

Galileos “slow motion”

Alla som någon gång har studerat mekanik har utsatts – kanske till leda – för lutande plan. Klossar som glider, kulor som rullar. Kroppar som rör sig nedför planet med eller utan friktion, ibland sammanlänkade med motvikter, ibland inte. Men för Galileo utgjorde det lutande planet en välkommen lösning på två besvärliga problem.

Idealiseringar är lika vanliga som nödvändiga inom fysiken. En förutsättning för att hitta de naturlagar som styr ett fenomen är att identifiera störande eller komplicerande faktorer – sådana som visserligen kan påverka fenomenets faktiska uppträdande, men som är irrelevanta för en grundläggande förståelse av det. För att verkligheten ska bli begriplig måste fenomenen renodlas och separeras. Det kan handla om allt från att ersätta solsystemets himlakroppar med punktmassor till att bortse från växelverkan mellan molekylerna i en gas.

En av fysikhistoriens tidigaste idealiseringar gjordes av Galileo Galilei. Han insåg att en korrekt förståelse av fallrörelse måste utgå från en beskrivning där man bortser från luftens inverkan. Varje medium som omger ett föremål – oavsett om det handlar om luft eller sirap – kommer att tendera att bromsa föremålets rörelse. Utgångspunkten måste därför vara fallrörelse i vakuum. Först sedan man skaffat sig en klar bild av detta fall kan man gå vidare och begrunda de komplikationer som följer med ett omgivande medium.

Denna grundläggande insikt i vetenskaplig metodik imponerar. Den principiella möjligheten av ett vakuum var starkt ifrågasatt i Galileos samtid. Det var ytterst oklart om hans idealisering var något annat än en omöjlig fantasi.

Vad som i alla händelser stod klart var att det eftertraktade vakuumet var praktiskt omöjligt att åstadkomma. Galileo var i sina experiment hänvisad till mätningar på föremål som föll genom luft. Han kunde bara hoppas att luftens närvaro inte påverkade rörelsen alltför mycket.

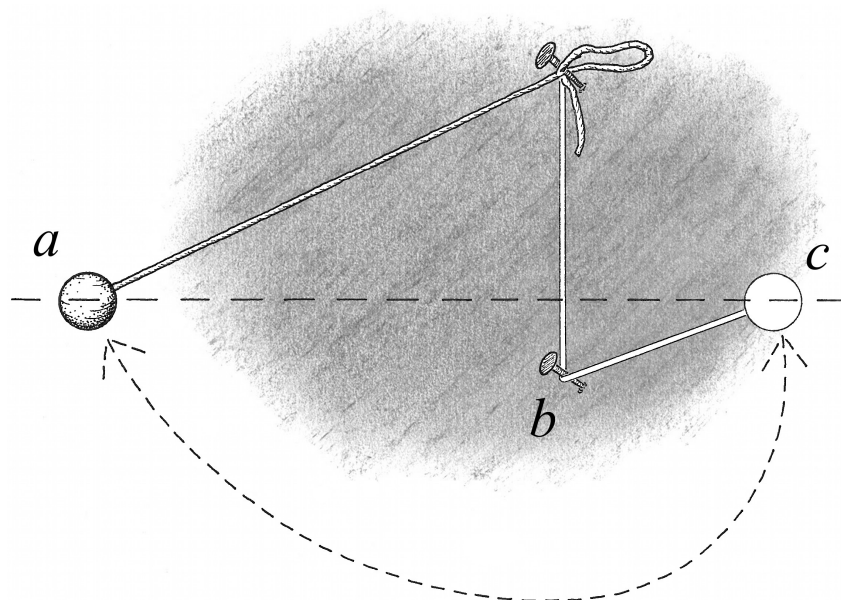
Dessutom hade han ett annat problem att brottas med: tidmätning. Det tidiga 1600-talets klockor var inte särskilt exakta, och det var svårt att med någon vidare noggrannhet fastställa den relativt korta tiden för ett fall till marken. När Galileo genomförde experiment som krävde någon sorts tidmätning använde han ofta de egna pulsslagen. Som alternativ fanns en sorts vattenklocka: ett tidsintervall kunde uppskattas genom att man mätte den mängd vatten som hann droppa ut ur en upphängd hink med hål i botten. Ingen av dessa metoder medgav förstås några precisionsmätningar.

Galileo fann en briljant lösning på båda problemen – svårigheten att mäta tid samt luftmotståndets inverkan på fallande föremål. Han ersatte den verkliga fallrörelsen med en kulas rörelse nedför ett svagt lutande plan. På så vis erhöll han en långsam version av förloppet, en fallrörelse i “slow motion”. Det underlättade givetvis tidmätningen, och eftersom luftmotståndet kunde antas vara försumbart vid låga hastigheter så eliminerades även detta problem.

Men hur skulle Galileo övertyga sina läsare om att en kula som rullar nedför ett lutande plan verkligen beskriver samma typ av rörelse, fast långsammare, som en fritt fallande kula i vakuum? Det han behövde visa var att den fart som kulan uppnår längs planet endast beror på dess *vertikala* förflyttning. Med andra ord: det som avgör kulans fart när den har rullat nedför planet är endast hur högt upp den startade; huruvida planet är brant och kort eller svagt sluttande och mycket långt spelar ingen roll. Om det bara är förflyttningen i höjddled som avgör kulans fart så måste en kula som rullar nedför ett svagt sluttande plan verkligen utgöra en långsammare version av fallrörelsen: kulans fart vid varje specifik höjd är densamma, men eftersom kulan måste följa det sluttande planet är den verkliga sträckan som den förflyttar sig mellan två höjder större än höjdskillnaden – därmed tar förloppet längre tid.

För att visa att det verkligen måste vara på detta sätt beskriver Galileo ett till synes väsensskilt experiment. Han uppmanar sina läsare att föreställa sig en pendel bestående av en liten tung kula i en tråd upphängd i en spik. Om kulan förflyttas ur sitt jämviktsläge rakt nedanför spiken och sedan släpps, så kommer den att beskriva en pendelrörelse: den kommer att röra sig fram och tillbaka längs en båge. Galileo ber oss särskilt notera att den alltid kommer upp till samma höjd som den som den släpptes från (och i den mån den inte gör det så beror det på motståndet från den omgivande luften).

Han ber oss nu föreställa oss att vi i väggen bakom pendeln spikar fast en spik till, en liten bit rakt under den första spiken, den där pendeln är fäst. När kulan ånyo släpps kommer denna andra spik att hindra den övre delen av snöret från att fullborda sin svängning. Kulan kommer icke desto mindre att fortsätta, men nu beskriva en cirkelbåge med mindre radie (se figuren). Notera nu, instruerar Galileo, att kulan trots detta orkar upp till samma höjd som den släpps ifrån. Detta kommer inträffa även om den nya spiken har satts fast strax under denna utgångshöjd. Om spiken dock sitter så lågt att snörets längd nedanför spiken inte räcker för att kulan ska kunna komma upp till utgångshöjden så kommer kulan i stället att snurra runt spiken och linda upp snöret på den.



Om kulan släpps från läge a kommer den upp till samma höjd på andra sidan när den vänder vid läge c, trots att den övre delen av snöret hindras att delta i hela svängningen på grund av spiken i b.

Vad har nu detta experiment att göra med det lutande planet?

Jo, säger Galileo, verkan av den nedre spiken är att göra hälften av kulans pendelrörelse – dess högra del i figuren – brantare. Men detta påverkar tydligen inte kulans fart i banans lägsta punkt, för om det gjorde det skulle den inte orka upp till samma höjd när den sedan pendlar tillbaka till utgångsläget. Alltså verkar det som att en banas lutning är irrelevant för den fart som erhålls; endast banans höjd spelar in.

Galileo medger att det är skillnad mellan pendelrörelsens böjda bana, och den raka väg som en kula beskriver när den rullar utför ett lutande plan. Men han påpekar att denna skillnad inte bör vara

relevant för slutsatsen: att det endast är höjdskillnaden mellan två punkter längs en bana som spelar roll för den fart som uppnås, och inte banans lutning (förutsatt att friktion mot banan och luftens motstånd kan försummas). Därmed är han berättigad att ersätta den hypotetiska – men för verklighetsbeskrivningen oundgängliga – fallrörelsen i vakuum, med den lättstuderade rörelsen hos en kula som makligt rullar nedför ett svagt sluttande plan.

Men, kanske läsaren invänder, handlar det här verkligen om ett tankeexperiment? Är det inte snarare ett *verkligt* experiment med en pendel som Galileo beskriver? Han uppmanar oss ju faktiskt att utföra detta experiment och ge akt på utfallet (att kulan orkar upp till samma höjd trots den extra spiken). Det förefaller därmed kanske lämpligare att beskriva resonemanget som ett *tänkt* experiment, snarare än som ett tankeexperiment. Med ett tänkt experiment skulle man då mena ett experiment som beskrivs och där utfallet helt enkelt meddelas åhörarna. Detta till skillnad från ett tankeexperiment, där syftet är att åhörarna själva ska kunna nå fram till den avgörande slutsatsen enbart genom ett logiskt resonemang.

Huruvida resonemanget med pendelrörelsen och spiken är att betrakta som ett riktigt tankeexperiment eller bara som ett tänkt experiment beror på läsarens förkunskaper. Galileo kan förstås inte förlita sig på att alla läsare har sådan praktisk erfarenhet av pendlar att de vet hur den beskrivna pendeln kommer att bete sig, och därför lägger han fram det hela som en beskrivning av ett experiment som han utfört tidigare, och som han nu uppmanar läsaren att pröva på egen hand. För den läsare som måste förlita sig på Galileos påstående om experimentets utfall (eller själv utföra experimentet) så är det förstås inget tankeexperiment, utan blott ett tänkt experiment.

Men för den som tidigare lekt lite med pendlar, och som redan skaffat sig något slags intuition för hur de beter sig, fungerar Galileos beskrivning som en effektiv påminnelse i rätt ögonblick. För en sådan läsare är det absolut fråga om ett tankeexperiment: det beskrivna experimentet tjänar då syftet att väcka relevant erfarenhet till liv – erfarenhet som kan motivera att den äkta fallrörelsen ersätts av en rörelse utför ett sluttande plan.