



Figur 1: Slänggungan på Liseberg

Med Newton bland gungor och karuseller

Ann-Marie.Pendrill@fysik.lu.se

I nöjesparkens åkattraktioner är det din egen kropp som upplever krafterna i Newtons lagar, när den accelereras i 1, 2 och 3 dimensioner. Du får uppleva det fria falllets tyngdlöshet - eller känna dig mycket tyngre än vanligt när berg- och dalbanan går genom en dal. Åkattraktionerna ger många fina exempel på krafter i idealiserade situationer, som till exempel i Slänggungan / Kättingflygaren eller Himmelskibet.

Titta på bilden av Slänggungan ovan eller Himmelskibet till höger. Försök identifiera vilken fysik som kan vara relevant att diskutera i anslutning till dessa åkattraktioner som finns på många olika nöjesfält. Vilka frågor kan du ställa och vilka uppgifter kan du utforma med utgångspunkt i bilderna? I denna artikel ger vi exempel på observationer beräkningar och tankeexperiment som kan genomföras oberoende av besöket, och även analys av data som tagit upp under en åktur i Himmelskibet.

På besök med en grupp kan man stanna till intill en av dessa attraktioner medan den lastas och fråga vilken gunga som kommer att hänga i störst vinkel, en tom gunga, eller en gunga med en riktigt tung vuxen. Kommer den vuxne att hänga längst ut, eftersom det är tyngst att dra runt den vuxne i en cirkel - eller kommer tyngdkraften i stället att dra ner den vuxne mer? Eller är det så att båda effekterna precis tar ut varandra. Gissa, diskutera och observera!



Figur 2: Himmelskibet på Tivoli i Köpenhamn

Attraktionerna i figuren illustrerar *ekvivalensprincipen*, dvs att den tunga massan (i mg) är lika stor

som den tröga massan (i ma). Den demonstrerades av Galileo, i det legendariska experimentet med olika stora kulor som fick falla från tornet i Pisa. Samma princip som gör att alla kroppar faller lika snabbt i vakuum, gör också vinkeln i Himmelskibet oberoende av massan, liksom svängningstiden för en pendel och studsbollars rullande utför lutande plan. Det är en viktig princip som lätt försvinner i formelinsättning.

Horisontell acceleration

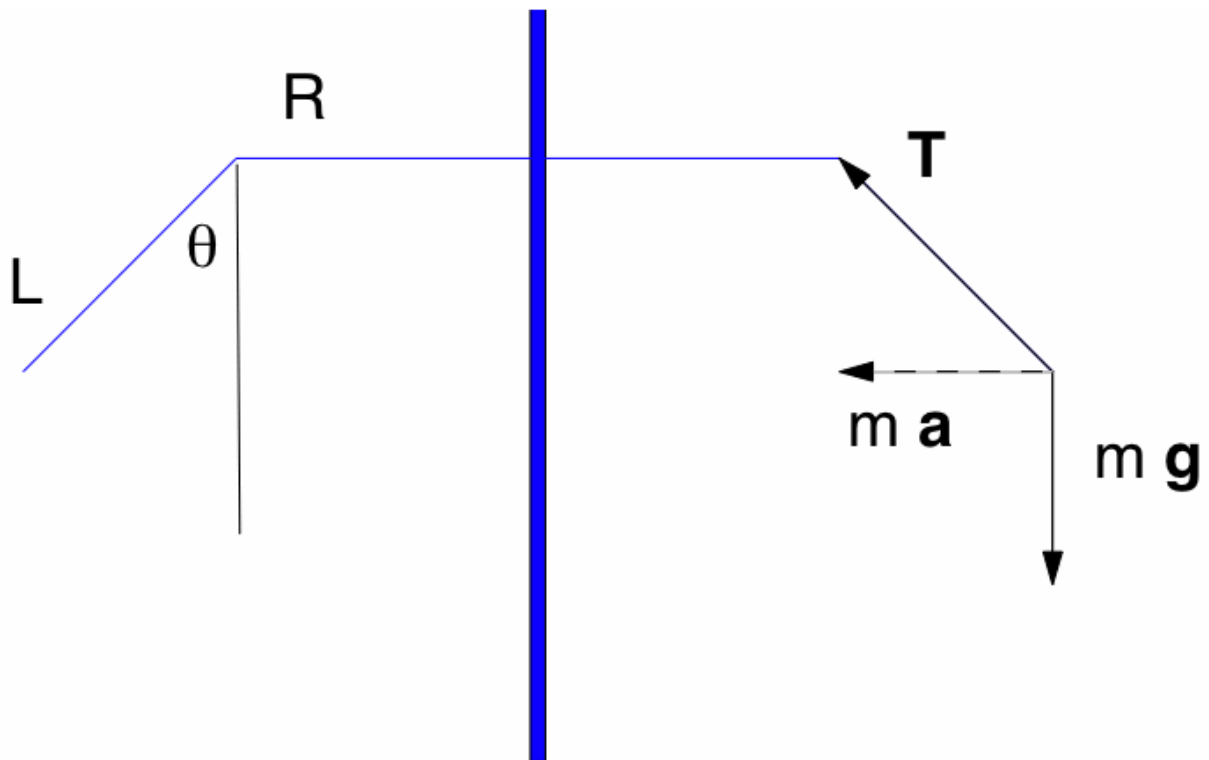
Acceleration vid horisontell rörelse kan mätas genom att mäta vinkeln för ett lod. En vinkel på 10 grader svarar mot att farten ökar från 0 till 50 km/h på 8 sekunder, och med 20 grader hinner man upp till 100 km/h på 8 sekunder. För ett flygplan som startar brukar vinkeln ligga mellan dessa värden. Denna metod kan också användas för att mäta acceleration t.ex. i klassiska attraktioner som Tekopparna/Kaffekoppen. För Himmelskibet, Slänggungan och Kättingflygaren är vinkeln nära 45 grader. Det svarar mot en acceleration omkring g . Det innebär naturligtvis inte att farten snabbt växer sig väldigt hög - eftersom accelerationen är vinkelrät mot rörelsen, in mot cirkelns centrum, kommer farten, v , att vara konstant i cirkelrörelsen. Vinkeln ger då ett mått på *centripetal-accelerationen*,

$$a_c = v^2/r = g \tan \theta.$$

Hur tung känner man sig under turen? För yngre elever kan man dra en vertikal linje som svarar mot elevens vikt uttryckt i kg. Genom att mäta längden på "T" får man ett mått i samma skala på hur många kg en medföljande våg skulle visa. (Men vågen får förstås inte åka med! Säkerheten måste komma först!)

Beräkningsuppgifter med data från ritningen.

Vilka beräkningsuppgifter kan vi formulera med tillgång till data om attraktionerna? Exempelvis är kedjornas längd i Kättingflygaren/Slänggungan 4.3 m. Avståndet mellan gungornas upphängningspunkter i yttersta raden är 2.0 m (kan också mätas på plats). I Himmelskibet är stjärnans diameter 14 m och kedjorna är 8 m. Figur 3 illustrerar attraktionens mått (vänstra delen) och krafterna på den som åker (högra delen). Med figurens beteckningar blir radien i cirkelrörelsen $r=R+L \sin \theta$.

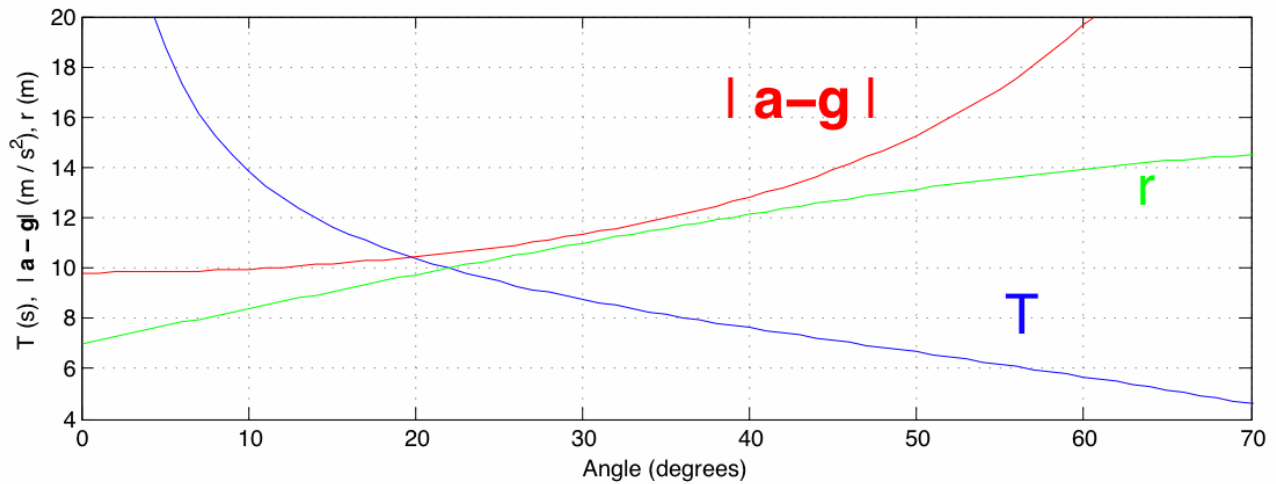


Figur 3: Relevanta mått för attraktionerna i figur 1-2 (vänster sida) och frikroppsdiagram (höger sida) för den som åker, konstruerat enligt Newtons andra lag, dvs $\Sigma \mathbf{F} = \mathbf{T} + m\mathbf{g} = m\mathbf{a}$, där \mathbf{T} är kraften från kedjorna.

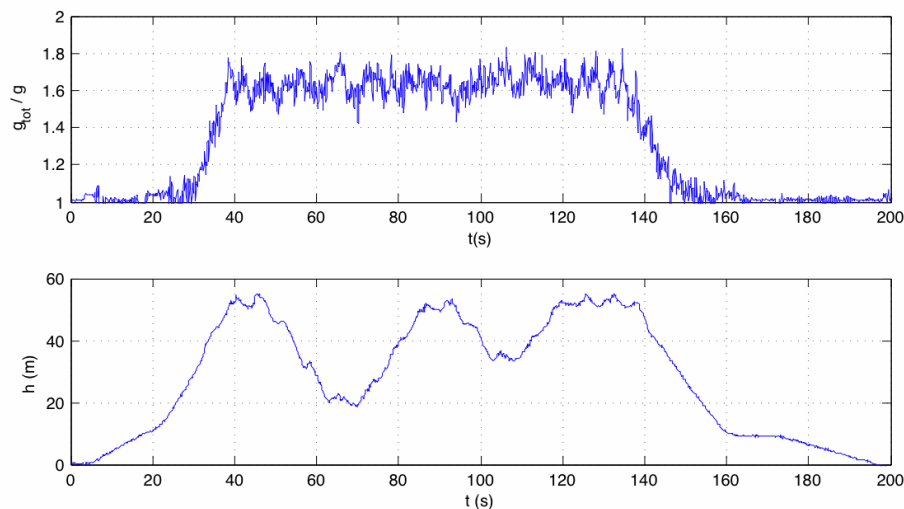
Med utgångspunkt i bilder och data kan vi formulera beräkningsproblem av olika svårighetsgrad. Det finns faktiskt tillräckligt mycket information för att svara på frågan om hur många varv karusellerna åker per minut. Vilken relation finns mellan vinkel och omloppstid? Tag gärna en liten stund och försök skriva ned vilka steg som behövs innan du läser steg-för-steg-beskrivningen nedan. Denna beskrivning blir en "scaffolding" eller "byggnadsställning" för den som vill konstruera lösningen till problemet. Beroende på studentgrupp och syfte med uppgiften kan de stödjande frågorna göras mer eller mindre omfattande - eller utelämnas. Några av resultaten kan jämföras med graferna i figur 4.

1. Hur stor blir accelerationen för en vinkel θ ?
2. Hur stor blir radien i cirkelrörelsen för denna vinkel?
3. Skriv ned ett uttryck för centripetalaccelerationen uttryckt i radie och omloppstid.
4. Sätt in radien från steg 2 i uttrycket för centripetalacceleration i 3.
5. Sätt likhet mellan centripetalaccelerationen från steg 1 och steg 4.
6. Använd uttrycket från steg 5 få fram ett uttryck för rotationstiden.

Det går naturligtvis också att skriva ner en mer traditionell skoluppgift och t.ex. be eleven först räkna ut storleken av kraften från kedjan, enligt formeln $T = mg / \cos \theta$. Därefter kan eleverna beräkna kvoten mellan denna kraft och tyngdkraften, vilket ger g-faktorn, eller "hur många g" man upplever i attraktionen. Men då har vi kanske lämnat fysiken och gått över i formelinsättning?



Figur 4: Omloppstid, T , $|\mathbf{a-g}|$ och cirkelns rörelsens radie, r , som funktion av vinkeln.



Figur 5: Mätdata från WDSS - Wireless Dynamic Sensor System.

Elektroniska mätdata

Många gymnasieskolor arbetar med elektronisk mätdatainsamling. För mätningar i åkattraktioner har en trådlös sensor, som t.ex. Verniers WDSS många fördelar. Man behöver då bara ta med jätelva sensorn under turen. Den försvaras då i en speciell mätväst (nödvändig i berg- och dalbanor och andra attraktioner med stora byglar) eller i en ficka som kan stängas. Sensorn kan användas för många mätningar i sträck, så länge man skriver ned vad som är mätt, hur sensorn hölls och i vilken attraktion.

Sensorerna ger mätdata i tre axlar. Resultaten i figur 5 visar data för en tur i Himmelskibet. Den övre grafen visar beloppet $|\mathbf{a-g}| / |g|$ under turen och den nedre visar höjden. Höjden mäts genom en barometer, men omvandlas till höjd i samband med att data överförs till datorn via blåttand.

Hur stämmer data i grafen med vinklarna i fotot?

Prova själv!

Nu är det dags att planera för 2010 års aktiviteter om karusell- och berg- och dalbanefysik. I samarbete mellan Nationellt resurscentrum för fysik (NRCF), Vetenskapens hus och Gröna Lund planeras en lärardag 20 maj som förberedelse för en fysikdag 9 september - eller för egna besök. Under lärardagarna går vi, efter in inledande presentation, runt i parken, provar några olika undersökningar i och intill attraktionerna och analyserar och diskuterar accelerometerdata. För klasser i södra Sverige ordnas en lärardag 27 april på Tivoli i Köpenhamn, i anslutning till deras dagar för mellanstadieklaser om "Sanser i Tivoli", dit även svenska klasser är välkomna. Tivoli ordnar dagar för äldre elever i augusti-september. Läs mer på fysik.org. Till hösten planerar vi också att ge en distanskurs (5hp) om hur man kan använda nöjesparker i fysikundervisningen.

Ann-Marie.Pendrill@fysik.lu.se

Professor i fysik

Föreståndare

Nationellt resurscentrum för fysik