

Galileos fallande kroppar

Sören Holst¹

Fysikvetenskapen, såsom vi känner den idag, började ta form i början av 1600-talet. Galileo Galilei (1564 – 1642) verkar ha varit kusligt medveten om sin centrala roll i denna process – eller så var han bara odrägligt självupptagen. I alla fall skriver han i sitt sista verk, *Samtal och matematiska bevis om två nya vetenskaper*, publicerad 1638, om sina egna upptäckter rörande fallrörelse:

“...portarna skall därmed öppnas till en omfattande och betydelsefull vetenskap, i vilken våra forskningars skall utgöra grunddragen.”

I detta verk visade Galileo, bland mycket annat, att *all fallrörelse i frånvaro av luftmotstånd sker med konstant acceleration, lika för alla kroppar*. Denna princip gick på tvärs emot den då rådande Aristoteliska teorin: att tunga kroppar faller snabbare till marken än lätta. Det var i syfte att vederlägga denna uppfattning som Galileo formulerade fysikhistoriens kanske mest välkända tankeexperiment – eller i alla händelser det av filosofer och vetenskapshistoriker mest grundligt dissekerade.

Galileos bok är till största delen skriven som en dialog mellan tre personer: *Salviati* (väsentligen Galileos alter ego), *Simplicio* (som får representera Aristoteles lärar och som Galileo framställer som lite trögtänkt och intellektuellt osjälvständig) och *Sagredo* (en lärd men i princip neutral diskussionsdeltagare, som dock alltid i slutänden håller med Salviati). Tankeexperimentet i fråga är insprängt i ett längre parti som även behandlar vakuumets vara eller icke vara. Det börjar med att Galileo låter Simplicio redogöra för den Aristoteliska uppfattningen vad gäller fallrörelse:

“[Aristoteles antar] att kroppar av olika tyngd rör sig med olika stora hastigheter i samma medium och att dessa hastigheter står i samma förhållande till varandra som tyngderna. Så att, till exempel, en kropp som är tio gånger tyngre än en annan rör sig tio gånger snabbare.”

Detta utlöser en liten dispyt mellan diskussionsdeltagarna om huruvida det verkligen gjorts några demonstrationer till stöd för Aristoteles påstående. Simplicio hävdar att Aristoteles själv helt säkert utförde experimentet i fråga, och det räcker utmärkt för hans del. Sagredo säger sig ha utfört ett falletexperiment, där han lät en kanonkula falla jämte en gevärskula från två hundra alnars höjd, och att han då kunde observera att kanonkulan “inte stöter snabbare i marken ens med en tvärhand”. Salviati har dock andra planer för hur tvisten ska avgöras:

“Men utan andra experiment kan vi med en kort och bindande demonstration klart bevisa att det inte är sant att en tyngre kropp rör sig snabbare än en lättare, jag menar kroppar av samma ämne, kort sagt sådana som Aristoteles talar om.”

Han börjar med att fråga Simplicio om han anser att varje fallande kropp har en av naturen bestämd hastighet – en naturlig hastighet. Detta kan inte ifrågasättas, menar Simplicio. Salviati ber då sina

¹ Texten publicerad under vinjetten Tankeexperiment i Svenska Fysikersamfundets tidskrift Fysikaktuellt (nr 2, 2009)

åhörare att föreställa sig två kroppar, en tung och en lätt, alltså sådana att de har olika naturliga hastigheter. Om man nu fäster dessa båda kroppar vid varandra, och sedan låter dem falla tillsammans, så kommer den lätta kroppen att snabbas upp i sin rörelse, eftersom den dras med av den tyngre. Å andra sidan kommer den tyngre att saktas ned av den lättare, vars naturliga rörelse ju är långsammare. Håller Simplicio med om detta? Jo, det måste otvivelaktigt bli följd, svarar Simplicio, intet ont anande. Men, konstaterar Salviati, båda kropparna ihopsatta utgör ju tillsammans en större och tyngre kropp än den tyngre för sig. Således borde enligt Aristoteles antagande den sammansatta kroppen röra sig *fortare* än var och en av kropparna för sig. Ändå enades vi just om att den sammansatta kroppen måste röra sig långsammare än den större av kropparna. Salviati triumferar:

“Där ser ni: Om man förutsätter att en tyngre kropp rör sig snabbare än en lättare, drar jag slutsatsen att den tyngre rör sig långsammare.”

Salviati har visat hur Aristoteles teori leder till en motsägelse, och kan därmed avfärda denna utan vidare observationer eller empiriska undersökningar.

Galileo uppnår två saker med sitt resonemang. Dels motbevisar han Aristoteles tes genom att visa att den leder till en motsägelse. Dels leder han åhörarnas tankar till det mest naturliga sättet att komma runt denna motsägelse: hans egen teori att tunga och lätta föremål faller lika fort.

Vid en första anblick verkar Galileos argument häpnadsväckande effektivt: han kommer fram till en korrekt falllag genom ett enkelt resonemang, till synes utan att behöva tillgripa varesig empiri eller några speciella antaganden. Hur kan detta vara möjligt?

Resonemanget är dock inte fullt så vattentätt som det kan förefalla. Den som vill försvara Aristoteles skulle exempelvis kunna hävda att det föreligger en fundamental skillnad mellan enskilda kroppar och sammansatta kroppar, och att Aristoteles hypotes endast rör de enskilda. Således är den inte tillämplig när de två kropparna bundits samman, och undgår därmed motsägelsen. Ett annat försvar för Aristoteles skulle kunna framhålla kroppens vikt som bara en av flera komponenter som bestämmer fallhastigheten. Om exempelvis även kroppens form spelar in så uppstår ingen motsägelse när den tunga och den lätta kroppen binds samman.²

Båda dessa sätt att kringgå Galileos slutsats innebär emellertid att Aristoteles hypotes är ofullständig som teori för fallrörelse. Den kan räddas – men bara till priset av en mer komplex teori. Vad Galileo visar är att en *enkel* och *allmängiltig* teori inte kan utgöras av Aristoteles hypotes.

Värt att notera är också att Galileo inskränker sitt tankeexperiment till att handla om kroppar av samma ämne, alltså kroppar som har samma densitet. Detta framgår till exempel ur det första av Salviatis citat ovan (“...*jag menar kroppar av samma ämne...*”). Om materialen är olika finns nämligen en alternativ utväg ur motsägelsen, en utväg som Galileo vill undvika: man kan då hävda att det som bestämmer fallhastigheten är kropparnas *densitet*, snarare än deras tyngd. En järnkula kanske faller snabbare än en träkula, inte för att den är tyngre (som Aristoteles tycks hävda), utan för att den har högre densitet. I så

2 Faktum är att Aristoteles hypotes stämmer ganska bra när det gäller kroppar som faller genom vätskor (se t.ex. D. Atkinson, J. Peijnenburg, *Galileo and prior philosophy*, Stud. Hist. Phil. Sci. **35**, 115 (2004)). Här spelar även kroppens form och storlek en avgörande roll (eftersom friktionen mot vätskan är kraftigt beroende av hur stor yta kroppen har).

fall skulle det vara högst rimligt att man, när man som i Galileos experiment fäster kulorna i varandra, erhåller en ny kropp som faller snabbare än träkulan men långsammare än järnkulan – den sammansatta kroppen har ju en medeldensitet som är mellan järnets och träets. En sådan lag är på intet sätt orimlig. Kom ihåg att en liknande lag faktiskt styr kroppars rörelse i vätskor: här är det just densiteten som avgör huruvida ett föremål sjunker till botten eller flyter upp till ytan.

En tänkbar lag för fall genom vakuum är alltså att fallhastigheten (eller accelerationen) beror på densiteten hos det fallande föremålet. Galileo var väl medveten om detta, och detta var också något som bekymrade honom:³ hur skulle han visa att hans falllag gällde universellt, att fallhastigheten i vakuum var densamma oberoende av kroppens densitet? Det som slutligen övertygade honom var bland annat observationer som visade att skillnaden i fallhastighet mellan föremål av olika densitet blev mindre ju tunnare mediet var. Därmed verkade det rimligt att anta att skillnaden skulle vara helt utplånad i tomrum.

Så även om Galileos tankeexperiment är elegant bör man inte överdriva dess betydelse för hans upptäckt av den korrekta fallagen. I fysiken kan man visserligen komma förvånansvärt långt enbart med tankeövningar. Men det räcker aldrig hela vägen.

3 P. Palmieri, *'Spuntar lo scoglio più duro': did Galileo ever think the most beautiful thought experiment in the history of science?*, Stud. Hist. Phil. Sci. **36**, 223 (2005).