

Newtons hink och det absoluta rummet

I verket *Principia* som utkommer 1687 lägger Newton grunden till mekaniken. Han argumenterar här utförligt för att rummet är absolut: "Det absoluta rummet, till sin natur utan relation till varje yttre, förblir alltid likadant och orörligt." Visserligen är det bara objektens relativa positioner som kan observeras och fastställas, men det absoluta rummet finns ändå där i bakgrunden, som en orörlig och evig scen för de fysikaliska skeendena.

Som argument för sitt absoluta rum formulerar Newton ett tankeexperiment.

Han föreställer sig hur en hink upphängd i ett långt snöre roteras kring sin vertikala axel till dess att snöret är hårt virat. Därefter fylls hinken till ungefär hälften med vatten. Med en lätt skjuts sätts hinken i rotation så att snöret börjar att viras upp och håller den snurrande ett tag. Newton uppmanar oss att nu ge akt på vattenytans form. Till en början, när hinken just har börjat rotera, är vattenytan lika plan som nyss. Men efter en stund har friktionen mellan vattnet och hinkens vägg fått även vattnet att börja rotera. Då är vattenytan inte längre plan utan skålformad; vattenytan har "krupit upp" längs hinkens kant, och är mycket högre där än i hinkens mitt.



Hur ska man förklara detta fenomen? Newton konstaterar att det inte kan vara den relativa rörelsen mellan vatten och hink som är avgörande, eftersom effekten är som störst när vattnet helt och hållet roterar med hinken, alltså när det inte finns någon relativ rörelse mellan hink och vatten. I stället är det enligt Newton vattnets "sanna och absoluta cirkulära rörelse" som är orsaken till den kupiga vattenytan. Han tolkar experimentet som ett belägg för det orörliga och absoluta rummet.

Ungefär tvåhundra år senare, i slutet av 1800-talet, tar den österrikiske fysikern och vetenskapsfilosofen Ernst Mach upp Newtons resonemang till granskning. Mach beundrade Newtons bidrag till fysiken, men var samtidigt kritisk till idén om ett absolut rum. Allt vi kan observera är kroppars inbördes positioner och hur dessa förändras; vi har inte tillgång till något "externt" rum att jämföra rörelser med. Mach insisterar således på att fysiken måste vara strikt *relationell*: den kan bara uttala sig om relationer mellan objekt, inte om hur de är i sig själva.

Mach medger att vattenytan i Newtons roterande hink buktar trots att den befinner sig i vila i förhållande till hinkens väggar. Men detta säger oss enbart att det inte kan vara den relativa rörelsen *mellan hink och vatten* som orsakar de centrifugalkrafter som får vattenytan att krypa upp längs hinkens kant.

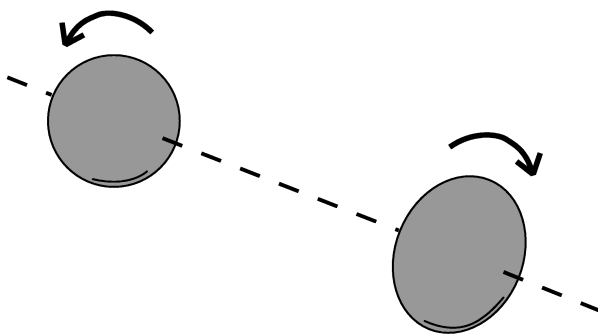
I en retorisk vändning uppmanar Mach oss att fixera hinken och i stället rotera universums alla stjärnor omkring den – kan vi då vara säkra på att inte vattenytan åter skulle bli skålformad? Med andra ord: hur vet vi att centrifugalkrafterna inte orsakas av den relativa rörelsen mellan vattnet i hinken och all universums materia? Och vad vet vi om hur vattnet skulle bete sig om hinkens väggar vore massiva och av flera mils tjocklek? Vem vågar påstå att vattenytan i en sådan roterande jättehink inte skulle vara i det närmaste plan?

Mach insisterar alltså på att vår beskrivning av verkligheten endast bör ta fasta på relativa förhållanden mellan objekt, eftersom det endast är sådana som är tillgängliga för mätningar och observationer. Denna syn leder Mach till en tolkning av hinkexperimentet som är i det närmaste

motsatt Newtons. Där Newton ser belägg för ett absolut rum, ser Mach en illustration av hur centrifugalkrafter, liksom andra tröghetskrafter, bör förstås som uttryck för den relativa rörelsen mellan ett objekt och resten av materian i universum – en idé som i olika varianter brukar gå under namnet *Machs princip*.

Mach själv gjorde inget försök att formulera någon sådan relationell fysik. Men en som lät sig inspireras av hans tankar var Albert Einstein. I en epokgörande artikel från 1916 formulerar Einstein sin egen version av Newtons hinkexperiment.

Einstein föreställer sig två himlakroppar som befinner sig långt ute i rymden, långt från andra stjärnor och planeter. De befinner sig också så långt från varandra att vi kan bortse från gravitationskraften som verkar mellan dem. Avståndet mellan himlakropparna är konstant, men de roterar i förhållande till varandra omkring den linje som förbinder dem, se figuren nedan. En observatör på den ena kroppen uppfattar alltså en rotation hos den andra kroppen, och omvänt. Antag nu att man genomför noggranna mätningar av de båda kropparnas form, och kommer fram till att den ena är en perfekt sfär medan den andra har formen av en ellipsoid: den är svagt tillplattad vid polerna och buktar ut något vid ekvatorn. Detta trots att situationen i övrigt förefaller helt symmetrisk.



Vad, frågar sig Einstein, skulle utgöra en tillfredsställande förklaring av en sådan observation? Newton – liksom de flesta av oss – skulle svara att skälet till kropparnas olika form är att den ena kroppen roterar medan den andra befinner sig i vila: den som roterar får en tillplattad form på grund av centrifugalkrafter som får dess materia att sträva bort från rotationsaxeln. Detta duger dock inte enligt Einstein. Man kan inte förklara skillnaden i form mellan kropparna med något som inte är direkt observerbart, i detta fall ett abstrakt roterande tillstånd. Någon kanske invänder att rotation respektive frånvaro av rotation visst är observerbar. Jo visst, men den tar sig bara uttryck i fenomen såsom utbuktande sfärer eller buktiga vattenytor – alltså just de fenomen som skulle förklaras. Så vad vinner man med en sådan förklaring? Ingenting, insisterar Einstein. Som skäl för ett observerbart fenomen kan man aldrig ange ett icke-observerbart förhållande, eller ett som enbart tar sig uttryck i det som skulle förklaras.

Einstein ansluter sig här till Machs syn: han menar att en godtagbar förklaring måste utgå från universums övriga materia. Observatören på den sfäriska kroppen finner att natthimlens stjärnor står stilla på himlavalvet. Han drar slutsatsen att deras inverkan på den egna planeten måste vara helt symmetrisk – därför är hans planet en sfär. Observatören på den andra planeten finner däremot att stjärnorna kretsar runt längs cirklar över natthimlen. Deras inverkan på hennes hemplanet är därmed asymmetrisk – därför har den formen av en ellipsoid. En acceptabel teori måste förklara denna påverkan från de omgivande stjärnorna.

Einstein använder detta resonemang för att bereda vägen för sin gravitationsteori, den allmänna relativitetsteorin. Denna teori blev en stor framgång, och kanske Einsteins viktigaste bidrag till fysiken. Men faktum är att den färdiga teorin knappast kan sägas uppfylla Machs önskan om en relationell fysik, åtminstone inte på det sätt som Mach och Einstein ursprungligen tänkt sig. I

Einsteins teori är det fortfarande möjligt att betrakta en ensam roterande kropp i ett i övrigt tomt universum. En sådan kropp kommer att bukta ut, och det är enligt teorin väldefinierat hur snabbt den roterar trots att det inte finns något annat att jämföra rörelsen med. Visserligen finns intet spår av ett absolut rum i den allmänna relativitetsteorin, men begreppen acceleration och rotation är lika absoluta där som i Newtons mekanik.

Newtons roterande hink och Einsteins motsvarande resonemang med sfärer visar hur väsentligen samma tankeexperiment kan leda till diametralt olika slutsatser. För Newton utgör tankeexperimentet ett belegg för det absoluta rummet; för Mach och Einstein illustrerar det behovet av en strikt relationell fysik. Båda slutsatserna är, enligt vad vi vet idag, felaktiga.

Ändå måste detta tankeexperiment sägas tillhöra de mest fruktbara genom fysikhistorien. För Newton gav idén om det absoluta rummet en stabil teoretisk grund, nödvändig för att han skulle kunna utveckla sin mekanik och därmed också lägga grunden för fysiken. För Einstein utgjorde Machs idéer, uppbackade av samma tankeexperiment, en viktig inspirationskälla i skapandet av den allmänna relativitetsteorin.

(Sören Holst, artikeln publicerad i Fysikaktuellt nr 1 2010)