat eller arbetat med centripetalacceleration kan välja att utelämna själva uttrycket, medan däremot en park som tar fram arbetsblad inte kan anta att uttrycket för a_c är bekant för eleverna.

Inget av uttrycken ovan har gjort någon koppling till den kraft som krävs för en acceleration, $\mathbf{a}$, men kraften upplevs av den som åker. Kroppen måste påverkas av en kraft, $\mathbf{X}$, som kombineras med tyngdkraften, $m\mathbf{g}$, så att Newtons andra lag blir uppfylld: $m\mathbf{g} + \mathbf{X} = m\mathbf{a}$. Det är värt att notera att en accelerometer, trots namnet, inte mäter acceleration utan en eller flera komponenter av vektorn $\mathbf{X}/m = (\mathbf{a} - \mathbf{g})/m$. Resultaten uttrycks ofta som en "g-faktor", $G = |\mathbf{a} - \mathbf{g}|/mg$ eller som komponenter av vektorn $\mathbf{G} = \mathbf{X}/mg = (\mathbf{a} - \mathbf{g})/g$.

Verniers Wireless dynamic sensor system (WDSS) [10] har använts i detta arbete, men liknande data skulle kunna erhållas med en "smartphone" [11, 12, 13]. Figur 5 visar accelerometer och höjddata för Eclipse på Gröna Lund. Accelerometern placerades i en data-väst som rör sig och roterar tillsammans med den som åker. Den "vertikala"

komponenten pekar då alltid i samma riktning som kedjorna, som ger den extra kraft $\mathbf{X}$ som behövs för att accelerera kroppen och kompensera för gravitationen.

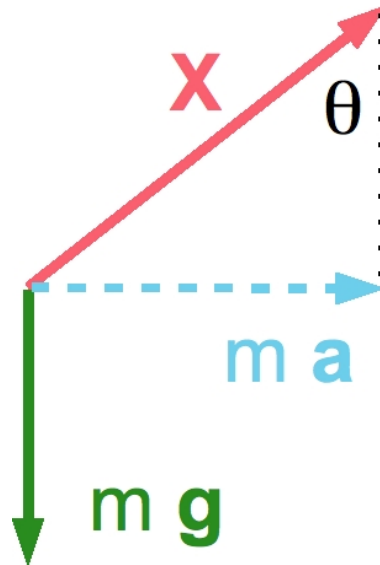


Figure 6: Frikroppsdiagram (kraftfigur) för en gunga i Eclipse eller Slänggungan/Kättingflygaren (om taklutningen försummas)

Kraftsituationen i figur 6 visar att en rent horisontell acceleration kan relateras till tyngdaccelerationen genom sambandet

$$a = g \tan \theta. \quad (1)$$

för en massa som hänger från ett snöre eller en kedja och bildar vinkeln θ mot vertikalt. En rent horisontell acceleration, a_h , kan alltså mätas av en liten massa på ett snöre och en gradskiva (se t.ex. [14] som visar en gradskiva graderad som G-mätare). Ju större accelerationen är, desto större blir snörets vinkel. För en likformigt accelererad horisontell rörelse svarar en vinkel på 10° mot en fartökning från 0 till 50 km/h på 8 sekunder, och 20° svarar mot en fartökning från 0 till 100 km/h på 8 sekunder. En 45° vinkel svarar mot en horisontell acceleration som är lika stor som tyngdaccelerationen, g . En större acceleration kräver också en större kraft från snöret eller kedjan: $X = a_h / \cos \theta$. Den centripetalacceleration som räknades ut tidigare kan då användas för att uppskatta kedjornas vinkel och vilka krafter som är involverade.

11. Använd ditt beräknade värde för centripetalaccelerationen för att uppskatta kedjornas vinkel.
12. Hur stor kraft utövar kedjorna på en gunga med massa m ?
13. Hur beror vinkeln på massan?

14. Hur kan farten vara konstant omkring 40 km/h, även om accelerationen är ganska stor under mer än en minut?

Dessa uppgifter kan ges före besöket, men kan också användas för diskussioner på plats, för att utmana eller fördjupa begreppsförståelsen.

4 Undersökningar i parken

Ett besök i en nöjespark ger också möjligheter att fokusera på krafter som verkar på studenterna, snarare än krafter de själva utövar på andra kroppar.

15. Blunda under åkturen och fokusera på kraften från karusellen som verkar på *dig*. I vilken riktning verkar den kraften?

Anderson och Nashon [15] har analyserat meta-kognitiva strategier och diskussioner i små grupper av elever som försöker förstå kraftsituationen, under ett besök i en nöjespark.

En annan undersökning av krafter under åkturen, som kan genomföras under speciella fysikdagar, är att ta med en *liten* mugg vatten under en tur i Slänggungan eller Kättingflygaren.

16. Hur förväntar du dig att vattenytan skall vara i muggen när karusellen är i gång?

Som förberedelse för fysikdagar har vi samlat in elevsvar till denna frågan, med några olika svarsalternativ. Det som händer i verkligheten strider mot de flesta elevernas förväntningar. Det vanligaste svaret är att vattenytan fortsätter att vara horisontell - parallell med marken. En tredjedel eller färre brukar svara att vattenytan fortsätter att vara parallell med med gungans botten - vinkelrät mot kedjorna. Övriga svar fördelas över alternativen att vätskan lutar mer eller mindre än gungans botten.

Under en lärardag på Gröna Lund fick lärare möjlighet att prova själva. Någon kom ned och utbrast "Mitt vatten fungerade inte" - i överraskning över att vattnet blev kvar på samma nivå i muggen under hela åkturen. Någon uttryckte "det hände inget med vattnet - tråkigt", och andra mer förtjust: "det hände inget med vattnet - det är fantastiskt". Ett analogt experiment kan man göra i en vanlig lekplatsgunga [16] eller i stora gungor i nöjesparker (som t.ex. under Natur og Fag på Bakken [17]). Effekten kan också demonstreras med lite saft i en flaska, eller i ett glas saft som står på en trätriangel som hänger i ett snöre [18].

Experimentet är lätt, men resultatet är överraskande, och utmanar förståelsen av vad som händer i accelererad rörelse. Studenter som försöker förklara sina observationer brukar säga något i stil med: "Rörelsen påverkar vattnet på samma sätt som den påverkar oss", ibland med ett livligt kroppsspråk som illustrerar hur kroppen lutar, tillsammans med kedjor, gunga, mugg och vatten, medan attraktionen är i gång. En liknande överraskning väntar när man ska tolka data från en accelerometer som man tar med under turen, där vektorn $\mathbf{a} - \mathbf{g} = \mathbf{X}/m$, projiceras på koordinaterna i sensorn (WDSS eller telefonens inbyggda accelerometer). Eftersom sensorn roterar tillsammans

med den som åker kommer den ”vertikala” komponenten fortfarande att vara i linje med ryggraden på den som åker och med gungans kedjor - och med $\mathbf{a} - \mathbf{g}$. Detta gör att de enda accelerometerdata som inte är noll är de som är i kedjornas riktning.

Table 1: Data för tre olika kättingflygare: Himmelskibet på Tivoli i Köpenhamn och Eclipse på Gröna Lund, som båda är ”Star Flyers” och från Zierers ”Wellenflieger” Slänggungan på Liseberg (som i huvudsak är ekvivalent med Kättingflygaren på Göna Lund). Den första parametergruppen är data från datablad och mätningar, som har använts för att beräkna övriga parametrar.

Ride		Himmelskibet	Eclipse	Slänggungan
Diameter at rest, D_r	(m)	14	20	10
Chain length, L	(m)	8	8	5.5
G - ”g factor”		1.67	1.43	1.54
$\theta = \arccos(1/G)$	($^\circ$)	53	46	50
$a_c = g \tan \theta$	(g)	1.3	1.0	1.2
$R = D_r/2 + L \sin \theta$	(m)	13	16	9
$v = \sqrt{Ra_c}$	(km/h)	48	45	37
$\Omega = \sqrt{a_c/R}$	(s^{-1})	0.99	0.80	1.11
$T = 2\pi\Omega$	(s)	6.3	7.9	5.6
Ratio D_m/D_r		1.9	1.5	1.8

5 Vinkeln och tid för ett varv

Så länge gungorna rör sig i ett horisontalplan ges accelerationen direkt av kedjornas vinkel θ . Den beror på tiden, T , för ett varv, men detta beroende är lättare att få fram genom att beräkna hur diametern, D_m , och accelerationen, a_c , beror på vinkeln: $r = D_m/2 = D_r/2 + L \sin \theta$ and $a_c = g \tan \theta$. Ur sambandet $a_c = r (2\pi/T)^2$ kan man sedan få fram ett uttryck för perioden T .

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r}{a_c}} = 2\pi \sqrt{\frac{D_r/2 + L \sin \theta}{g \tan \theta}} \quad (2)$$

En elevuppgift, för klassrum eller läxa, skulle då kunna vara

16. Gör en graf som visar hur acceleration, fart, period och kraft beror på kedjornas vinkel..

Att rita grafen kan vara en övning i datoranvändning t.ex. i matlab eller i ett kalkylprogram som Excel. Figur 7 visar ett exempel för Himmelskibet. Figur 8 visar motsvarande resultat för Slänggungan men med resultaten i stället presenterade som funktion av tiden, T , för ett varv.

Slänggungan har tre ringar med gungor. De yttre och inre ringarna hänger på ett avstånd 5.1 m respektive 3.7 m från centrum, och även kedjornas längd är något olika, omkring 5.5 m respektive 5.1 m (inklusive fäste och gunga).

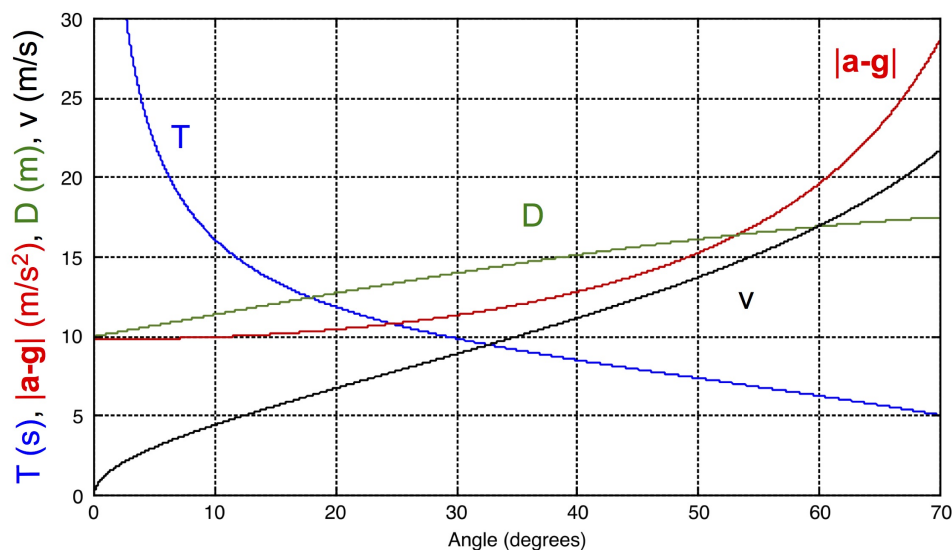


Figure 7: Sambanden mellan fart, v , period, T , beloppet av vektorn $\mathbf{X}/m = \mathbf{a}-\mathbf{g}$ och kedjornas vinkel för Himmelskibet Star Flyer. Observera att $|\mathbf{a}-\mathbf{g}|$ bara beror på vinkeln, men inte på dimensionerna.

På plats i en nöjespark kan eleverna själva mäta tiden för ett varv. Moll [14] beskriver en av uppgifterna i en fysiktävling i nöjesparken Playland i Vancouver, Canada:

18. Bestäm rotationsfrekvensen för Slänggungan medan du åker i högsta farten. Skriv ned de steg du tog för att komma fram till frekvensen.
19. Du har använt en experimentell metod för att bestämma frekvensen. Vilka felkällor finns med din metod? Hur kan dessa osäkerheter minimeras?

Tiden för ett helt varv för Slänggungan kan mätas relativt enkelt från marken, där man lätt kan känna igen en person som t.ex. bär en färgglad jacka. På detta sätt uppmättes en rotationstid på $T = 5.5$ s.

En annan möjlighet är att använda en accelerometer som tas med under turen, och rörs snabbt medan man passerar en fix punkt på marken. Intervallet Δt mellan dessa markeringar kan omvandlas till en vinkelhastighet, $\Omega = 2\pi/\Delta t$. I accelerometergraferna för Slänggungan i figur 9, har värdena för Ω som erhållits på detta sätt (men samlats in under en separat tur) lagts in i centrum av varje tidsintervall.

De accelerometerdata som uppmätts under en åktur ger också ett mått på vinkeln (om man försummar rörelsen upp och ned). Tabell 1 visar dimensionerna för de olika attraktionerna tillsammans med uppmätta värden för g-faktorn, beräknade som ett medelvärde av de data som visas i figurerna 5 and 9, men utan att ta med början och slutet. Från dessa värden har övriga parametrar beräknats, som diskuterats ovan.

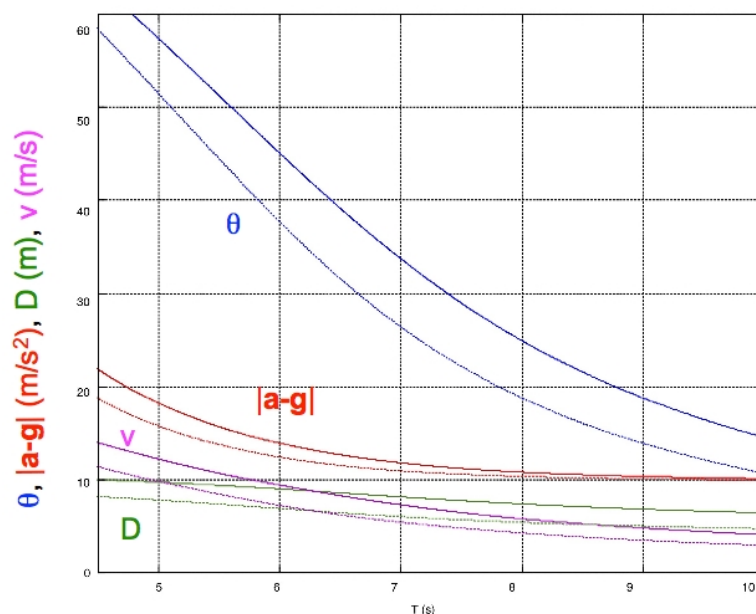


Figure 8: Hur kedjornas vinkel, θ , farten och beloppet av vektorn $\mathbf{X}/m = \mathbf{a}-\mathbf{g}$ hos Slänggungan beror på tiden T för ett varv. Beroendet för de inre och yttre gungorna har ritats med heldragna respektive prickade linjer.

6 Bortom accelerometer-grafer

Denna artikel har gett exempel på hur data som samlas in under besök i en nöjespark kan användas på många olika sätt, utöver att föra över insamlade data till en dator och titta på graferna. De undersökningar som presenterats här bygger på ett antal approximationer - exempel på "det systematiska överförenklandetets konst". Gymnasister som vill ha utmaningar för gymnasiearbete kan gå in djupare i detaljer. Kättingflygare kan vara en rik källa till frågor att undersöka vidare, t.ex.

20. Lutningen på Slänggungans tak (figur 3) introducerar en vågrörelse, som ger en acceleration uppåt och nedåt. Hur påverkar detta kraftsituationen?
21. Vilken svängningstid har en gunga som är 5.5 m lång?
22. Väntar du dig att perioden för svängningen på grund av takets lutning skall vara densamma som gungans egen svängningstid eller kortare eller längre?
23. Hur påverkas gungans period av centripetalaccelerationen?

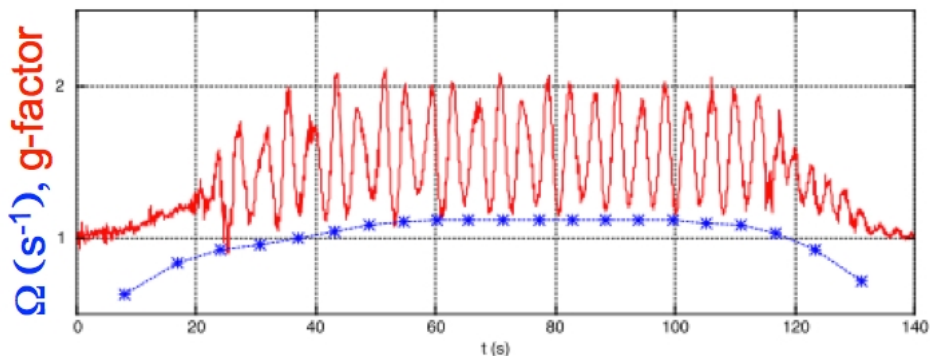


Figure 9: Accelerometerdata for en av gungorna i yttersta ringen i Slänggungan på Liseberg, tillsammans med värden för vinkelfrekvensen, Ω , baserade på mätningar av tiden för varje varv.

7 Diskussion

Lärares förberedelser och efterarbete spelar stor roll för elevernas utbyte av studiebesök [19]. även om några av observationerna och begreppsfrågorna som diskuterats i denna artikel berör fysik som ofta behandlas på gymnasienivå, så är själva observationerna möjliga för betydligt yngre elever, med stöd av diskussioner med en lärare eller med en guide i nöjesparken.

Kättingflygare inbjuder till många olika slags elevuppgifter, från enkla geometriska överväganden, till överraskande observationer och begreppsfrågor, modellering, datainsamling och analys. Genom välvalda frågor på arbetsbladen kan elevernas uppmärksamhet riktas mot detaljer som de annars inte skulle noterat. Frågorna kan också bidra till kopplingar mellan olika sätt att beskriva en situation. Observationerna av vatten i en mugg eller hur massan inte påverkar kedjornas vinkel är båda exempel på *equivalensen* mellan trög och tung massa, och eleverna kan uppmanas att fundera över andra situationer när massan inte påverkar rörelsen (som t.ex. fritt fall och en pendels svängningstid) [21, 22]. Dessa uppgifter kan också introducera möjligheten att göra approximationer, som sedan successivt förbättras..

I en översiktsartikel om användning av arbetsblad drar Kisiel [23] slutsatsen att enkla ”fylleri-övningar” inte är effektiva om varje elev är ansvarig för sina egna data, om fokus bara blir att fylla i arbetsbladet och inte att undersöka eller delta i olika aktiviteter. Å andra sidan visar det sig att arbetsblad kan vara effektiva om de ges till små grupper, och uppmuntrar eleverna att observera, växelverka, diskutera begrepp och utveckla fler kopplingar mellan begrepp och upplevelser. [23, 24].

Fysikdagar i en nöjespark kan bygga in många olika slags lärarroller [26]. Ibland bjuds lärare in att ”Relax in our teacher hospitality room while your students immerse themselves in Education Days” [8]. Detta minskar naturligtvis möjligheterna för diskus-

sioner med elever och att vara delaktig i deras meningsskapande i anslutning till upplevelserna, och möjligheterna att ställa utmanande frågor och då och då föreslå en extra tur i attraktionen för att observera eller mäta en gång till. I organisationen av fysikdagar i en nöjespark strävar vi efter att lärare ska vara involverade och engagerade i diskussionerna. Lärare som har anmält en klass har också tillbringat en timma vid in- eller utgången från en attraktion, där de kan föreslå, stödja och diskutera olika undersökningar [26].

References

- [1] Esp@cenet, *Roundabouts ... with centrifugally-swingable suspended seats*, Patent classification A63G1/28, worldwide.espacenet.com
- [2] Newhall G L and Cummings J F 1869, *Flying-Horse Machine*, patent no US94234
- [3] Zierer Karussell- und Spezial-maschinenbau, *Wellenflieger Produktinformation*, www.zierer.com/mainmenu/produkte/wellenflieger/
- [4] FunTime, Star Flyer, <http://www.funtime.com.au> and Lackner H 2009, private communication
- [5] Unterman N 2001 *Amusement park physics - a teacher's guide* Walch Publishing
- [6] PhysicsDay.org, *Physics, Science and Math Days at California's Great America*
- [7] NASA 2003, *Amusement park physics with a NASA twist*
{exploration.grc.nasa.gov/outreach/appd/appd_resources.html}
- [8] King's Island, www.visitkingsisland.com/student-youth-programs/youth-programs
- [9] Swedish National resource centre for physics education, *Amusement park physics*, tivoli.fysik.org
- [10] Vernier, *Wireless Dynamic Sensor System*, www.vernier.com/products/sensors/wdss/ (med tillhörande dataväst).
- [11] Pendrill A-M and Rohlén J 2011 *Acceleration and rotation in a pendulum ride, measured using an iPhone 4* Phys. Educ. 46 676
- [12] Thomas B 2015 *SensorLog* <https://itunes.apple.com/se/app/sensorlog/id388014573>
- [13] Vieyra Software 2015 *Physics Toolbox Suite* <http://www.vieyrasoftware.net>
- [14] Moll R 2010 *An amusement park physics competition* Phys. Educ. 45 362
- [15] Anderson D and Nashon S 2007 *Predators of knowledge construction: Interpreting students' metacognition in an amusement park physics program* Science Education 91, 298-320

- [16] Pendrill A-M and Williams G 2005 *Swings and Slides* Phys. Educ. 40 527
- [17] Bakken (*bakken.dk*) och samtal med Ulrik Lundby Hansen
- [18] Fägerlind C-O, LMNT-nytt 20xx, nrx?, och Fägerlind C-O and Pendrill A-M 2015 *Liquid in accelerated motion* Phys. Educ. in print
- [19] Behrendt M and Franklin T 2014 *A Review of Research on School Field Trips and Their Value in Education* Int. J. Env. Sci. Ed., 9 235-245 available at www.ijese.com/ijese.2014.213a.pdf
- [20] deWitt J and Storksdieck M 2008 *A Short Review of School Field Trips: Key Findings from the Past and Implications for the Future* Visitor Studies 11 181
- [21] Pendrill A-M, Ekström P, Hansson L, Mars P, Ouattara L and Ryan U 2014 *The equivalence principle comes to school - falling objects and other middle school investigations* Phys. Educ. 49 425
- [22] Bagge S and Pendrill A-M 2002 *Classical physics experiments in the amusement park* Phys. Ed. 37 507
- [23] Kisiel, J 2003 *Teachers, museums, and worksheets: A closer look at learning experience* Journal of Science Teacher Education, 14, 321
- [24] Rennie L J and McClafferty T P 1995 *Using visits to interactive science and technology centers, museums, aquaria, and zoos to promote learning in science* Journal of Science Teacher Education 6 175
- [25] Mortensen M F and Smart K 2007 *Free-choice worksheets increase students' exposure to curriculum during museum visits* Journal of Research in Science Teaching 44 1389
- [26] Pendrill A-M, Kozma C and Theve A 2013 *Teacher roles during amusement park visits* Proceedings ICPE-GIREP, p 591-599, www.icpe2013.org/proceedings

Bilaga: Kommentarer till uppgifterna

StarFlyer: Kvoten, som man kan mäta i fotot i Fig. 1, mellan diametern, D_m , för gungornas rörelse och själva stjärnans diameter, som också är diametern, D_r , när gungorna är i vila, är $D_m/D_r \approx 1.9$ vilket ger $D_m = 27\text{m}$.

Diameter i vila för Slänggungan/Kättingflygaren: Som en första approximation för cirkelns omkrets i vila får vi $C_r = 32\text{ m}$ för Slänggungan (Fig.2). A 16-hörning har en något mindre omkrets än cirklen. Faktorn är $\theta/\sin \theta$, där $\theta = 2\pi/32$. Skillnaden blir 0.2% som kan försummas i detta sammanhang. Diametern blir då $D_r = 32\text{ m}/\pi \approx 10.2\text{ m}$.

Diameter när attraktionen är i rörelse. Diametern, D_m , för gungornas rörelse kan uppskattas från mätningarna i fotot som ger $D_m/D_r \approx 1.8$ m och $D_m \approx 18$ m. (Man kan notera att databladet för Slänggungan med 48 platser anger en maximal rotationsradie 9.9 m för gungorna i högsta läget.)

Omkrets och fart: Den uppskattade diametern för gungornas rörelse ger $C_m = \pi D_m \approx 84$ m för Himmelskibet och $C_m \approx 61$ m. för Slänggungan (Resultatet för Slänggungan kunde förstås också beräknas direkt som $C_m = 1.8C_r$, genom att använda kvoten 1.8 från fotot.) Med perioder $T = 60$ s/10 respektive $T = 60$ s/11, blir farten $v = C_m/T \approx 14$ m/s = 50 km/h för Himmelskibet och $v \approx 11$ m/s = 40 km/h för Slänggungan

Acceleration och krafter: Genom att sätta in värden från resultaten ovan får vi $a_c = v^2/r = 2v^2/D_m$, vilket ger 1.5g respektive 1.3g Accelerationen $a_c \approx 1.3g$ svarar mot en vinkel 52° . För denna vinkel måste totala kraften från kedjorna bli $T \approx 1.6mg$. Massan påverkar inte vinkeln. Detta är en konsekvens av ekvivalensen mellan *tung massa* (i **mg**) och *trög massa* (i **ma**). En acceleration som är vinkelrät mot rörelsens riktning, som i detta fall, påverkar inte farten: Inget arbete uträttas av en kraft som är vinkelrät mot rörelsen.

Vinkel och periodtid: Grafen i figur 7 för Himmelskibet ritades med hjälp av matlab-koden nedan.

```
angle=0:0.2:70; ang=angle*pi/180; g=9.82;
D=20; L=8; R=D/2+L*sin(ang); ac=g*tan(ang);
Omega = (ac./R).^0.5; T=2*pi./Omega; v=R.*Omega;
plot(angle,T,'b-',angle,(ac.^2+g^2).^0.5,'r-',angle,R,'g-',angle,v,'k-');
grid on; axis([0 70 0 30]); xlabel ('Angle (degrees)')
```

Grafen för övriga attraktioner erhålles genom att ersätta värdena för diametern D i vila och kedjornas längd L .

Takets lutning och pendelns rörelse: För en centripetal-acceleration $a_c = 1.3g$ och en vertikal acceleration om varierar mellan $\pm 0.5g$ kommer den totala g-kraften att variera mellan 1.3g och 2.0g. Lutningen leder till en svängning med en period på 3.9s. Denna period är oberoende av avståndet till centrum, men amplituden blir annorlunda för kedjor som hänger närmare centrum. Eftersom den inre pendeln har en något kortare kedja, 5.1 m, har den också en något kortare svängningstid (ca 4.5s) när karusellen är i vila. Man måste också ta hänsyn till den något lägre genomsnittliga G-faktorn, omkring 1.4 (figur 8) vilket ändrar pendelns period till ca 3.8s även i detta fall