

ARISTOTELES, GALILEI OCH NEWTON
OM ORSAKER, RÖRELSER OCH FÖRÄNDRING

INLEDNING

Aristoteles bok *Fysik* (350 f.Kr.) har rätt nyligen kommit ut i svensk översättning, lite sent kan man tycka. Charlotta Weigelt, översättare, Ulf Danielsson, professor i teoretisk fysik i Uppsala och undertecknad hade en diskussion om verket i radioprogrammet *Filosofiska rummet* hösten 2017. Ulf Danielsson har vidare skrivit en recension av boken i denna tidskrift (nr 1, 2019).

Syftet med denna artikel är att jämföra Aristoteles begreppsapparat med den i klassisk mekanik och peka på två viktiga skillnader som, enligt undertecknads mening, förklarar varför fysiken som vetenskap i stort sett inte gjorde några framsteg under 2000 år. Vanligen brukar man låta Aristoteles orsaksbegrepp bära skulden för detta, men jag tror att det är två andra aspekter av Aristoteles teori som lade hinder i vägen för vidare framsteg i fysiken, nämligen hans doktrin att åtskillnaden mellan vila och rörelse är en objektiv skillnad samt hans materiebegrepp: i Aristoteles teori är materia inte en kvantitet.

ÖVERSIKT ÖVER ARISTOTELES FYSIK

Aristoteles *Fysik* heter på grekiska *Fysike akroasis*, vilket ungefär betyder 'naturföreläsning'. Till naturen räknade Aristoteles alla ting som är rörliga eller föränderliga och det som utesluts är alltså studiet av de oföränderliga tingen, de matematiska objekten och de eviga formerna. Ämnet för *Fysik* är förändringar och de föränderliga tingen.

Parmenides (ca 515–455 f.Kr.) och Zenon (ca 490–430 f.Kr.) hade givit välkända argument för att rörelse och förändring är omöjliga, varav följer att när vi ser att växter och djur växer upp, vissnar och dör, eller att kroppar rör sig, så måste detta vara skenbara förändringar: i verkligheten kan det inte finnas någon förändring. Det verkar absurt och Aristoteles ägnar de tre första böckerna i *Fysik* åt att tillbakavisa Parmenides och Zenons argument. Aristoteles anser att den observerbara yttervärlden är verklig, där sker förändringar och därför måste Parmenides

och Zenons argument vara ogiltiga. Detta verkar ju från vårt moderna perspektiv självklart, men var det lika självklart bland Aristoteles föregångare och samtida?

Aristoteles börjar sin framställning med det som är oss välbekant, de vardagliga naturföremålen omkring oss, såsom växter, djur, berg och floder, m.m. Naturfilosofer före Aristoteles gjorde inte så, de resonerade huvudsakligen *a priori*. Vardagliga naturföremål har ett gemensamt drag, de är underkastade förändring och rörelse. Därför är bokens centrala ämne studiet av just förändring och rörelse.

Vi frågar oss varför saker rör på sig och varför det i största allmänhet sker förändringar. Filosofer är då benägna att ställa sig nästa fråga: vilka möjliga svar finns det på sådana frågor? Aristoteles gör just detta och han identifierar fyra olika sorters orsaker, *aition*: den materiella, den formella, den verkande och den finala orsaken. Detta är de fyra typer av svar man kan ge på en fråga om varför något sker eller varför något är som det är. Men frågan är om inte ordet 'orsak' är en mindre lyckad översättning av Aristoteles *aition*. När man ser på hans exempel förefaller det mer naturligt att översätta *aition* med ordet 'förklaring', eller kanske 'förklarande faktor', och då framstår det som högst rimligt att säga att t.ex. förklaringen av en människas handling består i att ange vad hon hade för mål med handlingen, vad hon hoppades uppnå. Detta är enligt Aristoteles den finala *aition* och det strider inte på något sätt emot hur vi fortfarande tänker, så länge vi inte kallar detta syfte en orsak. Men Aristoteles tänker sig även att orsaken till att kroppar faller ner är att deras mål är att finna sin rätta plats i världen, vilket är en övergeneralisering från hur vi förklarar mänskliga handlingar. Endast tänkande varelser kan göra sig föreställningar om framtida tillstånd och därför är finala förklaringar endast tillämpliga på människors handlingar.

Rörelse och förändring sker i rum och tid och därför är det följdriktigt att Aristoteles i bok fyra i *Fysik* behandlar *plats*, *tomrum* och *tid* efter att i de föregående böckerna ha slagit fast att förändringar är verkliga. Vad gäller tomrum så argumenterar Aristoteles för att det inte finns, tomrum är inte något varande. Ett centralt argument är att om tomrum funnes skulle alla kroppar med nödvändighet vara i vila eftersom ett tomrum är isotropt och likformigt, och då skulle rörelse från en plats till en annan inte vara möjlig.

Aristoteles föregriper här Leibniz, som i sin kritik av Newtons absoluta rumsuppfattning bl.a. använde argumentet att om det funnes ett absolut rum som innehöll en enda kropp, så verkar det i förstone

meningsfullt att hävda att kroppen förflyttas från en plats till en annan i rummet. Men det finns inga skillnader mellan olika platser i rummet, så det finns ingen grund till att säga att kroppen flyttas från en plats till en annan. Ingenting har ändrats. Leibniz slutsats är att rumsliga relationer måste kunna återföras på relationer mellan kroppar och att rummet inte är någon substans. Det förefaller rätt sannolikt att Leibniz blivit inspirerad till detta argument av Aristoteles.

Den mest intressanta delen av bok fyra är, enligt min mening, diskussionen om tid och rörelse. Aristoteles drar slutsatsen: "Tiden är följaktligen inte en rörelse utan det sätt på vilket rörelsen har ett tal" (s. 202). Tiden själv är alltså inte någon förändring och sådana uttryck som 'tiden går' måste alltså ses som metaforer för att föremålen rör sig. Många moderna filosofer, inklusive undertecknad, instämmer. Vidare skriver Aristoteles att

Det är emellertid inte bara så att vi mäter rörelse i termer av tid utan vi mäter också tiden genom rörelse, beroende på att de ömsesidigt bestämmer varandra. Tiden bestämmer rörelsen genom att utgöra dess tal, och rörelsen bestämmer tiden. (s. 206)

Så sant: vi mäter tid med klockor och klockor är ting som rör sig. Einstein lär ha uttryckt denna insikt som 'Tid är det man mäter med klockor', såsom svar på en journalists fråga om vad tid är.

Fysiks centrala begrepp är förändring och Aristoteles skiljer på fyra slags förändringar: skapelse/förintelse av substanser, dvs. av individuella föremål; kvalitativa förändringar, t.ex. färgförändringar; kvantitativa förändringar, t.ex. längdökning hos träd; och slutligen kroppars förflyttningar mellan olika platser.

Orden 'förändring' och 'rörelse' är översättningar av de grekiska orden *metabole* och *kinesis*. Aristoteles använder till en början dessa ord som synonymer, men från ungefär mitten av boken gör han en skillnad: *kinesis* betecknar därefter rörelse, som är en underkategori till förändring. Från och med bok fem av *Fysiks* åtta böcker fokuserar Aristoteles på det som vi nu kallar mekanik, dvs. studiet av kroppars rörelser.

ARISTOTELES OM RÖRELSER

Aristoteles skiljer på två slags rörelse bland tingen på jorden, naturligt och tvungen, vilket är kopplat till hans kosmologi. I likhet med alla antika författare (utom Aristarchos) trodde Aristoteles att jorden låg stilla

i världens centrum. Vidare antog Aristoteles att alla kroppar på jorden har en inneboende tendens att förflytta sig till sin rätta plats i detta universum, närmare centrum ju tyngre tinget är; tunga föremål faller av sig själva neråt medan lätta föremål, såsom eld, rör sig uppåt. Detta är naturliga rörelser, vilka inte kräver någon förklaring i termer av påverkan från andra ting.

Tvungna rörelser kräver något som påverkar kroppen, vilket måste vara en annan kropp, enligt Aristoteles. Han inför inte ordet 'kraft', men han har helt klart uppfattningen att om en kropp utför tvungen rörelse så är det något annat som tvingar den, dvs. en annan kropp som i sin tur rör sig och knuffar på den eller drar i den.

I himlen gäller andra regler: himlakropparna rör sig i evighet i cirklar runt jorden utan något synlig påverkan från något annat. Aristoteles drar slutsatsen att det måste finnas något som kontinuerligt håller igång maskineriet, 'den förste röraren'. Ty allting som rör sig rörs av något, antingen av sig självt eller av något annat. Och om det rörs av något annat så får vi en oändlig kedja av rörare, vilket är omöjligt. Alltså måste det finnas en första rörare, vilken är evig och orörlig. Man kan lätt förstå att senare tiders katolska teologer tolkade den förste röraren som Gud, men inga sådana teologiska reflektioner återfinns i *Fysik*.

Det största problemet med Aristoteles teori om rörelser är att han inte kan förklara varför en kastad sten eller ivägskjuten pil fortsätter att röra sig ett tag utan att något föremål skjuter på. Den verkande orsaken, handen som kastar stenen, eller bågsträngen som trycker iväg pilen, upphör ju att verka så fort föremålet far i väg och då borde rörelsen upphöra, enligt Aristoteles teori. Detta är en uppenbar konflikt med vad vi alla kan se och Aristoteles fysik har bedömts hårt i vetenskapshistorien. Theodor Gompertz, t.ex. skriver så här:

Aristoteles fysikaliska doktriner utgör en besvikelse i vetenskapshistorien ... Renässansens vetenskapsmän var tvungna att frigöra sig från hans auktoritet innan de kunde beträda vägen mot framsteg och fruktbar forskning. (1955, s. 108, 111)

Detta är inte en helt rättvisande bedömning. Om man jämför Aristoteles med föregångarna så måste man säga att hans *Fysik* är ett framsteg i så måtto att han utgår från observationer, inte från abstrakta principer. Men två centrala idéer hos Aristoteles var ett stort hinder för vidare framsteg i fysiken. Det första är uppfattningen att riktningar, dvs. upp-ner, vänster-höger, är objektiva, ej relativa till betraktaren. Detta

har förstås att göra med den allmänt vedertagna kosmologin under antiken, att jorden är i vila i universums medelpunkt. I detta perspektiv är det närmast självklart att betrakta distinktionen mellan vila och rörelse som en objektiv skillnad, inte en skillnad i relation mellan betraktaren och det observerade föremålet, som vi nu gör.

GALILEI OM VILA OCH RÖRELSE

Steget att inse att vila och rörelse är relativa betraktaren togs av Galilei, 1900 år efter Aristoteles. Hans berömda exempel är att jämföra perspektiven hos en man som betraktar händelser på ett skepp som seglar förbi och hos en besättningsman på skeppet. Om ett föremål släpps från riggen så rör det sig i en parabelformad bana, sett från stranden, men sett från en betraktare på skeppet faller det rakt ner. Dvs., sett från en betraktare på skeppet är föremålet i horisontell vila under fallet, men sett från stranden rör det sig med samma horisontella fart som skeppet även när det är frikopplat från det. Horisontell rörelse kräver alltså inget som påverkar kroppen och man kan sluta sig till att likformig rörelse och vila är relativa betraktaren.

ARISTOTELES RESPEKTIVE NEWTONS MATERIEBEGREPP

Det andra stora hindret för utvecklingen av fysiken var att för Aristoteles är materia inte en kvantitet. Enligt Aristoteles har de primära substanserna, dvs. individuella föremål, två aspekter, *materia* och *form*. Det är nu högst rimligt att vidare tänka sig att varje primär substans innehåller en viss mängd materia, men så tänkte inte Aristoteles.

Primära substanser är, enligt Aristoteles, de saker som enbart kan förekomma som subjekt, aldrig som predikat. För en modern läsare är detta en sammanblandning mellan uttrycket 'primär substans' och det som uttrycket refererar till, men vi förstår lätt vad han menar. Man kan med ett visst våld på Aristoteles framställning säga att sådana uttryck som endast kan stå i subjektposition (såsom egennamn och bestämda beskrivningar) betecknar, eller refererar till, det som Aristoteles kallar 'primära substanser'. Vi skulle kanske kalla sådana ting 'individuella föremål'.¹ Dessa primära substanser har olika egenskaper, vilka

1. Aristoteles använder lingvistiska kriterier för att identifiera primära substanser, men hans logik och semantik är bristfällig. I modern semantik skiljer vi på generell och singular term med kriteriet att en singular term endast kan stå i subjektposition,

Aristoteles delar in i ett antal kategorier såsom kvantitet, kvalitet, tid, plats etc. Dessa kategorier kan prediceras om primära substanser. Men 'materia' kan ju vara predikat ('lera är mjuk materia'), alltså är materia ingen substans, vilket ju är följdriktigt: materia är en aspekt av primära substanser, inte en egenskap hos dem. Då kan materien inte tillskrivas en kvantitet, det är en konsekvens av begreppsbyggnaden. I Aristoteles teori kan man inte ställa frågan hur mycket materia det finns i ett föremål, det är ett kategorimisstag.

Varför är då detta ett stort hinder för utvecklingen av fysiken? Jo, skälet är att vi behöver just begreppet *kvantiteten materia*, av Newton döpt till 'massa', när vi skall beskriva vad som händer när två kroppar påverkar varandra.

Omkring 1660, dvs. 27 år före publiceringen av Newtons huvudverk *Principia* (1687) utförde John Wallis, Christopher Wren och Christian Huygens, var för sig och oberoende av varandra, mätningar av kolliderande kulors hastigheter före och efter kollisionen. De fann en strikt proportionalitet mellan de kolliderande kulornas hastighetsändringar Δv :

$$\Delta v_1 / \Delta v_2 = \text{konstant} \quad (1)$$

varav följer att

$$k_1 \Delta v_1 = -k_2 \Delta v_2 \text{ (hastighetsändringarna är motsatt riktade)} \quad (2)$$

Dessa två konstanter betecknar konstanta egenskaper hos kropparna; vad kan de vara? Det krävs blott ett ögonblicks eftertanke för att inse att en konstant egenskap hos alla kroppar är deras massa, dvs. *mängden materia*. Ordet *massa* introduceras i första meningen i *Principia* såsom förkortning för *mängden materia*.

Ekvation (2) ovan, som vi nu kallar lagen om rörelsemängdens konstan (med konstanterna identifierade som kropparnas massor), är den ena komponenten i den empiriska basen för klassisk mekanik. (Den andra är gravitationslagen.) Framställningen i *Principia* återspeglar dock inte den historiska utvecklingen av den klassiska mekaniken.

Newton börjar *Principia* med sina tre rörelselagar, vilka han kallar *axiom*, förmodligen för att efterlikna Euklides framställning av geometrin i *Elementa*. Dessa rörelselagar är:

vilket verkar vara vad Aristoteles åsyftar. (En singular term kan dock vara en del av ett predikat.) Men i vardagligt språk är 'grekernas här' en singular term och subjekt i satsen 'Grekernas här slog Persernas här'. Men skulle Aristoteles säga att grekernas här är en primär substans?

- N1: Varje kropp förblir i sitt tillstånd av vila eller likformig och rätlinjig rörelse om den ej tvingas av påverkande krafter att förändra detta tillstånd.
- N2: Ändringen i rörelsekvantiteten är proportionell mot den tryckande kraften och sker längs den räta linje i vilken denna kraft verkar.
- N3: Motverkan är alltid motsatt och lika stor som verkan: eller två kroppars ömsesidiga verkningar på varandra är alltid lika stora och riktade åt motsatt håll.

Rörelsekvantitet (som vi nu kallar *rörelsemängd*, symboliseras med p nedan) är produkten av en kropps massa och hastighet och denna definition finns i början av *Principia*. Men man frågar sig vad Newton menar med *kraft* och *verkan*, de måste ju få kvantitativa definitioner för att kunna användas i teorin. Genom att se hur han använder dessa lagar i sitt vidare resonemang inser man att *verkan* är ändring av rörelsekvantiteten, $\Delta p = m\Delta v$, dvs. massa gånger hastighetsändringen, och *kraft* är derivatan av rörelsekvantiteten dvs. dp/dt . Newtons tredje lag N3 är alltså helt enkelt en omskrivning av lagen om rörelsemängdens konstans och N2 är definitionen av *kraft*. (N1 är ett specialfall av N2.) Den vanliga uppfattningen att N2 är en empirisk lag är felaktig.

Den empiriska grunden för klassisk mekanik är således lagen om rörelsemängdens konstans, som är en generalisering av de experiment Wallis, Wren och Huygens utförde. För att kunna formulera denna fundamentala lag behöver vi begreppet *kvantiteten materia*, dvs. *massa*; det går inte att formulera lagen om man inte inför detta begrepp. Således måste man ge upp Aristoteles begreppsapparat, där begreppet *materia* inte kan kvantifieras, för att komma fram till den klassiska mekanikens lagar. (Man behöver likaledes ett kvantitativt materiebegrepp, *tung massa*, i gravitationslagen.) Hela Aristoteles begreppsapparat bestående av *substans*, *materia*, *form*, *kategorier* är oanvändbar i fysiken som en experimentell, kvantitativ vetenskap.

SAMMANFATTNING

Ovanstående två drag i Aristoteles teori: tesen att vila-rörelse är en objektiv distinktion och tanken att materia inte är en kvantitet, utgör skäl för att, i likhet med Gomperz, hävda att Aristoteles teori var ett stort hinder för fysikens utveckling. Men man skall å andra sidan inte glömma bort att Aristoteles på det hela taget är en empirist i motsats till många

föregångare. Han tar för givet att den observerbara världen är verklig, att förändringar är verkliga, och han är den förste som försöker ge systematiska förklaringar av förändringar. Denna grundläggande vetenskapliga attityd är det stora framsteget i relation till tidigare filosofer, enligt undertecknads mening. Förvisso fanns det naturfilosofer före Aristoteles, men hans *Fysik* är det första systematiska försöket att ge en generell teori om förändring och rörelse som varken bygger på ingripanden av övernaturliga väsen, eller på rent aprioriska argument. Förklaringar till rörelse och förändring står att finna i naturen själv. Denna grundläggande övertygelse skiljer vetenskapen både från metafysisk spekulaton och från mystiska eller religiösa läror.

Aristoteles misstog sig när han trodde att likformig rörelse kräver något som orsakar rörelsen. Likaså var det ett misstag att inte behandla materia som en kvantitet. Men det är nyttigt att se varför han tog fel och att förstå hur det gick till när man övervann dessa misstag.

LITTERATUR

- Aristoteles. (ca 350 f.Kr.) 2017. *Fysik*, översättning och inledning av Charlotta Weigelt. Stockholm: Thales.
- Gompertz, Theodor. (1912) 1955. *Greek Thinkers: A History of Ancient Philosophy*, Book 6, *Aristotle and His Successors*. New York: Humanities Press.
- Newton, Isaac (1687) 1986. *Naturvetenskapens matematiska principer*, översättning av *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* av C. V. L. Charlier, 2. uppl. Malmö: Liber läromedel.