Lars-Göran Johansson

Vad är en naturlag?

1. INTRODUKTION

Naturvetenskapernas teoretiska fundament är naturlagar, dvs. de grundläggande principerna i fysik kemi, zoologi, botanik osv. Med hjälp av dessa lagar förklarar vi naturfenomenen, gör planer för framtiden och precisa förutsägelser. Naturlagarna bestämmer (i någon mening) världens gång.

Men hur kan en lag bestämma något; varför måste tingens förflyttningar och förändringar följa dessa lagar? Och vad menar vi med ”måste”, i sådana fall? Finns det någon substans i vår föreställning om tvingande nödvändighet i naturen? Hume förnekade det och många, inklusive undertecknad, är benägna att hålla med honom.

Den filosofiska diskussionen om naturlagar har varit särskilt intensiv de sista femtio åren och oenigheten är anmärkningsvärd. Så här formulerar en känd vetenskapsfilosof sin syn på den saken:

> Det är svårt att föreställa sig hur det skulle kunna vara större oenighet om den fundamentala karaktären hos begreppet naturlag – eller något annat grundbegrepp i vetenskapsfilosofin – än vad som för närvarande är fallet. Vid en översikt över den samtida litteraturen finner vi följande motsättningar (bland andra): det finns inga naturlagar versus det finns/måste finnas sådana lagar; lagar uttrycker relationer mellan universalia versus lagar uttrycker inte sådana relationer; lagar supervenerar inte/kan inte supervenera[1] på individuella fakta versus lagar supervenerar/måste supervenera på enskilda fakta; lagar innehåller inte/kan inte innehålla ceteris paribus-villkor versus lagar innehåller/måste innehålla ceteris paribus-villkor. Man skulle kunna skaka av sig detta bekymmer med påpekandet att i filosofin är oenighet hela idén med verksamheten. Men det förefaller mig som att den riktiga beskrivningen av situationen är ”oordning” snarare än ”oenighet”. Dessutom förefaller den mesta diskussionen om lagar vara tämligen frikopplad från vetenskaplig praxis. Vetenskapsmän som händelsevis lyssnar till en typisk debatt om lagar skulle få intrycket av att det är skolastik – och däri skulle de ha helt rätt! (Earman, 2002; min övers.)

[1] Att lagar supervenerar på individuella fakta innebär att om man har beskrivit alla sanna fakta inom ett område, så har man också beskrivit de lagar som gäller; lagarna utgör inga ytterligare fakta.

Filosofisk tidskrift 2016 nr 3, 45–55

Detta är en i mitt tycke träffande beskrivning av diskussionen om naturlagar, speciellt den sista kommentaren att debatten i mycket liten utsträckning tar någon hänsyn till vetenskaplig praxis. Så man kunde kanske lämna denna skolastiska debatt åt sitt öde och inte mer bekymra sig om vad en naturlag är. För egen del kan jag dock inte göra det; även om jag i stort sett finner Humes och hans efterföljares kritik av idén om en nödvändig förbindelse i naturen (Hume, 2002, 184ff.) övertygande, så tycks det mig icke desto mindre uppenbart att vissa samband i fysiken av fysikerna själva lyfts fram som fundamentala beståndsdelar vilka har en speciell status. Alldeles oavsett om vi kallar naturlagarna för ”lagar”, ”postulat” eller ”principer” så skiljer de sig på något sätt från andra delar av dessa teorier. Ingen variant av de empiristiska teorier om lagar som vi hittills sett finner jag helt övertygande, och de mer metafysiska förklaringarna postulerar saker som är än mer i behov av förklaring än naturlagar.

Jag skall i denna uppsats försöka ta lärdom av Earmans kritik att diskussionen om naturlagar hittills varit frikopplad från vetenskaplig praxis. Jag skall enbart diskutera de fundamentala lagarna i klassisk mekanik, hur dessa grundas på empiriska observationer och varför vi finner det naturligt att säga att dessa naturlagar är nödvändiga utan att därför postulera någon slags metafysisk nödvändighet. Men först några ord om fysikaliska storheter.

I SI-systemet, det internationellt överenskomna systemet för storheter och enheter, Système International d'Unités, delar man in fysikaliska storheter i fundamentala och härledda. De härledda har explicita definitioner i termer av de fundamentala. Av de sju fundamentala storheterna är det tre som är relevanta för denna artikel, nämligen TID, LÄNGD och MASSA.[2] Alla övriga mekaniska storheter definieras i termer av dessa tre. Av dessa tre storheter är TID och LÄNGD fundamentala i epistemologisk mening, ty de kan användas utan någon som helst teori om hur kroppar påverkar varandra. Det enda vi behöver är en klocka och en måttstav för att kunna beskriva fysiska kroppars lägen och förflyttningar genom rummet.[3] Med användning av lite matematik kan vi också tala om kroppars hastigheter och accelerationer. Dessa rena rörelsebeskrivningar utgör kinematiken. När vi skall gå vidare och beskriva kroppars

[2]När jag skriver orden för storheter med kapitäler så avses själva storheten, inte ett visst värde på den. Alltså ”storheten LÄNGD”, respektive ”Kroppens längd är 4 dm”.

[3]I relativitetsteorin kan man dock inte hålla fast vid föreställningen att tider och avstånd är helt teorioberoende; metriken, d.v.s. avstånden i rumtiden, är beroende av mass-energi-fördelningen. Men i klassisk mekanik kan man separera kinematiken och dynamiken.

dynamik, d.v.s. hur de påverkar varandra, så måste vi införa de teoretiska begreppen MASSA (trög och tung) samt KRAFT. Detta gjorde Newton i *Principia*.

2. KLASSISK MEKANIK

I *Principia* framställer Newton mekaniken som ett axiomatiskt system, med de tre rörelselagarna som axiom. Han börjar dock med att ge verbala definitioner av några ord, först och främst ”massa”, som i den första meningen i *Principia* definieras som ”kvantiteten materia”. Men detta är inte någon användbar definition av storheten massa, om man inte innan har förklarat hur man mäter materiekvantiteter. Men detta var faktiskt redan ordnat av John Wallis, Christian Huygens och Christopher Wren, drygt 20 år före publiceringen av *Principia*. Deras experiment beskriver Newton under rubriken ”Anmärkning” (Newton, 1986, 20–25), som följer efter presentationen av de tre rörelselagarna med sina korollarier. Wallis, Huygens och Wrens experiment bestod i att studera kollisioner mellan pendelkulor där man mätte deras respektive rörelser före och strax efter stöten. De fann att kvoten mellan kulornas hastighetsändringar är konstant:

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

vilket kan skrivas som

$$k_1 \Delta 1 = - k_2 \Delta v_2 \qquad (2)$$

Eftersom hastighetsändringarna alltid är motsatt riktade så får man båda konstanterna positiva genom att ha ett minustecken på ena sidan i ekvationen.[4] Genom att utföra kollisioner mellan olika par av kroppar finner man att konstanterna är knutna till de individuella kropparna. Det finns alltså en konstant, ej direkt observerbar, egenskap hos alla kroppar. För denna egenskap införde Newton beteckningen ”massa”, och det enda som fattas är nu att bestämma massenheten.[5] Den är som bekant numera bestämd av den internationella massprototypen som tilldelas massan 1 kg. Vi kan nu skriva ekvation (2) som

$$m_1 \Delta v_1 = - m_2 \Delta v_2 \qquad (3)$$

Detta är en formulering av lagen om rörelsemängdens konstans, vilken

[4] Här och i fortsättningen diskuteras endast rak central stöt, d.v.s. det endimensionella fallet. Redan Galilei hade visat att man kan separera rörelser i flera dimensioner till endimensionella problem som kan lösas oberoende av varandra.

[5] En kropps vikt är något annat än dess massa och det är inte en konstant. En kropp väger mer på våra breddgrader än vid ekvatorn.

Wallis, Huygens och Wren kom fram till genom en induktiv generalisering av resultaten av ett stort antal experiment. Dess formulering kräver således att vi inför ett dynamiskt begrepp, MASSA; med enbart de kinematiska begreppen TID, LÄGE och HASTIGHETSÄNDRING kan man inte uttrycka denna lag. (Vi kan visserligen uttrycka lagen utan att använda ordet ”massa” vilket ju gjordes i ekv. (3); men begreppet massa är ju begreppet om en konstant kvantitet, en fysikalisk storhet som kan tillskrivas fysiska kroppar, vilket ju används för att uttrycka ekv. (3)). Om vi nu dividerar båda sidorna med tiden för själva kollisionen, Δt, så får vi

$$m_1\Delta v_1/\Delta t= - m_2\Delta v_2/\Delta t \qquad (4)$$

Kollisionstiden är mycket kort och vi kan därför bortse från skillnaden mellan differentialer och derivator och identifiera Δv/Δt med kropparnas accelerationer:

$$m_1a_1 = - m_2a_2 \qquad (5)$$

Vi kan nu införa storheten KRAFT med en explicit definition:

$$f = ma \qquad (6)$$

vilket ju är Newtons andra lag. Nu följer omedelbart:

$$f_1 = - f_2 \qquad (7)$$

vilket är Newtons tredje lag. Vi ser således att en serie empiriska försök där vi enbart mäter kinematiska kvantiteter, alltså tider, sträckor och hastigheter, via en induktiv generalisering leder oss till att till varje kropp tillordna en icke direkt observerbar men konstant storhet, MASSA.

Newtons framställning är omkastad; han börjar med att som axiom ställa upp sina tre rörelselagar; och från andra och tredje lagen följer uppenbarligen (5). Skälet till denna omkastning kan man kanske gissa var att det axiomatisk-euklidiska vetenskapsidealet för Newton framstod som en självklar modell för hur en riktig vetenskap ser ut. Men det är alldeles klart att de experiment som utgör grunden för Newtons lagar var gjorda innan *Principia* skrevs, att Newton väl kände till dem och inte heller underlät att referera till dem.

Genom systematiska experiment med kroppar som kolliderar kan vi, som vi såg ovan, observera en regelbundenhet i naturen. Att observera denna regelbundenhet är att observera att man till varje kropp kan tillordna en ej direkt observerbar, invariant kvantitet; dvs. beskrivningen av denna regelbundenhet kräver introduktion av en ny storhet, MASSA. Lagen om rörelsemängdens konstans är således på samma gång en empirisk generalisering och en implicit definition av ett nytt teoretiskt begrepp.[6]

Enligt denna rekonstruktion av klassisk mekanik är Newtons andra lag en explicit definition av kraft. Det strider emot den vanliga föreställningen, som Newton verkar ha delat, att krafter är det som orsakar kroppars accelerationer.

Givet vår moderna syn på orsaker är denna uppfattning oförenlig med hans teori, för man kan inte samtidigt tolka krafter som orsaker och acceptera Newtons tredje lag. Skälet är att orsaksbegreppet är asymmetriskt; om A orsakar B, så kan inte B samtidigt vara orsaken till A. Men Newtons tredje lag säger ju att till varje kraft *f* finns en lika stor motriktad kraft –*f*. D.v.s. om en kropps acceleration orsakas av en kraft *f*, som härstammar från en annan kropp, så orsakar den första kroppen en acceleration på den senare kroppen och eftersom det inte finns någon tidsparameter i Newtons tredje lag så måste dessa krafter verka samtidigt. Detta är skälet till att man numera talar om växelverkningar i stället för krafter.[7]

Föreställningen att krafter är orsaker härstammar från den Aristoteliska fysiken enligt vilken krafter var orsaken till rörelser (dock ej fallrörelser!). Men detta är oförenligt med klassisk mekanik: krafter är där inte orsaker och krafter är inte knutna till rörelser utan till rörelseändringar, d.v.s. accelerationer.

Överhuvudtaget har orsaksbegreppet ingen plats i fysikens fundamentala teorier, vilket bl.a. Russell insåg. Han skriver i en känd uppsats: ”The law of causality, I believe, like much that passes muster among philosophers, is a relic of a bygone age, surviving, like the monarchy, only because it is erroneously supposed to do no harm.” (Russell, 1913, s. 1)

Lagen om rörelsemängdens konstans är på samma gång resultatet av en induktiv generalisering av experiment och en implicit definition av ett teoretiskt begrepp. Denna dubbla roll gör det enligt min mening berättigat att säga att det är en fundamental lag, och det får utgöra min stipulativa definition:

> *Fundamental lag*: Ett samband mellan storheter är en fundamental lag om och endast om (i) det stöds av empiriska observationer, och (ii) det utgör en implicit definition av en ny storhet.

[6]En implicit definition av en term t är en sats s i vilken t förekommer och där s inte härleds från andra satser. Det är uppenbart att inte alla teoretiska termer som används i en teori kan ha explicita definitioner som bygger på andra termer. Därför måste det i varje teori finnas ett antal implicita definitioner.

[7]Det är möjligt, och kanske sannolikt, att Newton inte såg någon direkt konflikt mellan synen på krafter som orsaker och hans tredje lag, på grund av att han inte uppfattade orsaksbegreppet som asymmetriskt.

Hur kommer då gravitationslagen, som ju anses vara en fundamentallag i mekaniken, in i bilden? Kroppar påverkar varandra via gravitation utan att vara i kontakt enligt

$$f = G\frac{m_1 m_2}{r^2} \qquad (8)$$

Michael Friedman (2001) m.fl. anser att detta är en rent empirisk lag, d.v.s. att de där använda storheterna alla är definierade på annat sätt, nämligen med hjälp av Newtons andra och tredje lag. Om Friedman har rätt så uppfyller inte gravitationslagen kraven i min definition på att vara en fundamental lag. Det är kanske inget dråpslag emot min föreslagna definition, men i vart fall lite besvärande, för det är uppenbart att gravitationslagen av alla anses vara en hörnpelare i klassisk mekanik.

Argumentet för att gravitationslagen är en rent empirisk lag är att vi kan bestämma kraften mellan två kroppar, deras massor och avståndet mellan dem utan att använda gravitationslagen. Och det är ju riktigt, kraften på ena kroppen är identisk med dess massa gånger acceleration och massorna hos kropparna kan bestämmas med kollisionsförsök. Detta är precis vad Cavendish (1798) gjorde i sitt berömda experiment för att bestämma jordens densitet och där han får ett hyggligt värde på gravitationskonstanten.[8] Men det är ju ytterst märkligt att värden på fyra kvantiteter, kraften mellan två kroppar, avståndet mellan dem och deras respektive massor, exakt och utan undantag satisfierar ett extra villkor för alla par av kroppar och för alla avstånd mellan dem, ett villkor som inte ingår i dessa kvantiteters definitioner, eller på något annat sätt är kopplat till kollisioner mellan kroppar. Det verkar vara ett kosmiskt sammanträffande, vilket kräver en förklaring.

Det första steget är att inse att noga taget är det begrepp massa som vi använder i gravitationslagen ett annat begrepp än det begrepp massa som tillordnas kroppar i kollisionsförsök. Newton insåg detta och skiljde på tung massa och trög massa. Newton jämför massan (d.v.s. tröga massan) med vikten (som är proportionell mot tunga massan, fast med olika proportionalitetskoefficienter för olika latituder) i en serie noggranna pendelförsök och finner att de alltid är proportionella. Detta är således ett väletablerat empiriskt faktum och Newton var helt klar över detta. Men varför är två kvantiteter som mäts på olika sätt alltid och utan undantag lika stora? Newton hade ingen förklaring. Numera har vi förklaringen, som så här i efterhand förefaller den enda rimliga, nämligen att begreppen tung massa (massan i gravitationslagen) och trög massa (mas-

[8] Cavendish mätte attraktionskraften mellan två blyklot och kunde därav beräkna proportionalitetskonstanten i gravitationslagen

san i Newtons andra lag) är två begrepp för samma storhet, ty storheter uppfyller extensionalitetsvillkoret. Predikaten ”tung massa” och ”trög massa”, är extensionellt ekvivalenta, så det behövs bara en storhet MASSA när vi inkorporerat relativitetsteori i vår fysik. Men om vi betraktar klassisk mekanik enbart, utan att inkorporera insikter från relativitetsteori, så är det helt klart att vi behöver två storheter, TUNG MASSA och TRÖG MASSA, den första vid beskrivningen av kroppars interaktion på avstånd, den andra för att beskriva kollisioner. Vardera storheten kräver en implicit definition, och gravitationslagen är noga taget inte en rent empirisk lag: den är även en implicit definition av tung massa, och därmed uppfyller den villkoren för att vara en fundamental lag.

Låt oss sammanfatta resonemanget. Genom systematiska studier av kollisioner mellan kroppar och av hur kroppar påverkar varandra på avstånd kan vi formulera två fundamentala lagar, rörelsemängdens konstans och gravitationslagen. Formuleringen av dessa lagar kräver storheterna TRÖG MASSA respektive TUNG MASSA. Kraftbegreppet är i logisk mening redundant, det är en förkortning av ”massa gånger acceleration”. Så vi har två empiriskt funna regelbundenheter, en som gäller kroppars rörelser vid kollisioner och en som gäller kroppars rörelser under avståndsverkan. Dessa två regelbundenheter har vi upphöjt till statusen av att vara fundamentala naturlagar. Detta hänger samman med att de var för sig för sin formulering kräver ett teoretiskt begrepp, trög respektive tung massa.

Dessa två naturlagar är således på samma gång uttryck för empiriska regelbundenheter och implicita definitioner av de teoretiska begrepp (som har samma extension!) som används i beskrivningen av dessa regelbundenheter och som inte tidigare definierats. Den speciella kunskapsteoretiska roll som dessa samband har är enligt min mening ett gott argument för att säga att de är fundamentala naturlagar. Man kan inte oberoende av dem definiera trög respektive tung massa och sedan göra experiment för att testa dessa lagar.

Det finns som bekant andra framställningar av klassisk mekanik än Newtons, t.ex. Lagranges eller Hamiltons, formuleringar som bevisligen är empiriskt ekvivalenta med Newtons formulering, ehuru andra samband fyller funktionen av fundamentala lagar. I t.ex. Hamiltons formalism är Hamiltons ekvation den fundamentala lagen. I den ekvationen används Hamiltonfunktionen, som är en funktion av generaliserade koordinater och deras konjugerade moment, vilka behandlas som oberoende variabler, och där rörelsemängd är ett grundbegrepp som inte från början identifieras med massan gånger hastigheten. Så i den matematiska strukturen i Hamiltons teori finns inte massbegreppet, och KRAFT är där derivatan av en potentialfunktion. Men denna matematiska struktur måste ju knytas till observationer för att kunna ges en fysikalisk innebörd, och då är kroppars rörelsemängd (beskriven i någon typ av koordinater) knutet till kroppars massor. Olika formuleringar av en och samma teori medför således att olika begrepp är fundamentala *i matematiskt hänseende*, men vid applicering av formalismen på observerbara fenomen måste man förutom de direkt observerbara storheterna TID och STRÄCKA (och de därav härledda HASTIGHET och ACCELERATION) använda MASSA. Begreppet kraft kan man införa som förkortning för massa gånger acceleration, eller som derivatan av en potential, men det är inte oundgängligt för att generalisera observationer. Det är däremot MASSA.

Utrymmet medger inte någon diskussion av lagarna i elektromagnetism, statistisk mekanik, etc., men grundtanken är giltig i alla grenar av fysiken; de fundamentala lagar som relaterar storheter till varandra är på samma gång implicita definitioner av teoretiska storheter och generaliseringar av empiriska observationer.

3. LAGARS NÖDVÄNDIGHET?

Vi antar vanligen att naturlagarna är nödvändiga (i någon mening). När det gäller lagar som är härledda av de fundamentala lagarna så kan vi förstå nödvändigheten som ett uttryck för att de följer logiskt från ett antal fundamentala lagar som vi i vetenskapliga samtalskontexter tar för givna. I stället för att säga att om en viss lag L att den följer logiskt från andra lagar som vi håller för sanna, så säger vi kortare att L är nödvändig, d.v.s. nödvändigt sann; premisserna vid dess härledning är underförstådda. Men vad menar vi med ”nödvändighet” eller mer precist ”naturlig nödvändighet” när det gäller de fundamentala naturlagarna, de som inte härleds från andra lagar?

Alltsedan medeltiden har man observerat två olika sätt att använda ordet ”nödvändigt”, nämligen nödvändighet *de re* och nödvändighet *de dicto*. Nödvändighet *de re* är att tillskriva ett föremål vissa nödvändiga egenskaper, det är en nödvändighet ”i tinget”. *De dicto* nödvändighet är att säga *om ett visst påstående* att det är nödvändigt sant, det är utsagan som är nödvändigt sann. När vi säger att naturlagar är nödvändiga sanningar så är det således ett fall av nödvändighet *de dicto*.

I modern logik kan man göra ytterligare en distinktion inom kategorin *de dicto* nödvändighet. Man kan sätta ordet ”nödvändigt” framför en fullständig sats på logiskt sett två olika sätt[9]:

(1) N ⌜p⌝ (Jag förkortar ”Det är nödvändigt:” med ”N”) eller

[9] Denna distinktion uppmärksammades först i Quine 1976.

(2) Np (dvs. ”Det är nödvändigt att p”)

Skillnaden mellan dessa två sätt att formalisera det vardagliga uttrycket är analogt med skillnaden mellan direkt och indirekt anföring: i det första fallet används uttrycket ”Det är nödvändigt” som ett semantiskt predikat som tar hela satser som argument. Vi omtalar en viss sats p och då har vi ett namn på den som vi konstruerat med hjälp av hakparenteser kring p.[10] Om vi inte gjorde på detta vis skulle vi ju *använda* satsen, dvs. använda den för att hävda p; men det är inte syftet, utan vi vill *hävda något om* just den satsen, nämligen att den är nödvändig, d.v.s. nödvändigt sann. I det andra fallet, däremot, hävdar vi inget om satsen p utan vi hävdar ”Det är nödvändigt att p”. I detta fall är uttrycket ”Det är nödvändigt att” en modal operator som avbildar en sats på en annan sats i objektspråket. Vad är poängen med att göra denna distinktion, som verkar vara ren skolastik? Svaret är att den gör det möjligt att precist uttrycka skillnaden mellan en empiristisk och en mer metafysisk ståndpunkt vad gäller nödvändighet. Om vi tolkar ”Det är nödvändigt att ...” enligt (2) är det möjligt att göra logiska operationer på satsen Np med användning av modallogiska lagar, vilket leder till starkare metafysiska påståenden. Det är nämligen lätt att visa att om man tolkar ”naturlig nödvändighet” enligt (2) så kan man, eftersom p står för en lag, d.v.s. har formen av allkvantifierad villkorssats, härleda påståenden med innebörden att de föremål som satsen handlar om har vissa av sina egenskaper med nödvändighet, d.v.s. som *de re* nödvändighet. Det innebär att man skiljer på föremålens tillfälliga och essentiella egenskaper, där de essentiella egenskaperna är de nödvändiga egenskaperna. (I semantiken beskrivs detta som att det är egenskaper som föremålen har i alla möjliga världar och oavsett hur vi beskriver dem.) Många går med på denna slutsats, men det är alltför mycket metafysik för min smak. Jag hyser starka tvivel beträffande förklaringsvärdet av distinktionen essentiella/kontingenta egenskaper, men utrymmet medger inte vidare argumentation i denna sak. Om vi däremot tolkar begreppet naturlig nödvändighet som instanser av schemat N ⌜p⌝ så blockeras sådana slutsatser; man kan konsistent hävda att en lag är nödvändigt sann, tolkat enligt (1), och utan motsägelse förneka att detta har några metafysiska implikationer eller att tingen har några essentiella egenskaper. Därför väljer jag att tolka orden ”naturlag” och ”naturlig nödvändighet” som semantiska predikat, vilka tar satser som argument. Jag tolkar således inte ”naturlig nödvändighet” som en modal operator.

[10] I vanliga fall använder vi ju citationstecken för att tala om en sats eller ett ord, men det går inte när vi har en fri variabel på satsens plats. Ty skriver vi ”p” så är ju detta ett namn på p och inte på den sats som p tänks representera. Men ⌜p⌝ är enligt konventionen ett namn på den sats som p står för.

Det finns i vetenskaplig praxis inga skäl emot denna tolkning, tvärtom. När man t.ex. säger att Maxwells första ekvation (som säger att det elektriska flödet genom en sluten yta är proportionellt mot den inneslutna laddningen) är en lag och därmed en nödvändig sanning, så betyder det inte att det är uteslutet att vi skulle göra upptäckter som tvingar oss att förkasta denna lag, eller att det finns möjliga världar där ekvationen är falsk. Ingen vill hävda att vi har kommit fram till de absoluta och slutliga sanningarna om naturen, trots att vi accepterar att Maxwells första ekvation uttrycker en naturlig eller fysikalisk nödvändighet. Vad man däremot utesluter när man hävdar att de fundamentala lagarna i en teori är nödvändiga enligt tolkning (1) är möjligheten att behålla de centrala begreppen och samtidigt konstruera en ny teori som innehåller andra ekvationer som förbinder dessa samma begrepp. (Man kan förstås använda samma ord för nya begrepp!) Det är i denna mening som de fundamentala lagarna är nödvändiga; de utgör implicita definitioner av nya begrepp som vi använder i dessa teorier, så som beskrevs i avsnitt 2.

Påståendet att naturlagarna är nödvändiga skall alltså förstås som en sorts villkorligt påstående: ifall man tillskriver tingen kvantitativa egenskaper, såsom att ha en viss massa, en viss laddning, eller att det finns ett visst elektriskt fält av en viss styrka någonstans, så har man också godtagit de fundamentala naturlagar som implicit eller explicit definierar dessa begrepp, liksom alla konsekvenser av dessa fundamentala lagar, som sanna. Detta är enligt min mening innebörden i tanken om en naturlig, eller fysikalisk nödvändighet.

4. SAMMANFATTNING

Många, dock ej alla, naturlagar har formen av matematiska samband mellan storheter, och dessa framstår som i någon mening nödvändigt sanna för oss. Vissa sådana samband är fundamentala, d.v.s. de är på samma gång implicita definitioner av nya storheter och samtidigt empiriska generaliseringar av experimentresultat. Denna dubbla roll innebär att de är nödvändigt sanna i den teori i vilken de ingår. Andra lagar är konsekvenser av dessa fundamentala lagar, och de ärver karaktären av att vara nödvändigt sanna. Slutligen är vissa lagar helt enkelt explicita definitioner av nya storheter och de är likaledes nödvändigt sanna beståndsdelar i den teori i vilken de förekommer. Att säga att dessa lagar är nödvändiga sanningar utesluter inte möjligheten av radikala vetenskapliga revolutioner, som resulterar i helt nya teorier med helt andra begrepp, såsom Kuhn (1962) diskuterat.

Ett ofta förekommande argument emot tanken att vissa naturlagar är implicita definitioner är att om så vore fallet skulle de sakna empiriskt innehåll. Det argumentet bygger på den klassiska distinktionen mellan analytiska och syntetiska satser; definitioner är analytiska sanningar och saknar därför empiriskt innehåll, medan naturlagar är syntetiska satser vilka har empiriskt innehåll och de kan således testas. Men denna distinktion går inte att tillämpa på satser inom en empiriskt testbar teori med väldefinierade teoretiska begrepp, vilket de två exemplen ovan visar. Vi utvecklar nya begrepp när vi konstruerar nya teorier.

Det finns ett antal fundamentala naturlagar som inte har formen av matematiska relationer mellan storheter, t.ex. konserveringslagarna, Pauliprincipen, kvantiseringspostulatet och relativitets- och kovariansprinciper. Dessa lagar erhåller sin fundamentala status enligt analoga, men inte identiskt likadana principer. Men det får bli en annan uppsats.

LITTERATUR

Cavendish, Henry. 1798. ”Experiments to Determine the Density of the Earth”. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 88, s. 469–526.

Earman, John. 2002. ”Laws, Symmetry, and Symmetry Breaking; Invariance, Conservation Principles, and Objectivity?” philsciarchive. pitt.edu/878/1/PSA2002.pdf.

Friedman, Michael. 2001. *Dynamics of Reason: The 1999 Kant Lectures at Stanford University*. Stanford, CA: CSLI publications.

Hume, David. 2002. *Avhandling om den mänskliga naturen: Ett försök att införa den experimentella metoden i studiet av människan*, Bok 1, *Om förståndet*. Stockholm: Thales.

Kuhn, Thomas. 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.

Newton, Isaac. 1986. *Naturvetenskapens matematiska principer,* Bok 1. Malmö: LiberLäromedel.

Quine, Willard V. O. 1976. ”Three Grades of Modal Involvement”. I *The Ways of Paradox and Other Essays*, revised and enlarged edition, s. 158–176. Cambridge, MA: Harvard University Press, .

Russell, Bertrand. 1913. ”On the Notion of Cause”. *Proceedings of the Aristotelian Society* 13, s. 1–26.