

Tack

Jag vill tacka Bill Newton-Smith, Peter Lipton, Elizabeth Okasha, Liz Richardson och Shelley Cox för att ha läst och kommenterat tidigare versioner av detta material.

Samir Okasha

Illustrationer

1. Kopernikus universum 12
© Archivo Iconografico, S.A./Corbis
2. Galileo och det lutande tornet i Pisa 14
© Bettman/Corbis
3. Charles Darwin 19
© Corbis
4. Watsons och Cricks DNA-modell 20
© A. Barrington Brown/Science Photo Library
5. Kromosomer hos en person med Downs syndrom 32
© L. Willatt, East Anglian Regional Genetics Service/Science Photo Library
6. Faran med att tvivla på induktion 37
© David Mann
7. Musen och hembiträdet 41
© David Mann
8. Flaggstång och skugga 59
9. Dimkammare 84
© C. T. R. Wilson/Science Photo Library
10. Mätning av gasvolym 89
© Martyn F. Chillmaid/Science Photo Library
11. Bensenmolekylens struktur .. 97
© David Mann
12. Newtons experiment med den roterande spannen 121
13. Linnés *Systema Naturae* ... 126
Med tillåtelse från Linnean Society of London
14. Kladogram I 131

15. Kladogram II	132	17. Müller-Lyers illusion	139
16. Medvetandets modularitet .	136	18. Svampmoln	144
© David Parker/Science Photo Library		© Bettman/Corbis	

Förlag och författare ber om ursäkt för eventuella fel eller försummelser i listan ovan. Om de blir kontaktade skall de med glädje åtgärda dessa snarast möjligt.

Vad är vetenskap?

Vad är vetenskap?¹ Frågan verkar enkel att besvara: alla vet att ämnen som fysik, kemi och biologi är vetenskapliga, till skillnad från ämnen som konst, musik och teologi. Men när vi ställer oss samma fråga i egenskap av filosofer vill vi ha en annan sorts svar. Vi vill inte ha en enkel lista över de aktiviteter som vanligen går under beteckningen "vetenskap". Snarare undrar vi vad alla begrepp på en sådan lista har gemensamt, det vill säga vad det är som gör något till en vetenskap. Ställer man frågan på det viset är den inte lika trivial.

Men fortfarande kan du tycka att frågan är ganska självklar. Vetenskap är väl ändå inget mer än en strävan att förstå, förklara och förutsäga världen vi lever i? Ett sådant svar är utan tvekan helt begripligt. Frågan är om det är hela förklaringen. Trots allt försöker också de olika religionerna förstå och förklara världen, men religioner betraktas normalt inte som en del av vetenskapen. På liknande sätt är astrologi och spåkonster försök att förutsäga framtiden, men de flesta skulle dra sig för att beskriva dessa aktiviteter som vetenskap. Eller ta ämnet historia. Historiker försöker förstå och förklara vad som hänt i det

1 I engelskan syftar termen "science" på vad vi kallar naturvetenskap. Den generella, svenska termen "vetenskap" omfattar också samhälls- och humanvetenskaperna, såväl som de humanistiska vetenskaperna, ex. litteraturvetenskap och konstvetenskap. I engelskan använder man "social science" för samhälls- och humanvetenskaperna, medan humaniora kallas för "humanities" eller "arts and humanities". Om inget annat anges så syftar "vetenskap" här främst på naturvetenskapliga forskningsdiscipliner. När sammanhanget kräver så specificeras ytterligare vilket vetenskapsområde det handlar om. (Övers. anm.)

förgångna, men deras ämne brukar sorteras in under humaniora och inte som ett vetenskapligt ämne. Precis som med många filosofiska frågor visar det sig att frågan ”vad är vetenskap?” är krångligare än vad som tycks vara fallet vid första anblicken.

Många tror att vetenskapens särskiljande egenskaper består i de särskilda metoder forskarna använder sig av när de undersöker världen. Den tanken är ganska rimlig. Många vetenskaper använder sig nämligen av tydliga undersökningsmetoder som inte återfinns inom de icke-vetenskapliga disciplinerna. Ett uppenbart exempel är hur man använder sig av experiment, en praktik som ur ett historiskt perspektiv utgör ett vägsål i den moderna vetenskapens framväxt. Men alla vetenskaper är inte experimentella – astronomer kan självklart inte utföra experiment med rymden som objekt, utan måste nöja sig med noggranna observationer. Samma sak gäller för många av samhällsvetenskaperna. Ytterligare en viktig egenskap hos vetenskapen är att man bygger teorier. Forskarna skriver inte enbart ner sina experiment och observationer i en loggbok – för det mesta vill de dessutom förklara sina resultat i termer av en allmän teori. Det är inte alltid alldeles lätt, men ibland har man nått uppseendeväckande framgångar. Ett av vetenskapsfilosofins grundläggande problem består i att förstå hur metoder som att experimentera, observera och bygga teorier har hjälpt forskare att avslöja så många av naturens hemligheter.

Den moderna vetenskapens ursprung

I dagens skolor och universitet lärs vetenskap ut på ett i huvudsak ahistoriskt sätt. Läroböckerna framställer de olika ämnenas grundläggande idéer på ett så enkelt sätt som möjligt, utan hänvisningar till de utdragna och ofta

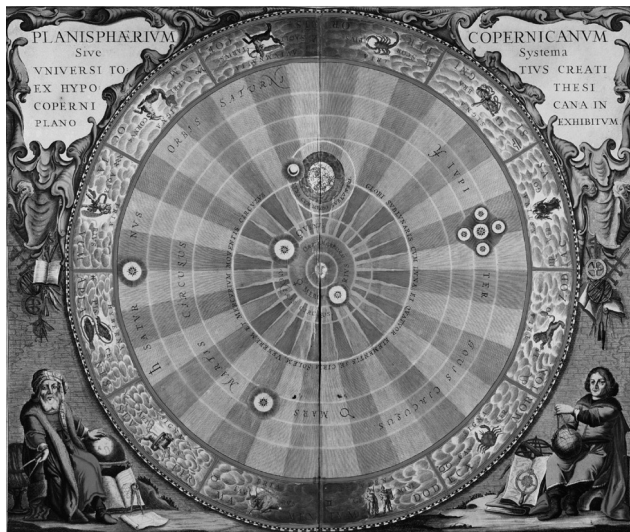
krokiga processer som en gång ledde fram till deras upptäckt. Från ett pedagogiskt perspektiv är det en begriplig strategi. Om man vill förstå de frågor som intresserar vetenskapsfilosofer kan det dock vara klokt att också värdera de vetenskapliga idéernas historia. Det har till och med, som vi kommer att se i kapitel 5, hävdats att man inte kan bedriva god vetenskapsfilosofi utan att på nära håll studera vetenskapshistorien.

Den moderna vetenskapens ursprung återfinns inom en period av snabb, vetenskaplig utveckling i Europa mellan åren 1500 och 1750, en tid som vi nu kallar för den naturvetenskapliga revolutionen. Naturligtvis försökte man bedriva vetenskapliga studier också under antiken och medeltiden – den naturvetenskapliga revolutionen uppstod inte ur intet. Under dessa tidigare perioder dominerade den aristoteliska världsbilden, döpt efter antikens grekiske filosof Aristoteles, som presenterade detaljerade teorier inom fysik, biologi, astronomi och kosmologi. En modern vetenskapsman skulle dock ha uppfattat både Aristoteles idéer och undersökningsmetoder som mycket märkliga. För att bara ta ett exempel, trodde Aristoteles att alla jordiska ting var uppbyggda av endast fyra ämnen: jord, eld, luft och vatten. Ett sådant synsätt kolliderar självklart med vad den moderna kemin lär oss.

Det första, avgörande steget i framväxten av den moderna vetenskapens världsbild bestod i den kopernikanska revolutionen. År 1542 gav den polske astronomen Nicolas Kopernikus (1473–1543) ut en bok som attackerade den geocentriska synen på universum, som placerade jorden stilla i universums centrum med planeterna och solen i omloppsbanor. Geocentrisk astronomi, även kallad ptolemaisk astronomi efter den antika, grekiska astronomen Ptolemaios, utgjorde kärnan i den aristoteliska världsbilden och hade i praktiken inte ifrågasatts på 1800 år. Men Kopernikus föreslog ett alternativ: att solen var universums

mittpunkt med planeterna, inklusive jorden, i omloppsbanor runt solen (figur 1). Enligt denna heliocentriska modell är jorden bara en planet i mängden och förlorar därmed sin traditionella status som unik. I början stötte Kopernikus teori på stort motstånd, inte minst från katolska kyrkan, som ansåg att den stred mot Bibeln och som år 1616 bannlyste böcker som påstod att jorden rörde sig. Men hundra år senare hade Kopernikus världsbild etablerats som renlärig vetenskap.

Kopernikus idé ledde inte bara till bättre astronomi. Indirekt gav den även upphov till den moderna fysiken, via arbeten av Johannes Kepler (1571–1630) och Galileo Galilei (1564–1642). Kepler upptäckte att planeterna inte rör sig i



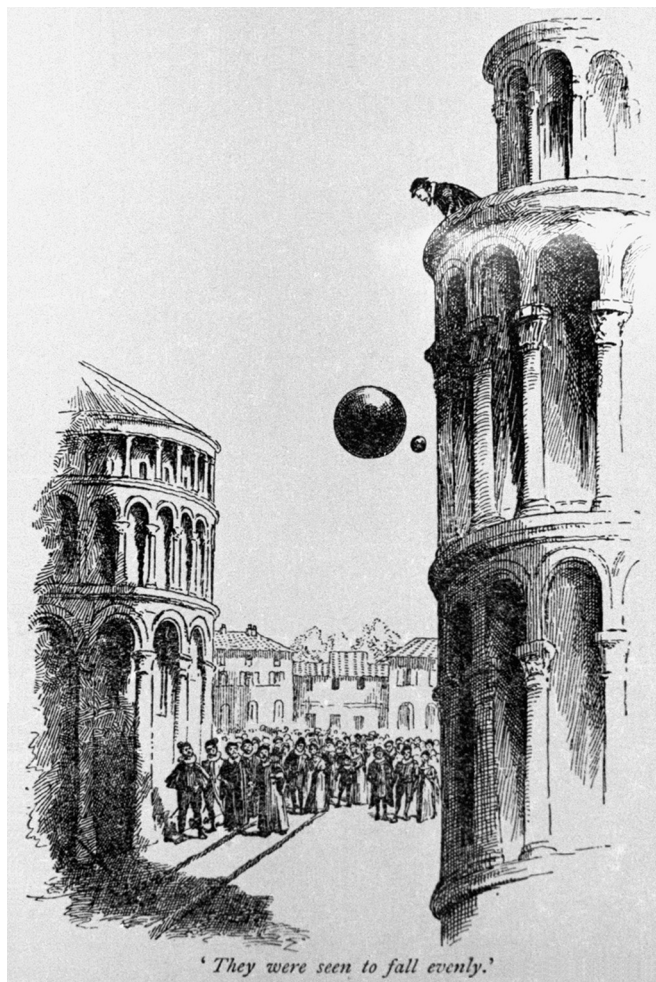
1. Kopernikus heliocentriska modell av universum visar hur planeterna, inklusive jorden, rör sig i omloppsbanor runt solen.

cirkulära omloppsbanor runt solen, som Kopernikus hade trott, utan i ellipser. Detta blev hans viktiga ”första lag” för hur planeterna rör sig; hans andra och tredje lag bestämde i vilken hastighet planeterna rör sig runt solen.

Sammantaget erbjöd Keplers lagar en överlägsen teori för planeterna jämfört med vad man tidigare trott och löste problem som hade förbryllat astronomer i sekler. Galileo trodde hela sitt liv på Kopernikus modell och han var en av de första att konstruera teleskop. När han riktade sitt teleskop mot himlen gjorde han en mängd underbara upptäckter, bland annat att det finns berg på månen, ett oräkneligt antal stjärnor, solfläckar, och Jupiters månar. Alla dessa upptäckter stred mot Aristoteles kosmologi och fick avgörande betydelse för att omvända vetenskapssamfundet till Kopernikus teori.

Galileos mest seglivade bidrag kom emellertid inte inom astronomin, utan inom mekaniken, där han lyckades tillbakavisa Aristoteles idé att tyngre kroppar faller fortare än lättare. Istället för denna teori framlade Galileo det intuitivt märkligare påståendet att kroppar i fritt fall rusar mot jorden i samma hastighet oberoende av hur mycket de väger (figur 2). (Om du låter en fjäder och en kanonkula falla fritt kommer kanonkulan givetvis i praktiken att landa först, men Galileo hävdade att det helt enkelt beror på luftmotståndet – i vakuum skulle de landa samtidigt.) Dessutom argumenterade han för att kroppar i fritt fall accelererar likformigt, det vill säga ökar i hastighet i jämn takt; detta kallas för Galileos lag om fritt fall. Galileo erbjöd övertygande, om än inte fullständiga skäl för denna lag, som utgjorde kärnan i hans teori för mekaniken.

Galileo betraktas allmänt som den förste verkligt moderna fysikern. Han var först med att visa hur matematikens språk kunde användas för att beskriva hur faktiska objekt i den materiella världen uppför sig, exempelvis fallande kroppar,



2. Skiss av Galileos mytiska experiment för att testa hastigheten hos objekt som släpptes från det lutande tornet i Pisa.

projektiler, och så vidare. För oss verkar det självklart – i dag uttrycks vetenskapliga teorier alltid i matematiska termer, inte bara när det gäller fysiken och kemin, utan även inom biologin och nationalekonomin. Men på Galileos tid var det inte alls självklart: matematiken ansågs allmänt bara ha att göra med abstrakta objekt och var därmed omöjlig att tillämpa på den fysiska verkligheten. En annan nymodighet i Galileos arbete gällde hur han betonade vikten av att testa hypoteser experimentellt. Också detta kan verka självklart för en modern forskare. När Galileo verkade uppfattades emellertid inte experimentet som ett pålitligt sätt att vinna kunskap. Galileos betoning av experimentella tester markerar början på den empiriska metod som än i dag gäller när naturen studeras.

Under tiden som följde på Galileos död utvecklades den naturvetenskapliga revolutionen i snabb takt. Den franske filosofen, matematikern och vetenskapsmannen René Descartes (1596–1650) utvecklade en radikalt ny ”mekanisk filosofi”, enligt vilken den fysiska världen helt enkelt bestod av tröga, materiella partiklar, som interagerade och kolliderade med varandra. Descartes trodde att de lagar som styrde dessa partiklar, eller ”korpuskler”, utgjorde nyckeln till hur strukturen hos Kopernikus universum kunde förstås. Den mekanistiska filosofin lovade att förklara alla observerbara fenomen med hjälp av dessa tröga och stumma korpuskler och blev snart det dominerande, vetenskapliga perspektivet under andra halvan av 1600-talet; i viss utsträckning hänger det med än i dag. Olika varianter av den mekanistiska filosofin lades fram av personer som Huygens, Gassendi, Hooke, Boyle med flera; dess omfattande genomslag bildade det slutgiltiga nederlaget för den aristoteliska världsbilden.

Den naturvetenskapliga revolutionen kulminerade med Isaac Newton (1643–1727), vars framgångar saknar motstycke i vetenskapshistorien. Newtons mästerverk var hans *Naturvetenskapens matematiska principer*, som publicerades år

1687. Newton höll med om de mekanistiska filosofernas uppfattning att universum bestod enbart av partiklar som befinner sig i rörelse, men försökte förbättra Descartes rörelselagar och regler för vad som inträffade vid kollisioner. Resultatet var en kraftfull, dynamisk och mekanistisk teori, som utgick från Newtons tre rörelselagar och hans berömda princip för universell gravitation. Enligt denna princip utövar alla kroppar i universum en dragningskraft på varandra; kraften med vilken två kroppar attraherar varandra bestäms av produkten av deras massa och avståndet mellan dem i kvadrat. Rörelselagarna slår sedan fast hur denna gravitationskraft påverkar kropparnas rörelser. Newton utvecklade sin teori med hög grad av matematisk precision och noggrannhet och uppfann den matematiska teknik som kom att kallas för infinitesimalkalkylen². På ett slående sätt lyckades Newton visa att Keplers planetlagar och Galileos lag om fritt fall (med vissa modifikationer i båda fallen) följde logiskt från hans rörelselagar och gravitationen. Med andra ord kunde samma lagar, som Newton formulerade på ett kvantitativt exakt sätt, förklara rörelserna både hos kroppar i rymden och på jorden. Newtons fysik erbjöd vetenskapen dess ramverk i ungefär tvåhundra år och ersatte snart Descartes fysik. Det vetenskapliga självförtroendet växte kraftigt under den här perioden, i huvudsak på grund av framgångarna för Newtons teori, som allmänt ansågs ha avslöjat naturens sanna funktionssätt och åtminstone i princip troddes kunna förklara allting. Detaljerade försök gjordes att utvidga Newtons förklaringsmodell till att omfatta allt fler fenomen.

Under 1700- och 1800-talen skedde betydande vetenskapliga framsteg, framför allt inom kemin, optiken, energiläran, termodynamiken och elektromagnetismen.

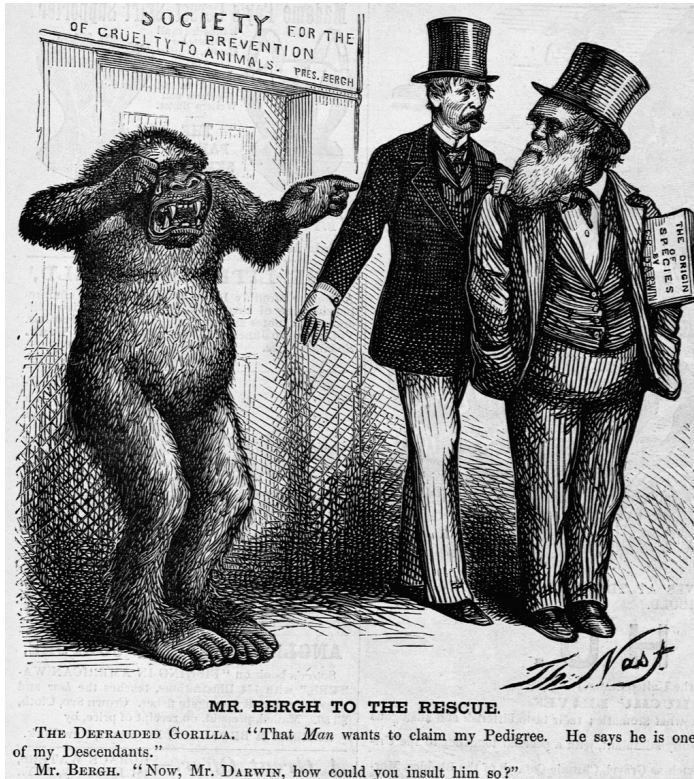
2 Som ledde fram till den moderna integral- och differentialkalkylen. Den tyske filosofen Gottfried Leibniz (1646–1716) nådde ungefär samma insikter som Newton, samtidigt och oberoende av denne, och delar äran av att ha upptäckt infinitesimalkalkylen. (Övers. anm.)

I huvudsak betraktades dessa framsteg dock som upptäckter gjorda inom ramen för en newtonsk förståelse av hur universum fungerade. Vetenskapsmännen accepterade Newtons teori som i allt väsentligt korrekt; det enda som återstod var att fylla i detaljerna.

Förtroendet för Newtons världsbild krossades i början av 1900-talet, tack vare två nya, revolutionerande framsteg inom fysiken: relativitetsteorin och kvantmekaniken. Relativitetsteorin, som upptäcktes av Einstein, visade att Newtons mekanik inte ger rätt resultat när den tillämpas på mycket massiva objekt eller objekt som rör sig i mycket hög hastighet. Kvantmekaniken, å sin sida, visade att Newtons teori inte fungerar när den tillämpas på mycket små objekt, nämligen subatomära partiklar. Både relativitetsteorin och kvantmekaniken, framför allt den senare, är mycket märkliga och radikala teorier, vars påståenden om naturens väsen är svåra att acceptera och till och med förstå för många människor. Teoriernas framväxt innebar en betydande begreppslig omvälvning inom fysiken, som fortgår in i våra dagar.

Hittills har vår korta redogörelse för vetenskapshistorien i huvudsak fokuserat på fysiken. Det är ingen tillfällighet, då fysiken är både historiskt mycket viktig och i en mening den mest grundläggande av alla vetenskapliga discipliner. De objekt som andra vetenskaper studerar är i sig uppbyggda av fysiska entiteter. Ta botaniken som exempel. En botaniker studerar växter, som ytterst är sammansatta av molekyler och atomer, som i sin tur är fysiska partiklar. Botaniken är alltså uppenbarligen mindre grundläggande än fysiken – vilket inte innebär att den är mindre viktig. Det är ett påstående vi ska återvända till i kapitel 3. Men till och med en kort beskrivning av den moderna vetenskapens ursprung skulle vara ofullständig om den lät bli att nämna de icke-fysikaliska vetenskaperna.

Inom biologin intar Charles Darwins upptäckt av evolutionsteorin för det naturliga urvalet, framlagd i *Om arternas ursprung* år 1859, en särställning. Fram till dess var den allmänna uppfattningen att de olika arterna hade skapats var för sig av Gud, så som Första Moseboken lär. Men Darwin hävdade att existerande arter faktiskt hade utvecklats från sina föregångare genom en process som kallas för det naturliga urvalet. Naturligt urval förekommer när en del organismer på grund av sina fysiska egenskaper får större avkomma än andra; om dessa egenskaper ärvs av avkomman kommer populationen att med tiden bli allt bättre anpassad till sin omgivning. Trots att den här processen är enkel menade Darwin att den efter ett stort antal generationer kan leda till att en art utvecklas till en helt ny art. Det stöd Darwin lade fram för sin teori var så övertygande att den vid 1900-talets början uppfattades som vetenskapligt fullständigt etablerad, trots betydande teologiskt motstånd (figur 3). Senare arbeten har på ett slående sätt bekräftat Darwins teori, som nu utgör kärnan i den moderna, biologiska världsbilden. 1900-talet blev vittne till ytterligare en revolution inom biologin, som fortfarande inte är avslutad: framväxten av molekylärbiologin, framför allt molekylär genetik. År 1953 upptäckte Watson och Crick DNA-strukturen, arvsmassan som formar generna i alla levande skapelsers celler (figur 4). Watsons och Cricks upptäckt förklarade hur den genetiska informationen kunde kopieras från en cell till en annan och därmed överförs från förälder till avkomma, vilket i sin tur förklarar varför avkomman har en tendens att likna sina föräldrar. Deras upptäckt öppnade ett nytt spännande forskningsfält inom biologin. Under de femtio år som gått sedan Watsons och Cricks arbete har molekylärbiologin vuxit kraftigt och förändrat vår förståelse av arvet och hur gener bygger organismer. Det nyligen avslutade arbete som kallas för HUGO (Human Genome Project), som ger en beskrivning av människan på molekylär nivå genom att sekvensera hela hennes uppsättning gener, ger en antydan om hur långt molekylärbiologin har kommit.



3. Darwins förslag att människor och apor har utvecklats från en gemensam anfader ledde till bestörtning i det Viktorianska England.

Under 2000-talet kommer vi att få se ytterligare, spännande upptäckter på det här forskningsområdet.