

Vetenskaplig metod inom naturvetenskap

Claes Uggla

Vetenskapsfilosofisk bakgrund

I boken *The structure of scientific revolutions* från 1962 av Thomas Kuhn (1922-1996) så ställer författaren i förordet frågan: Varför diskuterar man metoder och problems legitimitet i så mycket högre grad inom samhällsvetenskaperna än inom naturvetenskaperna? Han ger dock inget explicit svar på frågan. Det närmaste ett svar han kommer finns i en efterskrift från 1969 i senare upplagor. Där noterar han att många utanför naturvetenskaperna känner igen sig i hans beskrivning av de fysikaliska naturvetenskaperna kemi, fysik, astronomi, i meningen att han har skildrat dem som en serie traditionsbundna perioder avslutade med icke-kumulativa avbrott. Något som inte är så märkligt då han har hämtat inspiration från andra områden som t.ex. litteratur, musik, konst.

Inte desto mindre hävdar Kuhn att de fysikaliska vetenskaperna på ett markant sätt skiljer sig ifrån andra discipliner. I boken beskrivs de fysikaliska vetenskapernas historia, illustrerat med valda exempel, som en cyklisk process: ett förparadigmatiskt stadium följs av normal (paradigmatisk) vetenskap → anomalier genererande en kris (av paradigmatiskt förtroende) → revolution (paradigmskifte) → normalvetenskap... Få saker har fått större vetenskaplig spridning än orden paradigm och paradigmatiskt skifte och få saker har tolkats på ett så annorlunda sätt än vad författaren har tänkt. Man bör här påminna sig om att Kuhn ursprungligen var teoretisk fysiker, vilket även jag är, och att han därför tog många saker för givet som han inte explicit uttryckte och som inte alls är självklara för en utomstående.

I efterskriften preciserar Kuhn vad han menar med paradigm: En snävare betydelse, vilket enligt Kuhn är den mest vetenskapsfilosofiskt betydelsefulla innovationen, och en bredare. Den bredare paradigmvarianten beskriver han som en disciplinär matris, d.v.s., ett vetenskapssamfundets gemensamma uppsättning av "ordnade element" som möjliggör effektiv kommunikation inom samfundet: gemensamma trosföreställningar om modeller, analogier och metaforer; gemensamma värderingar och förhoppningar; symboliska generaliseringar (matematiska samband och symboler som t.ex. H för väte, eller meningar som kan knytas till formler, t.ex. grundämnen kombineras i konstanta viktproportioner); samt det enligt Kuhn viktigaste elementet (den snäva paradigmatiske definitionen), gemensamma mönster(bildande)exempel, d.v.s., konkreta förebilder i form av problemlösningar av vad Kuhn kallar för pussel(problem) – empiriska och teoretiska förebilder samt förebilder som binder samman empiri och teori. Exempelvis kan ingen enligt Kuhn kalla sig för fysiker om personen inte har gjort ett experiment rörande fotoelektrisk effekt och tolkat det utifrån kvantmekanisk teori.

Många naturvetenskapliga forskare drömmer kanske om att vara en revolutionär paradigmatiskt skiftande individ som Newton eller Einstein, men de flesta, inkluderande flertalet Nobelpristagare, är i Kuhns mening pussellösare (även om de ofta utannonseras som att de har åstadkommit ett paradigmatiskt skifte), vilket kanske känns lite förolämpande. Men det beror i så fall på att man inte har förstått varför Kuhn just använder metaforen pussel för problem inom de fysikaliska vetenskaperna. Ett pussel har en tydlig avgränsning, en ram; ett pussel har en förväntad lösning; ett pussel har likheter med andra pussel vilket ger indikationer om

metod (tag tidigare besläktade mönsterexempel som utgångspunkt och börja med pusselbitarna som formar ramen, hitta delar som hänger ihop, sätt ihop delarna för att få ihop helheten). Här ligger en viktig anledning till olika vetenskapers problem- och metoddiskurs, eftersom denna i hög grad, mer eller mindre implicit, handlar om ett studieobjekts avgränsningsegenskaper och hur dessa är relaterade till befintlig kulturell kognitiv och fysisk infrastruktur, samt samhällets och individers värderingar, mål och förståelse. Låt mig illustrera de fysikaliska naturvetenskapernas förutsättningar med de två enligt mig mest paradigmatiska naturvetenskapliga formgivande mönsterexemplen.

Albert Einstein kallade Galileo Galilei (1546 – 1642) för den moderna naturvetenskapens fader. Förvisso så var Galileos gärning beroende av tidigare idéer och innovationer, inte minst ifrån hög- och senmedeltiden, samt experimentell verksamhet utövad av t.ex. hans far och hans samtidige William Gilbert (1544? – 1603), som båda dessutom kraftfullt förkastade Aristoteles läror. Einsteins påstående skall dock ses i ljuset av att Galileo tog den experimentella metoden till en ny nivå där experiment genererar hållbar intersubjektiv reproducerbar information och argument om hur världen är beskaffad.

Aristoteles (384 f. Kr. – 322 f. Kr.) var en av de första att ställa några av fysikens grundfrågor om materia och rörelse. Enligt Aristoteles så skiljer sig jordiska och himmelska objekts natur från varandra, där han dessutom hävdade att endast himmelsk rörelse är matematiskt beskrivbar. Vertikal jordisk rörelse förklarades av att alla jordiska objekt enligt honom består av fyra element: jord, vatten, luft och eld (himmelska objekt påstods däremot bestå av ett femte element, eter), där jords naturliga plats är att ligga still i jordens mitt omgivet av vatten följt av luft och till sist eld. Objekt mestadels bestående av jord strävar enligt Aristoteles mot sin naturliga plats i mitten på jorden och faller därmed ner i luft och sjunker i vatten; vatten regnar ner i luft och lägger sig på jord; eld stiger naturligt uppåt. Allt har en intention att ta sig till sina naturliga viloplats, allt bildar en helhet som kvalitativt förklarar objekts vertikala rörelse där det inte går att separera objekt från "medium" (vatten, luft) då de tillsammans förklarar objekts vertikala rörelse; världen är ett plenum där vakuum är omöjligt (enligt Aristoteles skulle vakuum leda till en oändlig fallhastighet, vilket han såg som absurt och omöjligt). Aristoteles kvalitativt hophållna system för materia och rörelse resulterade dels i slutsatsen att objekt som bestod mer av jord än andra, d.v.s. hade en större vikt, föll snabbare än lättare objekt, och dels i konklusionen att jordiska objekt skulle blåsas bort om jorden rörde sig runt solen.

Galileo trodde inte på Aristoteles antaganden och teleologiska (d.v.s. intensions-) förklaringar. Istället för Aristoteles geocentriska syn, där dessutom himmelsk och jordisk rörelse var bestämda av olika förklaringsmodeller, så hävdade Galileo att det var Nicolaus Copernicus (1473 – 1543) heliocentriska världsbild som var riktig och att inte bara himmelska utan även jordiska objekts rörelse var matematiskt beskrivbara. Han menade dessutom att medium som luft och vatten inte förklarar objekts naturliga rörelse utan i stället döljer rörelsens sanna natur. Istället för att bara filosofera om detta så konstruerade Galileo ett av de tidigaste teleskopen som han använde till astronomiska observationer, vilka gav stöd för den heliocentriska världsbilden. Dessutom designade och utförde han olika experiment för att visa att Aristoteliska motargument till att jorden rörde sig kring solen var felaktiga. Låt oss illustrera den experimentella metod som Galileo vidareutvecklade med en diskussion om några av aspekterna hos ett av hans experiment och dess konsekvenser.

För att få fram argument för sina påstående så skapade Galileo reproducerbara serier av experiment som kunde beskrivas med en handfull operationella definitioner (d.v.s. precisa

”kokboksrecept”) och beskrivningar som var och en kunde följa (Galileos argument bidrog till att göra honom populär i vissa kretsar: om du inte tror mig, gör experimentet själv; titta i teleskopet själv!). Galileo sökte och valde ut extremt avgränsade naturfenomen där endast ett fåtal faktorer till en viss noggrannhetsgrad inverkade på ett experiments utfall, där dessa faktorer dessutom kunde varieras var och en för sig.

En av Galileos serier av experiment utfördes genom att studera en kulas rörelse utefter ett lutande plan. Genom att luta planet så saktades kulans fart ner jämfört med om den hade fallit fritt, vilket minskade vad vi idag kallar för luftmotstånd, som Galileo såg som ett hinder för kulans ”naturliga” fallrörelse. Att få fallrörelsen att gå långsammare underlättade dessutom mätningar av tidsangivelser för den rullande kulans olika positioner. Precisa tidmätningar var allt annat än en självklarhet under senrenässansens. I ett experiment så utnyttjade Galileo att han hade absolut gehör genom att placera ut tunna gristarmar med ökande avstånd på det lutande planet tills han kunde höra ett regelbundet tickande då kulan med allt större fart passerade dem. Genom att sedan mäta avståndet mellan tarmarna så kunde han beskriva kulans fartändring då den rullade ner för planet. Han kunde dessutom experimentellt visa att endast ett fåtal faktorer märkbart spelade roll för hur kulans fart ökade och där en, för kulans fartändring mätbar, sak i taget varierades, t.ex. planets lutningsvinkel, medan t.ex. kulans färg inte mätbart påverkade rörelsen.

Efter sina experiment plottade Galileo resultaten i ett förstadium till en graf (ett tidigt kognitivt instrument för datavisualisering, med rötter ifrån senmedeltiden) för kulans fart som en funktion av tiden. Då farten är liten fås punkter som kan förbindas till en rät linje genom interpolation (gissning om resultat mellan faktiska mätningar) som dock vid högre hastighet böjer av p.g.a. det vi idag säger är friktion (ett begrepp som inte existerar i ett Aristoteliskt tänk), d.v.s., hinder för rörelsen ifrån omgivningen, t.ex. luftmotstånd. Genom att jämföra vad som hände vid olika lutningsvinklar och allt större hastigheter skapade Galileo förutsättningarna för ett idealiserat tankeexperiment.

Galileo extrapolerar därmed data (gissar vad som skulle hänt bortom den givna mätserien i ett idealiserat tankeexperiment där friktion inte existerar) och ifrån idealiserade grafer drar han slutsatsen att farten v är relaterad till tiden t enligt $v = k \cdot t$, där k beror på lutningen av planet, d.v.s., ett exempel på att det finns en underliggande ordning här på jorden som är matematiskt beskrivbar (notera användningen av ideografiska symboler, konceptuella representationer som växte fram under senmedeltiden).

Vad mer är, om man idealiserat kan bortse från friktion så skulle en kula som ursprungligen rullar med en viss fart sakta ner om den rörde sig uppåt för ett lutande plan och öka farten om den rörde sig nedåt, vilket fick Galileo att dra slutsatsen att den skulle fortsätta att rulla med samma fart om planet inte lutade. Detta resulterade i sin tur att om olika objekt rörde sig med samma fart i samma riktning inledningsvis så skulle frånvaro av friktion innebära att de även fortsättningsvis skulle röra sig på samma sätt och därmed inte röra sig relativt varandra.

Experiment med lutande plan kompletterades med andra experiment, t.ex. pendlar där han hängde upp olika små föremål i förhållandevis långa trådar. Återigen varierades därefter en sak i taget, vilket t.ex. resulterade i slutsatsen att föremåls vikt inte spelade någon roll för en pendels periodtid, något som i sin tur gav ett argument för att objekt med olika vikt faller på samma sätt i frånvaro av friktion. Notera att genom att arrangera stora skillnader mellan trådens längd och det upphängda föremålets storlek så resulterade detta i att objektets form inte mätbart inverkade på periodtiden, d.v.s., genom att öka skillnader i en skala minskade

Galileo antalet inverkanse faktorer och renodlade därmed det han ville använda som argument.

Galileos experimentella resultat och tankeexperiment med lutande plan användes av honom som argument för att hävda att det naturliga för alla objekt är att antingen ligga still eller att fortsätta att röra sig "rakt" fram på samma sätt utefter en cirkel(!), precis som ett skepp som glider på en stilla vattenyta på den sfäriskt formade jorden (rörelse "rakt fram" blev rakt fram i ett Euklidiskt rum, d.v.s. den geometri man lär sig om i skolan där en triangel har vinkelsumman 180 grader och där Pytagoras sats gäller, först senare i och med René Descartes (1596 – 1650)). Genom att kombinera detta med hans astronomiska teleskopobservationer och, t.ex., hans pendelexperiment, som användes som argument för att alla objekt oavsett vikt faller på samma sätt om man bortser från friktion, så skapade Galileo ett nätverk av argument som stödde tesen att jorden och allt på jorden rör sig på samma sätt kring solen, d.v.s. jordiska objekt blåser inte av jorden i dess färd kring solen. Här kan tilläggas att Johannes Kepler (1571 – 1630) brevväxlade med Galileo och påpekade att planeterna tycktes röra sig i ellipser och inte cirklar kring solen, en komplikation Galileo inte tycks ha velat kännas vid.

Det finns ett antal saker som vi här bör notera. Genom sina experiment införde Galileo experimentell metodologisk reduktionism, vilket står i bjärt kontrast med materiell reduktionism (påståendet att om vi känner till ett objekts materiella beståndsdelar och hur dessa påverkar varandra så vet vi i princip allt om objektets helhet): Gör en serie experiment som leder till ett idealiserat tankeexperiment som är matematiskt beskrivbart. Lägg därefter till komplicerande effekter som t.ex. friktion för att förklara den komplicerade verklighet som faktiskt föreligger. Galileo valde strategiskt ut extremt avgränsade naturfenomen där endast ett fåtal faktorer till en viss noggrannhetsgrad inverkar på ett experiments utfall, där dessa faktorer kunde varieras var och en för sig på ett kontrollerat sätt. Orden avgränsning i meningen ett fåtal inverkanse väldefinierade faktorer samt noggrannhetsgrad är här centrala. Exempelvis spelar kulans färg faktiskt i princip roll. Idag skulle vi säga att kulan rullar nedåt p.g.a. gravitationen, men kulans färg genererar olika tryck på kulan som även det bidrar till rörelsen, t.ex. så leder röd färg på en kula som belyses mest uppifrån till mindre tryck än blå (rött ljus som reflekterats har mindre energi och rörelsemängd än blått ljus). Detta är ett exempel på en påverkan som är så liten så att Galileo inte hade någon möjlighet att mäta den, speciellt som den är dränkt i andra större effekter. Alla fysikaliska experiment har faktorer som försummas inom ett visst noggrannhetsområde, vilket kallas för brus; det är alltid fråga om tillförlitlig noggrannhet och relevans för ett givet experiment.

Idag är man inom naturvetenskapen villig att gå till nästan vilka ytterligheter som helst för att göra experimentella "Galileos" (finn och designa väl avgränsade och kontrollerbara experimentella problempusselbitar, t.ex. bl.a. genom att arrangera stora skalskillnader, där endast ett fåtal relevanta empiriska faktorer spelar roll, där var och en kan varieras separat) när det gäller att välja ut pusselbitar av verkligheten som tillsammans kan bilda en större helhet. Exempelvis använder sig marinbiologer av akvarier där temperatur, surhetsgrad, belysning etc. kan varieras var och en för sig för att studera t.ex. blåstång, som ett komplement till observationer av blåstång i haven.

Låt oss avsluta detta exempel med en diskussion kring Aristoteles och Galileos två perspektiv. Enligt Aristoteles så strävar jordiska objekt för att ligga still på sina naturliga viloplats; enligt Galileo är det naturliga för objekt att röra sig rakt fram med samma fart vid horisontell rörelse och att alla fallande objekt naturligt faller på samma sätt, men att de hindras från att göra

detta p.g.a. friktion. Båda perspektiven beskriver kvalitativt vad var och en kan se om man knuffar t.ex. en penna på ett bord. Är då dessa två perspektiv jämbördiga? Nej! Trots att Aristoteles filosofiska system användes i ca 2000 år lyckades ingen med att utveckla det till ett användbart verktyg som genererar nya resultat och tillämpningar. Galileos synsätt visade sig däremot vara relevant i ett större sammanhang för bl.a. rörelse bortom vår vardag; t.ex. kan man idag på Youtube se astronauter släppa en fjäder och hammare på månen där de faller på samma sätt, precis som Galileo hävdade skulle ske om det inte fanns något luftmotstånd. Vad mer är, Galileos metodologiska experimentella reduktionism för matematisk modellering har legat till grund för de naturvetenskapliga landvinningar det moderna samhället i betydande grad bygger på (jag sitter just nu och skriver detta inomhus på en dator med internets resurser tillgängliga, i artificiellt dagsljus, i ett tempererat klimat, när det är mörkt och minus 5 grader ute...), något som illustreras av nästa mönsterexempel.

Philosophia Naturalis Principia Mathematica 1687, oftast endast benämnd som Principia, av Isaac Newton (1642 – 1727), är det mest inflytelserika vetenskapliga arbete som någonsin producerats, t.o.m. mer betydande än Darwins Origin of Species 1859 och Euklides Elementa ca. 300 f. Kr., som användes som lärobok i matematik under ca 2000 år. Anledningen till detta är inte bara Principias inverkan på de fysikaliska vetenskaperna och inte ens inflytandet på andra vetenskaper, illustrerat av t.ex., Adam Smiths Wealth of Nations, Auguste Comtes sociologi, Principia Mathematica av Alfred North Whitehead och Bertrand Russell, etc. Principias verkliga betydelse ligger i dess inflytande på Upplysningen. Till exempel användes Principia som mall av Thomas Jefferson och Benjamin Franklin för USA:s självständighetsförklaring samt den Amerikanska konstitutionen och rättighetsförklaringen, vilket illustrerar dess inflytande på t.ex. mänskliga rättigheter i även andra demokratiska länders författningar och i FN stadgan.

Skissartat kan vi beskriva Principia på följande sätt: Principia inleds likt Euklides Elementa med ett minimalt antal grundläggande definitioner och hypoteser, men nu rör de sig inte om matematiska definitioner och axiom utan om empiriska utsagor om t.ex. rummets och tidens egenskaper. Därefter presenteras en handfull fysikaliska lagar baserade på induktiv logik (d.v.s., begåvade gissningar som därmed inte alls utgör logiska utsagor) motiverade av experiment, tankeexperiment och astronomiska observationer. Detta följs av logiska härledningar, primärt matematiska. Newtons lagar uttrycker påstått eviga universella matematiskt beskrivbara empiriska samband som inte skiljer på det himmelska och jordiska, t.ex. gäller Newtons gravitationslag för både planeter och föremål på jorden – Newton förenade det terrestra med de celesta. Efter att ha formulerat sina lagar så använde Newton dem för att göra kvalitativa och kvantitativa förutsägelser, t.ex. om tidvatten och planeters rörelse, vilka alltid tycktes stämma. Ingen hade varit med om något liknande tidigare så det är inte så märkligt att man började prata inte bara om universella naturlagar utan även ville överföra detta till människan, exemplifierat av USA:s självständighetsförklaring 1776: "...Vi håller dessa sanningar vara självklara: att alla människor är skapade lika; att de är förlånade av sin Skapare med vissa oförytterliga rättigheter; att ibland dessa är liv, frihet och sökande efter lycka;...", d.v.s., inledande (påstått) odiskutabla mänskligt universella utgångspunkter och därefter följsatser, precis som Principia är strukturerad.

I en mer begränsad kontext så etablerade Principia ett mönsterexempel för naturvetenskapen (som även många andra discipliner i alla fall inledningsvis försökte följa) som starkt påverkade attityder, värderingar och metoder, inte minst insikten om värdet av matematisk modellering inom de fysikaliska vetenskaperna. Principia utgjorde även en brytningspunkt mellan natur-

och kulturvetenskaperna. Till skillnad från kulturvetenskaperna där intentionsförklaringar spelar en central roll, så försvinner nu Aristoteles teleologiska förklaringar inom de fysikaliska vetenskaperna: det finns inget framtida syfte som styr fysikaliska händelser, dessa bestäms av situationen i det förflutna och i nuet. I och med Darwins Origin of Species sker samma sak med resten av naturvetenskaperna, evolution sker här och nu baserat på historiska förutsättningar, det finns ingen intention med evolutionen, den bara sker.

Den naturvetenskapliga erfarenheten sedan Newton är att naturen uppvisar underliggande stabila (eller i alla fall väldigt stabila) och därmed oföränderliga regelbundenheter, universella samband, som ofta missvisande kallas för naturlagar, oberoende av människan. Notera att en kulturell trend är någonting helt annat än det vi kallar för naturlagar. En trend är någonting tillfälligt och kontingent, något som skulle kunna vara annorlunda och som därmed behöver förklaras varför det just är som det är och varför den skulle kunna ändras eller t.o.m. ta slut. Även om naturlagar och de fenomen i naturen de beskriver har en grund som är oberoende av människan så är vår kunskap och formuleringar av dessa samband beroende av både naturens och människans egenskaper, samt det mänskliga samhället. Vad har man då för skäl för denna tro? Här är några exempel.

Intuitivt så är jorden någorlunda platt, annars skulle vi falla av den. Inte desto mindre så kan vi med stor säkerhet säga att jorden är ganska rund, vilket man kom på redan under den tidiga antiken med hjälp av observationer, logik och matematik. Från ca 600-talet f. Kr. så hade grekerna förvandlat de matematiska tumregler som babylonier och egyptier hade kommit på till matematik, d.v.s., logiskt formella härledningar utifrån matematiska definitioner och axiom. De observerade att under månförmörkelser då jorden kastar sin skugga på månen så är alltid kanten på skuggan cirkulär. De kunde dessutom matematiskt härleda att endast en sfär alltid kastar en cirkulär skugga oavsett vinkelförhållanden: slutsats, jorden är rund! Betydligt senare så kunde Erathostenes (276 f. Kr. – 196 f. Kr.) t.o.m. bestämma jordens diameter med hög precision. Detta möjliggjordes av att han var verksam i Alexandria, dåtidens intellektuella centrum, och att han fick information från platser som var belägna på avstånd från varandra som inte var försumbara jämfört med jordradien. D.v.s., bestämningen av jordens storlek krävde en intellektuellt kompetent enskild människa i en civilisation med vetenskapligt främjande attityder och tillräcklig infrastruktur, både fysisk (som t.ex. tillät kommunikation över stora avstånd) och kognitiv (t.ex. tillräckligt utvecklad matematik). Att människan inte har kunnat påverka jordens form har i sin tur varit avgörande för en progressiv utveckling av ett synnerligen avgränsat problem, vilket har resulterat i att vi nu vet mer än någonsin om jordens form och varför den och andra objekt har den form de har. Vi kan nu t.ex. förklara varför det största berget i solsystemet finns på Mars, varför små objekt jämfört med dvärgplaneter, planeter och stjärnor kan vara kraftigt icke-sfäriska (en följd av hur det vi kallar för gravitation är relaterat till andra fundamentala naturegenskaper), etc.

För att exemplifiera de skäl vi har för naturlagars stabilitet kan vi betrakta följande exempel. Jorden var mer radioaktiv i det förflutna eftersom radioaktivitet avklingar med tiden. För 1,7 miljarder år sedan så uppstod naturligt omständigheter som gav upphov till fissionsreaktorer i Oklo regionen i Gabon (d.v.s., samma reglerade klyvning av atomkärnor, i detta fall Uran, som vi använder i våra kärnkraftverk). Dessa producerade radioaktivt avfall med precis de isotopförhållanden som man får för närvarande under motsvarande omständigheter i kärnkraftverk. Det här tillåter oss att bestämma att relationerna mellan tre av de fyra (kända) "fundamentalkrafterna", svag, stark och elektromagnetisk växelverkan (gravitation är den fjärde fundamentala kraften) under 1,7 miljarder år inte har ändrats mer än möjligen i en

närmast löjligt liten grad (dessa mätningar, precis som alla fysikaliska mätningar, sker med en viss noggrannhet). Vad mer är, t.ex. kosmologiska observationer ger en uppseendeväckande och närmast överraskande konsistent bild som visar att det vi kallar naturlagar är desamma överallt i det observerbara Universum under dess 13,8 miljarder år långa historia, i alla fall efter den första bråkdelens sekund efter Big Bang. Bara det faktum att vi människor existerar och har de fysiologiska och mentala egenskaper vi har tyder på en häpnadsväckande underliggande stabilitet under livets ca 4 miljarder år långa utvecklingshistoria, sedan jorden blev till för 4,56 miljarder år sedan. Under alla omständigheter så kan vi säga att vissa samband i naturen tycks uppvisa en otrolig stabilitet, trots idoga försök att visa motsatsen. Detta betyder inte att man inte spekulerar om att de kan ha ändrats lite grann, men i så fall har man förhoppningen att det finns än mer "djupa" oföränderliga naturlagar som skulle förklara detta.

Principias framgångar illustrerar även betydelsen av skalor (kvantitativa jämförelser inom en kvantitativt mätbar kategori, t.ex. längd, vikt, tid,...) och skalskillnader då dessa är grunden för en tydlig kvantitativ avgränsning. Låt oss ta solsystemet och planetrörelse som exempel, då detta var en central motiverande ingrediens för Newton att skriva Principia. Det som betyder något för gravitation är massa (det finns subtiliteter med vad man menar med massa, men jag hoppas över detta). Solsystemet domineras av solens massa som är ungefär tusen gånger större än den övriga totala massan i solsystemet, bestående av planeter, dvärgplaneter, asteroider, kometer, stoft, gas. Som Newton visade, så avtar gravitationen med avståndet. Närmast betydande ansamling materia finner vi i de mest närbelägna solsystemen. Dessa befinner sig på avstånd som är ungefär 10000 gånger större än vårt solsystem. Detta betyder att man med synnerligen god approximation idealiserat kan se solsystemet som isolerat, d.v.s. det är bara objekten i solsystemet som inverkar på deras rörelse. Planeternas storlek är dessutom försumbara jämfört med deras avstånd till solen, t.ex. är jordbanan ca 24000 gånger större än jorden. Planeterna kan därmed idealiseras som punktformiga (Newton visade dessutom att en sfärisk massfördelning ger upphov till samma gravitation som om dess massa var koncentrerad till en central punkt, något han använde sig av för att beskriva månens rörelse). Då solen väger ca tusen gånger mer än alla andra objekt i solsystemet sammantaget så kan man i en första approximation betrakta enbart solens inverkan på en planet i taget, vilket möjliggjorde för Newton att utifrån sina lagar härleda Keplers lagar för planetrörelsen. Han insåg dock att även planeterna påverkade varandra lite grann. För att hantera detta problem så utvecklade man ny matematik under de kommande två århundraden för att allt bättre beskriva planetrörelse. Detta möjliggjorde att man t.ex. kunde räkna ut att det fanns en okänd planet och var den befann sig vid en viss tidpunkt, och då man riktade ett teleskop till den matematiskt uträknade platsen så fann man Neptunus 1846.

Stora skillnader i skalor, exemplifierat av solsystemets isolering, planeternas litenhet jämfört med solsystemet, ett relativt fåtal inte helt försumbara massor, utgör ett exempel på förhållanden i naturen som närmast idealiskt beskriver den experimentella situation Galileo använde sig av för att skapa ny kunskap. Solsystemet kan sägas vara arketyper för ett fysikaliskt system. Notera hur väldefinierade de relevanta objekten är i solsystemet och att endast gravitationen mellan dem inverkar på deras rörelse, eller rättare sagt, inom den noggrannhet som vi kan mäta deras rörelse med (i princip inverkar t.ex. magnetfält, solvinden,... på rörelsen, men detta kan ses som "brus"); alla "relevanta" storheter är dessutom operationellt definierade. Jämför detta system med hur vi använder ordet till vardags – vad är t.ex. ett samhällssystem?

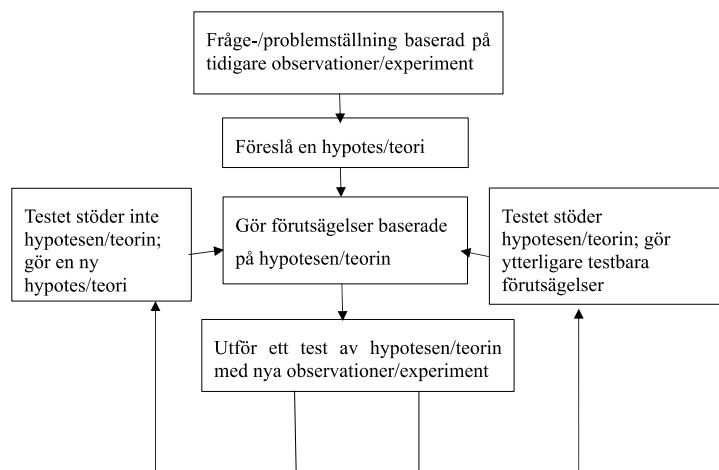
Efter Newtons beskrivning av solsystemet så har man breddat begreppet system inom fysiken till både mer abstrakta operationellt definierade storheter och till system som inte är isolerade. Detta exemplifieras av termodynamiken där man infört olika sorters idealiseringar baserade på extrema förhållanden mellan skalor: idealiserat kontinuerliga massfördelningar som lokalt kan beskrivas med statistiska begrepp som tryck, temperatur, ..., där man dessutom ersätter isolering av system med mer allmänna kontrollerade "randförhållanden", d.v.s. idealiseringar där man ersätter en omgivning med något som kontrollerat inverkar på systemet men som systemet inte själv antas påverka. Notera här även statistikens betydelse och grund inom de fysikaliska vetenskaperna; ofta studerar man system bestående av en handfull olika sorters partiklar beskrivna med ett fåtal relevanta permanenta egenskaper där man har sisodär 10^{24} , eller något annat löjligt stort tal, partiklar. Jämför detta med enkäter utsända till något hundratal eller tusental unika individer med otaliga individuella egenskaper som dessutom hela tiden ändras och vars svars tillförlighet utgör en ytterligare problematik; detta torde utgöra en betydligt större utmaning, intimt kopplad till en helt annan form av tolkning och förståelse än den inom naturvetenskaperna.

Vi försöker alla att förstå, d.v.s. att konsistent relatera olika saker till varandra, något som finns inbakat i vårt språk, t.ex. säger vi att vi har kopplat något, nu hänger det ihop, och om det inte gör det på ett konsistent sätt så säger vi att något inte stämmer. Men förståelse är någonting helt annat i kulturvetenskaperna än i naturvetenskaperna. Människan har en förmåga till empati, en förmåga att sätta sig in i hur andra människor och grupper av människor känner, tänker och vilka värderingar, mål och intentioner de kan tänkas ha, vilket leder till helt nya interaktioner än vad som finns inom naturvetenskaperna; en gråsten saknar en subjektiv verklighet och kan inte fundera och reagera på varför den etiketteras som en gråsten; en gråsten kan inte minnas och är i sig oberoende en historiskt kulturell kontext. Inom naturvetenskaperna så försöker man ofta i möjligaste grad minska utrymmet för ontologiska tolkningar. Det är ofta t.o.m. svårt att hitta något tolkningsutrymme som är fruktbart, prova själv! Ibland är dock situationen motsatt, inom t.ex. kvantmekanik så tycks nästan varje utövare ha sin egen tolkning, men det verkar inte spela någon roll så länge man kommer till samma kvantitativa experimentella förutsägelser och resultat – det förefaller finnas ett visst tolkningsoberoende.

De fysikaliska vetenskaperna beskrivs ibland som "nomotetiska" – att de har ett fokus på allmängiltiga naturlagar beskrivna med formler, men detta är missvisande. Förutsägelser kräver att man kvantitativt beskriver förutsättningarna (d.v.s., så kallade randvärden och begynnelsevillkor) för hur dessa formler kommer till uttryck. Det finns en balans mellan det universella och det partikulära. Notera att detta görs möjligt p.g.a. av extrema skillnader inom olika skalor och en underliggande, närmast förbluffande, stabilitet. Det är denna stabilitet som är grunden för alla fysikaliska mätningar eftersom dessa utgörs av jämförelser gentemot en stabil referens, där fysikaliska jämförelser av grundbegrepp som längd, tid, vikt, etc, numera är operationellt definierade i form av enheter i SI systemet (det internationella systemet för enheter), t.ex. meter, sekunder, kilogram. Vad mer är, sedan 2019 är alla fysikaliskt grundläggande enheter relaterade till vad som ses som fundamentala naturkonstanter. Detta illustrerar en evolution mot en ökad abstraktion och en allt mer intim koppling mellan fysikalisk empiri, teori och teknologi, för att ge en så stabil bas som möjligt för fysikaliska mätningar, vilket ökar precisionen för reproducerbarhet, något som blir allt viktigare för allt fler teknologiska tillämpningar.

Stabilitet och skalskillnader ligger även till grund för de fysikaliska vetenskapernas kausala beskrivning med tydliga orsak-verkan samband. Detta kan jämföras med samhällsvetenskapernas orsak-verkan problematik där det kan finnas många orsaker till ett och samma resultat, kopplat till ett enskilt begrepp. Ta t.ex. begreppet och fenomenet självmord som exempel där varje självmord är unikt och där olika orsaker och samverkan av orsaker kan ha givit upphov till "samma" resultat. Självmord betraktas typiskt som någonting negativt (men inte nödvändigtvis om anledningen är att förkorta lidande), något som borde undvikas och som samhället borde göra någonting åt. Detta leder närmast med nödvändighet till att man kopplar begreppet självmord till, långt ifrån självklara, underkategorier (t.ex. definitioner av olika sociala grupper), d.v.s. ytterligare avgränsningar, där det dock fortfarande kan finnas olika orsaker till självmord inom en given underkategori. Självmord togs här som exempel p.g.a. dess historiska betydelse. Émile Durkheims (1858 – 1917) verk *Le Suicide* från 1897 är ett av sociologins stora mönsterexempel, inte minst då den på allvar införde statistiken som redskap inom samhällsvetenskaperna. Detta exempel illustrerar även att samhällsvetenskaperna ofta har en tydligare normativ dimension än naturvetenskaperna, även om det finns undantag. Exempelvis vilar klimatforskningen på vår beskrivning av naturlagar som beskriver naturfenomen som är oberoende av människan, t.ex. har Milankovitch cykler och den oorganiska koldioxidcykeln reglerat klimatet långt innan människan fanns; men vi påverkar hur naturlagarna kommer till uttryck, i detta fall t.ex. genom växthusgasutsläpp som inverkar de randvillkor som gör naturlagarna till prediktiva redskap, vilket influerar både forskares motivation och forskningsanslag.

Kuhns filosofi har inte haft något inflytande på naturvetenskaperna, vare sig på metoder eller självbild, även om orden paradigm och paradigmskiften används relativt flitigt. Däremot så tas Karl Poppers (1902 – 1994) hypotetiskt deduktiva "metod" ofta som närmast självklar. Skissartat kan den beskrivas enligt följande:



Med test menar Popper påståenden som är så skarpa att de skulle kunna falsifiera hypotesen/teorin. Allt inom en teori behöver inte vara falsifierbart, tvärtom betonar Popper värdet av metafysiska ingredienser, men en teori måste innehålla "falsifierbara" påståenden, som man hoppas visar sig vara riktiga men som potentiellt kan visa på brister som motiverar ett sökande efter en ny teori. Utan potentiell falsifierbarhet så leder påståenden om värld och kultur till en evig fruktlös diskurs. Precis som Kuhn så använder han sig av exempel för att

motivera sin filosofi. Men till skillnad från Kuhn så fokuserar sig Popper på exempel som enligt honom visar då vetenskap fungerar som bäst, vilket är då man gör falsifierbara hypoteser, erkänner misstag, och skapar nya hypoteser/teorier – om man inte erkänner att man har fel när man faktiskt har fel så lär man sig ingenting nytt. Nästan allt Popper säger har en normativ dimension: Progressiv utveckling av en vetenskapsgren kräver enligt honom potentiell falsifikation och ett visst mått av ärlighet och mod; att lägga in brasklappar och därmed nästan säga allt och på så sätt slippa att riskera att ha fel, eller ställa frågor som tvingar en att säga allt, är att göra sitt forskningsområde en otjänst. Om man säger allt så säger man ingenting som är någon till hjälp. Stick ut nacken och våga ha fel!

Poppers hypotetiskt deduktiva "metod" är vare sig en metod eller en hypotes/teori – den är ett normativt metafysiskt ramverk som åskådliggör betydelsen av felkorrigerande och begränsningsavslöjande feedback loopar för att få en fördjupad vetenskaplig kunskapsevolution. Något som även illustreras av den hermeneutiska cirkeln/spiralen som kan ses som en feedback loop för tolkning, förenklat beskriven som genererad av en vandring mellan förförståelse, nya erfarenheter och en interaktion mellan delar och helhet.

Som Popper själv visar i sitt första verk, *Logik der Forschung. Zur Erkenntnistheorie der Modernen Naturwissenschaft* från 1934, och som hans lärjungar Imre Lakatos (1922 – 1974) och Paul Feyerabend (1924 – 1994) betonar, så är falsifikation och upptäckande av fel ofta lättare sagt än gjort, även för naturligt väl avgränsade naturvetenskapliga forskningsområden. Tag högenergi-partikelfysik som ett modernt exempel. Där utnyttjar man en allt mer sofistikerad vakuumteknologi, kontrollerad partikelproduktion och detektion för att åstadkomma en extrem avgränsning i sann Galileisk anda. Detta kombineras dessutom med algoritmstyrd dataanalys av enorma mängder data och avancerad statistisk felanalys. Inte desto mindre så har det visat sig att partikelfysiken, kanske den vetenskap med mest avgränsade och kontrollerade experiment, lider av systematiska fel som är svåra att upptäcka – historiskt sett har systematiska fel systematiskt underskattats! Detta gäller naturligtvis inte bara partikelfysik utan alla empiriska vetenskapsgrenar.

För att uppnå empirisk kunskap bortom allt rimligt tvivel, inom ett avgränsat giltighetsområde med en viss noggrannhet, så krävs det oftast att man gör kvalitativt olika experiment och observationer, precis som Galileo gjorde genom att komplettera sina lutande plan med t.ex. pendelrörelse och teleskopobservationer. Hållbar empirisk kunskap närmast kräver kvalitativt olika komplementära empiriska metoder.

Även om det finns en fast empirisk bas med en viss noggrannhetsgrad så bestämmer inte detta unikt en teori. Exempelvis beskriver Newtons gravitationslag en hel mängd fenomen på ett fantastiskt sätt, men dessa täcks även in av Einsteins allmänna relativitetsteori inom Newtonsk noggrannhetsgrad. Utöver detta så gör dock de två teorierna olika förutsägelser om vad som är möjligt och, minst lika viktigt, omöjligt; t.ex. är gravitationsvågor inte möjliga i Newtonsk teori, men de finns enligt relativitetsteorin. Den direkta detektionen av gravitationsvågor 2015 utgör därmed ett exempel på att Newtonsk gravitationsteori är ontologiskt falsifierad (Popper var främst intresserad av ontologiskt innehåll och det är i denna kontext som hans falsifikationskriterium skall tolkas), till skillnad från allmän relativitetsteori som inte är det (ännu). Detta betyder inte att Newtonsk teori inte är användbar. Vad som har visats är att Newtonsk teori har ett begränsat giltighetsområde och att den är ontologiskt falsk, vilket man länge inte trodde, men inom sitt giltighets- och noggrannhetsområde så är den enklare och mer praktisk att använda än Einsteins teori.

Förändrade forskningsförutsättningar efter andra världskriget

Vare sig Popper eller Kuhn diskuterar exempel på naturvetenskaplig utveckling efter andra världskriget. Även om deras filosofier tar upp poänger som fortfarande är relevanta så har delar av de fysikaliska vetenskapernas verksamhet sedan andra världskriget förändrats. Både Popper och Kuhn såg dessa verksamheter som internt drivna. Exempelvis diskuterade aldrig Kuhn makt och avfärdade externa influenser som avgörande (att notera är att Kuhn inledningsvis användes som ett instrument i det kalla kriget av rektorn för Harvard, James Bryant Conant (1893-1978), som transformerade Harvard till ett redskap i det kalla kriget, både då det gällde natur- och kulturvetenskaperna), vilket kan kontrasteras med Michel Foucaults (1926-1984) filosofi, där socialt strukturerad makt är centralt, inte minst då det gäller kunskapsproduktion.

Den stora expansionen av högenergifysik under efterkrigstiden var en direkt följd av Manhattanprojektet (som blev till ett mönsterexempel för politisk styrning och organisation av forskning) och det kalla kriget, som i kombination med ekonomisk tillväxt och social mobilitet (rörlighet) även bidrog till en transformation av högre utbildningar till massutbildningar. Efterkrigstiden har även präglats av ett allt större ömsesidigt beroende, ökad sammanvävning och samevolution, mellan de fysikaliska vetenskaperna och högteknologi, där experimentell utrustning blivit allt mer avancerad och dyr. De enorma kostnaderna för en del experiment, som automatiskt därmed knyts till starka ekonomiska och politiska intressen, riskerar att ekonomiskt utarma andra forskningsområden och dessutom försvårar de reproducerbarhet och utformning av kvalitativt olika experiment för att förhindra systematiska fel, något som minst sagt är problematiskt.

Utvecklingen av allt mer avancerad naturvetenskapligt baserad teknologi har i sin tur givit upphov till helt nya discipliner och tillämpningar, som t.ex. molekylärbiologi och genetik. Det blir dessutom allt vanligare att olika discipliner påverkas utifrån av ny teknologi, empiri och teori, t.ex. statistiska algoritmer, nya metoder för datavisualisering, internet och sociala nätverk, etc. Exempelvis bidrar detta till en revolution inom kognitionsvetenskap (på individnivå tack vare t.ex. fMRI; på social nivå t.ex. filmning kopplat till nya dokumenterings- och analysmöjligheter). Ett annat exempel utgörs av att klimatforskning och genetik spelar en allt viktigare roll för vår syn på människans historia, eftersom klimatförändringar har visat sig spela en betydande och ibland avgörande roll för historisk utveckling, kulturellt och t.o.m. genetiskt, både då det gäller människan och, t.ex., hennes föda. Den teknologiska utvecklingen har även lett till att man fruktbart har kunnat angripa allt mer komplexa fenomen, inte minst p.g.a. den snabba utvecklingen av datorer som t.ex. tillåter allt mer avancerade datorsimuleringar. Vi ser dessutom en utveckling mot tillämpningar som behövs i ett allt mer komplext sammanvävt samhälle vilket kräver allt fler vetenskapliga kompetenser, något som har bidragit till uppkomsten av modern tvärvetenskap.

Notera att ovan inte alls följer Kuhns cykliska beskrivning med kriser och paradigmskiften, däremot blir Foucaults idéer om makt allt mer relevanta. Detta illustreras t.ex. av molekylärbiologins och genetikens tillämpningar inom medicin, där ekonomiska faktorer spelar en allt större roll för möjligheterna till vetenskaplig utveckling, och även av ett allt mer

intimt förhållande mellan statlig styrning och forskning, med allt fler statliga finansieringskällor med allt snävare specificerade forskningsområden och forskningsvillkor, i alla fall i västvärlden.

En annan faktor som växt fram under efterkrigstiden är totalt förändrade sociala möjligheter och villkor. Först möjliggjordes praktiskt resande globalt till olika konferenser, vilket följdes av ökade kommunikationsmöjligheter med email och därefter av internet, sociala medier, Skype, zoom, etc. Inte nog med att detta har bidragit till en allt större social sammanvävning, det har även givit upphov till en allt mer modebaserad forskning, på gott och ont. Mode kan vara bra inom forskning om det resulterar i att begränsade resurser dirigeras till någonting nytt som har ett stort behov av att beforskas. Men allt för ofta blir mode ett självändamål där medel styrs bort ifrån det mer originella, som ofta behöver tid för att uppskattas, vilket motverkar att forskare tar de risker som Popper menar krävs för att en disciplin skall utvecklas. Inte minst bibliometrin spelar här en stor roll, där allt i allt högre grad tycks gå ut på att få citat oavsett vetenskapligt innehåll och kvalitet. Ökade drivkrafter och krav på publicering gynnar dessutom publikation av korrelationer på bekostnad av mer tidskrävande analyser av kausala relationer, där korrelationer ofta i media felaktigt presenteras som det senare.

Precis som med allting annat i samhället så utsätts vetenskap för närvarande av en extrem social och kulturell acceleration (d.v.s. förändringar som sker i allt snabbare takt). Detta är en följd av ett ökat antal aktörer (individer, grupper av individer, algoritmer), variation, interaktion, t.ex. kommunikation, och en medföljande explosion av kombinatoriska möjligheter, som är grunden för all mångfald. Speciellt yttrar sig detta i form av en dramatisk utveckling inom naturvetenskapligt baserad avancerad teknologi, som är en av de drivande faktorerna för nuvarande sociala och kulturella acceleration, exemplifierat av sociala medier. Dessa bidrar i sin tur till att sprida sociala konstruktioner i form av berättelser/fiktioner av alla de slag, med en spridning och i en takt som aldrig tidigare har skådats, där dessa genererar och upprätthåller institutioner (d.v.s., i bred mening, sociala beteendemönster som överlever enskilda individers medverkan). Exempelvis är användning av pengar, som allt mer existerar endast i elektronisk form, beroende av det förtroende berättelser/fiktioner genererar, nationer som institutioner likaså; andra exempel på berättelser/fiktioner är t.ex. konspirationsteorier och berättelser som bidrar till att hålla ihop vetenskapsgrenar, t.ex. mönsterexempel och rykten om nya mönsterexempel, etc.

En allt mer naturvetenskapligt baserad teknologiutveckling möjliggör dessutom en global expansion och omställning av materiell produktion till en ökande tjänstesektor, vilket bidrar till ekonomisk tillväxt och medföljande social mobilitet och formation av nya institutioner, som in sin tur skapar allt mer hopflätade nätverk av feedbackloopar, i vilka vetenskaplig produktion blir allt mer sammanvävd. Detta sker dessutom på en global skala i en accelererande takt där t.ex. Kina, med ett påtagligt fokus på teknologi och naturvetenskap, har gått från i stort sett ingenting till ca 20% av världens vetenskapliga artiklar på något decennium.

Förändrade forskningsvillkor och möjligheter spelar en betydande roll för "metod". Att fråga en experimentalist om metod blir allt oftare i allt högre utsträckning som att fråga personen om vilken experimentell utrustning som används och hur denna fungerar. Allt mer högteknologiskt avancerade experiment med allt större datamängder har dessutom medverkat till en accelererande algoritmisering som påverkar oss alla. Det är ingen slump att Tim Berners-Lee (1955 –) uppfann World Wide Web (WWW) 1989 då han arbetade vid CERN (Europas centrum för partikelfysik). Den ökande algoritmiseringen genererar dessutom nya yrkeskategorier som utvecklar algoritmer och program, t.ex. mönsterigenkänningsalgoritmer, maskininlärning och artificiell intelligens, där en del av de nya yrkena står för ett nytt interface

mellan experiment, experimentell tolkning och teori. Att notera är även att allt fler forskare använder färdiga tillgängliga dataprogram, t.ex. algoritmer för statistisk dataanalys, ofta utan att fullt förstå de program och den underliggande matematik de använder och därmed vad analysen faktiskt betyder, vilket torde utgöra en källa för systematiska fel.

När det gäller teori inom de fysikaliska vetenskaperna så kan denna indelas i två delvis överlappande kategorier: konstruktion av matematiska modeller respektive utforskning av befintliga matematiska modeller. När det gäller den första kategorin blir svaret om metod kopplat till: Modellers noggrannhetsrelevans, giltighetsområde och enkelhet, där de kan delas in i två underkategorier: (i) Modeller som på enklast möjliga sätt inom ett visst noggrannhetsområde försöker beskriva förhållandevis begränsade naturfenomen. (ii) Sökande efter mer "fundamentala teorier", d.v.s., teorier som försöker beskriva en stor del (eller hela) den fysiska verkligheten, t.ex., kvantgravitation och strängteori. När det gäller utforskning av modeller så leder detta till svar kopplade till sökande efter nya empiriska kontaktytor, matematiska strukturer och tekniker.

Mitt nuvarande forskningsområde

Min egen forskning utgörs för närvarande av modellutforskning inriktad mot Einsteins allmänna relativitetsteoris konsekvenser för verkliga (tror vi) svarta håls inre struktur, så kallade generiska rumtidssingulariteters egenskaper, samt utveckling och användning av matematiska metoder för att beskriva och tydliggöra olika kosmologiska modellers matematiska och fysikaliska innehåll. Om man skrev ut Einsteins ekvationer i detalj så skulle de fylla en gammaldags telefonkatalog, så det är inte så konstigt att det behövs en del arbete för att utveckla metoder och en formell infrastruktur som tillåter oss att utröna vad ekvationerna faktiskt har att säga om verkligheten. Av ovan bör framgå att det inte är helt lätt att uttala sig om vilken eller vilka metoder jag använder för en bred publik. Det närmaste jag kan komma är att säga att under senare år så har formuleringar och analys, baserade på fysikaliska grundläggande principer och matematiska strukturer, av (matematiska) dynamiska system fungerat som ett sammanhållande tema som upptagit en allt större andel av min forskningstid, d.v.s. en sammansmältning av fysikaliska och matematiska metoder, tekniker, värderingar och mål.

Däremot kan jag säga att det finns vissa influerande faktorer som knyter an till vad jag skrivit i denna text, även om dessa är för vaga för att beskrivas som "metod". En sådan faktor är sociala relationer, där valet av mina frågeställningar påverkas av viljan att samarbeta med vissa personer som jag träffat, då jag känner en stor glädje i att samarbeta, vilket mer eller mindre av slump har resulterat i ökade samarbeten med matematiker. Inte minst känner jag en tillfredsställelse att dela erfarenheter med yngre forskare. Detta har resulterat i att jag på senare tid mer eller mindre har tvingats in i mer moderiktiga projekt, eftersom yngre forskare behöver få citat för att få fortsätta sin vetenskapliga bana. Jag kan inte säga att valet av sociala relationer och den inverkan på forskningsfrågor detta innebär är optimalt för min vetenskapliga gärning, men livet består av mer än vetenskap där sociala band torde tillhöra det viktigaste.

En annan faktor som influerat mig är att jag under ett par decennier har undervisat doktorander inom samtliga discipliner i vetenskapsfilosofi och historia vid mitt universitet. Detta har resulterat i ett visst vetenskapsfilosofisk inflytande, framförallt hermeneutik och dekonstruktion (mer i den anda som den dekonstruktion som inleddes i slutet av 1800-talet

och början på 1900-talet inom matematiken, där matematikens grunder analyserades, och Bertrand Russells (1872 – 1970) försök att få en fast epistemologisk grund med hjälp av en återförening av logik och matematik, än Jacques Derridas (1930 – 2004) mer luddiga idéer om dekonstruktion). I en allt mer modebaserad forskning så noterar jag en påtaglig begreppsnaivitet och okunskap hos många naturvetenskapliga experimentalister och teoretiker, liksom att många i allt för hög grad är styrda av önsketänkande heuristik med tveksamt naturvetenskapligt innehåll. Illustrerat inom mitt eget område, teoretisk fysik, av t.ex. modifierad gravitation, ett område som består av en närmast ändlös konstruktion av olika matematiska modeller som oftast inte ens marginellt kopplas till empiriskt etablerad fysik och kosmologiska observationer; se även Woits (2006) kritik av strängteori som icke falsifierbara matematiska strukturer. Det är här dekonstruktion kommer in. Jag finner ett värde i att bryta ner dogmer i faktiskt fysikaliskt och matematiskt strukturellt innehåll, för att sedan använda identifierade reducerade centrala bitar till att återuppbygga matematiska modeller till någonting mer konkret, med, förhoppningsvis, mindre ogrundat missledande metafysiskt innehåll och med en tydligare empirisk kontaktyta som innebär möjligheter till potentiell falsifikation.

Visserligen spelar tolkning väldigt olika roller i fysikaliska vetenskaper och kulturvetenskaper. Borta är som sagt de teleologiska förklaringarna inom naturvetenskaperna. Även om den hermeneutiska motivationen angående språk, förförståelse och att gå mellan delar och helhet och mellan ett givet innehåll och olika kontexter är annorlunda inom kulturvetenskaperna än inom naturvetenskaperna (t.ex. spelar ett synkront perspektiv en större roll än ett historiskt inom naturvetenskaperna, eftersom "naturlagar" antas vara oföränderliga), så har jag funnit att detta är ett underskattat perspektiv inom naturvetenskaperna som jag försöker använda mig av, inte minst i samband med dekonstruktion. Enligt min mening så torde naturvetenskaperna gynnas av att ta till sig vissa delar av hermeneutik.

Litteraturbeskrivning

Ovanstående text bygger på mina nästan 20 års erfarenheter som lärare för doktorandkursen Vetenskapernas filosofi och historia för samtliga forskningsområden vid mitt universitet. Det gör att det inte är helt lätt att specificera litteratur i detalj (och inte heller påverkan från otaliga gästande "professorsföreläsningar" och diskussioner rörande olika discipliner), men här är en bakgrund till några relevanta referenser.

Förutom *The Structure of Scientific Revolutions* från upplagor från 1970 och senare av Thomas Kuhn så är även hans *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change* (1977) läsvärd (essential tension syftar på spänningen mellan vetenskaplig tradition och innovation).

Karl Poppers *Logik der Forschung* från 1934, som skrevs om till *The Logic of Scientific Discovery*, vilken utkom 1959, är central för Poppers hypotetiskt deduktiva metod, men den är främst riktad mot de fysikaliska vetenskaperna. För den som relativt snabbt även vill sätta sig in i Poppers idéer om kulturvetenskaper rekommenderar jag *A Pocket Popper* sammanställd av David Miller (1983).

En intressant analys och jämförelse av Kuhn och Popper från ett socialt dominerat perspektiv utgörs av boken *Kuhn Vs. Popper* (2004) av socialepistemologen Steve Fuller. För exempel på en kritik inom teoretisk fysik rörande brist på falsifierbarhet, se Peter Woits *Not even wrong: The failure of string theory and the search for unity in physical law* (2006).

För den som vill orientera sig i nya discipliner rekommenderar jag Oxford University Press serien Very Short Introductions, där böckerna om astronomins historia, Galileo, Newton är av speciell relevans för denna text, t.ex. Hoskin (2003) och Iliffe (2007). För mer djuplodande filosofiska beskrivningar av olika discipliner, där dock färre discipliner har behandlats än i föregående Oxford serie, så förordar jag Cambridge University Press serien The Evolution of Modern Philosophy, där inledningen i Robert Torrettis bok The Philosophy of Physics (1999) ger ytterligare bakgrund till Galileo och Newton. Att notera är att dessa källor tillsammans med Stanford Encyclopedia of Philosophy, som har många intressanta artiklar om t.ex. vetenskapsfilosofi, oftast har betydligt mer trovärdiga referenser än t.ex. Wikipedia och Youtube.

För information om historisk underskattning av systematiska fel, se Cattoën & Visser (2007). För en underhållande bok om korrelationer, se Vigen (2015) och för några exempel <https://www.tylervigen.com/spurious-correlations>. Boken Life in the Universe (2012) av Bennett and Shostak ger både en historisk kulturell kontext och en beskrivning av fysikaliska fenomen som satt ramarna för evolution och tidig mänsklig utveckling (en bok som jag för övrigt använder som kurslitteratur i en astrobiologikurs). För en populär beskrivning av naturvetenskapliga omöjligheter och stabilitet i naturen, illustrerad av t.ex. Oklo reaktorn, rekommenderar jag Impossibility (1998) av John Barrow.

Exempel på försök att beskriva nya sociala dimensioner av modern forskningsutveckling är t.ex. The Triple Helix – University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge Based Economic Development av Etzkowitz och Leydesdorff från 1995, och Mod 2 forskning, introducerad i The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies, från 1994, samt deras efterföljare (alla reflekterande en ökad sammanflätning mellan allt mer komplexa nätverk av formella och informella institutioner). Den vetenskapliga utveckling som dessa arbeten beskriver måste dock sättas in i en bredare kulturell kontext för att bli begriplig.

En ambitiös idéhistorisk bok som jag rekommenderar är Peter Watsons Ideas: A History from Fire to Freud, som t.ex. tar upp experimentens och statistikens historiska betydelse för utvecklingen av det moderna samhället. För en bred historiebereskrivning om relationerna mellan teknologiutveckling, ekonomisk tillväxt, social mobilitet, institutioner och demokrati, se t.ex. Francis Fukuyamas Political Order and Political Decay (2015). För ett ännu större kulturhistoriskt makroperspektiv, där betydelsen av sociala konstruktioner i form av berättelser/fiktioner poängteras, se Yuval Hararis Sapiens (2015) och Homo Deus (2016). Alla dessa böcker, från Watsons Ideas till Hararis Homo Deus, karakteriseras av påtagliga makroperspektiv, vilket innebär förenklingar och generaliseringar som inbjuder till kontroverser. Inte desto mindre erbjuder de en kontext till den mer specialiserade litteraturen.

Referenser

- Barrow, J. D. (1998). Impossibility: The Limits of Science and the Science of Limits. Oxford University Press.
- Bennett, J. O., & Shostak, G. S. (2012). Life in the universe. San Francisco: Pearson Addison-Wesley.

- Cattoën, C., & Visser, M. (2007). *Cosmography: extracting the Hubble series from the supernova data* (arXiv: gr-qc/0703122).
- Drake, S. (2001). *Galileo: A Very Short Introduction*. Oxford University Press.
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (1995) *The Triple Helix -- University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge Based Economic Development* (January 1, 1995). *EASST Review*, Vol. 14, No. 1, pp. 14-19, SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2480085>.
- Fukuyama, F. (2014). *Political Order and Political Decay: From the Industrial Revolution to the Globalization of Democracy*. New York: Farrar, Strauss and Giroux.
- Fuller, S. (2004). *Kuhn Vs. Popper: The Struggle for the Soul of Science*. Columbia University Press.
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P., & Trow, M. (1994). *The new production of knowledge: The dynamics of science and research in contemporary societies*. Sage Publications, Inc.
- Harari, Y. N. (2015). *Sapiens: A Brief History of Humankind*. New York: Harper.
- Harari, Y. N. (2016). *Homo Deus: A Brief History of Tomorrow*.
- Hoskin, M. (2003). *The History of Astronomy: A Very Short Introduction*. Oxford University Press.
- Iliffe, R. (2007). *Newton: A Very Short Introduction*. Oxford University Press.
- Kuhn, T. S. (1970). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kuhn, T. S. (1977). *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. Chicago and London: University of Chicago Press.
- Popper, K. (1959). *The logic of scientific discovery*. Basic Books.
- Popper, K. (1983). *A Pocket Popper*. Guilford, Surrey: Fontana Paperbacks. Svensk utgåva: *Popper i urval av David Miller, Stiftelsen Bokförlaget Thales, 1997*.
- Torretti, R. (1999). *The Philosophy of Physics*. Cambridge University Press.
- Vigen, T. (2015). *Spurious correlations: Correlations does not Equal Causation*. Hachette Books.
- Watson, P. (2006). *Ideas: A History from Fire to Freud*. Phoenix.
- Woit, P. (2006). *Not even wrong: The failure of string theory and the search for unity in physical law*. Basic Books.