

**Fremads
samfundsvidenskabelige
serie**

VIDENSKABENS REVOLUTIONER

Videnskaben er ikke et abstrakt tankesystem, uafhængig af de personligheder, der frembringer den, og af det samfundsliv, hvori den trives.

Ud fra analyser af videnskaberne historie drager Kuhn den slutning, at det centrale i videnskaben er, at et enkelt eller nogle få videnskabelige resultater i en periode er i stand til at samle alle fagets udøvere om sig til et »videnskabeligt samfund«. Sådanne videnskabelige resultater bliver dermed normgivende, ikke alene for videnskabsopfattelsen i det videnskabelige samfund, men for selve dets verdensopfattelse, dets begrebsverden, dets sprog, dets vaner og teknik, og dermed for dets pædagogiske praksis. Alle disse funktioner sammenfatter Kuhn under betegnelsen »paradigme«, og den forskning, der drives ud fra et bestemt paradigme, kalder han for »normalvidenskab«.

Når videnskaben er et så komplekst fænomen, må ændringerne af den være tilsvarende komplekse. En videnskabelig revolution indtræffer ikke, fordi en teori er blevet modsagt af erfaringen, men først når hele paradigmet er ude i så mange vanskeligheder, at det ikke længere kan holde det videnskabelige samfund sammen.

Med disse ideer vil Kuhn på én gang skabe et skema for videnskabens historie og sociologi og en videnskabelig metodelære. Muligheden af dette diskuteres i Knud Haakonssens indledning, som også belyser Kuhns intellektuelle baggrund og de grundlæggende ideer i bogen.

THOMAS S. KUHN

uddannet som fysiker, men tre år som Fellow ved Harvard University førte ham ind på videnskabens historie, dens sociologi, psykologi og filosofi. Han var i en årrække professor ved University of California og er nu professor i videnskabshistorie ved Princeton University. Har skrevet en bog om Den kopernikanske revolution (1957) samt en række artikler.

KNUD HAAKONSSSEN

født 1947, modtog i 1970 Århus Universitets guldmedalje for en afhandling om Thomas Hobbes' filosofi. Mag. art. i filosofi ved Københavns Universitet i 1972. Fra 1973 tilknyttet Edinburgh University.

1991

Tho-
mas
S.
Kuhn

Viden-
ska-
bens
revo-
luti-
oner

**Fremads
samfundsvidenskabelige
serie**

Kalle
Jensen

Thomas S. Kuhn

Videnskabens revolutioner

se Nordisk Psykolo
s. 36 / Erik Sigsgaard



FREMADS SAMFUNDSVIDENSKABELIGE SERIE

redigeres af Egil Fivelsdal og indeholder både nyere og ældre værker, fortrinsvis udenlandske bøger, der ikke tidligere har været oversat.

I serien foreligger:

- Martin Albrow:* Bureaucrati
Emile Durkheim: Den sociologiske metode
Jon Elster (red.): Marx i dag
Jürgen Habermas: Borgerlig offentlighed – dens framvekst og forfall
John Plamenatz: Ideologi
Max Weber: Den protestantiske etik og kapitalismens ånd

Under forberedelse:

- Charles Perrow:* Complex Organisations

Thomas S. Kuhn

VIDENSKABENS REVOLUTIONER

PÅ DANSK VED KNUD HAAKONSSSEN

FREMAD

K
KØBENHAVNS KOMMUNES
BIBLIOTEKER
FAGSAL B
Kultorvet 2
1175 København K

Videnskabens revolutioner

er oversat fra amerikansk efter

"The Structure of Scientific Revolutions", second edition

© 1962, 1970 by The University of Chicago

All rights reserved

Dansk oversættelse: © 1973 by Fremad, Copenhagen

Omslag: Carl Vang Petersen

Bogen er sat med Times

og trykt hos Andelsbogtrykkeriet i Odense

Printed in Denmark 1973

ISBN 87 557 0356 9

Indhold

* Erkendelsesteori eller videnskabssociologi	
Indledning ved Knud Haakonssen	7
Forord af Thomas S. Kuhn	33
I Historiens rolle	40
II Vejen til normalvidenskab	48
III Normalvidenskabens natur	58
IV Normalvidenskab løser gåder	68
V Paradigmernes prioritet	75
VI Uregelmæssigheder og fremvæksten af videnskabelige opdagelser	82
VII Krise og fremvæksten af videnskabelige teorier	93
VIII Reaktionen på kriser	102
IX De videnskabelige revolutioners natur og nødvendighed ..	114
X Revolutioner som ændringer i verdensopfattelse	130
XI Revolutioners usynlighed	150
XII Opløsningen af revolutioner	157
XIII Fremskridt gennem revolutioner	170
Efterskrift - 1969	182
Noter	213

Erkendelsesteori eller videnskabssociologi

AF KNUD HAAKONSSSEN

Den tyske filosof Arthur Schopenhauer mente ikke, at hans forgængere, de romantiske filosoffer, havde noget tyngende kendskab til videnskaben, når de anstillede deres spekulationer om dens natur – deres »Wissenschaftslehre« (videnskabslære), og han omdøbte derfor denne til »Wissenschaftsleere« (videnskabstomhed). I vor tid indtager den amerikanske videnskabshistoriker Thomas Kuhn nogenlunde den samme holdning til sine umiddelbare forgængere og samtidige i den moderne videnskabsteori. På baggrund af sine studier i videnskabens historie mener han ganske enkelt, at den filosofi, der i moderne tid er opstillet for videnskaberne, ikke har meget med den faktiske videnskab at gøre – et forhold han ville tage skridt til at ændre ved at udsende den foreliggende bog i 1962, og som han forfølger i Efterskriften til anden udgave.¹

Kuhn sigter meget vidt med sit angreb, idet han ønsker at gøre op med så godt som hele den angelsaksiske videnskabsfilosofi. I alle dens forgreninger betragter han den som varianter af en traditionel empirisme, og det vil mere konkret sige, at han ser den som arvtager efter den såkaldte logiske empirisme. Kuhns grundlæggende kritik er, at den traditionelle videnskabsfilosofis billede af videnskaben er helt fortegnet, fordi videnskaben alene betragtes som et abstrakt sprogligt system. Dermed kommer videnskaben til at se ud, som om den kun er under påvirkning af rent teoretiske, dvs. logiske, metodiske og iagttagelsesmæssige forhold. Videnskaben fremstår med andre ord som et isoleret og rent rationelt foretagende.

Dette har ifølge Kuhn ikke særligt hold i virkeligheden, thi videnskabens rent rationelle aspekter eksisterer i en meget videre sammenhæng, og hvis vi ikke forstår denne sammenhæng, kan vi heller ikke forstå disse aspekter. Denne videre sammenhæng består af videnskabsmændenes psyke, sprog, vaner osv.; og disse er i alt væsentligt bestemt af, at videnskabsmændene i deres egenskab af videnskabsmænd lever og uddannes i en videnskabelig gruppe, et videnskabeligt samfund.² Det videnskabelige samfund er i sig selv blot en enkelt

gruppedannelse inden for hele samfundet, og det vekselvirker naturligvis ligesom alle andre grupper med dette.

Kuhn søger altså at bringe psykologisk og især social realisme ind i vor opfattelse af videnskaben. Men mens der i de senere år har været en tendens til at forsøge at tilvejebringe en direkte forbindelse mellem videnskab og samfund, er det Kuhns mål at vise, at videnskaben i sig selv er »samfundsdannende« inden for de egentlige samfund.

I bogen koncentrerer Kuhn sig stort set om at fremsætte sine egne synspunkter, mens der er forholdsvis lidt direkte polemik. For at forstå *hvor* polemisk han er over for sin samtid og umiddelbare fortid, er det derfor nødvendigt her at fremdrage nogle væsentlige træk i den logiske positivisme og dens udløbere.

Den logiske positivisme

Denne filosofiske retning blønstrede i 20'erne og 30'erne med baggrund i den såkaldte Wienerkreds samt en række andre filosofiske skoler på det europæiske kontinent. Men i takt med nazismens fremtrængen oplantedes den til de angelsaksiske lande, hvor den passede udmærket ind i den filosofiske tradition fra den klassiske empirisme.³

De relevante hovedpunkter i den tidlige logiske positivisme kan angives med følgende teser:

1. Al menneskelig erkendelse skal kunne formuleres sprogligt; dvs. der findes ikke nogen underforstået viden, som ikke kan formuleres.
2. Denne erkendelse kan reduceres til private umiddelbare oplevelser, – eller rettere: den kan reduceres til såkaldte »elementar-sætninger«, som er sproglige rapporter om umiddelbar oplevelse. – Forholdet kan også udtrykkes omvendt: al erkendelse opbygges af sproglige rapporter om umiddelbar oplevelse.
3. Reduktionen/opbygningen foregår ved hjælp af den moderne symbolske logik.
4. Al tale, som ikke kan reduceres til elementar-sætninger, er meningsløs, for enhver sætnings mening er den metode, hvorved den kan verificeres.⁴ Thi ved vi ikke under hvilke omstændigheder en sætning er sand eller falsk, så farer vi med løs snak. Dette er det såkaldte verifikationskriterium for mening.
5. Man kan endegyldigt afgøre, om den resterende meningsfulde tale er sand eller falsk: den er sand (»verificeret«), når de elementar-

sætninger, den kan reduceres til, er i overensstemmelse med den konstaterede virkelighed – ellers falsk (»falsificeret«). Med andre ord alle problemer kan løses endegyldigt.

- NB !
6. Kun videnskabernes erkendelse kan verificeres, og videnskaberne er derfor den eneste form for erkendelse.
 7. Videnskaberne udgør en enhed, idet de opbygges af det samme materiale, nemlig elementar-sætningerne.
 8. Videnskaberne udvikler sig i tre henseender. For det første ved at inddrage nye områder (psykologi, sociologi osv.); for det andet ved at blive mere og mere sikker, idet den tilpasses et konstant stigende erfaringsmateriale; og for det tredje ved at lade denne tilpasning bestå i stadigt mere omfattende teorier, som indeholder de foregående. Skoleeksemplet er Newtons bevægelseslove, som skulle forene Keplers celeste og Galileis terrestriske mekanik. Der er altså tale om en ophobende eller kumulativ vækst.

Følgerne af denne erkendelsesteori er bl. a.:

9. Den traditionelle, spekulative filosofi (metafysikken) udelukkes af verifikationskriteriet som meningsløs. Filosofien skal alene være det eneste meningsfulde sprogs – dvs. det videnskabelige sprogs – syntaks,⁵ idet den skal sørge for reduktionen/opbygningen (se anden tese) samt de logiske midler til dette (se tredje tese).
10. Vurderende sprogbrug har i visse tilfælde en beskrivende og verificerbar kerne, men i det store og hele falder den uden for sproget som meningsløs. Derfor står enhver form for vurderinger – moralske, politiske, æstetiske osv. – uden for videnskaben.

Vanskeligheder i den logiske positivisme

Den logiske positivisme kom næsten øjeblikkelig ud i store vanskeligheder med det skitserede program; men i denne situation viste retningen sig som en af de få virkelig rationelle filosofier i vort århundrede, idet Wienerkredsens medlemmer og åndsfrønder i meget høj grad selv var i stand til at kritisere og forbedre programmet. – De centrale problemer var følgende:

1. problem: Verifikationskriteriet for mening er ikke en beskrivelse af erfaringsmæssige forhold, dvs. det er ikke verificerbart, og det er heller ikke en logisk sandhed; følgelig erklærer det sig selv meningsløst!

2. problem: Den vigtigste bestanddel af det, der ifølge de logiske positivister alene udgør menneskelig erkendelse, nemlig videnskaben,

består af universelle udsagn, dvs. almene love, som er formuleret til *altid* at gælde *overalt* for *alle* fænomener af en bestemt art. Dette betyder imidlertid, at de videnskabelige love ikke kan reduceres til eller opbygges af elementar-sætninger, thi disse kan altid kun rapportere iagttagelse af et *endeligt* antal fænomener på et *begrænset* antal steder og på et *begrænset* antal tidspunkter i fortiden. Dette er det såkaldte induktionsproblem.

3. problem: Det følger af induktionsproblemet, at verifikationskriteriet ikke alene erklærer metafysik osv. meningsløs (se tese 9 og 10), men også videnskabens love.

4. problem: Hvis videnskaben skal hvile på elementar-sætninger, som er rapporter om umiddelbare oplevelser, bliver videnskabens grundlag rent privat eller *subjektivt*. Den yderste konsekvens må være, at hvert enkelt menneske må *opbygge sin egen verden og sin egen videnskab* – uden vished for, at disse ligner andre menneskers (solipsismens problem). – Endvidere er selv umiddelbare erfaringer *ikke absolut ubetvivlelige*, men hvis de er rent subjektive, er der ingen mulighed for indbyrdes kontrol (intersubjektiv kontrol). Dette problem med videnskabens grundlag (basis-problemet) var *fatalt* for en filosofi, der havde den objektive, dvs. alment tilgængelige enhedsvidenskab som sit mål.

5. problem: Ifølge den logiske positivismes eget program må det være metafysik og dermed meningsløst at tale om at sammenligne sprog (elementar-sætninger) og virkelighed, thi dette forudsætter en upåviselig struktur-lighed mellem de to (sandhedsproblemet).⁸

Dette kompleks af problemer og dets udløbere skulle blive særdeles afgørende for erkendelsesteoriens og videnskabsfilosofiens udvikling i de angelsaksiske lande i de følgende årtier. Dette skyldtes to forhold: for det første, at problemerne var så uhyre vanskelige; for det andet, at de opstod i første halvdel af 30'erne, således at positivisterne tog dem med sig, da de politiske virkninger af en mindre rationel filosofi⁷ spredte dem for alle vinde. Således går det til, at det er arbejdet med dette problem-kompleks, Kuhn reagerer mod i nærværende bog, og vi må derfor i grove træk se, hvilke retninger dette arbejde tog.

Løsningsforsøg

Problemet med verifikationskriteriets selvødelæggende karakter (første problem) er af gode grunde aldrig blevet løst. Inden for videnskabsfilosofien svandt lysten til militant og missionerende at dømme andre beskæftigelser end videnskaben »meningsløs«. Det skete i takt med,

at man fik et andet syn på videnskaben og dens sprog, og de, der led af ulykkelig kærlighed til menings-filosofien og dens effektivitet til at »tilbagevise« (læs: afvise) kritikere, fandt et nyt hjemsted i den såkaldte Oxford-filosofi (eller dagligsprogsfilosofi).⁸

Første løsningsforsøg: Derimod gjorde man direkte front mod induktionsproblemet (2. problem) og problemet med de videnskabelige loves status (3. problem). Forsøgene på en løsning gik hovedsagelig i to retninger. Nogle få (især Moritz Schlick) valgte den udvej at hævde, at videnskabelige love slet ikke er beskrivende udsagn, som skal verificeres, men snarere 'instrumenter' (eller slutningsregler) til at udlede forudsigelser om enkeltfænomener af den allerede indhøstede viden om tidligere enkeltfænomener. Sådanne regler er ikke sande eller falske, men blot mere eller mindre hensigtsmæssige, og de skal dermed ikke reduceres til eller opbygges af (induceres fra) elementarsætningernes rapporter om enkelterfaringer. Dette synspunkt kaldes (instrumentalisme) det skaber en forbindelse til den lidt tidligere franske instrumentalisme hos Pierre Duhem og Henri Poincaré, og det er i slægt med den amerikanske pragmatisme. – De fleste logiske positivister valgte imidlertid at svække kravet om absolut verificerbarhed (se fjerde og femte tese) til et krav om prøvbarhed, dvs. et krav om, at man af videnskabelige love skal kunne udlede elementarsætninger – især forudsigelser –, hvis sandhed eller falskhed kan afgøres. Men man anerkender, at videnskabelige love er universelle udsagn, og at de derfor ikke kan reduceres fuldstændigt. Derimod mener man nok, at afprøvninger, som falder positivt ud, styrker den afprøvede teori: jo flere positive tilfælde, jo mere underbygget er teorien; og denne underbyggelse søger man at give et tal for ved hjælp af sandsynlighedskalkyler. Prøvbarhed bliver således det kriterium, hvorefter man kan skelne mellem videnskab og ikke-videnskab, – og i begyndelsen bruger man det også som meningskriterium.

Andet løsningsforsøg: Problemet med videnskabens grundlag (fjerde problem) søger de logiske positivister at løse ved ganske enkelt at vælge et andet grundlag end elementarsætningernes rapporter om subjektive erfaringer. Valget falder på rapporter om almindelige legemlige (fysiske) ting, i hvilke den iagttagende og rapporterende person selv regnes for en fysisk ting på linje med alle andre. Sådanne rapporter, som kaldes protokol-sætninger, har nemlig den fordel, at de er objektive i den forstand, at de også kan kontrolleres af andre end iagttageren selv – de er intersubjektive. Dette synspunkt kaldes (fysikalisme). Fysikalismen blev den nye udgave af enhedsvidenskabens program, og

ud fra denne kan man måske samlet formulere positivisme som det synspunkt, at al gyldig erkendelse er videnskabelig erkendelse; og al videnskabelig erkendelse er fysikalistisk erkendelse (dvs. kan reduceres til eller opbygges af fysikalistisk erkendelse). Det er værd at lægge mærke til, at dette forsøg på at løse grundlagsproblemet, forudsætter en meget væsentlig ændring af de logiske positivisters hidtidige syn på sproget. Hidtil havde de haft det underforståede og højst spekulative synspunkt, at sproget fra naturens hånd faldt i to kategorier, meningsløst og meningsfuldt, og at den sidste igen naturligt deltes i sandt og falsk. Nu forsvinder denne naturalisme, og man gør sig klart, at sproget er menneskeværk. Blot glider man så over i en lige så yderliggående og forkeret konventionalisme: ideen om, at menneskene kan skabe sproget efter deres eget hoved. Det kan man kun med 'lukkede' kunstsprog, ikke med 'åbne' og levende sprog som videnskabens, som ikke på forhånd kan gives alle deres opgaver.

Tredje løsningsforsøg: Endelig søger én af de logiske positivister, Otto Neurath, at løse sandhedsproblemet ved at udskifte sandhedskriteriet. Hidtil havde kriteriet på elementarsætningernes sandhed været deres overensstemmelse med virkeligheden (korrespondens-teorien); i stedet ville Neurath sætte deres overensstemmelse, dvs. logiske forenelighed med den bestående videnskab. Det elementære krav om modsigelsesfrihed blev således ophøjet til sandhedskriterium (koherens-teorien). Det skulle imidlertid være klart, at dette ville føre til den fuldkomne konservatisme i videnskaben, og forslaget vandt da heller ikke gehør. Man fortsatte med en underforstået korrespondens-teori og undgik helst emnet.

Den videnskabsopfattelse, Kuhn kom til at stå over for, kan da i grove træk opsummeres således: Videnskaben er et sprogligt system, som i sig selv er isoleret fra metafysik og filosofi, og som er uafhængigt af diverse værdisystemer. Videnskaben har to hovedbestanddele: universelle, beskrivende love og partikulære, beskrivende rapporter (protokolsætninger) om enkeltfænomener; de sidste bruges til at understøtte og sikre de første via en sandsynlighedskalkyle. Protokolsætningerne er således i en vis forstand primære i forhold til lovene og dermed uafhængige af dem; og på trods af fysikalismens påpegning af, at de også er fejlbarlige, lever den idé videre, at de er en særlig pålidelig genspejling af den objektive verden, - at de så at sige har en »krog« i virkeligheden. Protokolsproget betragtes derfor fortsat som et neutralt iagttagelsesprog. Endelig holder man fast ved, at videnska-

ben udvikler sig kontinuert ved en stadig akkumulation af iagttagelser og stadigt mere generelle love.¹⁰

Kuhns reaktion: paradigme og normalvidenskab

Den vestlige empiristiske tradition har uforanderligt set det som sin opgave at forankre den menneskelige erkendelse i den umiddelbare erfaring, men den har lige så uforanderligt bevæget sig henimod at betragte denne erkendelse i stadig større sammenhænge. I den klassiske empirisme, især hos David Hume (1711-1776), gjaldt det om at påvise det erfaringsmæssige grundlag for enkelt-begreber (og dermed enkelt-ord). Den tidlige logiske positivisme ville reducere de enkelte videnskabelige love til rapporter om umiddelbar erfaring; senere gjaldt det om at forbinde hele teori-komplekser med erfaringen ved hjælp af afprøvning. Og endelig mener amerikaneren W. V. O. Quine, at det er tilstrækkeligt, at et helt sprog er understøttet af erfaringen.¹¹

Det er værd at se Kuhn som et led i og samtidig et brud med denne udvikling. Kuhn gør nemlig erkendelsessammenhængen (specielt den videnskabelige erkendelses sammenhæng) endnu videre. For ham er ikke en gang et helt sprog nok; han vil betragte videnskabelig erkendelse som den aktivitet, en bestemt gruppe af mennesker udfolder, såvel intellektuelt som på andre måder. Ved denne udvidelse af sammenhængen gør han altså videnskab til andet og mere end noget sprogligt formuleret, og dermed sprænger han automatisk den traditionelle modstilling af sprog og erfaringsmæssig virkelighed.

Inspirationen til denne nye idé synes at komme fra to kanter; for det første Kuhns stadige kilde til erkendelse, videnskabens historie; og for det andet Ludwig Wittgensteins senere filosofi. For Kuhn viser videnskabens historie utvetydigt, at videnskaben ikke kan betragtes som et isoleret sprogligt system, men at det sproglige derimod kun er ét led blandt andre, så som praktisk forsøgsvirksomhed og videnskabelig uddannelse. Og dette har sin filosofiske begrundelse i Wittgensteins ideer om, at sproget blot er en enkelt del af vor adfærd på linje med alle andre dele af denne adfærd, og om at sproget kun kan forstås, således som det indgår i denne større sammenhæng (»livsform«).¹²

En sådan større sammenhæng for videnskabelig erkendelse kalder Kuhn et paradigme. Paradigme-begrebet er det mest centrale og mest indflydelsesrige i Kuhns bog. Det er overordentlig vanskeligt at behandle, fordi det er særdeles mangetydigt, hvilket Kuhn også selv ind-

rømmer,¹³ og vi må her holde os til de væsentligste træk ved det. Som allerede nævnt identificeres et paradigme som den aktivitet en bestemt gruppe af mennesker, nemlig det videnskabelige samfund, udøver, og vel at mærke er det paradigmet, der holder gruppen sammen og gør den til et samfund. Begrebet er altså for så vidt sociologisk, men dens nærmere bestemmelse må hentes fra adskillige discipliner. Til paradigmets sociologiske aspekter hører, at det er bestemmende for en bestemt ramme af institutioner, nemlig et uddannelses- og forsknings-system. Og her foretages en begrebsmæssig overgang til paradigmets intellektuelle aspekter, idet det grundlæggende i uddannelsessystemet er en systematisk lærebog (eller i ældre tid, et »klassisk« værk). Uddannelsessystemet er meget afgørende for paradigmets funktion; her formidles ikke alene den rent teoretiske kerne i den pågældende videnskabelige disciplin, – den teori, som tidligere alene regnedes for videnskab –, men også brugen af de instrumenter, som er et væsentligt led i den paradigmatiske anvendelse af teorien. Paradigmet er altså også en samling praktiske redskaber af såvel begrebsmæssig som instrumentel art.

Alle disse sider af paradigmet stammer fra én bestemt kilde, nemlig en tidligere videnskabelig præstation, som er særlig forbilledlig (»an eksemplar«). I Efterskriften fremhæver Kuhn dette som det vigtigste element i paradigmet. Med en sådan mønstergyldig præstation fastlægges der standarder for det videnskabelige samfunds arbejde, den såkaldte normalvidenskab. Disse paradigmatiske standarder er af vidt forskellig art. For det første ligger der bag dem en bestemt metafysik, altså en spekulativ opfattelse af verdens almene indretning. På dette punkt har Kuhn af Alexandre Koyré og andre videnskabshistorikere¹⁴ lært at se overgangen mellem metafysik og videnskab som glidende – modsat positivismen. Men normalvidenskabens paradigmatiske standarder ytrer sig også på et langt mere konkret plan, idet de fastlægger en psykisk »gestalt« og et sprog, – og derigennem fastlægger de en ganske bestemt måde at iagttage verden på.

På disse områder er Kuhn under indflydelse fra flere sider. Af gestaltpsykologien har han lært, at mennesket, såvel hvad angår iagttagelse¹⁵ som tankevirksomhed¹⁶, opfatter sin omverden i integrerede helheder eller strukturer (gestalter), ligesom han har taget ved lære af Jean Piagets beslægtede idé om såkaldte skemaer for opfattelsen. Af mere eller mindre funktionalistiske former for psykologi har han lært, at disse helheder indbefatter sådanne led som motivation, indlæring, forventning.¹⁷ Til disse ideer føjer Kuhn sin egen idé om, at den for-

billedlige videnskabelige præstation netop udstyrer forskere med sådanne helheder, således at medlemmerne af et bestemt videnskabeligt samfund i konkret psykologisk forstand kommer til at se verden på en bestemt måde.¹⁸ På det psykologiske plan tilslutter Kuhn sig altså tendensen væk fra »elementarisme« og henimod »kontekstualisme« – ganske som på det erkendelsesteoretiske plan.

Dette har Kuhn åbenbart fundet understreget af amerikaneren Benjamin Lee Whorfs spekulationer om og undersøgelser af, hvorledes hvert enkelt sprog er bestemmende for den pågældende gruppe af sprog-brugeres opfattelse af verden:¹⁹ den normalvidenskabelige tradition, som grundlægges af »an exemplar«, er ikke alene en teoretisk, en instrumentel, en psykologisk osv. »tradition«, men også et bestemt afgrænset sprog med alt, hvad et sådant indeholder af formodet – og som oftest underforstået – »viden om verden«. Og disse ideer synes igen at være beslægtede med Michael Polanyis teorier om »tacit knowledge« (tavs, dvs. uformuleret viden).²⁰

Paradigmebegrebets anvendelse

På baggrund af dette begreb om et paradigme som en så sammensat, men integreret helhed bliver en række af Kuhns andre teser forståelige.

Tese 1: Der kan naturligvis ikke være noget neutralt (dvs. teori-uafhængigt) iagttagelsessprog, thi såvel iagttagelse som sprog må indgå i en større helhed, hvor mange andre led er medbestemmende.

Tese 2: Paradigmets »gyldighed« kan der i det hele taget ikke opstilles regler for, thi det er en forudsat »livsform« for medlemmerne af det samfund, som holdes sammen af det. Den traditionelle videnskabsfilosofis ideer om verifikation eller falsifikation af en teori har således ingen plads i videnskaben, fordi de er et for skarpt og enkelt krav, som ikke tager hensyn til den sammenhæng, hvori teorien indgår.

Tese 3: Videnskabens verden er altså – som enhver anden verden – en redigeret verden, – og redaktionen hverken kan eller må der stilles spørgsmålstegn ved inden for denne verden. Rammen er og skal være forudsat og i almindelighed underforstået.

Tese 4: Anvendelsen af paradigmet kan heller ikke specificeres udtømmende i regler, lige så lidt som anvendelsen af enhver anden »livsform«.

Tese 5: Det normalvidenskabelige arbejde skal således alene bestå

» enkeltcase naturalisering //
sensationalisation

i en begrebsmæssig såvel som instrumentel og praktisk udarbejdelse af paradigmet, hvor det er forskernes snilde og ikke paradigmet, der afprøves.

Tese 6: Dette arbejde lignes ved at løse gåder eller spille et spil, hvor reglerne på forhånd garanterer, at der findes en løsning, men hvor vejen til denne er ukendt. (Inden for hver enkelt normalvidenskabelig tradition gælder altså ifølge Kuhn det samme, som gjaldt absolut, dvs. for videnskaben som helhed, ifølge de logiske positivister, nemlig at ethvert problem på forhånd er garanteret en løsning).

Tese 7: Kun ved denne konstante uddybning af et enkelt paradigme kan videnskaben få dybde og præcision i udforskningen af verden.

Er mål
midlet
dividind-
tiam
K.P

Videnskabelige revolutioner

Når paradigmernes beherskelse af de normalvidenskabelige samfund er så fast og mangfoldig, melder der sig straks to store problemer: hvorledes opstår et paradigme? og hvorledes foregår overgangen mellem paradigmer?

Tiden før et paradigme opstår for en eller anden disciplin er i almindelighed temmelig kaotisk, idet der side om side findes flere rivaliserende skoler af filosofisk tilsnit. Disse har hver for sig – og til tider også indbyrdes – visse ligheder med et normalvidenskabeligt samfund; de har en bestemt metafysik, visse fælles værdier, et sprog og til en vis grad en fælles opfattelsesmåde. Men de mangler »an exemplar«, et mønstergyldigt videnskabeligt resultat, som kan skærpe alle disse ting og gøre dem nogenlunde entydige, og som derved står så stærkt, at det kan samle alle rivaliserende parter til et sammenhængende videnskabeligt samfund. – Ikke mindst udviklingsmæssigt er der altså en sammenhæng mellem videnskab og metafysik.

Denne samling om et paradigme er for længst foregået i de fysiske og biologiske videnskaber ifølge Kuhn, mens den i samfundsvidenskaberne måske er undervejs – en bedømmelse, man kan have sine tvivl om i betragtning af især den sidste halve snes års diskussion om samfundsvidenskabernes hele mål og med mellem kontinentale og angelsaksiske samfundsforskere og filosoffer.

Af større principiel interesse er imidlertid Kuhns syn på overgangen fra ét paradigme til et andet. Dette giver for så vidt sig selv, når man kender hans paradigme-begreb. Et gammelt paradigme bryder ikke sammen, blot fordi det støder på vanskeligheder med at forklare dette eller hint enkelt-fænomen. Det har altid sådanne vanskeligheder og er

altså i den forstand altid falsificeret, men dét får ikke det videnskabelige samfund til at forkaste det; tværtimod består det normalvidenskabelige arbejde i høj grad netop i at klare sådanne vanskeligheder for paradigmet – eller groft sagt i at tillempe »verden« efter teorien. (Og dette kan naturligvis kun lade sig gøre, fordi der ikke findes en uafhængig instans i form af et neutralt iagttagelsessprog). Hvis paradigmet skal bryde sammen, skal det almindeligvis komme ud i mange og gentagne vanskeligheder, og disse skal angå centrale led i det.

Her viser Kuhns tilnærmelse sin særegne karakter. Et paradigmes og dermed en videnskabelig traditions sammenbrud er ikke alene et erkendelsesteoretisk spørgsmål om, at en teori er modsagt. Det er f. eks. også et praktisk spørgsmål om dens vigende evner til at løse instrumentelle og tekniske problemer. Og samtidig spiller sociale, politiske, religiøse og andre forhold ind i vekslende konstellationer og med forskellige mål. Et standard-eksempel er den kirke-politiske hæmning af det aristoteliske paradigmes sammenbrud i renaissanceen.

En følge af, at situationen er så sammensat, er, at sammenbruddet som regel bliver en langstrakt social proces. Den tager først rigtig fart, når der fremkommer et nyt og alternativt videnskabeligt resultat, som er så stærkt, at i det mindste nogle få forskere tror på det som »an exemplar«, dvs. som grundstenen i et nyt paradigme. Disse »revolutionære« er i almindelighed unge mennesker eller folk, som er nye i det pågældende fag, idet disse ikke har indsuget hele det gamle paradigme som en fasttømret livsform. De har derfor mulighed for at danne sig en klar bevidsthed om, at det gamle paradigme er ved at bryde sammen. Og idét de opbygger et nyt paradigme, opstår der således rivaliserende skoler i den pågældende videnskab, og kampen mellem disse er den egentlige revolutionsperiode. Denne ligner mest af alt den førparadigmatiske periode i videnskaben med de stridende skoler og behandlingen af de mest grundlæggende spørgsmål, dvs. hele den filosofi, som der i det enerådende paradigmes tid har været underforstået enighed om.

Man må imidlertid være opmærksom på, at denne kamp og dens afgørelse heller ikke er et spørgsmål om logik, – og at den umuligt kan være det ifølge Kuhn. To paradigmer er nemlig ikke alene to forskellige teorier, men to forskellige sprog, to forskellige måder at se verden på, og dermed to forskellige verdener. Der gives derfor ikke nogen objektiv og fælles målestok til at sammenligne dem ud fra; specielt findes der ikke et iagttagelsessprog, som er neutralt og uafhængigt af paradigmer. Dette betyder for Kuhn, at diskussionen mellem to para-

digmer aldrig kan blive en rationel diskussion, og at valget imellem dem for så vidt må være et irrationelt »spring«.

Dette får den sociale følge, at mange af det gamle paradigmes repræsentanter aldrig bliver overbevist af det nye paradigme, og revolutionens afslutning bliver derfor til en vis grad et spørgsmål om, at de ældre skal dø ud. For dem, der lader sig overbevise, er der ikke tale om en rationel proces, og Kuhn kalder det da også for en omvendelse. Denne omvendelse sker under pres fra teoretiske, tekniske, sociale og andre hensyn. Så vel for den enkelte som for det videnskabelige samfund som helhed er der tale om en gennemgribende ændring, dvs. en ændring af de mangfoldige elementer, der indgår i et paradigme. Det nye paradigmes udvikling består ikke alene i dannelsen af et nyt teori-kompleks og en ny instrumentel praksis. Med udviklingen af nye begreber opstår der et helt nyt sprog og en ny måde at se verden på, - der sker et gestalt-skifte i såvel bogstavelig som overført betydning. Alt dette bevirker en ændring af uddannelsen, dens lærebøger og dens metoder, og dette er igen med til at styrke det nye paradigme. Samtidig kan revolutionen også betyde vidtgående ændringer i de videnskabelige samfunds sociale struktur. En revolution kan betyde, at nye fag udskilles af gamle, eller at traditionelle faggrænser slettes, med alt hvad dette bevirker af ændringer i uddannelsessystemer, publiceringsmetoder (nye tidsskrifter o. l.), videnskabelige selskaber og foreninger, specialister til rådighed for teknik og politik, o. m. a. Revolutionen overvindes altså ved, at et nyt paradigme viser sig i stand til at trække videnskabsmændene bort fra rivaliserende skoler, således at der dannes et nyt sammenhængende videnskabeligt samfund. Dermed kommer videnskaben ind i en ny normalvidenskabelig periode, dvs. en periode, hvor de videnskabelige problemer er »bundne« opgaver, som kan løses efter paradigmets spilleregler - i modsætning til revolutionstidens unormale videnskab, hvor man hverken er enige om, hvad der er opgaver, hvad der er løsninger, eller hvilke metoder man skal anvende.

Fremskridt?

Som det vil være fremgået, er der på intet tidspunkt i den videnskabelige udvikling mulighed for en ydre eller neutral bedømmelse af et paradigme eller for at sammenligne to paradigmer, idet enhver bedømmelse nødvendigvis selv må være bestemt af et paradigme. Det samme gælder naturligvis også paradigmernes enkeltelementer. Dette

oprindeligt \rightarrow gyldighed: ^{med a} ^{sammen} ^{Sag}
betyder bl. a., at i og med, at man vinder en eller anden ny erkendelse, accepteres denne som gyldig erkendelse, thi den kan kun regnes for erkendelse ud fra paradigmets betingelser, dvs. kun hvis den passer med paradigmet eller i det mindste ser ud til at kunne bringes til at passe med det. Kuhn nærmer sig her tydeligvis en koherens-teori om sandhed.

Erkendelsens oprindelse og dens gyldighed er således to sider af samme sag for Kuhn, idet oprindelsen kun kan foregå inden for det paradigme, som samtidig sætter standarden for gyldigt og ugyldigt. Den skelnen mellem oprindelse og gyldighed, som den logiske positivisme med større eller mindre held søgte at indføre i videnskabsfilosofien, og som er et centralt punkt i Karl Poppers filosofi, mener Kuhn således er uholdbar.

Umuligheden af en neutral bedømmelse og sammenligning af paradigmer betyder endvidere, at de senere paradigmer ikke meningsfuldt kan siges at indeholde de foregående; de er helt inkommensurable størrelser. Videnskabens udvikling foregår således ikke kumulativt, men i spring.

Det store spørgsmål er imidlertid, om det overhovedet er muligt at tale om »udvikling« eller »fremskridt«, når der ikke findes noget fællestål. Det mener Kuhn dog nok, at man kan, thi det forekommer ham indlysende, at de senere paradigmer (f. eks. den moderne fysik) giver os bedre praktiske redskaber af begrebsmæssig og instrumentel art, altså nærmest en pragmatisk målestok. Men man må være klar over, at der er tale om udvikling i en ganske bestemt forstand. Når muligheden for at sammenligne viden og verden er ophævet, kan der naturligvis ikke være tale om, at forskellige trin i erkendelsens udvikling er bedre eller dårligere billeder af verden; og følgelig kan videnskabens udvikling ikke bestå i trinvis at nærme sig den sande beskrivelse af verden, - en sådan findes ganske enkelt ifølge Kuhn. Det videnskabelige fremskridt er da heller ikke at forstå som en bevægelse henimod noget, men som en bevægelse væk fra noget, nemlig som en bevægelse væk fra sammenbrudte paradigmer og deres inadækvate redskaber. Det er altså en åben udvikling, og Kuhn finder det derfor rimeligt at sammenligne den med den biologiske udvikling i darwinistisk forstand.

fremskridt: ej henimod noget, men en bevægelse væk fra noget. 19

øjne Foucault 6/7 om spised Hegel II Marx - dialektikken

Logic of Discovery and
Logic of Research.

Diskussionen omkring Kuhn

Vil Kuhn opstille en socialpsykologi/sociologi for videnskaben, eller er der tale om videnskabernes logik - en videnskabelig metodelære? Dette er det centrale spørgsmål i debatten om Kuhns bog i den sidste halve snes år, en debat hvis anden part hovedsageligt har været Karl Popper og hans elever. På dette spørgsmål svarer Kuhn »ja!« - og plæderer for, at dette svar ikke er at ligne ved »goddag mand, økseskaft!«

Kuhn er langt fra klar på dette afgørende punkt, men hans holdning synes at være følgende. Den beskrivelse af videnskaben, vi får fra videnskabshistorien og videnskabssociologien, giver os alt, hvad vi kan vide om videnskaben og dens væsen; den er så at sige det eneste, vi har at holde os til i vor opfattelse af, hvad videnskab er. Derfor må denne beskrivelse nødvendigvis være bestemmende for, hvad vi vil foretage os, når vi vil drive videnskab; den er med andre ord normgivende for forskerne. Det betyder, at ikke alene har videnskaben formet sig som en række af langvarige perioder, hvor der er blevet drevet grundig normalvidenskab, afbrudt af omvæltende revolutioner, men den bør også forme sig således i fremtiden. Dette vil mere konkret sige, at Kuhns råd til videnskabsmændene er, at de skal koncentrere sig om at udvikle et enkelt paradigme i så mange detaljer som muligt og holde sig blindt til dette paradigme, så længe det overhovedet er bæredygtigt for en normalvidenskabelig tradition. Den monolitiske normalvidenskab er og bør være det centrale i videnskaben, thi først da når videnskaben den grundighed og dybde i udforskningen af verden, som er dens kendetegn.

Dette forsøg på at integrere en deskriptiv og en normativ disciplin understøtter Kuhn med en generel henvisning til, at nogle filosoffer²¹ ikke mener, at distinktionen mellem »er« og »bør« er ubetinget holdbar. Endvidere mener han, at distinktionen er et integreret led i et forældet filosofisk paradigme, og at den dermed ikke er neutral, men tværtimod en indbygget beskytter af denne tradition.

Der er mange indvendinger og tvivl at rejse om disse og andre af Kuhns synspunkter; en del er formuleret af Popper, en del af hans elever, nogle få af andre, og en masse er ikke formuleret endnu. Her vil der blive præsenteret et udvalg af de vigtigste - uden nøje hensyn til dets oprindelse.²²

Med hensyn til den almene skelnen mellem normativt og deskriptivt, kan man bemærke, at Kuhn henvender sig til en tradition, som i det store og hele hylder denne distinktion, og at han ønsker at blive for-

Forstår ikke dette med distinktionen!

støt af denne tradition for derved at kunne ændre den. Bevisbyrden for distinktionens (u)holdbarhed tilfalder derfor ham. Henvisningen til de moderne angreb på distinktionen forøger faktisk kun hans problemer, idet disse angreb støtter sig på minutjose analyser af enkle daglig-sproglige udtryk; tilbage står spørgsmålet om disses relevans for de brede teoretiske sammenhænge, der er tale om hos Kuhn.

Kuhns påstand om, at distinktionen blot indgår som et led i et bestemt filosofisk paradigme, er for det første udokumenteret, og for det andet forudsætter den gyldigheden af Kuhns eget begrebsapparat, - og det er netop til debat.

Man må således nok sige, at Kuhn mere har ny-formuleret problemet i en videnskabsfilosofisk sammenhæng, end at han har bidraget til at løse det, - men det forhøjer naturligvis spændingen.

Popper holder fast ved den traditionelle skelnen mellem normative og deskriptive discipliner, og han argumenterer for, at den videnskabelige metodelære er normativ. Ligeegyldigt hvad historien viser, forhindrer det ikke, at vi kan opstille helt uafhængige krav til videnskaben; men det forhindrer naturligvis ikke, at vi kan lære mange af disse krav af visse træk i historien. Blot må man så være klar over, at udvælgelsen af disse træk i sig selv er udtryk for en vurdering.

Konkret mener Popper, at vi bør lære af de revolutionære perioder i videnskabens historie og ikke af de normale.²³ Dette må ses som en følge af hans almene syn på den menneskelige erkendelse.²⁴ Denne er ifølge Popper altid fejlbart og usikker, og vi kan derfor ikke siges at vide noget i absolut forstand. Ikke desto mindre er vi i stand til at lære mere og mere ved at lære af vore fejl, og fejl fremkommer gennem udforskning af problemer i vor hidtidige viden. Et sammenbrud i den gamle viden, som fremkaldes af diskussion af problemerne i denne viden, er derfor en triumf, som vi bør gøre alt for at opnå ved at kritisere denne viden, thi sammenbruddet er betingelsen for fremkomsten af ny viden; erkendelsen er problem-bestemt. Falsifikation af en videnskabelig teori er blot et specialtilfælde af sådanne problemer, og revolutions-perioderne er altså de spændende perioder i videnskaben, thi det er her der indhøstes ny erkendelse. Selv om de normalvidenskabelige perioder måske kvantitativt er de mest fremtrædende i videnskaben, er dette kun at beklage, thi de er kun at betragte som perioder med fejlslagne forsøg på at tilbagevise eksisterende viden og dermed skabe mulighed for ny viden. - Dette supplerer Paul Feyerabend med sin teori om, at det i virkeligheden er ønskeligt, at der altid eksisterer to eller flere konkurrerende teorier side om side, thi

dette er i mange tilfælde betingelsen for at kunne finde fejl i én af dem.²⁵

Kuhn har flere (modargumenter) mod dette erkendelses- og videnskabs-syn. For det første ville det være uheldigt, om videnskaben faktisk fulgte Poppers anvisning på så hurtigt som muligt at tilbagevise eksisterende viden, idet teorierne så aldrig ville blive ordentligt udarbejdet, og den samme virkning ville Feyerabend's teori-pluralisme have. For det andet er det bedrag at opstille falsifikation som et ideal, al den stund alle teorier altid er ude i visse vanskeligheder og altså for så vidt falsificerede. Og for det tredje er falsifikation i egentlig forstand en ren umulighed, idet det ville forudsætte et objektivt og neutralt (dvs. teori-uafhængigt) iagttagelsesprog, som teorien kunne støde an imod, - og et sådant sprog eksisterer jo ikke.

Poppers svar på det første kunne være, at udarbejdelsen af teorien er en nødvendig om end til tider utilsigtet følge af de stridende videnskabsmænds venligt-fjendtlige diskussion, og at udarbejdelsen netop tvinges bedre fremad, jo hårdere diskussionen er. De to andre former for kritik hviler på Kuhns alvorligste misforståelse af Popper, Poppers kriticisme er helt almen: alle dele af den menneskelige erkendelse er principielt usikker og dermed underkastet diskussion, og det gælder også falsificerende iagttagelse. Derfor kan der aldrig være tale om endelige falsifikationer af teorier; hvis man kan påpege problemer i en falsifikation, kan den altid tages op til debat igen, og i den forstand er en teori naturligvis altid i vanskeligheder - ganske som al anden menneskelig viden. Men dette vil jo sige, at Popper lige så lidt som Kuhn regner med et neutralt iagttagelsesprog. Al iagttagelse er ledet af teorier og problemer og er dermed fejlbarlig og underlagt kritik. Dette betyder selvfølgelig ikke, at falsifikation er umulig, men blot, at den altid er foreløbig og usikker lige som enhver anden kritik. For Popper er den menneskelige erkendelse og derunder videnskaben i helt bogstavelig forstand en uendelig diskussion.

Fra dette punkt fortsætter Poppers kritik efter følgende retningslinjer. Ifølge Poppers fortolkning mener Kuhn, at betingelsen for, at man kan diskutere på tværs af teorier (paradigmer), er, at en objektiv virkelighed giver os faste begreber, som er uafhængige af teorier; men da der ikke gives en sådan objektiv virkelighed og dermed faste begreber, er alle begrebers mening og al erkendelses gyldighed tidsbestemt, dvs. relativ til et bestemt paradigme, og enhver tværgående, tidsuafhængig diskussion er derfor umulig. Kuhn havner altså efter Poppers mening i en fuldstændig relativisme. Dette betyder, at Kuhn ikke

med mening kan tale om erkendelsens vækst eller videnskabens udvikling, thi alle standarder til bedømmelse af vækst og udvikling må selv være relative og tidsbestemte; Kuhn kommer derfor ud i selvmodsigelser, når han taler om videnskabens udvikling gennem revolutioner. Denne kritik har et yderligere aspekt: Kuhns argument for at anbefale normalvidenskaben var bl. a., at den gav mulighed for den dybeste udforskning af verden; men hvilken mening har det at tale om dybde i almindelighed og uden sammenhæng med et bestemt paradigme? Endvidere bliver det vanskeligt at se, hvorledes Kuhn kan komme med almene råd om, hvorledes videnskab bør drives (nemlig som normalvidenskab), thi hans egen anbefaling kan vel næppe svæve frit i et paradigme-løst tomrum. Og endelig kan man pege på, at Kuhn netop i denne bog viser glimrende evner til at forstå og sammenligne på tværs af alle de vigtigste paradigme-skol i videnskabshistorien.

Disse vanskeligheder er imidlertid ganske unødvendige efter Poppers mening, fordi relativismen er uholdbar. Det er en fejlagtig myte, at faste begreber eller »rammer« er nødvendige for at diskutere. Vi kan gå på tværs af rammerne i vor diskussion, f. eks. ved at gøre rammerne selv til genstand for diskussion (som her) og dermed diskussionen til det primære. Eller sagt på en anden måde, diskussion og forståelse mennesker imellem er et så komplekst fænomen, at det ikke lader sig lægge fast af bestemte rammer og faste begreber. Men naturligvis løber vi altid en risiko for at misforstå hinanden på tværs af f. eks. store tidsafstande, men det er en risiko, som er fælles for al menneskelig erkendelse.

For Popper bliver diskussionen og kritikken altså den objektiverende eller »absolutte« faktor, som gør det muligt at undgå relativismen. Men man må lægge mærke til, at dette »absolutte« ikke er et givet faktum, men en konstant opgave. Relativismen kan undgås, og Popper har derfor heller ingen kvaler over at tale om objektiv sandhed som et direkte ideal for den menneskelige erkendelse. Hans løsning på problemet med erkendelsens vækst er da, at vi gennem at løse konkrete problemer i den eksisterende viden kan nærme os mere og mere til sandheden; men i betragtning af vor almene fejlbarlighed må tilnærmelsesprocessen naturligvis blive uendelig.

Endelig kan der være grund til at diskutere Kuhns vigtigste begreb, paradigme-begrebet. Har han ret i, at den videnskabelige erkendelse ikke blot er et isoleret sprogligt system, som skal sammenlignes med virkeligheden, men at den tværtimod er en særdeles kompleks helhed, som det er skildret oven for? Poppers svar er, at videnskaben er noget

sprogligt formuleret, thi det er den sproglige formulering, der gør erkendelsen til noget objektivt tilgængeligt og dermed diskuterbart. Men han mener naturligvis ikke, at der kan være tale om nogen endelig »sammenligning« med virkeligheden, al den stund virkeligheden ikke er nogen given størrelse, men en konstant opgave, og al den stund »sammenligningen« er et led i en principielt uendelig diskussions-proces.

Popper er helt enig med Kuhn i, at videnskaben ikke er noget isoleret, men at den tværtimod i høj grad vekselvirker med metafysik, teknik, politik, personlig moral osv. Mange af disse ting havde Popper påvist længe før Kuhn. Men han mener i modsætning til Kuhn ikke, at vi blot skal affinde os med denne tingenes tilstand; tværtimod udgør det en af de konstante opgaver for den indbyrdes diskussion at skelne mellem disse ting. Naturligvis er også denne opgave uendelig, men ikke desto mindre nødvendig for at gøre kritikken af vor viden så effektiv som muligt. For eksempel er det væsentligt i de konkrete tilfælde at forsøge at skelne mellem a) samfundets værdier (f. eks. teknisk effektivitet), b) det videnskabelige samfunds værdier (f. eks. ønsket om altid at være up to date), c) videnskabsmandens værdier (f. eks. prestige eller profit) og d) videnskabens værdier (især sandhed, men også enkelhed, modsigelsesfrihed, forklarende kraft osv.), thi ved at forsøge en sådan skelnen øger man mulighederne for at se, om en given teori forkastes a) fordi den ikke er teknisk effektiv, b) fordi den ikke er moderne, c) fordi den ikke kaster nok af sig, d) eller fordi den ikke stemmer med virkeligheden, – og dermed bliver forkastelsen langt bedre kritiserbar.

Med hensyn til Kuhns ideer om, at en videnskabelig tradition ligefrem har sit eget sprog og sin egen måde at iagttage verden, falder også disse sammen med ideer, Popper har fremsat tidligere. Men i modsætning til Kuhn mener han ikke, at der er tale om ubrydeligt faste kategorier inden for hver tradition, men at disse psykiske og sproglige elementer i vor erkendelse kan og bør underkastes kritik. Og han mener iøvrigt også, at dette rent faktisk har været tilfældet i videnskabens historie i langt højere grad, end det er Kuhns opfattelse.²⁰

Som det vil ses har Kuhns bog i høj grad været i stand til at vække diskussion, og diskussionen har mange flere aspekter end de anførte.²⁷ Denne evne til at kalde på modsigelse er den bedste anbefaling, man kan give Kuhns bog.

Med sin altid vågne kritiske sans har magister Niels Chr. Stefansen været en uvurderlig hjælp ved såvel oversættelse som indledning. Cand. mag. Troels Eggers Hansen og civilingeniør & cand. art. Erik Maaløe skylder jeg tak for en masse gode vink ved oversættelsen af fagvidenskabelige udtryk. Endelig takker jeg seriens redaktør Egil Fivelsdal for råd og dåd under hele arbejdet med bogen.

¹ Desuden har Kuhn udviklet sine synspunkter i en række essays: "The Function of Measurement in Modern Physical Science", i *Isis*, 52 (1961), s. 161-93.

"The Historical Structure of Scientific Discovery", i *Science*, 134 (1962).

"The Function of Dogma in Scientific Research", i A. C. Crombie (udg.): *Scientific Change* (1963).

"The Essential Tension: Tradition and Innovation in Scientific Research", i Taylor & Barron (udg.): *Scientific Creativity, its Recognition and Development* (1963).

"A Function for Thought Experiments", Cohen & Taton (udg.): *Mélanges Alexandre Koyré*, bd. 2, *L'aventure de l'esprit* (1964), s. 307-34.

"Science: The History of Science", i *International Encyclopedia of the Social Sciences*, bd. 14 (1968), s. 74-83.

"Comments in the relations between science and art", *Comparative Studies in Philosophy and History*, II (1969), s. 403-12.

"Logic of Discovery or Psychology of Research?" i Imre Lakatos & Alan Musgrave (udg.): *Criticism and the Growth of Knowledge* (1970), s. 1-23.

"Reflections on my Critics", *ib.*, s. 231-278.

"Second Thoughts on Paradigms", i F. Suppe (udg.): *The Structure of Scientific Theory* (1970).

"Notes on Lakatos", i R. C. Buck & R. S. Cohen (udg.): *Boston Studies in the Philosophy of Science*, bd. VIII (1971), s. 137-46.

² "Scientific community" eller blot "community" er specialudtryk hos Kuhn; jeg oversætter det overalt med »videnskabeligt samfund«.

- ³ Ang. den logiske positivisme (logiske empirisme), se Jørgen Jørgensen: *Den logiske empirismes udvikling* (København, 1948).
- ⁴ Der er dog én meget væsentlig undtagelse fra dette, nemlig de formelle sprog logik og matematik. De er nemlig tautologiske, dvs. analytisk sande, – og dvs. stående pr. definition af deres ord.
- ⁵ Et sprogs logiske syntaks er de rent formelle regler for de sproglige symbols anvendelse, dvs. regler der ikke tager hensyn til symbolernes mening eller betydning. Ideen om den logiske syntaks skyldes Rudolf Carnap; se *Logische Syntax der Sprache* (1934) – engelsk: *The Logical Syntax of Language* (1937); en lettere tilgængelig introduktion er *Philosophy and Logical Syntax* (1935).
- ⁶ Denne strukturlighed var netop blevet hævdet af kredsens tidlige inspirationskilde Ludwig Wittgenstein i *Tractatus logico-philosophicus* (1921) – dansk ved D. Favrholdt (København, 1963).
- ⁷ Om forbindelsen mellem irrationalisme og totalitær politik, se Karl R. Popper: *The Open Society and Its Enemies*, I–II (1945, 5. udg. 1966), samt Flemming Steen Nielsen, »En kritik af den totalitære statstanke«, i *Politiske ideologier fra Platon til Mao*, udg. af S. E. Stybe (København, 1972).
- ⁸ Se Ludwig Wittgenstein: *Filosofiske Undersøgelser* (København, 1971), samt f. eks. Justus Hartnack: *Wittgenstein og den moderne filosofi* (København, 1960), samme: *Den ny filosofi* (København, 1963). I Peter Kemp, *Sprogets dimensioner* (København, 1972) behandles oxfordfilosofien sammen med andre sprogfilosofier.
- ⁹ Fysikalismen omdøbte dem til protokolsætninger.
- ¹⁰ Dette er naturligvis langt fra hele Kuhns problemsituation. Den vigtigste af de manglende bestanddele er Karl R. Poppers erkendelsesteori og videnskabsfilosofi. Popper har på så at sige alle afgørende punkter kritiseret den logiske positivisme siden begyndelsen af 30'erne. Imidlertid er Poppers ideer først rigtig slået igennem, efter at hans erkendelsesteoretiske og videnskabsfilosofiske hovedværk *Logik der Forschung* (1934) i 1959 blev oversat til engelsk som *The Logic of Scientific Discovery*, og han har da også ifølge Kuhn selv kun haft sparsom indflydelse på dennes oprindelige tanker, (se Kuhn i *Criticism and the Growth of Knowledge*, udg. af Imre Lakatos & Alan Musgrave (1970), s. 1). Derimod har diskussionen mellem Popper og Kuhn været det centrale tema i de sidste 8 års videnskabsfilosofi i de angelsaksiske lande. Det er derfor rimeligst at udskyde behandlingen af Poppers synspunkter til sidste afsnit i denne indledning. – Positivismen og Popper er genstand for Kuhns kritik; de mere positive indflydelser på hans synspunkter kommer fra mange sider og vil blive nævnt på rette sted i den følgende oversigt.
- ¹¹ W. V. O. Quine: "Two Dogmas of Empiricism", i *From a Logical Point of View* (2. udg. 1961).
- ¹² Ludwig Wittgenstein: *Filosofiske undersøgelser* (København, 1971).

- ¹³ Se *Criticism and the Growth of Knowledge*, s. 234. I en meget Kuhn-venlig artikel søger Margaret Masterman at skelne mellem 21 forskellige betydninger af ordet hos Kuhn! (*Ib.*, s. 61–65).
- ¹⁴ Beslægtede opfattelser findes f. eks. hos E. A. Burtt: *Metaphysical Foundations of Modern Physical Science* (2. udg. 1932) og H. Butterfield: *Den naturvidenskabelige revolution. Den moderne videnskabs oprindelse 1300–1800* (København, 1964).
- ¹⁵ En oversigt findes f. eks. i Jørgen Jørgensen: *Psykologi på biologisk grundlag* (København, 1963), s. 301 ff.
- ¹⁶ Se Max Wertheimer: *Productive Thinking* (udvidet udg. 1961).
- ¹⁷ Se hans referat af Brunner og Postmans forsøg med fremvisning af kort nedenfor s. 90 f.
- ¹⁸ Se referatet af forsøgene med briller, der vender om på synsbilledet nedenfor s. 131.
- ¹⁹ B. L. Whorf: *Language, Thought, and Reality* (1956).
- ²⁰ M. Polanyi: *Personal Knowledge. Towards a Post-critical Philosophy* (1959).
- ²¹ Se f. eks. J. L. Austin: *How to do things with Words* (1962) og J. R. Searle, "How to derive "Ought" from "Is"", i *Philosophical Review* (1964); endvidere samlebåndet *The Is/Ought Question*, udg. af W. D. Hudson (1969), især Part III.
- ²² Diskussionen er i alt væsentligt samlet i *Criticism and the Growth of Knowledge* (se note 9).
- ²³ I diskussionen om videnskabens faktiske udvikling er stillingen den, at Popper ikke vil nægte, at der har været normalvidenskabelige perioder, men han mener, at de langt fra er så regelmæssigt tilbagevendende, som Kuhn hævder. Desuden mener han ikke, at de er så entydigt »normal«, men at de i høj grad spaltes af dybtgående problemer, som ikke blot kan karakteriseres som »gåder«. Denne kritik imødekommer Kuhn til en vis grad i Efterskriften ved at lægge mest vægt på helt snævre paradigmer, som er begrænset til ganske små normalvidenskabelige samfund; derved bliver revolutionerne tilsvarende mindre og hyppigere. Dette træk bringer paradigmebegrebet meget nær til modelbegrebet, og gør det måske nok mere anvendeligt i videnskabssociologien. Samtidig synes begrebet imidlertid at blive så bredt, at det bliver tomt, og diskussionen om det tilsvarende verbal.
- ²⁴ De vigtigste træk i Poppers erkendelsesteori og videnskabssyn vil være at finde i de tre første kapitler af Karl R. Popper: *Kritisk Rationalisme. Udvalgte essays om videnskab og samfund* (v. Knud Haakonssen og Niels Chr. Stefansen, 1973), og i Bryan Magee: *Karl Popper* (1973).
- ²⁵ Se f. eks. Paul K. Feyerabend, "Explanation, Reduction, and Empiricism" i Herbert Feigl & Grover Maxwell (udg.): *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, bd. III (1962), s. 28–97; "How to Be a Good Empiricist – A Plea for Tolerance in Matters Epistemological", i P. H. Nidditeh

(udg.): *The Philosophy of Science* (1968), s. 12–39, og "Problems of Empiricism", i R. G. Colodny (udg.): *Beyond the Edge of Certainty* (1965), s. 145–260. En kort modstilling af Kuhn og Feyerabend findes i Ingvar Johansson, »Anglosaxisk vetenskapsfilosofi«, i Ingvar Johansson, Ragnvald Kalleberg & Sven-Éric Liedman: *Positivism, marxism, kritisk teori. Riktninger inom modern vetenskapsfilosofi* (1972), s. 7–67, især s. 38–53.

²⁶ Se note 22.

²⁷ På længere sigt kan Kuhns indflydelse meget vel blive størst i videnskabens sociologi og psykologi og ikke i dens logik, – vi får se. De vigtigste begreber i den forbindelse vil utvivlsomt være paradigme-begrebet og begrebet om normalvidenskab.

SUPPLERENDE LÆSNING

Videnskabshistorie

En vis hjælp til at forstå Kuhns mange eksempler fra videnskabens historie kan man f. eks. finde i følgende bøger:

E. A. Burt: *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science* (2. udg. London, 1932 og senere).

Herbert Butterfield: *Den naturvidenskabelige revolution. Den moderne videnskabs oprindelse 1300–1800* (København, 1964).

Alexandre Koyré: *From the Closed World to the Infinite Universe* (Baltimore, 1957 og senere).

Stephen Toulmin & June Goodfield: *Verdensbilledet. Astronomiens idéhistorie* (København, 1964). Mange litteraturhenvisninger.

Albert Einstein & Leopold Infeld: *Det moderne verdensbillede* (København, 1963). Mange litteraturhenvisninger.

Videnskabsfilosofi

1. Almen:

C. G. Hempel: *Vetenskapsteori* (Lund 1970). Almen, traditionel indledning. Ingvar Johansson, Ragnvald Kalleberg, Sven-Éric Liedman: *Positivism, marxism, kritisk teori. Riktninger inom modern vetenskapsfilosofi* (Stockholm, 1972). Trods tvivlsomme enkeltheder er Johanssons kapitel om 'Anglosaxisk vetenskapsfilosofi' nok den bedste oversigt på et nordisk sprog i øjeblikket. Bogen indeholder isørigt kapitler om helt andre former for videnskabsfilosofi end dem, Kuhn beskæftiger sig med, nemlig marxismen og den såkaldte kritiske teori (Frankfurterskolen).

Gerard Radnitzky: *Contemporary Schools of Metascience. I. Anglo-Saxon Schools of Metascience. II. Continental Schools of Metascience*. (Göteborg, 1968). Vanskeligt oversigtsværk over den moderne videnskabsfilosofi.

2. Den logiske positivisme:

A. J. Ayer, udg.: *Logical Positivism* (New York, 1959 og senere). Den bedste samling af artikler fra den logiske positivisme.

A. J. Ayer: *Language, Truth, and Logic* (2. udg. London, 1946 og senere). På svensk: *Språk, sanning, logik* (Stockholm, 1953). Elegant præsentation af den logiske positivismes program.

Justus Hartnack: *Wittgenstein og den moderne filosofi* (København, 1960).
Jørgen Jørgensen: *Den logiske empirismes udvikling* (København, 1948).
Arne Næss: *Moderne filosoffer* (København, 1965). Kapitler om Wittgenstein og Rudolf Carnap.
G. H. von Wright: *Den logiska empirismen* (Helsingfors, 1943). Glimrende oversigt over den logiske empirisme, men vildledende ang. Popper.
G. H. von Wright: *Logik, filosofi och språk. Strömningar och gestalter i modern filosofi*. (2. udg. Stockholm, 1965 og senere).

3. Oxford-filosofi:

Almene indledninger til oxford-filosofien kan man f. eks. finde i:
Justus Hartnaek: *Wittgenstein og den moderne filosofi* (København, 1960).
G. H. von Wright: *Logik, filosofi och språk. Strömningar och gestalter i modern filosofi* (2. udg. Stockholm, 1965 og senere).
Se desuden Lennart Nørreklit & Jes Barsøe Adolphsens indledning til deres danske udgave af Wittgensteins *Filosofiske Undersøgelser* (København, 1971). Af betydende videnskabsfilosoffer, som er under indflydelse af oxford-filosofien, kan nævnes:
Norwood Russell Hanson: *Patterns of Discovery* (Cambridge, 1958 og senere).
Stephen Toulmin: *The Philosophy of Science* (London, 1953 og senere).

4. Karl R. Popper:

The Logic of Scientific Discovery (London, 1959 og senere). Dette er en stærkt udvidet oversættelse af Poppers vanskelige videnskabsfilosofiske hovedværk *Logik der Forschung* (Wien, 1934).
Conjectures and Refutations (London, 1963).
Objective Knowledge (Oxford, 1972).
Philosophy and Physics (Oxford, 1974).
Kritisk Rationalisme. Udvalgte essays om videnskab og samfund (udg. af Knud Haakonssen & Niels Chr. Stefansen, København, 1973). De tre første essays giver et overblik over Poppers erkendelsesteori og videnskabsfilosofi.
Af litteraturen om Popper kan nævnes:
Mario Bunge, udg.: *The Critical Approach to Science and Philosophy* (London, 1964).
Bryan Magee: *Karl Popper* (København, 1973). Udmærket, kort orientering om hele Poppers filosofi.
Elever af Popper:
Paul K. Feyerabend: "Explanation, Reduction, and Empiricism", i Herbert Feigl & Grover Maxwell, udg.: *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, bd. III (Minneapolis, 1962) s. 28-97.

samme: "How to Be a Good Empiricist - A Plea for Tolerance in Matters Epistemological", i P. H. Nidditch, udg.: *The Philosophy of Science* (Oxford, 1968), s. 12-39.
samme: "Problems of Empiricism", i R. G. Colodny, udg.: *Beyond the Edge of Certainty* (New York, 1965), s. 145-260.
Imre Lakatos: "Falsification and the Methodology of Scientific Research Programs", i Imre Lakatos & Alan Musgrave, udg.: *Criticism and the Growth of Knowledge* (Cambridge, 1970), s. 91-195.
Joseph Agassi: *Towards an Historiography of Science* (History and Theory. Studies in the Philosophy of History. Beiheft 2. Wesleyan University, 1963). Et popperiansk alternativ til Kuhns opfattelse af videnskabens historie konkretiseret med mange eksempler.

5. Andet:

Diskussionen mellem Kuhn på den ene side og Popper og hans elever på den anden er samlet i:
Imre Lakatos & Alan Musgrave, udg.: *Criticism and the Growth of Knowledge* (Cambridge, 1970).
De væsentligste dele af Kuhns egne bidrag ud over denne bog er anført ovenfor i note 1 til indledningen.

Videnskabssociologi

Barry Barnes, udg.: *Sociology of Science* (Penguin Books, 1972).
Joseph Ben-David: *The Scientist's Role in Society* (Englewood Cliffs, N. J., 1971).
Warren O. Hagstrom: *The Scientific Community* (New York, 1965).
Jerome R. Ravetz: *Scientific Knowledge and its Social Problems* (Oxford, 1971).
Norman W. Storer: *The Social System of Science* (New York, 1966).
Michael F. D. Young, udg.: *Knowledge and Control* (London, 1971).
Alle med fyldige referencer.

Videnskabspsykologi

A. H. Maslow: *The Psychology of Science* (New York & London, 1966). Med stor litteraturliste.

Forord

Det følgende essay er den første udførlige offentliggjorte rapport om et projekt, som oprindeligt blev udtænkt for næsten femten år siden. På det tidspunkt var jeg ung forsker inden for den teoretiske fysik og kunne allerede se slutningen på min disputats. Et heldigt engagement i et forsøgs-kursus i fysik for ikke-videnskabsmænd på mit college konfronterede mig for første gang med videnskabens historie. Til min store overraskelse undergravede denne konfrontation med tidligere tiders videnskabelig teori og praksis radikalt visse af mine grundlæggende ideer om videnskabens natur og grundene til dens særlige succes.

Disse ideer havde jeg tidligere dannet mig dels ud fra selve den videnskabelige uddannelse og dels ud fra min gamle hobby, videnskabsfilosofien. Uanset deres eventuelle pædagogiske nytte og abstrakte rimelighed passede disse ideer på en eller anden måde slet ikke med det, historien viste. Alligevel var og er de grundlæggende for mange diskussioner om videnskab, og det syntes derfor i høj grad værd at forfølge deres manglende sandhedsindhold. Resultatet var en drastisk ændring af mine *karriere-planer*, en ændring fra fysik til videnskabshistorie, og derefter gradvist fra ret regulære historiske problemer tilbage til de mere filosofiske interesser, som oprindeligt havde ført mig til historien. Med undtagelse af nogle få artikler er dette essay det første af mine offentliggjorte arbejder, hvor disse tidlige interesser er fremtrædende. Til en vis grad er det et forsøg på at forklare mig selv og mine venner, hvorledes det gik til, at jeg oprindeligt blev draget fra videnskaben til dens historie.

Den første lejlighed til i dybden at forfølge nogle af de ideer, der fremsættes i det følgende, fik jeg som Junior Fellow i tre år ved The Society of Fellows, Harvard University. Uden denne frihedsperiode ville overgangen til et nyt forskningsområde have været langt vanskeligere og måske umulig. Jeg brugte en del af min tid i disse år på den egentlige videnskabshistorie. Specielt fortsatte jeg med at studere Alexandre Koyrés værker og stødte for første gang på arbejder af Emile Meyerson, Héléne Metzger og Annelise Maier.¹ Klarere end de fleste andre moderne forskere har denne gruppe vist, hvad det ville sige at

tænke videnskabeligt i en periode, hvor normerne for videnskabelig tænkning var ganske anderledes end de almindeligvis er i dag. Selv om jeg mere og mere betvivler nogle af deres specielle historiske fortolkninger, har kun primære kildematerialer været af større betydning end deres værker (sammen med A. O. Lovejoys *Great Chain of Being*) ved dannelsen af min opfattelse af de videnskabelige ideers mulige historie.

Megen af min tid i disse år blev imidlertid brugt til at udforske områder uden nogen iøjnefaldende forbindelse med videnskabens historie, men områder hvor forskningen nu afslører problemer af samme art, som dem historien var ved at henlede min opmærksomhed på. En fodnote, jeg tilfældigt stødte på, førte mig til Jean Piagets forsøg på en belysning af såvel det opvoksende barns forskellige verdener som overgangsprocessen fra den ene til den anden.² En af mine kolleger tilskyndede mig til at læse artikler om perceptionspsykologi, især gestaltpsykologerne; en anden gjorde mig bekendt med B. L. Whorfs spekulationer om sprogets indvirken på verdensopfattelsen; og W. V. O. Quine åbnede de filosofiske gåder i distinktionen mellem analytisk og syntetisk for mig.³ Det er den slags tilfældig forskning The Society of Fellows giver mulighed for, og kun derigennem kunne jeg støde på Ludwik Flecks næsten ukendte monografi *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache* (Basel, 1935), et essay som foregriber mange af mine egne ideer. Sammen med en bemærkning fra en anden Junior Fellow, Francis X. Sutton, fik Flecks arbejde mig til at indse, at disse ideer måske skulle sættes ind i det videnskabelige samfunds sociologi. Selv om læserne i det følgende kun vil finde få henvisninger til disse værker eller samtaler, skylder jeg dem mere, end jeg nu kan rekonstruere eller bedømme.

I mit sidste år som Junior Fellow gav en indbydelse til at forelæse ved The Lowell Institute i Boston mig en første lejlighed til at afprøve min videnskabsopfattelse, som var under stadig udvikling. Resultatet var en række på otte offentlige forelæsninger, som blev holdt i marts 1951, om »The Quest for Physical Theory« (Søgen efter fysiske teorier). I det følgende år begyndte jeg at undervise i egentlig videnskabshistorie, og problemerne med at undervise i et fag, som jeg aldrig havde studeret systematisk, gav mig i næsten et årti kun ringe tid til en direkte udarbejdelse af de ideer, som oprindeligt havde ført mig ind på det. Men heldigvis viste disse ideer sig at være en kilde til indirekte orientering og til en vis problem-struktur for min mere avancerede undervisning. Jeg må derfor takke mine studenter for uvurderlige be-

læringer både om mine synspunkters levedygtighed og om de rette metoder til at viderebringe dem effektivt. De samme problemer og den samme orientering skaber sammenhæng i de fleste af de især historiske og tilsyneladende spredte studier, jeg har offentliggjort siden ophøret af mit fellowship. Flere af dem behandler den væsentlige rolle, den ene eller den anden metafysik spiller i skabende forskning. Andre undersøger, hvorledes det eksperimentelle grundlag for en ny teori indsamles og accepteres af folk, som er bundet til en ældre teori, som er uforenelig med den nye. Undervejs beskriver de den form for udvikling, jeg neden for har kaldt for »fremvæksten« af en ny teori eller opdagelse. Der findes også andre lignende forbindelser.

Det sidste trin i denne monografis udvikling begyndte med en invitation til at tilbringe året 1958-59 ved The Center for Advanced Studies in the Behavioral Sciences. Endnu en gang kunne jeg koncentrere min opmærksomhed om de problemer, der diskuteres i det følgende. Endnu vigtigere var det dog, at jeg ved at tilbringe et år i en gruppe, som hovedsageligt bestod af samfundsforskere, blev stillet over for uventede problemer med forskellene mellem sådanne grupper og de grupper af naturvidenskabsmænd, jeg var blevet uddannet blandt. Især blev jeg slået af antallet og omfanget af meningsforskelle mellem samfundsvideenskabsmænd om karakteren af tilladelige videnskabelige problemer og metoder. Både historien og min erfaring fik mig til at tvivle på, om naturvidenskabernes dyrkere har fastere eller mere konstante svar på den slags spørgsmål end deres kolleger i samfundsvidenskaberne. Men af en eller anden grund fremkalder arbejdet i astronomi, fysik, kemi eller biologi alligevel sjældent de diskussioner om grundlæggende ting, som i dag ofte synes at være en speciel sygdom blandt for eksempel psykologer og sociologer. Forsøget på at opdage kilden til denne forskel fik mig til at indse den rolle, »paradigmer«, - som jeg siden har kaldt dem -, spiller i forskningen. Jeg opfatter disse som alment anerkendte videnskabelige resultater, som for en tid giver en gruppe udøvere mønster-problemer og løsninger. Da først denne brik i mit puslespil faldt på plads, voksede der hurtigt en skitse af dette essay frem.

Denne skitses senere historie behøver ikke fortælles her, men der må siges lidt om den form, den har bevaret på tværs af ændringer. Indtil en første version var blevet fuldført og væsentligt revideret, regnede jeg med, at manuskriptet alene skulle fremkomme som et bind i *The Encyclopedia of Unified Science*. Udgiverne af dette pionerværk havde oprindeligt bedt om det, holdt mig derefter fast på et løfte,

og ventede til sidst med usædvanlig takt og tålmodighed på et resultat. Jeg er dem – især Charles Morris – stor tak skyldig for at have givet den væsentlige ansporing til og råd om det manuskript, der kom ud af det. Pladsbegrænsning i *The Encyclopedia* gjorde det imidlertid nødvendigt at præsentere mine synspunkter i en yderst sammentrængt og skematisk form. Selv om senere begivenheder har slækket noget på disse begrænsninger og har muliggjort en samtidig uafhængig offentliggørelse, forbliver dette arbejde et essay snarere end en egentlig bog, således som mit emne i den sidste ende vil kræve det.

Eftersom mit mest grundlæggende mål er at slå til lyd for en ændring i opfattelsen og vurderingen af kendte data, behøver denne første præsenterings skematiske karakter ikke at være nogen ulempe. Læsere, hvis egen forskning har forberedt dem på den form for nyorientering, der tilrådes her, vil måske tværtimod finde essay-formen både mere tankevækkende og lettere at tilegne sig. Men den har også ulemper, og disse kan måske retfærdiggøre, at jeg straks ved begyndelsen illustrerer de udvidelser i både omfang og dybde, som jeg håber at få med til sidst i en længere version. Der er langt mere historisk materiale til rådighed, end jeg har haft plads til at udnytte i det følgende. Iøvrigt kommer dette materiale både fra biologiens og fysikkens historie. Jeg besluttede alene at behandle det sidste her, dels for at styrke essayets sammenhæng og dels på grund af min øjeblikkelige kompetence. Hertil kommer, at det syn på videnskab, som skal udvikles her, peger på den mulige frugtbarhed i en række nye former for forskning – såvel historiske som sociologiske. For eksempel kræves der detaljerede studier af den måde, hvorpå uregelmæssigheder eller uopfyldte forventninger tiltrækker stadigt større opmærksomhed i et videnskabeligt samfund, og det samme gælder fremvæksten af de kriser, som kan fremkaldes af mange fejlslagne forsøg på at fjerne en uregelmæssighed. Eller hvis jeg har ret i, at enhver videnskabelig revolution ændrer det historiske perspektiv hos det videnskabelige samfund, hvor revolutionen sker, så skulle denne ændring af perspektivet berøre strukturen i efterrevolutionære lærebøger og forskningslitteratur. En af den slags virkninger, nemlig en ændring i fordelingen af den tekniske litteratur, der citeres i fodnoterne til forskningsrapporter, burde studeres som et muligt fingerpeg om forekomsten af videnskabelige revolutioner.

Nødvendigheden af drastisk sammentrængning har også tvunget mig til at give afkald på at diskutere en række større problemer. Min skelnen mellem før- og efter-paradigmatiske perioder i en videnskabs udvikling er f. eks. alt for skematisk. Hver af de skoler, hvis konkur-

rence karakteriserer den første periode, ledes af noget, der i høj grad ligner et paradigme; om end jeg tror, det er sjældent, er der situationer, hvor to paradigmer kan eksistere fredeligt sammen i den senere periode. Den blotte besiddelse af et paradigme er ikke et helt tilstrækkeligt kriterium på den overgang i udviklingen, der diskuteres i kapitel II. Vigtigere er det, at jeg bortset fra korte sidebemærkninger ikke har sagt noget om den rolle, teknologisk fremskridt eller ydre sociale, økonomiske og intellektuelle forhold spiller i videnskaberne udvikling. Man behøver imidlertid ikke at gå videre end til Kopernikus og kalenderen for at opdage, at ydre betingelser kan være med til at forandre en simpel uregelmæssighed til en kilde til akut krise. Det samme eksempel ville illustrere, hvorledes forhold uden for videnskaberne kan have indflydelse på den række af alternativer, som er til rådighed for den mand, der søger at gøre ende på en krise ved at foreslå en eller anden revolutionerende reform.⁴ Direkte hensyntagen til virkninger af denne art ville efter min mening ikke ændre de hoved-teser, der fremsættes i dette essay, men det ville bestemt tilføje en analytisk dimension af den største betydning for forståelsen af videnskabeligt fremskridt.

Endelig og måske vigtigst af alt har den begrænsede plads drastisk påvirket min behandling af de filosofiske følger af dette essays historisk orienterede syn på videnskaben. Det er klart, at der er sådanne følger, og jeg har forsøgt både at påpege og underbygge de vigtigste. Men jeg har i almindelighed afstået fra detaljeret diskussion af de synspunkter, nutidige filosoffer hylder angående tilsvarende spørgsmål. Hvor jeg har antydnet skepticisme, har den oftere rettet sig mod en filosofisk holdning end mod nogen af dens fuldt udarbejdede udtryk. Følgelig vil nogle af dem, der har kendskab til og arbejder inden for en af disse udarbejdede retninger, måske føle, at jeg har misforstået dem. Jeg tror, at de tager fejl, men dette essay er ikke beregnet på at overbevise dem. Et forsøg på det ville have krævet en meget længere og helt anderledes bog.

De selvbiografiske fragmenter, der indleder dette forord, vil gøre fyldest som tak for, hvad jeg mener at skyldes såvel videnskabelige arbejder som de institutioner, der har hjulpet med at forme mine tanker. Min øvrige gæld vil jeg forsøge at pege på ved hjælp af citater på de følgende sider. Intet i det foregående eller i det følgende vil imidlertid mere end antyde omfanget og karakteren af min personlige taknemmelighedsgæld til de mange enkeltpersoner, hvis forslag og kritik på et eller andet tidspunkt har befordret og bestemt min

intellektuelle udvikling. Der er gået for lang tid, siden ideerne i dette essay begyndte at tage form; en liste over alle dem, der med rette kan finde visse tegn på deres indflydelse på dets sider, ville næsten være identisk med en liste over mine venner og bekendte. Under disse omstændigheder må jeg begrænse mig til de få helt væsentlige påvirkninger, som selv en slæt hukommelse aldrig helt kan undertrykke.

Det var James B. Conant, daværende præsident for Harvard University, der oprindeligt indførte mig i videnskabens historie og således påbegyndte forvandlingen af min opfattelse af den videnskabelige frem-skriftds natur. Lige siden den proces begyndte, har han været generøs med ideer, kritik og tid – også den tid, der var nødvendig til at læse og foreslå vigtige ændringer i mit manuskriptudkast. Sammen med Leonard K. Nash underviste jeg i fem år ved det historisk orienterede kursus, som dr. Conant havde påbegyndt, og han var en endnu mere aktiv medarbejder i de år, hvor mine ideer først begyndte at tage form, og han har været stærkt savnet på de senere trin af deres udvikling. Heldigvis blev hans stilling som skabende resonansbund og mere til overtaget af min Berkeley-kollega Stanley Cavell, efter at jeg rejste fra Cambridge. At Cavell, som er filosof og hovedsageligt interesseret i etik og æstetik, var kommet til konklusioner, som er i den grad i overensstemmelse med mine egne, har været mig en stadig ansporing og opmuntring. Han er desuden det eneste menneske, jeg nogensinde har kunnet diskutere mine ideer sammen med i ufuldstændige sætninger. Denne form for kommunikation vidner om en forståelse, som har sat ham i stand til at vise mig vej gennem eller uden om mange forhindringer ved forberedelsen af mit manuskript.

Siden den version blev skitseret, har mange andre venner bjulpet mig med omformuleringen af den. Jeg tror, de vil tilgive mig, selv om jeg kun nævner de fire, hvis bidrag viste sig mest vidtrækkende og afgørende: Paul K. Feyerabend fra Berkeley, Ernest Nagel fra Columbia, H. Pierre Noyes fra The Lawrence Radiation Laboratory og min elev John L. Heilbron, som ofte har arbejdet nært sammen med mig ved forberedelsen af en endelig version til offentliggørelse. Jeg har fundet alle deres forbehold og forslag overordentlig nyttige, men jeg har ingen grund til at tro (og en vis grund til at betvivle), at hverken de eller de andre, som blev nævnt ovenfor, billiger hele det manuskript, der blev resultatet.

Min sidste tak, til mine forældre, kone og børn, må være af en ganske anden art. De har alle ad veje, som jeg sandsynligvis bliver den sidste til at indse, givet intellektuelle bidrag til mit arbejde. Men

de har også i forskelligt omfang gjort noget andet og vigtigere. De har ladet det fortsætte og har endog støttet min hengivenhed for det. Enhver, der har kæmpet med et projekt som mit, vil vide, hvad det til tider har kostet dem. Jeg ved ikke, hvorledes jeg skal takke dem.

Berkeley, California, Februar, 1962.

T. S. K.

I. Historiens rolle

Hvis historien blev betragtet som andet end en ophobning af anekdoter og årstal, kunne den fremkalde en argørende ændring i vort nuværende billede af videnskaben. Hidtil er dette billede – selv af videnskabsmændene – hovedsageligt blevet tegnet ud fra studiet af afsluttede videnskabelige præstationer, således som disse beskrives i klassikerne og i nyere tid i de lærebøger, hvor hver ny generation henter sin faglige uddannelse. Imidlertid er målet med sådanne bøger uundgåeligt at være overtalende og pædagogisk, og et videnskabsbegreb dannet ud fra dem passer sandsynligvis ikke bedre på det bagvedliggende arbejde end det billede af en national kultur, man får af en turistbrochure eller en læsebog. Dette essay forsøger at vise, at vi er blevet fundamentalt vildledt af dem. Dets mål er at skitsere det helt anderledes begreb om videnskab, der kan fremgå af den historiske beretning om selve forskningsaktiviteten.

Men selv af historien vil dette nye begreb ikke fremgå, hvis historiske data fortsat efterforskes for i hovedsagen at besvare de ahistoriske og stereotype spørgsmål, der kan stilles ud fra lærebøgerne. For eksempel synes det ofte at ligge i disse lærebøger, at de iagttagelser, love og teorier, som de beskriver, entydigt eksemplificerer videnskabens indhold. Næsten lige så hyppigt har man opfattet disse bøger således, at videnskabelige metoder simpelthen er dem, der illustreres af de rent praktiske metoder til indsamling af lærebogsdata, samt af de logiske operationer, der forbinder disse data med lærebogens generelle teorier. Resultatet har været et begreb om videnskaben med vidtrækkende implikationer om dens natur og udvikling.

Hvis videnskaben er det komplekse af kendsgerninger, teorier og metoder, som er samlet i almindelige lærebøger, så er videnskabsmændene de, der med eller uden held har søgt at give et eller andet bidrag til dette bestemte komplekse. Videnskabelig udvikling bliver den trinvis proces, der enkeltvis eller i sammenhænge føjer nye ting til det konstant voksende lager af videnskabelig metode og viden. Og videnskabshistorien bliver den disciplin, der optegner såvel disse successive tilvækster som de forhindringer, de møder. Over for den videnskabelige

udvikling synes historikeren således at have to hovedopgaver. På den ene side må han afgøre, af hvem og på hvilket tidspunkt enhver nuværende videnskabelig kendsgerning, lov og teori er blevet opdaget eller udtænkt. På den anden side må han beskrive og forklare det virvar af fejtagelser, myter og overtro, som har hindret en hurtigere ophobning af den moderne videnskabs dele. Megen forskning har været rettet mod disse mål, og en del er det stadig.

I de senere år har nogle få videnskabshistorikere imidlertid fundet det stadig vanskeligere at arbejde ud fra ideen om udvikling-gennem-ophobning. Som iagttagere af en fremadskridende proces opdager de, at yderligere efterforskning gør det vanskeligere og ikke lettere at besvare sådanne spørgsmål som: Hvornår blev oxygen opdaget? Hvem fik først ideen om energiens bevarelse? Nogle få af dem får mere og mere mistanke om, at det simpelthen er en forkert form for spørgsmål. Måske udvikler videnskaben sig ikke ved ophobning af individuelle opdagelser og påfund. Samtidig møder de samme historikere voksende vanskeligheder, når de skal skelne mellem den »videnskabelige« andel i fortidige iagttagelser og faste ideer og det, deres forgængere uden videre kaldte »fejtagelser« og »overtro«. Jo mere omhyggeligt de studerer f. eks. aristotelisk dynamik, flogistisk kemi eller varmemotordynamik, jo sikrere føler de, at disse engang almindelige opfattelser af naturen som helhed hverken var mindre videnskabelige eller mere idiosynkratiske end de, der er almindelige i dag. Hvis disse forældede ideer skal kaldes myter, så kan myter frembringes med lignende metoder og hævdes ud fra lignende begrundelser som de, der nu fører til videnskabelig erkendelse. Hvis de på den anden side skal kaldes videnskab, så har videnskaben medtaget mængder af ideer, som er helt uforenelige med dem, vi hylder i dag. Stillet over for disse alternativer må historikeren vælge det sidste. Forældede teorier er ikke principielt uvidenskabelige, fordi de er blevet forkastet. Dette valg gør det imidlertid vanskeligt at betragte den videnskabelige udvikling som en vækstproces. Den samme historiske forskning, som afdækker vanskelighederne ved at isolere enkelt-påfund og -opdagelser, giver grund til dyb tvivl med hensyn til den kumulative proces, hvorigennem man mente, disse enkeltbidrag til videnskaben blev sammenkædet.

Resultatet af alle disse tvivl og vanskeligheder er en revolution i studiet af videnskabshistorien, om end den stadig er i en tidlig fase. Gradvist og ofte uden at gøre sig helt klart, at de gør det, er videnskabshistorikere begyndt at stille nye spørgsmål og at spore andre og ofte mindre kumulative udviklingslinjer for videnskaberne. Snarere end at

søge efter en ældre videnskabs varige bidrag til vort nuværende stade, forsøger de at vise denne videnskabs sammenhæng inden for sin egen tid. For eksempel spørger de ikke om forholdet mellem Galileis synspunkter og hans omgivers, dvs. hans lærere, hans samtidige og umiddelbare efterfølgere indenfor videnskaberne. Endvidere vil de studere denne og lignende grupper ideer ud fra et synspunkt, der som oftest er meget forskelligt fra den moderne videnskabs, nemlig et synspunkt, der giver disse ideer den størst mulige indre sammenhæng og den bedste overensstemmelse med naturen. Set gennem de værker der er resultatet, og som måske repræsenteres bedst af Alexandre Koyrés skrifter, synes videnskaben ikke helt at være det samme foretagende som det, der blev diskuteret af forfattere i den ældre historietradition. Disse historiske studier antyder i det mindste indirekte muligheden af et nyt billede af videnskaben. Nærværende essay vil tegne dette billede ved at klargøre nogle af den nye historieopfattelses forudsætninger.

Hvilket træk i videnskaben vil træde i forgrunden ved denne bestræbelse? Først og fremmest - i det mindste når man skal give en fremstilling - er der de metodologiske reglers utilstrækkelighed til i sig selv at foreskrive entydige og indholdsrige svar på mange former for videnskabelige spørgsmål. Hvis en mand ikke ved noget om elektriske eller kemiske fænomener, men nok ved, hvad det vil sige at være videnskabelig, kan han ved et studium af disse ting med rimelighed nå til en hel række uforenelige konklusioner. Blandt disse fornuftige muligheder er den, han når frem til, sandsynligvis bestemt af hans tidligere erfaringer på andre områder, af tilfældigheder ved hans undersøgelse og af hans egen personlighed. Hvilke ideer om f. eks. stjernerne tager han med over i studiet af kemi eller elektricitet? Hvilket forsøg vælger han først at udføre af de mange mulige, som er relevante på det nye område? Og hvilke sider af det sammensatte fænomen, som bliver resultatet, mener han da er særlig egnet til at belyse den kemiske proces eller den elektriske tiltræknings natur? I det mindste for den enkelte og somme tider også for det videnskabelige samfund er svarene på sådanne spørgsmål ofte af afgørende betydning for videnskabens udvikling. I kapitel II vil vi f. eks. lægge mærke til, at de tidlige trin i de fleste videnskabers udvikling har været karakteriseret af konstant strid mellem en række forskellige naturopfattelser, som hver for sig har været delvis afledt af og stort set i overensstemmelse med videnskabelig iagttagelse og metode. Det var ikke en eller anden fejlslagen metode, der adskilte disse forskellige skoler - de var alle »videnskabelige« - men hvad vi vil kalde deres uforenelige

verdensopfattelse og videnskabspraksis. Iagttagelse og erfaring kan og skal drastisk indskrænke området af tilladelige videnskabelige ideer, ellers ville der ikke være nogen videnskab. Men de kan ikke alene bestemme et idé-kompleks. Et tilsyneladende tilfældigt element af personlige og historiske sammenfør er altid med til at bestemme de ideer, et hvilket som helst videnskabeligt samfund på et hvilket som helst tidspunkt hylder.

2
0
Dette element af vilkårlighed er imidlertid ikke et tegn på, at noget videnskabeligt samfund kan fungere uden en vis portion overleverede ideer. Ej heller mindsker det betydningen af den bestemte konstellation, det videnskabelige samfund på et bestemt tidspunkt går ind for. Effektiv forskning kan næppe begynde før et videnskabeligt samfund mener at have sikre svar på spørgsmål som: Hvilke er de yderste elementer, universet er sammensat af? Hvorledes påvirker disse hinanden og vore sanser? Hvilke spørgsmål kan man med rimelighed stille om sådanne elementer, og hvilke metoder kan man anvende for at få svar? I det mindste i de udviklede videnskaber gives der sikre svar (eller fuldstændige erstatninger for svar) i den uddannelse, der forbereder studenten til og indvier ham i professionen. Disse svar får et fast greb om videnskabsmandens tankeverden, idet denne uddannelse både er snæver og streng. Dette forklarer i høj grad den normale forsknings særlige effektivitet og dens retning på et givet tidspunkt. Når vi i kapitlerne III, IV og V undersøger normalvidenskaben, vil vi konkludere, at denne form for videnskab er et ihærdigt forsøg på at tvinge naturen ind i den professionelle uddannelses begrebsramme. Samtidig vil vi overveje, om der kunne drives forskning uden en sådan ramme, uanset vilkårligheden i dens oprindelse og måske i dens senere udvikling.

Vilkårligheden er imidlertid tilstede, og også den har stor indflydelse på den videnskabelige udvikling, en indflydelse, der vil blive understreget i kapitel VI, VII og VIII. Normalvidenskaben, som faktisk alle videnskabsmænd uundgåeligt bruger næsten al deres tid på, har sit navn ud fra den antagelse, at det videnskabelige samfund ved, hvordan verden ser ud. Foretagendets succes skyldes i høj grad dette samfunds villighed til, om nødvendigt med store anstrengelser, at forsvare denne antagelse. Normalvidenskaben undertrykker f. eks. ofte fundamentale nyheder, fordi de uundgåeligt vil undergrave dens grundideer. Men så længe disse grundideer bevarer et mål af vilkårlighed, sikrer selve den normale forsknings natur, at nyheder ikke undertrykkes ret længe. Til tider modstår et normalt problem, som

N
O
R
M
A
L
V.

skulle kunne løses ud fra kendte regler og metoder, gentagne stormløb fra de dygtigste medlemmer af den gruppe, til hvis kompetenceområde det hører. Andre gange vil noget normalvidenskabeligt udstyr ikke opføre sig på den forventede måde, og det afslører derved en uregelmæssighed, som trods gentagne anstrengelser ikke kan bringes i overensstemmelse med de professionelle forventninger. På denne og andre måder kommer normalvidenskaben igen og igen på afveje. Og når det sker, – det vil sige, når professionen ikke længere kan undgå uregelmæssigheder, som undergraver den eksisterende tradition for videnskabens udøvelse – så begynder de usædvanlige undersøgelser, som fører i det mindste professionen til en ny klasse af grundideer, et nyt grundlag at drive videnskab på. De unormale episoder, hvor dette skifte i professionelle grundideer foregår, kaldes i dette essay videnskabelige revolutioner. De er det traditionsomstyrtende modstykke til normalvidenskabens traditionsbundne virke.

De tydeligste eksempler på videnskabelige revolutioner er de berømte episoder i videnskabens udvikling, som ofte tidligere er blevet kaldt revolutioner. I kapitel IX og X, hvor vi for første gang direkte undersøger de videnskabelige revolutioners natur, vil vi derfor igen og igen behandle de store vendepunkter i videnskabens udvikling, som er forbundet med navne som Kopernikus, Newton, Lavoisier og Einstein. Tydeligere end de fleste andre begivenheder i det mindste i naturvidenskabernes historie viser disse karakteren af alle videnskabelige revolutioner. Alle har de nødvendiggjort det videnskabelige samfunds forkastelse af en hævdvunden videnskabelig teori til fordel for en anden teori, som er uforenelig med den. Alle har de frembragt en efterfølgende udskiftning af de problemer, som var tilgængelige for videnskabelig udforskning, og af de normer, ud fra hvilke professionen afgjorde, hvad der kunne regnes for et legitimt problem eller en rimelig problemløsning. Og alle har de forandret den videnskabelige forestillingsverden i en sådan grad, at vi i den sidste ende må beskrive det som en ændring af den verden, inden for hvilken videnskaben arbejdede. Sådanne ændringer og de stridigheder, som næsten altid ledsager dem, er de særlige kendetegn på videnskabelige revolutioner.

Disse kendetegn kommer særlig tydeligt frem ved et studium af den newtonske eller den kemiske revolution. Det er imidlertid en grundlæggende tese i dette essay, at man også kan fremdrage dem ved studiet af andre begivenheder, som ikke var så åbenbart revolutionære. Maxwells ligninger var lige så revolutionære som Einsteins for den

langt mindre gruppe af professionelle, de berørte, og de mødte følgende modstand. Regelmæssigt og med rette reagerer specialister på samme måde, når deres særlige kompetenceområde krænkes ved dannelsen af nye teorier. Den nye teori betyder for disse mennesker en forandring af reglerne for den tidligere normalvidenskabs udøvelse, og det er derfor uundgåeligt, at den vil have indflydelse på meget videnskabeligt arbejde, som de allerede med held har afsluttet. Lige-gyldigt hvor speciel en ny teoris anvendelsesområde er, er den derfor sjældent eller aldrig blot en forøgelse af den tidligere viden. Dens antagelse kræver en ændring af tidligere teorier og en omvurdering af kendte fakta – en virkelig revolutionær proces, som sjældent fuldføres af en enkelt mand og aldrig fra den ene dag til den anden. Ikke sært at historikere har haft vanskeligt ved præcist at datere denne udstrakte proces, som sproget tilskynder dem til at betragte som en isoleret begivenhed.

Nye teoridannelser er heller ikke de eneste videnskabelige begivenheder, som har revolutionerende indflydelse på det pågældende områdes specialister. Normalvidenskabens grundideer angiver ikke alene, hvilke elementer verden indeholder, men indirekte også dem, den ikke indeholder. Skønt spørgsmålet vil kræve mere diskussion, må følgen være, at en opdagelse som f. eks. oxygen eller røntgenstråler ikke blot fjører endnu en brik til videnskabsmandens verden. I den sidste ende bliver dette resultatet, men ikke før faget har omvurderet den traditionelle fremgangsmåde ved eksperimenter, ændret opfattelse af længe kendte elementer og undervejs ændret det net af teorier, hvorigennem verden ses. Man kan ikke endegyldigt adskille kendsgerning og teori i videnskaben, undtagen måske inden for en enkelt normalvidenskabelig tradition, og derfor har den uventede opdagelse ikke alene betydning på kendsgerningernes plan. Den betyder både en kvalitativ forandring af videnskabsmandens verden og en kvantitativ berigelse af den med fundamentalt nye kendsgerninger eller teorier.

På de følgende sider skitseres dette udvidede begreb om de videnskabelige revolutioners natur. Ganske vist krænker udvidelsen den almindelige sprogbrug, men jeg vil alligevel fortsætte med at tale endog om opdagelser som revolutionære, fordi det netop er muligheden for at sammenligne deres og f. eks. den kopernikanske revolutions natur, der gør det udvidede begreb så vigtigt i mine øjne. Den foregående diskussion antyder, hvorledes de komplementære begreber normalvidenskab og revolutionær videnskab vil blive udviklet i de ni kapitler, som følger umiddelbart efter. Resten af essayet forsøger at klare tre

udestående centrale spørgsmål. I kapitel XI overvejes det gennem en diskussion af lærebogstraditionen, hvorfor det hidtil har været så vanskeligt at få øje på videnskabelige revolutioner. I kapitel XII beskrives den revolutionære konkurrence mellem fortalerne for den gamle normalvidenskabelige tradition og tilhængerne af den nye, og dermed behandles den fremgangsmåde, som en videnskabsteori må sætte i stedet for de kendte bekræftelses- eller afkræftelsesprocedurer i den almindelige videnskabsopfattelse. Konkurrence mellem fløje i det videnskabelige samfund er den eneste historiske proces, der nogensinde har ført til en virkelig forkastelse af en tidligere accepteret teori eller antagelsen af en anden. Endelig vil kapitel XIII spørge, hvorledes udviklingen gennem revolutioner kan forenes med det videnskabelige fremskridts tilsyneladende enestående karakter. På det spørgsmål vil dette essay imidlertid kun give hovedtrækkene af et svar, et svar, der er afhængigt af egenskaber ved det videnskabelige samfund, som kræver meget nøjere undersøgelse.

Nogle læsere vil utvivlsomt allerede betvivle, at historiske studier skulle kunne føre til den form for begrebsændring, der tilsigtes her. Et helt arsenal af distinktioner tyder på, at det ikke med rimelighed kan lade sig gøre. Alt for ofte siger vi, at historien er en rent beskrivende disciplin. De teser, der er antydnet ovenfor, er imidlertid ofte fortolkende og til tider foreskrivende. Ligeledes drejer mange af mine generalisationer sig om videnskabsmændenes sociologi eller socialpsykologi, mens i det mindste nogle få af mine konklusioner traditionelt hører til i logik og erkendelsesteori. I det foregående afsnit kunne jeg endog synes at have brudt den meget indflydelsesrige distinktion mellem »opdagelses-sammenhæng» og »begrundelses-sammenhæng«. Kan denne sammenblanding af forskellige områder og opgaver tyde på andet end fuldstændig forvirring?

Efter at være intellektuelt opflasket med disse og lignende distinktioner er jeg fuldstændig klar over deres betydning og styrke. I mange år regnede jeg dem for mønstret på erkendelse, og jeg tror stadig, at de i en fornuftig omformulering har noget vigtigt at sige os. Men mine forsøg på at anvende dem – selv *grosso modo* – på de konkrete situationer, hvor erkendelse bliver indvundet, accepteret og tilegnet har fået dem til at synes overordentlig problematiske. Nu ligner de mere integrerede led i en traditionel klasse af svar på de spørgsmål, de er blevet anvendt på, end elementære logiske eller metodologiske distinktioner, som skulle gå forud for analysen af den videnskabelige erkendelse. Denne gåen i ring gør dem ikke ugyldige, men den gør dem

til led i en teori, og de bliver dermed tilgængelige for den samme ransagelse, som regelmæssigt anvendes på andre teorier. Hvis de skal indeholde andet end den rene abstraktion, må dette indhold afsløres ved at undersøge, hvorledes de anvendes på de data, de skal belyse. Hvorledes skulle historien undgå at være et væld af fænomener, som erkendelsesteorier med rimelighed kan anvendes på?

II. Vejen til normalvidenskab

I dette essay betyder 'normalvidenskab' forskning, som hviler fast på et eller flere tidligere videnskabelige resultater, der af et bestemt videnskabeligt samfund for en tid betragtes som grundlaget for dets virke. I dag beskrives sådanne resultater – om end sjældent i deres oprindelige form – i elementære såvel som avancerede videnskabelige lærebøger. Disse lærebøger fremstiller kernen i den anerkendte teori, illustrerer mange af eller alle dens vellykkede anvendelser og sammenligner disse anvendelser med mønstergyldige iagttagelser og forsøg. Før sådanne bøger vandt indpas tidligt i det nittende århundrede (og senere for de nyligt udviklede videnskabers vedkommende), havde mange af videnskabens berømte klassikere en lignende funktion. Aristoteles' *Physica*, Ptolemæus' *Almagest*, Newtons *Principia* og *Opticks*, Franklins *Electricity*, Lavoisiers *Chemistry* og Lyells *Geology* og mange andre værker tjente for en tid indirekte til at bestemme de problemer og metoder, som var tilladelige for et forskningsområdes skiftende udøvere. Det kunne de gøre, fordi de havde to væsentlige egenskaber fælles. De havde ydet noget, som var tilstrækkelig enestående til at trække en stabil gruppe af tilhængere væk fra konkurrerende videnskabelige aktiviteter, og samtidig var de tilstrækkelig uafsluttede til at overlade løsningen af alle mulige problemer til de omgrupperede udøvere.

Resultater, som har disse to egenskaber, vil jeg herefter kalde 'paradigmer', et udtryk der er nært forbundet med 'normalvidenskab'. Ved at vælge det, vil jeg pege på, at visse anerkendte eksempler på faktisk videnskabelig praksis (som tilsammen omfatter love, teorier, anvendelser og apparatur) udgør modeller, hvorfra der udspringer specielle, sammenhængende traditioner for videnskabelig forskning. Disse traditioner beskriver historikeren under navne som 'ptolemæisk (eller 'kopernikansk') astronomi', 'aristotelisk (eller 'newtonsk') dynamik', 'partikel' (eller 'bølge') optik' osv. Det er hovedsagelig studiet af paradigmer, derunder mange, der er langt mere specielle end de nævnte eksempler, der forbereder den studerende til medlemskab af det bestemte videnskabelige samfund, han senere skal arbejde i. Der møder han mennesker, som har lært det grundlæggende i deres disciplin fra

de samme konkrete modeller, og derfor vil hans senere arbejde sjældent fremkalde åbenlys principiel uenighed. Mennesker, hvis forskning hviler på fælles paradigmer, er forpligtet af de samme regler og normer for videnskabeligt arbejde. Denne forpligtelse og den tilsyneladende enighed, den bevirker, er forudsætninger for normalvidenskaben, dvs. for skabelsen og fortsættelsen af en bestemt forskningstradition.

Da paradigme-begrebet i dette essay ofte vil erstatte en masse kendte begreber, må vi sige mere om grundene til at indføre det. Hvorfor er den konkrete videnskabelige præstation, der er det centrale i det faglige engagement, primær i forhold til de forskellige begreber, love, teorier og synspunkter, som kan uddrages af den? I hvilken forstand er det fælles paradigme en fundamental enhed for den, der studerer videnskabens udvikling, dvs. en enhed, som ikke fuldstændigt kan reduceres til og erstattes af led, der logisk kan adskilles? Når vi møder disse og lignende spørgsmål i kapitel V, vil svarene vise sig at være grundlæggende for en forståelse af såvel normalvidenskaben som det tilknyttede begreb om paradigmer. Denne mere abstrakte diskussion forudsætter imidlertid, at vi først betragter eksempler på anvendt normalvidenskab og paradigmer. Disse to beslægtede begreber vil især blive afklaret, når man mærker sig, at der kan være en slags videnskabelig forskning uden paradigmer, eller i det mindste uden nogen der er så utvetydige og bindende som de nævnte. Det er et tegn på modenhed i en hvilken som helst videnskabelig disciplin, når den har tilegnet sig et paradigme og den mere specielle form for forskning, dette tillader.

Hvis historikerne sporer den videnskabelige viden om en udvalgt gruppe af beslægtede fænomener tilbage i tiden, vil han sandsynligvis møde noget, der meget ligner et mønster, som her belyses gennem den fysiske optiks historie. Nutidige lærebøger i fysik fortæller den studerende, at lyset er fotoner, dvs. kvantemekaniske enheder, som dels har bølge- og dels partikel-egenskaber. Forskningen foregår i overensstemmelse hermed, eller rettere i overensstemmelse med den mere udarbejdede og matematiske beskrivelse, der ligger til grund for denne almindelige verbale beskrivelse. Men denne beskrivelse af lyset er næppe et halvt århundrede gammel. Før den blev udviklet af Planck, Einstein og andre i begyndelsen af vort århundrede, lærte fysiklærebøger, at lyset var en transversal bølgebevægelse. Denne idé hørte hjemme i et paradigme, som i den sidste ende stammede fra Youngs og Fresnels optiske værker fra begyndelsen af det nittende århundrede. Bølge-teorien var heller ikke den første, der havde næsten almen tilslutning

fra den optiske videnskabs udøvere; i det attende århundrede udgjordes fagets paradigme af teorien i Newtons *Opticks* om, at lyset var materielle partikler. I modsætning til de tidlige bølgeteoretikere søgte fysikere i denne periode efter spor af det tryk, lyspartiklerne skulle udøve på faste legemer.⁵

Disse omdannelser af den fysiske optiks paradigmer er videnskabelige revolutioner, og det almindelige udviklingsmønster for moden videnskab er den successive overgang fra et paradigme til et andet via revolutioner. Men det er ikke det mønster, der kendetegner perioden før Newtons arbejde, og det er denne modsætning, der interesserer os her. Mellem den fjerne oldtid og slutningen af det syttende århundrede var der ingen periode, der havde et alment accepteret syn på lysets natur. I stedet var der en række konkurrerende skoler og undervisningssteder, og de fleste af dem hyldede en eller anden variant af den epikuræiske, den aristoteliske eller den platoniske teori. En gruppe regnede lyset for partikler, der strømmede ud fra materielle legemer; hos en anden var det en omformning af det medium, som lå mellem tingene og øjet; en tredje forklarede lys som en vekselvirkning mellem det *mellemliggende* medium og øjet; og der var flere kombinationer og tilføjelser. Hver af skolerne fik styrke fra sin bestemte metafysik, og hver af dem fremhævede som mønstergyldige iagttagelser den gruppe af optiske fænomener, som dens egen teori bedst kunne forklare. Andre iagttagelser blev klaret ved lejlighedsbestemte tilføjelser, eller de blev stående som problemer for videre forskning.⁶

Alle disse skoler gav på forskellige tidspunkter vigtige bidrag til den gruppe af begreber, iagttagelser og teknikker, hvoraf Newton udledte det første næsten alment accepterede paradigme for den fysiske optik. Enhver definition af en forsker, der udelukker i hvert tilfælde de mere skabende medlemmer af disse skoler, vil også udelukke deres moderne efterfølgere. Disse mennesker var videnskabsmænd. Men alligevel kan enhver, der sætter sig ind i en oversigt over den fysiske optik før Newton, meget vel komme til den slutning, at selv om de virksomme på området var videnskabsmænd, var slutresultatet af deres virksomhed endnu ikke videnskab. Ingen, der skrev om fysisk optik, kunne regne en fælles gruppe af ideer for givne, og hver enkelt følte sig derfor tvunget til på ny at opbygge faget fra grunden. Hans valg af underbyggende iagttagelser og forsøg var temmelig frit ved dette arbejde, thi der var ikke nogen klasse af standard-metoder eller -fænomener, som enhver optisk forfatter følte sig tvunget til at anvende eller forklare. Dialogen i de bøger, der blev resultatet, var under disse

omstændigheder ofte rettet lige så meget til medlemmerne af andre skoler som til naturen. Dette forløb er ikke ukendt i dag på en række kreative områder, og det er heller ikke uforeneligt med vigtige opdagelser og opfindelser. Men det er ikke det udviklingsmønster, som den fysiske optik fik efter Newton, og som andre naturvidenskaber gør alment kendt i dag.

Den elektriske forsknings historie i første halvdel af det attende århundrede udgør et mere konkret og bedre kendt eksempel på en videnskabs udviklingsmåde, før den får sit første alment accepterede paradigme. I den periode var der næsten lige så mange opfattelser af elektricitetens natur, som der var betydningsfulde eksperimentatorer, folk som Hauksbee, Gray, Desaguliers, Du Fay, Nollett, Watson, Franklin og andre. Alle deres mangfoldige ideer om elektricitet havde noget tilfælles, - de var delvis udledt af en eller anden version af den mekaniske partikelfilosofi, der styrede al videnskabelig forskning i tiden. Yderligere indgik de alle i virkelige videnskabelige teorier, som delvis var udtaget af forsøg og iagttagelser, og som til en vis grad bestemte valget og fortolkningen af nye problemer, der blev taget op af forskningen. Men selv om alle forsøgene angik elektricitet, og selv om de fleste af eksperimentatorerne læste hinandens arbejder, havde deres teorier kun familielighed.⁷

En tidlig gruppe af teorier anså, efter det syttendes århundredes sædvane, tiltrækning og gnidning for at være kilden til elektriske fænomener. Denne gruppe var tilbøjelig til at behandle frastødning som et underordnet fænomen, som skyldtes en eller anden form for mekanisk tilbagespring, og også til så længe som muligt at udskyde diskussion og systematisk udforskning af Grays nyopdagede virkning, elektrisk ledning. Andre »elektrikere« (udtrykket er deres eget) regnede tiltrækning og frastødning for lige grundlæggende udslag af elektriciteten og ændrede deres teorier og forskning i overensstemmelse hermed. (Denne gruppe er faktisk bemærkelsesværdig lille, - selv Franklins teori gav aldrig nogen egentlig forklaring på to negativt ladede legemers indbyrdes frastødning.) Men de havde lige så store vanskeligheder som den første gruppe med samtidig at forklare mere end de enkleste virkninger af ledning. Disse virkninger var imidlertid udgangspunktet for en helt tredje gruppe. Denne foretrak at tale om elektricitet som en »væske«, der kunne løbe gennem ledere, snarere end som et »effluvium«, der bredte sig ud fra ikke-ledere. Denne gruppe havde så igen vanskeligheder med at forlige sin teori med en række tiltræknings- og frastødnings-effekter. Først gennem Franklins og hans nær-

neste efterfølgeres indsats opstod der en teori, som næsten lige let kunne forklare så godt som alle disse virkninger, og som derfor kunne give – og gav – en efterfølgende generation af »elektrikere« et fælles paradigme for deres forskning.

De skitserede situationer er typiske for historien, når man ser bort fra sådanne områder som matematik og astronomi, hvis første stabile paradigmer går tilbage til forhistorisk tid, og fra dem, der som biokemien er opstået ved opdelinger og nye sammensætninger af allerede udviklede discipliner. Selv om det betyder, at jeg fortsat må anvende den uheldige forenkling at fæste et enkelt, temmelig vilkårlig valgt navn (f. eks. Newton eller Franklin) på en længere historisk periode, vil jeg alligevel udtrykke mig på den måde, at lignende fundamentale uoverensstemmelser kendetegnede f. eks. studiet af bevægelse før Aristoteles og af statikken før Arkimedes, udforskningen af varme før Black, af kemi før Boyle og Boerhaave og af historisk geologi for Hutton. I visse dele af biologien som f. eks. arvelighedsforskningen er de første alment accepterede paradigmer endnu nyere; og det må stå åbent, om nogen del af socialvidenskaberne overhovedet har fået sådanne paradigmer endnu. Historien synes at vise, at det er overordentlig besværligt at nå til virkelig enighed i forskningen.

Historien antyder imidlertid også visse grunde til de vanskeligheder, man møder undervejs. Når der mangler et paradigme eller et emne til paradigme, vil alle kendsgerninger, der muligvis kunne høre med til udviklingen af en bestemt videnskab, sandsynligvis synes lige relevante. Følgelig er den tidlige indsamling af kendsgerninger noget langt mere tilfældigt, end man kender fra den senere videnskabelige udvikling. Når der endvidere ikke er nogen begrundelse for at søge efter en bestemt, mere utilgængelig viden, bliver den tidlige indsamling af kendsgerninger almindeligvis begrænset til de data, der ligger lige for. Resultatet er en gruppe kendsgerninger, som dels omfatter dem, man kan nå til ved tilfældige iagttagelser og forsøg, og dels de mere specielle data, man kan få fra etablerede praktiske fag som medicin, kalender-konstruktion og metallurgi. Teknologien har ofte spillet en vigtig rolle ved nye videnskabers fremvækst, fordi de praktiske fag er en lettilgængelig kilde til kendsgerninger, som man ikke ville kunne opdage ved tilfældigheder.

Men selv om denne måde at indsamle kendsgerninger på har været væsentlig for mange vigtige videnskabers oprindelse, vil enhver der undersøger for eksempel Plinius' encyklopædiske værker eller de baconiske naturhistorier i det syttende århundrede opdage, at det fører

til et morads. Man tøver på en eller anden måde med at kalde den litteratur, der kommer ud af det, for videnskabelig. De baconiske »historier« om varme, farver, vinde, minedrift osv. er fyldt med oplysninger, – og en del af dem er obskure. Men de sammenstiller kendsgerninger, som senere vil vise sig oplysende (f. eks. opvarmning ved blanding), med andre (f. eks. varmen i gødningsdynger), som i et stykke tid vil være for udviklede til, at de overhovedet kan sættes ind i en teori.⁸ Da enhver beskrivelse desuden må være ufuldstændig, udelader den typiske naturhistories umådelig udviklede forklaringer ofte netop de detaljer, som for senere videnskabsmænd er kilder til vigtige oplysninger. Næsten ingen af de tidlige elektricitets-»historier« nævner f. eks., at avner, der tiltrækkes af en gnedet glasstang, springer tilbage igen. Den virkning syntes at være mekanisk og ikke elektrisk.⁹ Da den, der indsamler tilfældige kendsgerninger endvidere sjældent har tiden eller redskaberne til at være kritisk, sammenstiller naturhistorierne ofte beskrivelser som de nævnte med andre, som vi nu er helt ude af stand til at bekræfte, f. eks. opvarmning med antiperistasis (eller med afkøling).¹⁰ Kun en sjælden gang, som i tilfældene med antik statik, dynamik og geometrisk optik, taler kendsgerninger, som er indsamlet under så ringe vejledning af en forud antaget teori, med en sådan klarhed, at de tillader fremvæksten af et første paradigme.

Det er denne situation, der skaber de skoler, som kendetegner de tidlige trin i en videnskabs udvikling. Ingen naturhistorie kan fortolkes uden en i det mindste underforstået gruppe af sammenhængende teoretiske og metodologiske overbevisninger, som muliggør udvælgelse, vurdering og kritik. Hvis denne gruppe af overbevisninger ikke allerede ligger i samlingen af kendsgerninger – og i så tilfælde er der tale om mere end »rene kendsgerninger« – så må de tilføres udefra, måske fra en gængs metafysik, fra en anden videnskab eller fra personlige og historiske tilfældigheder. På de tidlige trin af en videnskabs udvikling er det derfor ikke så mærkeligt, at forskellige mennesker, som står over for den samme klasse af fænomener, men sjældent de samme enkeltfænomener, beskriver og fortolker dem forskelligt. Det overraskende og i sit omfang måske enestående for de områder, vi kalder videnskab, er, at disse første uoverensstemmelser nogensinde så godt som forsvinder.

Thi de forsvinder faktisk i meget høj grad og tilsyneladende en gang for alle. Desuden skyldes deres forsvinden som regel succes hos en af de før-paradigmatiske skoler, som på grund af sine egne grundholdninger og forudfattede meninger kun har lagt vægt på en del af den alt

for omfattende og ufuldkomne samling af oplysninger. Et glimrende eksempel er her de elektricitetsforskere, der regnede elektricitet for noget flydende og derfor især lagde vægt på ledning. Denne overbevisning, som næppe kunne klare hele den mængde af tiltræknings- og frastødnings-virkninger, man kendte, førte mange af dem ind på den idé at fyde den elektriske strøm på flaske. Den umiddelbare frugt af deres anstrengelser var leydnerflasken, en opdagelse som måske aldrig var blevet gjort af en mand, der på tilfældig vis udforskede naturen, men som faktisk blev udviklet uafhængigt af i det mindste to forskere i begyndelsen af 1740'erne.¹¹ Franklin var næsten fra begyndelsen af sin elektricitetsforskning specielt optaget af at forklare dette mærkelige og, som det skulle vise sig, særdeles oplysende special-apparat. Hans held med dette var det mest effektive af de argumenter, der gjorde hans teori til et paradigme, selv om det stadig ikke helt kunne forklare alle de tilfælde af elektrisk frastødning, man kendte.¹² Hvis en teori skal accepteres som paradigme, må den synes bedre end sine konkurrenter, men den behøver ikke forklare, og forklarer faktisk aldrig alle de kendsgerninger, man kan stille den over for.

Hvad fluidum-teorien om elektricitet gjorde for den mindre gruppe, der hyldede den, gjorde Franklins paradigme senere for hele gruppen af elektricitetsforskere. Det angav, hvilke forsøg der var værd at udføre, og hvilke der ikke var det, fordi de drejede sig om underordnede eller alt for komplekse elektriske fænomener. Blot var paradigmet langt mere effektivt, dels fordi den konstante gentagelse af grundlæggende ideer hørte op, da diskussionen mellem skoler hørte op, og dels fordi tilliden til, at de var på rette spor, tilskyndede forskerne til at give sig i kast med mere nøjagtige, specielle og krævende former for arbejde.¹³ Da de nu var fri for at beskæftige sig med alle mulige elektriske fænomener, kunne den samlede gruppe af elektricitetsforskere i langt højere grad forfølge udvalgte fænomener, idet de konstruerede en masse specielt udstyr til opgaven og anvendte det mere stædigt og systematisk, end man nogensinde før havde gjort. Både indsamling af kendsgerninger og formulering af teorier blev et stærkt kontrolleret arbejde. I overensstemmelse hermed forøgedes elektricitetsforskningens effektivitet og nytte, og gav dermed vidnesbyrd om en samfundsmæssig version af Francis Bacons skarpsindige sentens: »Sandheden udspringer lettere af fejltagelser end af forvirring.«¹⁴

I næste kapitel skal vi undersøge karakteren af denne stærkt kontrollerede eller paradigme-styrede forskning, men først må vi lægge mær-

Naturvidenskaberne er langt mere konkrete end f.eks. socialvidenskaberne - eller 54 det er man i nat. videnskaber arbejder henimod et mål, gør en kæmpe forskel!

ke til, hvorledes fremvæksten af et paradigme påvirker strukturen i den gruppe, der arbejder på området. Når en enkeltperson eller en gruppe for første gang i en naturvidenskabs udvikling fremkommer med en syntese, som kan tiltrække flertallet i den næste generation, så forsvinder de ældre skoler gradvist. Deres forsvinden skyldes delvis medlemmernes omvendelse til det nye paradigme. Men der er altid nogle mennesker, der holder fast ved det ene eller andet af de ældre synspunkter, og de bliver simpelthen udelukket af faget, som derefter ignorerer deres arbejde. Det nye paradigme betyder en ny og strengere definition af området. De, der ikke kan eller ikke vil tilpasse deres arbejde efter den, må fortsætte i isolation eller tilslutte sig en anden gruppe.¹⁵ Historisk set er de ofte simpelthen forblevet inden for det filosofiske fagområde, hvorfra så mange af specialvidenskaberne er blevet udklækket. Som disse forhold antyder, er det sommetider bare antagelsen af et paradigme, der danner en gruppe, som tidligere blot var interesseret i studiet af naturen, til en profession, eller i det mindste til en disciplin. Skabelsen af specialiserede tidsskrifter, grundlæggelsen af specialist-foreninger og kravet om en særlig plads i studieordningen har almindeligvis været forbundet med en gruppes første antagelse af et enkelt paradigme i videnskaberne, (men ikke på områder som medicin, teknologi og jura, hvis vigtigste *raison d'être* er et ydre socialt behov). Dette har i det mindste været tilfældet i tidsrummet mellem den tidligste udvikling af det institutionelle mønster for videnskabelig specialisering for halvandet hundrede år siden og den nyeste tid, hvor specialiseringens yderværker har vundet selvstændig prestige.

Den strengere definition af den videnskabelige gruppe har andre følger. Når den enkelte videnskabsmand kan regne et paradigme for givet, behøver han ikke længere i sine hovedværker forsøge at opbygge sit emne fra bar bund ved at begynde med grundprincipper og begrunde anvendelsen af hvert begreb, der indføres. Men når han har en lærebog, kan den skabende videnskabsmand begynde sin forskning, hvor den holder op, og således helt koncentrere sig om de mest udviklede og specielle sider af de naturfænomener, hans gruppe har med at gøre. Og når han gør det, vil hans forskningsberetninger begynde at forandres ad baner, hvis udvikling er blevet for lidt udforsket, men hvis moderne slutresultater er åbenbare for alle og tyngende for mange. I almindelighed vil hans forskning ikke længere findes i bøger, der som Franklins *Experiments ... on Electricity* eller Darwins *Origin of Species* henvender sig til enhver, der måtte være interesseret i emnet. I stedet vil den gerne fremkomme som korte artikler, der kun henvender

der sig til professionelle kolleger, dvs. de mennesker, man kan gå ud fra har viden om det fælles paradigme, og som viser sig at være de eneste, som kan læse de afhandlinger, der stiles til dem.

I de moderne videnskaber er bøger gerne enten lærebøger eller tilbageskuende tanker om en eller anden side af det videnskabelige liv. Det er mere sandsynligt, at den forsker, der skriver én, vil finde sit faglige omdømme forringet end forbedret. Kun på de forskellige videnskabers tidligere udviklingstrin før paradigmet var det almindeligt, at bogen havde den samme betydning for det faglige standpunkt, som den stadig har på andre kreative områder. Og kun på de områder, som stadig bevarer bogen – med eller uden artikel – som et middel til at meddele forskning, er faggrænserne stadig så løst optrukket, at lægmanden kan håbe at følge med i fremskridtet ved at læse fagfolkenes originale beretninger. Både i matematik og astronomi var forskningsrapporter holdt op med at være forståelige for et alment dannet publikum allerede i oldtiden. Indenfor dynamikken blev forskningen specialiseret på samme måde i senmiddelalderen, og den genvandt kun sin almenforståelighed i en kort periode tidligt i det syttende århundrede, da et nyt paradigme erstattede det, der havde været ledende for middelalderens forskning. Elektricitetsforskningen begyndte at trænge til lægmands-oversættelse før slutningen af det attende århundrede, og de fleste andre dele af fysikken ophørte med at være almentforståelige i det nittende. I løbet af de samme to århundreder kan man indkredse lignende overgange i de biologiske videnskaber. I dele af socialvidenskaberne er de måske ved at foregå i dag. Skønt det er blevet almindeligt og er særdeles rimeligt at beklage det voksende svælg mellem den professionelle forsker og hans kolleger i andre discipliner, lægger man for lidt mærke til den vigtige sammenhæng mellem dette svælg og de mekanismer, der ligger i det videnskabelige fremskridt.

Lige siden den forhistoriske oldtid har det ene studieområde efter det andet overskredet grænsen mellem det, historikeren måske ville kalde dets forhistorie som videnskab, og dets egentlige historie. Disse overgange til moden tilstand har sjældent været så pludselige eller så utvetydige, som min nødvendigvis skematisk diskussion måske har antydnet. Men de har heller ikke historisk været gradvise, dvs. sammenfaldende med den samlede udvikling af de områder, inden for hvilke de forekom. De, der skrev om elektricitet i de første fire tiår af det attende århundrede, havde langt mere viden om elektriske fænomener end deres forgængere i det sekstende århundrede. I det halve århun-

drede efter 1740 blev der kun føjet få nye arter af elektriske fænomener til deres lister. Ikke desto mindre synes afstanden mellem Cavendishs, Coulombs og Voltas elektriske værker fra den sidste tredjedel af det attende århundrede og Grays, Du Fays og selv Franklins værker på afgørende punkter at være større end afstanden mellem disse elektricitetsforskeres værker tidligt i det attende århundrede og dem i det sekstende århundrede.¹⁶ På et eller andet tidspunkt mellem 1740 og 1780 blev elektricitetsforskere for første gang i stand til at regne grundlaget for deres fag for givet. Fra dette udgangspunkt fortsatte de til mere konkrete og avancerede problemer, og i stadig højere grad meddelte de deres resultater i artikler rettet til andre elektricitetsforskere snarere end i bøger rettet til den lærde verden i almindelighed. Som gruppe nåede de det samme, som astronomer havde nået i oldtiden og bevægelsesforskere i middelalderen, som den fysiske optik nåede i slutningen af det syttende århundrede, og den historiske geologi tidligt i det nittende. De havde med andre ord fået et paradigme, der viste sig i stand til at lede hele gruppens forskning. Uden at benytte sig af bagklogskaben er det vanskeligt at finde noget andet kriterium, som så klart udråber et fag til videnskab.

III. Normalvidenskabens natur

Hvilken karakter har da den mere professionelle og specielle forskning, som muliggøres ved en gruppes accept af et enkelt paradigme? Hvilke yderligere problemer overlades det til den samlede gruppe at løse, hvis paradigmet giver en fremstilling af et arbejde, der er udført en gang for alle? Disse spørgsmål synes endnu mere påtrængende, hvis vi nu lægger mærke til, at de udtryk, der er anvendt indtil nu, kan være vildledende i én henseende. Et paradigme er i almindelig brug en anerkendt model eller mønster, og den side af dets betydning har gjort det muligt for mig, i mangel af et bedre, at bruge ordet 'paradigme'. Men det vil snart blive klart, at den betydning af 'model' og 'mønster', der tillader dette, ikke er den helt almindelige til definition af 'paradigme'. I grammatikken for eksempel er 'amo, amas, amat' et paradigme, fordi det udviser det mønster, der skal bruges, når man bøjer mange andre latinske verber, f. eks. 'laudo, laudas, laudat'. Ved denne standard-anvendelse fungerer paradigmet ved at tillade reproduktionen af eksempler, som alle i princippet kunne erstatte det. Men i en videnskab er et paradigme sjældent noget, der kan reproduceres. Derimod er det, ligesom en accepteret retsafgørelse i sædvaneretten, genstand for videre samordning og specificering under nye eller klarere betingelser.

For at forstå dette må vi være klar over, hvor overordentlig begrænset i både omfang og nøjagtighed et paradigme er, når det første gang fremkommer. Paradigmer opnår deres status, fordi de har mere held end deres konkurrenter til at løse nogle få problemer, som fagfolkene nu betragter som påtrængende. At have mere held er imidlertid hverken at have fuldstændigt held med et enkelt problem eller bemærkelsesværdigt held med et stort antal. Hvad enten det drejer sig om Aristoteles' analyse af bevægelse, Ptolemæus' beregning af planeters stilling, Lavoisiers anvendelse af vægten eller Maxwells matematisering af det elektromagnetiske felt, er et paradigmes succes til at begynde med først og fremmest et løfte om succes, som man kan opdage i enkelte spredte og endnu ufuldstændige eksempler. Normalvidenskabens består i at virkeliggøre dette løfte, hvilket opnås ved at

forøge vor viden om de kendsgerninger, paradigmet peger på som særlig oplysende, ved at forbedre overensstemmelsen mellem disse kendsgerninger og paradigmets forudsigelser og ved videre udarbejdelse af paradigmet selv.

Kun få, der ikke ligefrem er aktive i en udviklet videnskab, gør sig klart, hvor meget af den slags rengøringsarbejde et paradigme lader tilbage eller hvor fascinerende det kan vise sig at være. Og man må forstå disse ting. De fleste videnskabsmænd er i hele deres karriere optaget af rengøringsarbejde. Det er dette arbejde, jeg kalder normalvidenskab. Når man ser nærmere efter i historien eller i det moderne laboratorium, synes dette foretagende at være et forsøg på at tvinge naturen ind i den præfabrikerede og temmelig stive kasse, paradigmet udgør. Det er ikke en del af normalvidenskabens mål at fremkalde nye arter af fænomener; ja, de, der ikke passer ind i kassen, ses ofte slet ikke. Videnskabsmænd sigter normalt heller ikke mod at finde på nye teorier, og de er ofte intolerante over for dem, andre udtænker.¹⁷ I stedet sigter normalvidenskabelig forskning mod at samordne de fænomener og teorier, som paradigmet allerede byder på.

Dette er måske mangler. De områder, normalvidenskabens undersøger, er naturligvis uhyre små; det forhavende, vi nu diskuterer, har drastisk nedsat perspektiv. Men det viser sig, at disse begrænsninger, der udspringer af tilliden til et paradigme, er afgørende for videnskabens udvikling. Ved at koncentrere opmærksomheden mod en lille klasse af temmelig specielle problemer tvinger paradigmet forskerne til at udforske en del af naturen så detaljeret og dybtgående, som det ellers ville være utænkeligt. Og normalvidenskabens har en indbygget mekanisme, der garanterer, at båndene på forskningen slækkes, så snart det paradigme, de hidrører fra, ikke længere fungerer effektivt. På det tidspunkt begynder videnskabsmænd at opføre sig anderledes, og deres forskningsproblemer ændrer karakter. Men i den mellemliggende periode, hvor paradigmet har medgang, vil fagfolkene have løst problemer, som de næppe kunne have forestillet sig, og som de aldrig ville have påtaget sig uden engagement i paradigmet. Og i det mindste en del af dette resultat viser sig altid at være varigt.

Lad mig nu forsøge at klassificere og illustrere de problemer, som normalvidenskabens hovedsagelig består af, for klarere at belyse, hvad der menes med normal eller paradigme-ledet forskning. For nemheds skyld udskyder jeg den teoretiske virksomhed og begynder med dataindsamling, dvs. med de forsøg og iagttagelser, der beskrives i de tekniske tidsskrifter, hvorigennem videnskabsmænd fortæller deres kolle-

ger om resultaterne af deres løbende forskning. Hvilke sider af naturen giver forskere i almindelighed rapporter om? Hvad bestemmer deres valg? Og i betragtning af, at der går megen tid, udstyr og penge til de fleste videnskabelige iagttagelser, hvad giver da videnskabsmanden motivet til at forfølge dette valg til enden?

Der er efter min mening kun tre brændpunkter for videnskabens behandling af kendsgerninger, og de er hverken altid eller varigt adskilte. Det første er den klasse af kendsgerninger, som paradigmet har vist er særlig belysende for tingenes natur. Ved at anvende dem til at løse problemer har paradigmet gjort det værd at fastlægge dem både med større nøjagtighed og i flere forskellige situationer. På forskellige tidspunkter har disse betydningsfulde fastlæggelser af kendsgerninger omfattet: i astronomi – stjernernes stilling og størrelse, planeters og dobbeltstjerners formørkelsesvariabel; i fysikken – materialers vægtfylde og sammentrykkelighed, bølgelængder og spektrallinier, elektriske ledningsevner og kontaktpændinger; og i kemien – vægtforhold ved sammensætninger og forbindelser, kogepunkter og opløsningers surhedsgrad, struktur og optiske egenskaber. Forsøg på at forøge nøjagtigheden og omfanget af vor viden om sådanne kendsgerninger optager en betydelig del af litteraturen om den eksperimentelle og iagttagende videnskab. Indviklet specialudstyr er igen og igen blevet udtænkt til sådanne formål, og opfindelsen; konstruktionen og udnyttelsen af dette udstyr har krævet førsteklasses talent, megen tid og betragtelig finansiel støtte. Synchrotroner og radioteleskoper er blot de nyeste eksempler på, hvor langt forskere vil gå, hvis et paradigme forsikrer dem om, at de kendsgerninger, de søger, er vigtige. Fra Tycho Brahe til E. O. Lawrence har visse videnskabsmænd vundet stort ry, ikke på grund af deres opdagelsers nyhed, men på grund af nøjagtigheden, pålideligheden og rækkevidden af de metoder, de udviklede til at give nye bestemmelser af tidligere kendte arter af kendsgerninger.

En anden almindelig, men mindre gruppe undersøgelser af kendsgerninger drejer sig om de kendsgerninger, som – skønt de ofte er uden megen selvstændig interesse – kan sammenlignes direkte med forudsigelser ud fra paradigme-teorien. Som vi snart skal se, når jeg vender mig fra de eksperimentelle til de teoretiske problemer i normalvidenskab, er der sjældent mange områder, hvor en teori kan sammenlignes direkte med naturen, især hvis den er overvejende matematisk udformet. Selv nu er kun tre af den slags områder tilgængelige for Einsteins generelle relativitetsteori.¹⁸ Desuden kræves der, selv på

de områder, hvor anvendelse er mulig, ofte teoretiske og instrumentelle tilnærmelser, som alvorligt begrænser den overensstemmelse, man kan forvente. Det er en stadig udfordring til eksperimentatorens og iagttagers snilde og fantasi at forbedre denne overensstemmelse eller at finde nye områder, hvor der overhovedet kan påvises overensstemmelse. Specielle kikkerter til at bevise den kopernikanske forudsigelse af årlig parallakse; Atwoods maskine, som først blev opfundet næsten et århundrede efter *Principia*, til at give det første utvetydige bevis for Newtons anden lov; Foucaults apparat til at vise, at lysets hastighed er større i luft end i vand; eller den gigantiske seintillationstæller, som var udtænkt til at bevise neutrinoens eksistens, – disse eksempler på specialapparat og mange lignende illustrerer den umådelige anstrengelse og opfindsomhed, der har været påkrævet for at bringe natur og teori i stadig større overensstemmelse.¹⁹ Dette forsøg på at bevise overensstemmelse er en anden form for normalt forsøgsarbejde, og det er endnu tydeligere afhængigt af et paradigme end det første. Paradigmets eksistens angiver det problem, der skal løses; paradigme-teorien er ofte direkte indblandet i konstruktionen af det apparat, som kan løse problemet. Uden *Principia* ville målinger med Atwood maskinen f. eks. ikke have haft nogen som helst mening.

Normalvidenskabens data-indsamlende arbejde udtømmes efter min mening med et tredje slags forsøg og iagttagelser. Den består af empirisk arbejde, som udføres for at artikulere paradigme-teorien ved at opløse nogle af dens tilbageblevne tvetydigheder og ved at muliggøre løsningen af problemer, som den tidligere kun havde peget på. Denne klasse viser sig at være den vigtigste af alle, og den må inddeles i overensstemmelse med beskrivelsen af den. I de mere matematiske videnskaber skal nogle af de forsøg, som er beregnet på artikulation, fastlægge fysiske konstanter. Newtons arbejde angav for eksempel, at kraften mellem to masseenheder over en afstandsenhed ville være den samme for alle former for stoffer alle steder i universet. Men hans egne problemer kunne løses uden så meget som at beregne størrelsen af denne tiltrækning, den almene tyngdekonstant, og i hundrede år efter *Principias* fremkomst udtænkte ingen anden et apparat, som kunne bestemme den, og Cavendishs berømte bestemmelse i 1790'erne var ikke den sidste. På grund af dens centrale placering i fysikken har forbedrede værdier af tyngdekonstanten lige siden igen og igen været genstand for en række fremtrædende eksperimentatorers anstrengelser.²⁰ Andre eksempler på samme form for løbende arbejde ville være

bestemmelser af den astronomiske enhed, Avogadros tal, Joules koef-
ficient, den elektroniske elementarladning osv. Uden en paradigme-
teori til at fastlægge problemet og til at garantere eksistensen af en
varig løsning ville kun få af disse omstændelige bestræbelser være ble-
vet udtænkt, og ingen ville være blevet udført.

Bestræbelser for at artikulere et paradigme er imidlertid ikke be-
grænset til fastlæggelsen af universelle konstanter. De kan for eksem-
pel også stile efter kvantitative love: Boyles lov, der sætter gastryk
i forhold til rumfang, Coulombs lov om elektrisk tiltrækning, og
Joules formel, der skaber en sammenhæng mellem frembragt varme
og elektrisk modstand og strømstyrke, hører alle til i denne kategori.
Måske er det ikke klart, at et paradigme er en forudsætning for op-
dagelsen af sådanne love. Man hører ofte, at de bliver fundet, når
man undersøger målinger, der er foretaget for deres egen skyld og
uden indblanding af teorier. Historien støtter imidlertid ikke en så
overdrevent baconisk metode. Boyles forsøg var utænkelige, (og hvis
de var blevet tænkt, ville de have fået en anden fortolkning eller slet
ingen), før man havde indset, at luften var et elastisk fluidum, der
kunne behandles med alle hydrostatikkens udarbejdede begreber.²¹
Coulombs succes var afhængig af, at han konstruerede et specialappa-
ratur til at måle kraften mellem punktpændinger. (De, der tidligere
havde målt elektriske kræfter ved at bruge almindelige skålvægte osv.,
havde overhovedet ikke fundet modsigelsesfrie eller enkle regelmæssig-
heder). Men denne konstruktion afhang igen af, at man først havde
erkendt, at enhver partikel i en elektrisk strøm påvirker enhver anden
over en afstand. Det var kraften mellem sådanne partikler, Coulomb
var på udkig efter, - den eneste kraft, der sikkert kunne antages at
være en simpel funktion af afstanden.²² Man kunne også bruge Joules
forsøg til at belyse, hvorledes kvantitative love vokser frem ved præ-
cision af paradigmer. Faktisk er forholdet mellem det kvalitative pa-
radigme og den kvantitative lov så alment og så nært, at man siden
Galilei ofte korrekt har kunnet gætte sig frem til sådanne love ved
hjælp af et paradigme, årevis før man kunne konstruere apparatur
til at fastlægge dem eksperimentelt.²³

Endelig er der en tredje slags forsøg, der tilsigter at artikulere et
paradigme. I højere grad end de andre kan den ligne opdagelse, og
den er især fremherskende i de perioder og i de videnskaber, som mere
behandler de kvalitative end de kvantitative sider af naturens regel-
mæssighed. Et paradigme, som udformes for én klasse af fænomene-
ner, har ofte en uklar anvendelighed på andre, beslægtede klasser. For-

søg er så nødvendige for at kunne vælge mellem de alternative
måder at anvende paradigmet på det nye interesseområde. Varmestof-
teoriens paradigmatiske anvendelser var for eksempel opvarmning og
afkøling ved blandinger og tilstandsforandring. Men varme kunne fri-
gøres eller optages på mange andre måder - f. eks. ved kemisk for-
bindelse, ved gnidning og ved sammenpresning eller absorbering af en
luftart -, og teorien kunne anvendes på mange måder over for hvert af
disse andre fænomener. Hvis det lufttomme rum for eksempel havde
en varme-kapacitet, så kunne opvarmning ved sammenpresning for-
klares som resultatet af at blande luft med tomrum. Eller det kunne
skyldes en ændring specielt i gasarters varmekapacitet, når trykket ændres.
Og der var også mange andre forklaringer. Talrige forsøg blev udført
for at udarbejde disse forskellige muligheder og for at skelne mellem
dem; alle disse forsøg havde oprindeligt varmetofteorien som para-
digme, og alle udnyttede de den til at skabe forsøg og fortolke re-
sultater.²⁴ Så snart fænomenet med opvarmning ved sammenpresning
var blevet fastslået, var alle følgende forsøg på området paradigme-
afhængige på denne måde. Når fænomenet er givet, hvorledes kunne
man så ellers have valgt et forsøg til at belyse det?

Teori Lad os nu vende os til normalvidenskabens teoretiske problemer,
som falder i næsten de samme klasser som problemerne med forsøg
og iagttagelser. En del - om end kun en lille - af det normale teore-
tiske arbejde består ganske enkelt i at forudsige faktiske oplysning-
er af selvstændig værdi. Udfærdigelsen af astronomiske efemerider, be-
regningen af linse-egenskaber og fremstillingen af radio-forplantnings-
kurver er eksempler på den slags problemer. Men videnskabsmænd
betragter det i almindelighed som slavearbejde, der kan henvises til
ingeniører eller teknikere. Der kommer aldrig ret mange af dem
frem i betydelige videnskabelige tidsskrifter. Men disse tidsskrifter in-
deholder derimod en masse teoretiske diskussioner om problemer, som
for ikke-videnskabsmænd må forekomme næsten identiske. Det dre-
jer sig om de manipulationer med teorien, som foretages, ikke fordi
de forudsiger, de giver som resultat, i sig selv er værdifulde, men
fordi de direkte kan konfronteres med forsøg. De har til formål at vise
en ny anvendelse for paradigmet eller at forøge nøjagtigheden af en
tidligere anvendelse.

Nødvendigheden af den slags arbejde opstår ved de umådelige van-
skeligheder, man ofte møder ved udformningen af forbindelser mellem
en teori og praksis. Disse vanskeligheder kan kort belyses ved en un-
dersøgelse af dynamikkens historie efter Newton. De videnskabsmænd,

tive videnskaber tager nogle af problemerne simpelthen sigte på afklaring gennem omformuleringer. For eksempel viste *Principia* sig ikke altid lige let at anvende, delvis fordi den bevarede noget af den kluntethed, som er uundgåelig i et første forsøg, og delvis fordi så meget af dens mening lå underforstået i dens anvendelser. Under alle omstændigheder syntes en gruppe kontinentale fremgangsmåder, som tilsyneladende var uden forbindelse med den, at være langt mere effektive til mange terrestriske anvendelser. Mange af Europas mest fremragende matematiske fysikere fra Euler og Lagrange i det attende århundrede til Hamilton, Jacobi og Hertz i det nittende forsøgte derfor gentagne gange at omformulere den mekaniske teori til en tilsvarende, men logisk og æstetisk mere tilfredsstillende form. De ønskede med andre ord at vise *Principias* og den kontinentale mekaniks udtalte såvel som underforståede lære på en logisk mere sammenhængende måde, som på en gang ville være mere ensartet og mindre tvetydig i sin anvendelse på mekanikkens nyligt udviklede problemer.²⁷

Lignende omformuleringer er forekommet gentagne gange i alle videnskaberne, men de fleste af dem har frembragt mere betydelige forandringer i paradigmet end de nævnte omformuleringer af *Principia*. Sådanne forandringer følger af det empiriske arbejde, hvis sigte tidligere er beskrevet som paradigme-artikulering. Faktisk var det vilkårligt at klassificere den slags arbejde som empirisk. Problemerne med paradigme-artikulering er mere end nogen anden form for normalforskning på én gang teoretiske og eksperimentelle; de tidligere givne eksempler gælder også her. Før Coulomb kunne konstruere sit udstyr og foretage målinger med det, måtte han anvende elektricitetsteorien for at afgøre, hvorledes udstyret skulle bygges. Resultatet af hans målinger var en forbedring af denne teori. Eller et andet eksempel: de, der udtænkte forsøgene, som skulle skelne mellem de forskellige teorier om opvarmning ved sammenpresning, var i almindelighed de samme mennesker, som havde opstillet de sammenlignede fremstillinger. De arbejdede både med kendsgerninger og med teorier, og deres arbejde resulterede ikke blot i nye oplysninger, men i et nøjagtigere paradigme, som de nåede frem til ved at fjerne de tvetydigheder, deres oprindelige udgangspunkt havde. I mange videnskaber har hovedparten af det almindelige arbejde denne karakter.

Jeg tror, at disse tre klasser af problemer – bestemmelse af vigtige kendsgerninger, afpasning af kendsgerninger og teori og teori-artikulering – udtømmer den normalvidenskabelige litteratur, såvel den empiriske som den teoretiske. Selvfølgelig udtømmer de ikke helt al vi-

denskabelig litteratur. Der er usædvanlige problemer, og det kan meget vel være deres løsning, der gør hele den videnskabelige beskæftigelse så specielt værdifuld. Men de usædvanlige problemer finder man ikke uden videre. De fremkommer kun under særlige omstændigheder, som beredes af den normale forsknings fremadskriden. Det er derfor uundgåeligt, at det overvældende flertal af de problemer, som selv de allerbedste forskere er optaget af, i almindelighed falder i en af de skitserede kategorier. Under paradigmet kan der ikke arbejdes på anden måde, og fårder man fra paradigmet, er det ensbetydende med at ophøre med at udøve den videnskab, dette afgrænser. Vi vil snart opdage, at sådanne frafald faktisk forekommer. De danner kernen i videnskabelige revolutioner. Men før vi begynder at studere sådanne revolutioner, behøver vi et bedre overblik over de normalvidenskabelige bestræbelser, der forbereder vejen.

IV. Normalvidenskab løser gåder

Måske er det mest slående træk ved de normalvidenskabelige problemer, vi netop har mødt, at de i så ringe grad sigter mod at frembringe fundamentale nyheder, begrebsmæssige eller erfaringsmæssige. Sommetider kender man hele resultatet på forhånd undtagen de mest specielle detaljer, som f.eks. ved måling af bølgelængde; og i almindelighed er spillerummet kun lidt større. Coulombs målinger behøvede måske ikke at have passet ind i en omvendt kvadrat-lov; de mennesker, som arbejdede med opvarmning ved sammenpresning, var ofte forberedt på mange forskellige resultater. Men selv i sådanne tilfælde er omfanget af forventede og dermed forståelige resultater altid ringe i sammenligning med den mængde, man kan forestille sig. Og det projekt, hvis resultat ikke falder inden for dette snævre område, er i almindelighed blot en forskningsfiasko, som ikke drager naturen i tvivl, men forskeren.

I det attende århundrede ofrede man for eksempel ikke megen opmærksomhed på forsøgene med at måle elektrisk tiltrækning med indretninger som skålvægen. De kunne ikke bruges til at udtrykke det paradigme, de var udledt af, fordi de hverken gav sammenhængende eller enkle resultater. Derfor forblev de rene kendsgerninger, som ikke havde og ikke kunne have forbindelse med den fremadskridende udforskning af elektriciteten. Først bagefter kan vi ud fra et senere paradigme se, hvilke egenskaber de afslører ved de elektriske fænomener. Coulomb og hans samtidige var selvfølgelig også i besiddelse af dette senere paradigme eller et, der gav de samme forventninger, når det anvendtes på tiltrækningens problem. Derfor kunne Coulomb skabe et apparatur, som gav resultater, der kunne forstås som udtryk for paradigmet. Men derfor overraskede dette resultat heller ikke nogen, og derfor havde mange af Coulombs samtidige været i stand til at forudsige det. Selv det projekt, der vil give paradigmet udtryk, sigter ikke mod den uventede nyhed.

Men hvis normalvidenskabens mål ikke er fundamentale nyheder - hvis fiasko med det forventede resultat i almindelighed er fiasko for forskeren, hvorfor bliver disse problemer da overhovedet behandlet?

En del af svaret er allerede givet. Den normale forsknings resultater er i det mindste af betydning for videnskabsmænd, fordi de øger paradigmets anvendelsesområde og præcision. Men det svar kan ikke forklare den entusiasme og hengivenhed, som videnskabsmænd vier de normale forskningsproblemer. Ingen vier år til for eksempel udviklingen af et bedre spektrometer eller til en bedre løsning på problemet med svingende strenge blot på grund af betydningen af den viden, der vil blive indhøstet. De data, man kan få ved at udregne efemerider eller ved flere målinger med et eksisterende instrument, er ofte lige så betydningsfulde, men sådant arbejde vrages hyppigt af forskere, fordi det i så høj grad er gentagelser af allerede prøvede fremgangsmåder. Denne vragen giver et fingerpeg om det tiltrækkende ved det normalvidenskabelige problem. Skønt resultatet kan forudsiges - ofte så detaljeret, at det, der står tilbage at erkende, i sig selv er uinteressant - så er vejen til at nå dette resultat stadig problematisk. At løse et normalvidenskabeligt problem er at nå det forventede på en ny måde, og det kræver løsningen af alle mulige udviklede instrumentelle, begrebsmæssige og matematiske gåder. Den heldige beviser, at han er ekspert i at løse gåder, og gådens udfordring er en vigtig drivkraft for ham.

Udtrykkene 'gåde' og 'at løse gåder' belyser mange af de temaer, som er blevet stadig mere fremtrædende på de forudgående sider. 'Gåder' bruges her i den ganske almindelige betydning af den specielle klasse af problemer, som kan tjene til at afprøve snidthed eller færdighed til at finde løsninger. I et leksikon defineres gåde ofte som et 'puslespil' eller 'kryds-og-tværs opgaver', og det er de fælles egenskaber mellem disse og de normalvidenskabelige problemer, vi nu må indkredse. En af dem er lige blevet nævnt. Det er ikke noget kriterium på en gådes kvalitet, at dens resultat i sig selv er interessant eller vigtigt. Tværtimod er de virkelig påtrængende problemer - så som kræftens helbredelse eller skabelsen af en varig fred - ofte slet ikke gåder, først og fremmest fordi der måske ikke er nogen løsning på dem. Tænk på det puslespil, hvis brikker vælges tilfældigt fra to forskellige æsker. Det problem vil sandsynligvis (omend det ikke er sikkert) trods selv den sniddeste, og det kan derfor ikke bruges som mål for færdighed i at finde løsninger. Det er slet ikke en gåde i almindelig forstand. Egenværdi er ikke et kriterium på en gåde; det er derimod sikkerheden for, at der findes en løsning.

Vi har imidlertid allerede set, at en af de ting, et videnskabeligt samfund opnår med et paradigme er et kriterium for udvælgelse af

Individ-
betragtning

Skordem kemner
'overskridelsen'

Hos backbord H drømmer
nogle der skal skæres fri

problemer, som man kan regne med har løsninger, når paradigmet tages for givet. Det er i vidt omfang de eneste problemer, dette samfund vil anerkende som videnskabelige eller tilskynde medlemmerne til at arbejde med. Andre problemer, der under mange som tidligere havde været almindelige, forkastes som metafysiske, som faldende under en anden disciplin, eller simpelthen for problematiske til at spille tid på. For den sags skyld kan et paradigme endog isolere det videnskabelige samfund fra de socialt vigtige problemer, som ikke kan gøres til gæder, fordi de ikke kan udtrykkes ved hjælp af paradigmets begrebsmæssige og instrumentelle udstyr. Sådanne problemer kan virke forvirrende; det illustreres tydeligt af mange træk ved det syttende århundredes Baconisme og af visse af de moderne samfundsvidenskaber. En af grundene til, at normalvidenskaben synes at udvikle sig så hurtigt, er, at dens udøvere koncentrerer sig om problemer, som alene deres egen mangel på snilde kan forhindre dem i at løse.

Men hvis normalvidenskabens problemer er gæder i denne forstand, behøver vi ikke længere spørge, hvorfor forskere med sådan lidenskab hengiver sig til at løse dem. Videnskaben kan tiltrække et menneske af mange forskellige grunde. Blandt dem er ønsket om at være til gavn, spændingen ved at udforske nye områder, håbet om at finde orden, og mod på at efterprøve fastslået viden. Disse og andre motiver er også med til at bestemme de specielle problemer, som senere vil optage vedkommende. Ydermere er det velbegrunder, at sådanne motiver først tiltrækker ham og senere fører ham videre, selv om resultatet til tider er frustration.²⁸ Fra tid til anden viser det sig, at det videnskabelige arbejde som helhed beviser sin nytte, åbner nye områder, påviser orden, og efterprøver traditionelle meninger. Ikke desto mindre vil den enkelte, som arbejder med et normalvidenskabeligt problem, næsten aldrig komme ud for at gøre nogen af disse ting. Når han først er i gang, er hans motivation en noget anden. Så ansøres han af den overbevisning, at hvis han blot er dygtig nok, vil han kunne løse en gæde, som ingen tidligere har løst - eller løst så godt. Mange af de bedste videnskabelige hoveder har koncentreret hele deres faglige opmærksomhed om vanskelige gæder af denne art. Et hvilket som helst specialiseret område giver sjældent andre opgaver, - en kendsgerning som ikke gør det mindre tiltrækkende for dem, der har den rette hengivenhed.

Betragt nu et andet, mere besværligt og mere oplysende aspekt ved parallelismen mellem gæder og normalvidenskabens problemer. Hvis et problem skal regnes for en gæde, må det have flere egenskaber end

en garanteret løsning. Der må også være regler, som begrænser både arten af acceptable løsninger og måderne at nå dem på. At løse et puslespils gæde for eksempel er ikke blot »at lave et billede«. Det kunne et barn eller en moderne kunstner gøre ved at fordele udvalgte brikker som abstrakte figurer på en neutral baggrund. Måske ville et sådant billede være langt bedre og i hvert tilfælde mere originalt end det, puslespillet var blevet lavet efter. Alligevel ville dette billede ikke være en løsning. Dertil kræves, at alle brikkerne anvendes, at deres nøgne side vendes nedad, og at de uden magt passes sammen, indtil der ikke er nogen huller. Dette er nogle af reglerne for at løse et puslespils gæde. Man opdager let lignende begrænsninger i de tilladelige løsninger af kryds-og-tværsere, gæder, skak-problemer osv.

Hvis vi kan acceptere en betydeligt udvidet brug af ordet 'regel', således at det ind imellem er lig med 'anerkendt synspunkt' eller 'forudfattet mening', så vil de problemer, man kan behandle inden for en given forskningstradition, i meget høj grad have disse egenskaber fælles med gæder. Den mand, der bygger et apparat til bestemmelse af optiske bølgelængder, må ikke stille sig tilfreds med et udstyr, der blot giver hver enkelt spektrallinje sit specielle tal. Han er ikke kun opdager eller måler-aflæser. Tværtimod må han analysere sit apparatur ud fra den accepterede optiske teori og dermed vise, at de tal, hans instrument giver, passer ind i teorien som bølgelængder. Hvis han ikke kan bevise det på grund af en eller anden rest af vaghed i teorien eller et uanalyseret led i apparaturet, kan hans kolleger meget vel slutte, at han overhovedet ikke har målt noget. For eksempel havde de elektronspredningsmaxima, som senere blev tydet som indeks for elektronbølgelængder, tilsyneladende ingen betydning, da de første gang blev opdaget og skildret. Før de blev målinger på noget, måtte de sættes i forhold til en teori, som forudsagde stofs bølgelignende bevægelse. Og selv efter at det forhold var påpeget, måtte apparaturet konstrueres om, således at forsøgsresultaterne utvetydigt kunne koordineres med teorien.²⁹ Før disse betingelser var opfyldt, var der ikke løst noget problem.

Der var lignende begrænsninger i de tilladelige løsninger af teoretiske problemer. Gennem hele det attende århundrede søgte videnskabsmænd at udlede månens iagttagne bevægelse af Newtons bevægelses- og tyngdelove, men det lykkedes ikke. Som følge heraf foreslog nogle af dem, at man erstattede loven om omvendt proportionalitet af kvadratet med en lov, som ved små afstande afveg fra den. Det ville imidlertid have været ensbetydende med at forandre para-

digmet – at definere en ny gåde – men ikke at løse den gamle gåde. Forskerne bevarede faktisk reglerne, lige til en af dem i 1750 opdagede, hvorledes de kunne anvendes med held.³⁶ Det eneste alternativ ville have været en forandring af spillets regler.

Studiet af normalvidenskabelige traditioner afslører mange yderligere regler, og de giver megen viden om de opgaver, der stilles forskerne af deres paradigmer. I hvilke hovedkategorier falder disse regler?³¹ Den tydeligste og sandsynligvis mest bindende har vi eksempler på i de netop fremhævede former for generalisationer. Disse er direkte formuleringer af videnskabelige love og angår videnskabelige begreber og teorier. Så længe de holdes i hævd, er de med til at fastsætte gåder og begrænse acceptable løsninger. For eksempel fungerede Newtons love på den måde i det attende og det nittende århundrede. Så længe de gjorde det, var stoffets kvantitet et grundlæggende ontologisk begreb for fysikere, og de kræfter, der virker mellem stofmængder, var et fremherskende forskningsemne.³² I kemien havde lovene om konstante og multiple proportioner i lang tid en ganske lignende styrke; således angav de problemet om atomvægt, begrænsede de acceptable resultater af kemiske analyser, og belærte kemikerne om, hvad atomer og molekyler, forbindelser og blandinger var.³³ Maxwells ligninger og den statistiske termodynamiks love har den samme magt og funktion i dag.

Regler som disse er imidlertid hverken de eneste eller blot de mest interessante, historiske studier peger på. På et lavere og mere konkret plan end love og teorier føler man sig for eksempel i vid udstrækning bundet af foretrukne typer apparatur og af tilladelige måder at anvende dette på. Ændrede holdninger til ildens rolle ved kemiske analyser var af afgørende betydning for kemiens udvikling i det syttende århundrede.³⁴ I det nittende århundrede mødte Helmholtz hos fysiologer stærk modstand mod den idé, at fysiske forsøg kunne belyse deres område.³⁵ Og den kemiske kromatografis mærkelige historie giver igen i vort århundrede en illustration af, at det tekniske udstyr har en vedvarende, bindende kraft, som i lighed med love og teorier giver forskerne spillets regler.³⁶ Når vi analyserer opdagelsen af røntgenstråler, vil vi finde grunde til den slags forpligtelser.

Videnskaben har også mindre steds- og tidsbegrænsede, men stadig foranderlige egenskaber. På et højere plan er videnskaben nemlig ofte forpligtet af halv-metafysiske ideer, således som historiske studier så ofte afslører det. Efter 1630 og især efter fremkomsten af Descartes' umådeligt indflydelsesrige videnskabelige skrifter antog de fle-

ste fysikere eksempelvis, at universet var sammensat af mikroskopiske partikler, og at alle naturfænomener kunne forklares ud fra partiklernes form, størrelse, bevægelse og indbyrdes påvirkning. Den gruppe af forpligtelser viste sig at være både metafysisk og metodologisk. I metafysisk henseende fik videnskabsmændene at vide, hvilke elementer universet indeholdt, og hvilke det ikke indeholdt: der eksisterede kun stof med form og bevægelse. I metodologisk henseende fik de at vide, hvorledes fundamentale love og forklaringer skulle være: Love skulle nøje beskrive partiklers bevægelse og indbyrdes påvirkning, og forklaringer skulle reducere et hvilket som helst naturfænomen til partiklers bevægelse efter disse love. Endnu vigtigere var det, at partikelopfattelsen af universet gav forskerne inspiration til mange af deres forskningsopgaver. En kemiker som Boyle, der gik ind for den ny filosofi, lagde for eksempel især mærke til reaktioner, der kunne betragtes som omdannelser. Disse viste tydeligere end noget andet den omordning af partiklerne, der må ligge til grund for al kemisk forandring.³⁷ Lignende virkninger af partikel-læren kan iagttages ved studiet af mekanik, optik og varme.

Endelig er det en forudsætning for at være videnskabsmand, at man accepterer endnu en gruppe forpligtelser på et endnu højere niveau. Videnskabsmanden må for eksempel være beskæftiget med at forstå verden og dens orden med stadig større nøjagtighed og på nye områder. Denne forpligtelse må igen få ham til, enten direkte eller gennem kolleger, at studere en eller anden side af naturen med stor empirisk nøjagtighed. Og hvis denne undersøgelse afslører områder med tilsyneladende uorden, så vil det tilskynde ham til at forfine iagttagelsesmetoderne og til yderligere at gennemarbejde sine teorier. Der er utvivlsomt endnu flere regler af samme slags, som har haft gyldighed for videnskabsmænd til alle tider.

Den billedlige sammenligning af normalvidenskab og gåder udspringer især af, at der findes dette stærke net af begrebsmæssige, teoretiske, instrumentelle og metodologiske forpligtelser. Disse giver specialisten inden for et udarbejdet fagområde de regler, der fortæller ham, hvad verden og hans videnskab er, og derfor kan han roligt koncentrere sig om de specielle problemer, som disse regler og den eksisterende viden angiver ham. Personligt ansføres han så af at skulle finde en løsning på den endnu uløste gåde. I disse og andre henseender belyser en diskussion af gåder og regler udøvelsen af normalvidenskab. Men på en anden måde kan denne belysning være meget vildledende. Skønt der tydeligvis er regler, som alle udøverne af en

videnskabelig disciplin overholder på et givet tidspunkt, behøver disse regler ikke i sig selv indeholde alt det, der er fælles for disse specialisters arbejde. Normalvidenskaben er i høj grad noget fastlagt, men den behøver ikke at være fuldstændig fastlagt ved hjælp af regler. Det er grunden til, at jeg i begyndelsen af dette essay indførte fælles paradigmer i stedet for fælles regler, antagelser og synspunkter som kilde til sammenhængen i normalvidenskabelige traditioner. Jeg vil mene, at regler hidrører fra paradigmer, mens paradigmer kan lede forskningen, selv om der mangler regler.

V. Paradigmernes prioritet

Hvis vi vil finde ud af forholdet mellem regler, paradigmer og normalvidenskab, må vi først lægge mærke til, hvorledes historikeren isolerer de specielle former for forpligtelse, som netop er blevet beskrevet som anerkendte regler. Nøje historisk undersøgelse af et givet fagområde på et bestemt tidspunkt afslører en gruppe af tilbagevendende og til dels stående eksempler på forskellige teorier i deres begrebsmæssige, iagttagelsesmæssige og instrumentelle anvendelse. Det er det videnskabelige samfunds paradigmer, som kommer frem i dets lærebøger, forelæsninger og laboratorie-øvelser. Medlemmerne af det tilsvarende samfund lærer deres fag ved at studere og anvende disse paradigmer. Derudover vil historikeren selvfølgelig opdage et dunkelt område med resultater, hvis status stadig er tvivlsom, men kernen af løste problemer og metoder vil almindeligvis være klar. Trods tvetydigheder nu og da kan et udviklet videnskabeligt samfunds paradigmer temmelig let fastslås.

Fastlæggelsen af fælles paradigmer er imidlertid ikke det samme som fastlæggelsen af fælles regler. Dertil kræves et yderligere skridt af en noget anden art. Når historikeren tager det, må han sammenligne det videnskabelige samfunds paradigmer indbyrdes og med dets løbende forskningsrapporter. Hans hensigt med dette er at finde ud af, hvilke explicit eller implicit selvstændige dele medlemmerne af dette samfund kan have *abstraheret* fra deres mere almene paradigmer og anvendt som regler i deres forskning. Enhver der har forsøgt at beskrive eller analysere udviklingen af en bestemt videnskabelig tradition må nødvendigvis have ledt efter sådanne anerkendte principper og regler. Og som det forudgående kapitel viser, er det næsten sikkert, at han i det mindste en gang imellem må have haft heldet med sig. Men hvis hans erfaringer overhovedet ligner mine, vil søgen efter regler forekomme ham både vanskeligere og mindre tilfredsstillende end søgen efter paradigmer. Ikke alle generalisationer, der bruges til at beskrive det videnskabelige samfunds fælles ideer, giver problemer. Nogle vil imidlertid forekomme lidt for dristige, og det gælder også nogle af de anførte eksempler. De ville næsten med sikkerhed være blevet forkastet

af visse medlemmer af den studerede gruppe, når de blev udtrykt på netop denne eller en anden måde. Hvis forskningstraditionens sammenhæng ikke desto mindre skal forstås ved hjælp af regler, behøves der en vis specifikation af fælles grundlag på det tilsvarende område. Resultatet er, at søgen efter en gruppe af regler, som kan udgøre en bestemt normalvidenskabelig tradition, bliver en kilde til stadig og dyb frustration.

Vedkender man sig imidlertid denne frustration, er det muligt at diagnosticere dens oprindelse. Videnskabsmænd kan være enige om, at en Newton, en Lavoisier, en Maxwell eller en Einstein har givet tilsyneladende varige løsninger på en række fremtrædende problemer, og alligevel kan de – sommetider uden at være klar over det – være uenige om de enkelte, abstrakte egenskaber, der gør disse løsninger varige. De kan med andre ord være enige om identifikationen af et paradigme uden at være enige om – ja, endog uden at forsøge at give – en fuldstændig fortolkning eller begrundelse af det. Et paradigme kan godt lede forskningen, selv om man mangler en standardfortolkning, eller selv om man ikke er enige om, hvorledes det reduceres til regler. Man kan delvis fastlægge normalvidenskaben ved den direkte undersøgelse af paradigmer, en metode som ofte støttes ved en formulering af regler og antagelser, men som ikke afhænger deraf. Ja, eksistensen af et paradigme behøver ikke engang betyde, at der eksisterer en fuldstændig klasse af regler.⁸⁸

Den første følge af denne fremstilling er, at den rejser problemer. Hvad begrænser forskeren til en bestemt normalvidenskabelig tradition, når der mangler en gruppe autoritative regler? Hvad kan udtrykket 'direkte undersøgelse af paradigmer' betyde; Ludwig Wittgenstein udviklede delvise svar på sådanne spørgsmål – omend i en ganske anden sammenhæng. Da denne sammenhæng både er enklere og bedre kendt, vil det være nyttigt først at se på hans udformning af argumentet. Hvad skal vi vide for at kunne anvende ord som 'stol' eller 'blad' eller 'spil' utvetydigt og uden at vække diskussion, spurgte Wittgenstein.⁸⁹

Dette spørgsmål er meget gammelt og er i almindelighed blevet besvaret ved at sige, at vi, bevidst eller intuitivt, må vide, hvad en stol eller et blad eller et spil er. Dvs. vi må forstå en eller anden klasse af egenskaber, som alle spil og kun spil har fælles. Wittgenstein kom imidlertid til det resultat, at i betragtning af den måde, vi bruger sproget på, og den verden, vi anvender det på, behøver der ikke være en sådan klasse af egenskaber. Selv om vi ofte lærer, hvor-

ledes vi skal bruge de relevante ord, ved at diskutere nogle af de egenskaber, som er fælles for en række spil eller stole eller blade, så er der dog ingen gruppe af egenskaber, som på en gang er anvendelige på alle medlemmer af klassen og på dem alene. I stedet anvender vi ordet »spil«, når vi stilles over for en hidtil ubemærket aktivitet, fordi det, vi ser, har en nær »familielighed« med en række af de aktiviteter, vi tidligere har lært at kalde ved dette navn. Kort sagt er spil og stole og blade for Wittgenstein naturlige familier, som hver udgøres af et net af overlappende ligheder på kryds og tværs. Eksistensen af sådan et netværk giver en tilstrækkelig forklaring på vort held til at identificere den tilsvarende ting eller aktivitet. Kun hvis de familier, vi navngiver, overlappede og gradvist gled over i hinanden, – dvs. kun hvis der ikke var naturlige familier –, ville vor succes med at identificere og navngive være bevis for en klasse af fælles egenskaber svarende til hvert af de klassenavne, vi anvender.

Noget af det samme kan meget vel gælde for de mangfoldige forskningsproblemer og -metoder, som opstår inden for en enkelt normalvidenskabelig tradition. Det fælles for disse er ikke, at de tilfredsstiller visse eksplicitte og fuldt erkendelige regler og antagelser, som giver traditionen dens karakter og dens greb om den videnskabelige tanke. I stedet kan de være forbundet ved lighed og ved at være bygget over en eller anden del af hele den videnskab, som det pågældende samfund allerede regner blandt sine fastslåede resultater. Forskere arbejder ud fra modeller, som de har tilegnet sig ved uddannelse og ved senere studier af litteraturen – ofte uden helt at kende, eller uden at behøve at kende de egenskaber, som har givet disse modeller en position som samfundets paradigmer. Og fordi de gør det, behøver de ikke nogen fuldstændig klasse af regler. Sammenhængen i den forskningstradition, de tager del i, behøver ikke engang forudsætte eksistensen af en bagvedliggende gruppe af regler og antagelser, som yderligere historisk eller filosofisk forskning kunne klarlægge. At videnskabsmænd i almindelighed ikke diskuterer, hvad der gør et bestemt problem eller en bestemt løsning berettiget, frister os til at antage, at de i det mindste intuitivt kender svaret. Men måske antyder det blot, at hverken spørgsmålet eller svaret føles relevant for deres forskning. Måske går paradigmer forud for og er mere bindende og fuldstændige end noget sæt af forskningsregler, som utvetydigt kunne abstraheres fra dem.

Denne pointe har indtil nu været rent teoretisk: paradigmer kunne lede normalvidenskaben uden indgriben af regler, som kunne opdages.

Lad mig nu prøve at forøge både dens klarhed og dens betydning ved at pege på nogle af de grunde, der er til at tro, at paradigmer faktisk virker på denne måde. Den første, som allerede er blevet diskuteret temmelig meget, er den store vanskelighed ved at finde de regler, som har ledet bestemte normalvidenskabelige traditioner. Denne vanskelighed er næsten den samme, som den filosofen møder, når han prøver at fortælle, hvad alle spil har tilfælles. Den anden grund, som den første i virkeligheden følger af, har sin rod i den videnskabelige uddannelses karakter. Det skulle allerede være klart, at videnskabsmænd ikke lærer begreber, love og teorier rent abstrakt og isoleret. Tværtimod møder de fra begyndelsen disse intellektuelle redskaber i en sammenhæng, som historisk og pædagogisk er primær, og som lægger dem for dagen når og fordi de anvendes. En ny teori opkastes altid samtidig med, at den anvendes på en konkret gruppe af naturfænomener; uden dem ville den ikke engang være mulig. Når teorien er blevet accepteret, ledsager disse eller andre anvendelser teorien ind i lærebøgerne, hvorfra den fremtidige udøver vil lære sit fag. De er der ikke blot som pynt, ej heller som dokumentation. Tværtimod afhænger indlæringsprocessen for en teori af studiet af dens anvendelser, hvortil hører problemløsning med pen og papir og med instrumenter i laboratoriet. Hvis den, der studerer newtonsk dynamik, f. eks. nogensinde opdager meningen med ord som 'kraft', 'masse', 'rum' og 'tid', så sker det i mindre grad ud fra de ufuldstændige, omend sommetider nyttige, definitioner i lærebogen, end det sker ved at overvære og deltage i anvendelsen af disse begreber til problemløsning.

Denne indlæringsmetode med øvelser og aktiv deltagelse fortsætter hele vejen gennem indførelsen i professionen. Når den studerende går fra sin grunduddannelse til sin doktordisputats og videre, bliver de problemer, der stilles ham, mere indviklede og usædvanlige. Men de bliver ved med at tage tidligere resultater som nære forbilleder, og det samme gælder de problemer, som normalt beskæftiger ham i den efterfølgende uafhængige, videnskabelige karriere. Det står én frit at antage, at forskeren undervejs rent intuitivt har udtaget regler af spillet til eget brug, men der er næppe grund til at tro det. Skønt mange videnskabsmænd har let ved at være veltalende om de specielle enkelthypoteser, som ligger til grund for et stykke konkret og aktuel forskning, er de ikke stort bedre end lægmænd til at karakterisere det faste grundlag for deres fag, dets legitime problemer og metoder. Hvis de overhovedet har lært sådanne abstraktioner, viser de det først og

fremmest ved deres evne til at drive vellykket forskning. Men den evne kan man forstå uden at ty til hypotetiske spilleregler.

Disse følger af den videnskabelige uddannelse har en modsat side, som giver en tredje grund til at antage, at paradigmer leder forskningen såvel ved direkte at være forbilleder som ved hjælp af udledte regler. Normalvidenskaben kan kun skride frem uden regler, så længe det pågældende videnskabelige samfund uden tøven accepterer de bestemte problemløsninger, der allerede er nået. Regler skulle derfor få betydning, og den karakteristiske ligegyldighed over for dem skulle forsvinde, så snart paradigmer eller modeller føles usikre. Og det er iøvrigt lige, hvad der sker. Især er perioden før paradigmet regelmæssigt præget af hyppige og dybtgående diskussioner om rimelige metoder, problemer og standarder for løsninger, omend sådanne diskussioner snarere tjener til at afgrænse skoler end til at skabe enighed. Vi har allerede bemærket nogle få af disse diskussioner i optik og elektricitet, og de spillede en endnu større rolle i udviklingen af det syttende århundredes kemi og det tidlige nittende århundredes geologi.⁴⁰ Endvidere forsvinder sådanne diskussioner ikke en gang for alle, når der fremkommer et paradigme. Skønt de næsten ikke eksisterer i perioder med normalvidenskab, vender de regelmæssigt tilbage lige før og under videnskabelige revolutioner, dvs. de perioder, hvor paradigmer først angribes og så forandres. Overgangen fra Newtons mekanik til kvantemekanikken fremkaldte mange debatter om fysikkens natur og grundlag, hvoraf nogle stadig fortsætter.⁴¹ Der lever stadig mennesker, som kan huske, hvorledes Maxwells elektromagnetiske teori og den statistiske mekanik affødte lignende argumenter.⁴² Og endnu tidligere fremkaldte optagelsen af Galileis og Newtons mekanik en særlig berømt række diskussioner med aristotelikere, cartesianere og leibnizianere om rimelige videnskabelige standarder.⁴³ Når videnskabsmænd er uenige om, hvorvidt de grundlæggende problemer i deres fag er blevet løst, får søgen efter regler en rolle, som den ellers ikke har. Men så længe paradigmer er sikre, kan de fungere, uden at man er enig om en grundelse, ja, uden at man forsøger nogen grundelse overhovedet.

Vi kan slutte dette kapitel med en fjerde grund til at regne paradigmer for primære i forhold til fælles regler og antagelser. I indledningen til dette essay blev det foreslået, at der kan være små såvel som store revolutioner, at visse revolutioner kun berører medlemmerne af en speciel gren af et fag, og at selv opdagelsen af et nyt og uventet fænomen kan være revolutionerende for en sådan gruppe. Næste kapitel vil præsentere et antal af den slags revolutioner. Det er stadig

alt andet end klart, hvorledes de kan eksistere. Hvis normalvidenskabens er så streng, og hvis det videnskabelige samfund er så fast sammentømret, som den forudgående diskussion har ladet forstå, hvorledes kan et paradigme-skift da nogensinde nøjes med at berøre en lille undergruppe? Af det hidtil sagte kunne man måske drage den slutning, at normalvidenskabens er en enkelt monolitisk og ensrettet virksomhed, som må stå eller falde med hver enkelt af sine paradigmer og med dem alle. Men det er klart, at videnskaben sjældent eller aldrig er sådan. Når man betragter alle fagområder samlet, forekommer den derimod ofte at være en temmelig faldefærdig bygning med ringe sammenhæng mellem de forskellige dele. Imidlertid skulle intet af det hidtil sagte være i modstrid med denne kendte iagttagelse. Tværtimod skulle det blive lettere at forstå de videnskabelige fagområders og specialers uensartethed, hvis man erstatter paradigmer med regler. Når der findes eksplicite regler, er de i almindelighed fælles for en meget omfattende videnskabelig gruppe, men det behøver paradigmer ikke være. Udøverne af vidt forskellige fag, f. eks. astronomi og taksonomisk botanik, uddannes ved at blive stillet over for helt forskellige resultater, som beskrives i vidt forskellige bøger. Og selv mennesker, som er inden for samme eller nært beslægtede fag, og som derfor begynder med at studere mange af de samme bøger og resultater, kan komme til temmelig forskellige paradigmer i løbet af den faglige specialisering.

Tag blot som et enkelt eksempel det temmelig store og uensartede samfund, som udgøres af alle fysikere. Hvert medlem af denne gruppe lærer i dag for eksempel kvantemekanikkens love, og de fleste af dem anvender disse love på et eller andet tidspunkt i deres forskning eller undervisning. Men de lærer ikke allesammen den samme anvendelse af disse love, og de berøres derfor heller ikke allesammen på samme måde af forandringer i kvantemekanisk praksis. Nogle få fysikere møder kun de grundlæggende principper i kvantemekanikken på vejen til faglig specialisering. Andre studerer detaljeret disse princippers paradigmatisk anvendelser på kemien, atter andre på faststoffysikken osv. Hvad kvantemekanikken betyder for hver af dem, afhænger af, hvilken undervisning han har haft, hvilke lærebøger han har læst, og hvilke tidsskrifter han studerer. Det følger af dette, at selv om en forandring i de kvantemekaniske love vil være revolutionerende for alle disse grupper, så behøver en forandring, som kun mærkes på den ene eller den anden af kvantemekanikkens paradigmatisk anvendelser, kun være revolutionerende for medlemmerne af en speciel gren af

et fag. For resten af faget og for dem, der dyrker andre fysiske videnskaber, behøver en sådan forandring overhovedet ikke være revolutionerende. Kort sagt, selv om kvantemekanikken (eller Newtons dynamik eller den elektromagnetiske teori) er et paradigme for mange videnskabelige grupper, behøver den ikke være det samme paradigme for dem alle. Derfor kan det på samme tid være bestemmende for mange normalvidenskabelige traditioner, som overlapper uden at være sammenfaldende. En revolution inden for en af disse traditioner vil ikke nødvendigvis udstrække sig til de andre.

Hele denne række af pointer kan få yderligere kraft gennem en kort illustration af specialiseringens virkninger. En forsker, som håbede at få noget at vide om, hvorledes forskere opfattede atomteorien, spurgte en fremragende fysiker og en eminent kemiker, om et enkelt helium-atom var et molekyle eller ej. Begge svarede uden tøven, men deres svar var ikke ens. For kemikeren var helium-atomet et molekyle, fordi det ud fra den kinetiske gas-teori opførte sig som et sådant. For fysikeren derimod var helium-atomet ikke et molekyle, fordi det ikke udviste noget molekylært spektrum.⁴⁴ Formentlig talte begge om samme partikel, men de betragtede den gennem deres egen videnskabelige uddannelse og praksis. Deres erfaring med at løse problemer fortalte dem, hvad et molekyle skal være. Deres erfaringer havde utvivlsomt meget tilfælles, men i dette tilfælde sagde disse ikke de to specialister det samme. Efterhånden som vi kommer længere frem, vil vi opdage, hvor vigtige sådanne paradigme-forskelle ind imellem kan være.

VI. Uregelmæssigheder og fremvæksten af videnskabelige opdagelser

Normalvidenskaben, den gåde-løsende virksomhed, vi netop har undersøgt, er stærkt kumulativ og i høj grad vellykket i sin bestræbelse på stadig at forøge den videnskabelige erkendelses omfang og nøjagtighed. I alle disse henseender er den i ganske nøje overensstemmelse med det almindelige billede af videnskabeligt arbejde. Normalvidenskaben stræber ikke efter erfaringsmæssige eller teoretiske nyheder, og når den er vellykket, finder den ingen. Men nye og uanede fænomener afsløres gentagne gange af videnskabelig forskning, og videnskabsmænd har igen og igen opfundet radikalt nye teorier. Historien tyder endog på, at videnskaben har udviklet en enestående effektiv metode til at frembringe den slags overraskelser. Hvis denne egenskab ved videnskaben skal stemme overens med det allerede sagte, må forskning under et paradigme være en særlig effektiv metode til at fremkalde paradigme-forandring. Det er dét, fundamentale nyheder i erfaring og teori gør. De frembringes utilsigtet af et spil, som spilles med ét sæt regler, mens deres antagelse kræver udarbejdelsen af et andet. Når de er blevet del af videnskaben, er denne aldrig helt den samme igen, i det mindste ikke for de specialister, på hvis specielle område nyhederne ligger.

Vi må nu spørge, hvorledes sådanne forandringer kan indtræffe, idet vi først behandler opdagelser, eller nye kendsgerninger, og derefter opfindelser, eller nye teorier. Denne skelnen mellem opdagelse og opfindelse eller kendsgerning og teori vil imidlertid straks vise sig at være overordentlig kunstig, hvilket er et fingerpeg om mange af dette essays vigtigste teser. Når vi i resten af dette kapitel undersøger udvalgte opdagelser, vil vi hurtigt opdage, at de ikke er afgrænsede begivenheder, men udstrakte episoder med en regelmæssigt tilbagevendende struktur. Opdagelsen begynder med bevidstheden om uregelmæssigheder, dvs. erkendelsen af, at naturen på en eller anden måde har overtrådt de forventninger, som paradigmet har fremkaldt, og som behersker normalvidenskaben. Den fortsætter så med en mere eller mindre omfattende udforskning af det uregelmæssige område. Og den

afsluttes først, når paradigme-teorien er blevet korrigeret, således at det unormale ændres til det forventede. At optage en ny slags kendsgerning kræver mere korrektion end en blot tilføjelse til teorien, og før denne korrektion er fuldendt – før forskeren har lært at se naturen på en ny måde – er den nye kendsgerning slet ikke en rigtig videnskabelig kendsgerning.

For at se, i hvor høj grad faktiske teoretiske nyheder griber ind i hinanden ved videnskabelige opdagelser, vil vi undersøge et særligt berømt eksempel, opdagelsen af oxygen. Mindst tre forskellige mænd har en berettiget fordring på den, og mange andre kemikere må i begyndelsen af 1770'erne have haft opiltet luft i en laboratorie-beholder uden at vide det.⁴⁵ Normalvidenskabens fremskridt – i dette tilfælde den pneumatisk kemi – beredte ganske omhyggeligt vejen for et gennembrud. Den svenske apoteker C. W. Scheele var den første, der kunne gøre krav på at have fremstillet en forholdsvis ren prøve af luftarten. Vi kan imidlertid se bort fra hans arbejde, eftersom det først blev offentliggjort efter at opdagelsen af oxygen gentagne gange var blevet meddelt andre steder, og således ikke havde nogen indflydelse på det historiske mønster, som her optager os mest.⁴⁶ Tidsmæssigt var nr. to med krav på opdagelsen den britiske videnskabsmand og teolog, Joseph Priestley, der som et enkelt led i en længere normal undersøgelse af de »luft«, der udvikledes af en lang række faste stoffer, samlede den luftart, der blev frigjort af opvarmet oxydrødt fra kviksølv. I 1774 identificerede han den således frembragte luftart som kvælstofforilt og i 1775, under indtrykket af flere forsøg, som almindelig luft med en mindre mængde flogiston end normalt. Den tredje med krav på opdagelsen, Lavoisier, påbegyndte det arbejde, der førte ham til oxygenet, efter Priestleys forsøg i 1774 og muligvis som resultat af en antydning fra Priestley. I begyndelsen af 1775 meddelte Lavoisier, at den luftart, man fik ved at opvarme kviksølvets oxydrødt, var »helt og holdent luften selv uden ændringer, undtagen at ... den er renere og bedre at indånde.«⁴⁷ Sandsynligvis hjulpet af endnu et vink fra Priestley var Lavoisier i 1777 kommet til den slutning, at luftarten var en særskilt art, nemlig en af de to hovedbestanddele af atmosfæren, en konklusion Priestley aldrig var i stand til at acceptere.

Dette opdagelsesmønster rejser et spørgsmål, som man kan stille om ethvert nyt fænomen, forskere nogensinde har bemærket. Var det Priestley eller Lavoisier – om nogen af dem – der først opdagede oxygen? Under alle omstændigheder: hvornår blev oxygenet opda-

OXFORD

get? I denne form kunne spørgsmålet stilles, selv om der kun havde været én til at gøre krav på opdagelsen. Vi er på ingen måde interesseret i et svar i form af en afgørelse om prioritet og tidspunkt. Men et forsøg på at give et svar vil alligevel belyse karakteren af opdagelser, fordi der ikke findes et svar af den slags, der søges. Opdagelser hører ikke til de begivenheder, om hvilke man med rimelighed kan stille spørgsmålet. Den kendsgerning, at det stilles, (siden 1780'erne har forretten til oxygen gentagne gange været omstridt), er et tegn på en skævhed i den opfattelse af videnskaben, der giver opdagelser en så afgørende rolle. Se endnu en gang på vort eksempel. Priestleys fordring på opdagelsen af oxygen støtter sig på, at han var den første til at isolere en luftart, som senere blev erkendt som en særskilt art. Men Priestleys prøve var ikke ren, og hvis man opdager oxygen ved at stå med det i hænderne i uren form, så var det blevet gjort af enhver, der havde haft atmosfærisk luft på flaske. Desuden, hvis Priestley var opdageren, hvornår blev opdagelsen så gjort? I 1774 troede han, at han havde fået kvælstofforlste, en art han allerede kendte; i 1775 betragtede han luftarten som afflogisteret luft, hvilket stadig ikke er oxygen eller i det mindste (for en flogiston-keimiker) en ganske uventet luftart. Lavoisiers fordring er måske stærkere, men udviser de samme problemer. Hvis vi nægter Priestley palmerne, kan vi ikke give dem til Lavoisier før arbejdet i 1775, som førte ham til at identificere luftarten som »helt og holdent luften selv«. Formentlig venter vi til arbejdet i 1776 og 1777, som førte Lavoisier til ikke alene at se luftarten; men også hvad luftarten var. Men selv denne bedømmelse kan betvivles, for i 1777 og resten af sit liv hævdede Lavoisier, at oxygen var et atomistisk »syreprincip«, og at oxygen først dannedes, når dette »princip« forenedes med varmetoffet.⁴⁸ Skal vi derfor sige, at oxygen endnu ikke var opdaget i 1777? Nogle fristes måske til det. Men syreprincippet blev først forvist fra kemien efter 1810, og varmetoffet holdt sig til 1860'erne. Før begge disse tidspunkter var oxygen blevet et almindeligt kemisk stof.

Vi behøver tydeligvis et nyt ordforråd og nye begreber til at analysere begivenheder som opdagelsen af oxygen. Selv om sætningen »oxygen blev opdaget« utvivlsomt er korrekt, vildleder den alligevel ved at antyde, at opdagelsen af noget er en enkel handling, som kan sammenlignes med vort almindelige (og ligeledes tvivlsomme) begreb om at se. Det er grunden til, at vi uden videre antager, at opdagelse ligesom syn og berøring utvetydigt skal tilskrives én person og ét tidspunkt. Men det sidste er altid umuligt, og ofte er det første det

også. Når vi ser bort fra Scheele, kan vi roligt sige, at oxygen ikke var blevet opdaget før 1774, og vi ville formentlig sige, at det i 1777 eller kort efter var blevet opdaget. Men inden for disse eller lignende grænser må ethvert forsøg på at datere opdagelsen uvægerligt være vilkårligt, fordi opdagelsen af et nyt fænomen nødvendigvis er en indviklet begivenhed, som indebærer erkendelse af, at noget er, og af hvad det er. Bemærk for eksempel, at hvis oxygen for os var afflogisteret luft, måtte vi uden tøven hævde, at Priestley havde opdaget det, skønt vi stadig ikke rigtig ville vide hvornår. Men hvis både jagttagelse og begrebsdannelse, kendsgerning og optagelse i teorier er uadskillelig forbundet ved opdagelse, så er opdagelse en proces og må tage tid. Kun når alle relevante klasser af begreber er forberedt på forhånd, kan opdagelse af at og opdagelse af hvad ubesværet optræde sammen og øjeblikkeligt, – men så ville fænomenet ikke være nyt.

Lad os nu indrømme, at opdagelse indebærer en udstrakt, men ikke nødvendigvis lang begrebsmæssig modningsproces. Kan vi også sige, at det indebærer en paradigme-forandring? Endnu kan vi ikke give noget generelt svar på dette spørgsmål, men i det mindste i nærværende tilfælde må svaret være ja. Det, Lavoisier meddelte i sine artikler fra 1777, var ikke så meget opdagelsen af oxygenet som af oxygen-teorien om forbrænding. Denne teori var hjørnestenen i en omformulering af kemien af sådanne dimensioner, at den sædvanligvis kaldes den kemiske revolution. Ja, hvis opdagelsen af oxygen ikke havde været et væsentligt led i fremkomsten af et nyt paradigme for kemien, ville prioritetsspørgsmålet, som vi begyndte med, aldrig have forekommet så vigtigt. I dette som i andre tilfælde varierer vurderingen af et nyt fænomen og dermed af dets opdagelse med vor vurdering af, i hvor høj grad fænomenet overtrådte de forventninger, paradigmet tilskyndede til. Læg imidlertid mærke til noget, som vil være vigtigt senere, nemlig at opdagelsen af oxygen ikke i sig selv var årsag til forandringen af den kemiske teori. Længe før Lavoisier spillede nogen rolle ved opdagelsen af den nye luftart, var han både overbevist om, at der var noget galt med flogiston teorien, og om at brændende legemer absorberede en del af atmosfæren. Så meget havde han nedfældet i en forsejlet notits, som i 1772 blev deponeret hos sekretæren for Det franske Akademi.⁴⁹ Resultatet af Lavoisiers arbejde med oxygen var, at hans tidligere fornemmelse af, at noget var galt, fik yderligere form og struktur. Det fortalte ham noget, han allerede var forberedt på at opdage – karakteren af det stof, som forbrænding fjerner fra atmosfæren. Denne forudgående bevidsthed om

vanskeligheder må være en vigtig del af det, der satte Lavoisier i stand til i Priestleys forsøg at se en luftart, som Priestley ikke selv kunne se dér. Omvendt må den kendsgerning, at der behøvedes en større paradigme-revision for at se dét, Lavoisier så, være den vigtigste grund til, at Priestley i hele sit lange liv forblev ude af stand til at se det.

To andre og langt kortere eksempler vil underbygge meget af det netop sagte og samtidig bringe os fra en belysning af opdagelsernes karakter til en forståelse af de omstændigheder, de fremkommer under i videnskaben. I et forsøg på at få repræsenteret de vigtigste måder, hvorpå opdagelser kan indtræffe, er disse eksempler valgt således, at de både er indbyrdes forskellige og forskellige fra opdagelsen af oxygen. Det første, røntgenstråler, er et klassisk eksempel på tilfældig opdagelse, en type som forekommer hyppigere, end vi uden videre kan forestille os ud fra de upersonlige normer for videnskabelige meddelelser. Historien begynder den dag, da fysikeren Röntgen afbrød en normal undersøgelse af katodestråler, fordi han havde lagt mærke til, at en bariumplatincyanid-skærm i en vis afstand fra hans afskærmede apparat glødede, når udladningen foregik. Videre undersøgelser, som krævede syv hektiske uger, hvor Röntgen sjældent forlod laboratoriet, viste, at glødningens årsag kom i rette linjer fra katodestråle-røret, at udstrålingen kastede skygger, at den ikke kunne afledes af en magnet, og meget andet. Inden Röntgen offentliggjorde sin opdagelse, havde han overbevist sig om, at virkningen ikke skyldtes katodestråler, men noget som i det mindste havde en vis lighed med lys.⁵⁰

Selv en så kort sammenfatning afslører slående ligheder med oxygenets opdagelse: før Lavoisier gjorde forsøg med kviksølv oxydrødt, havde han udført forsøg, som ikke gav de resultater, der forventedes under flogistonparadigmet; Röntgens opdagelse begyndte med erkendelsen af, at hans skærm glødede, når den ikke skulle. I begge tilfælde spillede iagttagelsen af uregelmæssigheder – dvs. af et fænomen, som forskerens paradigme ikke havde forberedt ham på – en væsentlig rolle for forberedelse af vejen til at opfatte noget nyt. Men iagttagelsen af, at noget var gået galt, var – ligeledes i begge tilfælde – kun forspillet til en opdagelse. Udviklingen måtte føre yderligere eksperimenteren og optagelse af nyt med sig, før såvel oxygen som røntgenstråler fremkom. På hvilket punkt i f. eks. Röntgens undersøgelser må vi sige, at røntgenstråler virkelig var blevet opdaget? I det mindste ikke i det øjeblik, da alt, hvad man havde iagttaget, var en glødende skærm. Mindst én anden forsker havde set denne gløden og – til sin ærgrelse senere – ikke opdaget noget som helst.⁵¹ Og det er næsten

lige så klart, at opdagelsestidspunktet heller ikke kan skubbes hen til et sted i den sidste uge af undersøgelserne, da Röntgen udforskede egenskaberne ved den nye udstråling, han allerede havde opdaget. Vi kan kun sige, at røntgenstråler dukkede op i Würzburg mellem 8. november og 28. december 1895. *elektrisk opladte røntgenstråler der?*

Men på et tredje område er det ikke nær så åbenbart, at der findes betydningsfulde paralleller mellem opdagelsen af oxygen og af røntgenstråler. Ulig opdagelsen af oxygen var opdagelsen af røntgenstråler i det mindste i de første ti år ikke indblandet i nogen iøjnefaldende omvæltning i videnskabelige teorier. I hvilken forstand kan opdagelsen af denne opdagelse da siges at have nødvendiggjort paradigme-forandringer? Der er overordentlig meget, der taler for at benægte en sådan forandring. Ganske vist kunne de paradigmer, som Röntgen og hans samtidige hyldede, ikke være anvendt til at forudsige røntgenstråler. (Maxwells elektromagnetiske teori var endnu ikke accepteret overalt, og partikelteorien om katodestråler var kun en af mange verserende spekulationer). Men disse paradigmer forbød heller ikke eksistensen af røntgenstråler, i det mindste ikke i nogen åbenbar forstand, således som flogiston teorien havde udelukket Lavoisiers fortolkning af Priestleys luftart. Tværtimod tillod anerkendt videnskabelig teori og praksis i 1895 en række udstrålingsformer – synlig, infrarød og ultraviolet. Hvorfor kunne røntgenstråler ikke blot accepteres som endnu en art af en velkendt klasse naturfænomener? På Röntgens tid søgte og fandt man stadig nye grundstoffer til at udfylde tomme pladser i det periodiske system. Eftersøgningen af dem var et almindeligt arbejde for normalvidenskaben, og et heldigt resultat gav anledning til lykønskninger, ikke til overraskelse.

Røntgenstråler blev imidlertid hilst ikke alene som en overraskelse, men som et chok. Lord Kelvin erklærede dem til at begynde med for ét stort nummer.⁵² Andre var tydeligvis ganske forbløffede, selv om de ikke kunne betvivle vidnesbyrdene. Skønt røntgenstråler ikke var forbudt af den bestående teori, brød de med dybt rodfæstede forventninger. Jeg vil mene, at disse forventninger lå underforstået i udformningen og fortolkningen af almindeligt fastslåede laboratoriemetoder. I 1890'erne var katodestråleudstyr almindeligt anvendt i talrige europæiske laboratorier. Hvis Röntgens apparat havde frembragt røntgenstråler, så måtte en række andre eksperimentatorer i et stykke tid have frembragt disse stråler uden at vide det. Disse stråler, som også udmærket kunne have andre ukendte kilder, var måske indblandet i foretelser, som tidligere blev forklaret uden henvisning til dem.

Og i det mindste måtte mange former for længe kendt apparatur i fremtiden afskærmes med bly. Tidligere afsluttet arbejde med normale projekter måtte nu udføres igen, fordi tidligere forskere ikke havde erkendt og kontrolleret en relevant variabel. Røntgenstråler åbnede et nyt område og forøgede således normalvidenskabens potentielle domæne. Men i øjeblikket er det nok så vigtigt, at de også ændrede områder, som havde eksisteret tidligere. Dermed fratog man de tidligere typer paradigmatisk instrument-anvendelse retten til denne titel.

Kort sagt, beslutningen om at benytte et bestemt stykke apparatur og om at bruge det på en bestemt måde fører bevidst eller ubevidst den antagelse med sig, at kun bestemte situationer vil opstå. Der er instrumentelle såvel som teoretiske forventninger, og de har ofte spillet en afgørende rolle i videnskabens udvikling. Een sådan forventning er f. eks. en del af historien om oxygenets forsinkede opdagelse. Både Priestley og Lavoisier anvendte en standardprøve på »luftens kvalitet« og blandede to dele af deres luftart med én del kvælstofilte, rystede blandingen over vand og målte mængden af resterende luft. Den tidligere erfaring, hvorfra denne standardmetode havde udviklet sig, forsikrede dem om, at med atmosfærisk luft ville resten være én del og for enhver anden luftart (eller for forurenede luft) ville den være større. I oxygenforsøgene fandt de begge en rest nær én del og identificerede luftarten i overensstemmelse hermed. Først meget senere og delvis ved et tilfælde gav Priestley afkald på standardmetoden og prøvede at blande kvælstofilte med sin luftart i andre forhold. Han fandt da, at med firdobbelt mængde kvælstofilte var der næsten slet ingen rest. Hans overbevisning om den oprindelige afprøvningsmetode – en metode, som støttedes af tidligere erfaringer – havde samtidig været en overbevisning om, at der ikke eksisterede luftarter, der opførte sig, som oxygen gjorde.⁵³

Man kunne nævne mange af den slags eksempler – så som den forsinkede identifikation af uranspaltning. En af grundene til, at denne kerne-reaktion viste sig særlig vanskelig at erkende, var, at de mennesker, som vidste, hvad man skulle forvente, når man bombarderede uran, valgte kemiske prøver, som hovedsagelig sigtede på grundstoffer fra den øvre ende af det periodiske system.⁵⁴ Når sådanne faste ideer om instrumenterne så ofte viser sig vildledende, bør vi da ikke drage den slutning, at videnskaben skulle forkaste standardforsøg og standard instrumenter? Det ville resultere i en utænklig forskningsmetode. Paradigmatiske fremgangsmåder og anvendelser er lige så nødvendige for videnskaben som paradigmatiske love og teorier, og de

har de samme virkninger. De vil uvægerligt begrænse det erfaringsområde, som er tilgængeligt for videnskabelig undersøgelse på et givet tidspunkt. Når vi er klar over det, kan vi måske samtidig forstå, at en opdagelse som røntgenstråler i en vigtig forstand nødvendigvis er en paradigme-forandring – og derfor forandring af både fremgangsmåde og forventning – for en speciel del af det videnskabelige samfund. Følgelig forstår vi måske også, hvorledes opdagelsen af røntgenstråler kunne synes at åbne en mærkelig ny verden for mange videnskabsmænd, og hvorledes den således effektivt kunne tage del i den krise, som førte til det tyvende århundredes fysik.

Vort sidste eksempel på videnskabelig opdagelse, leydnerflasken, hører til en gruppe, der kan beskrives som teori-fremkaldte. Umiddelbart kan udtrykket forekomme paradoksalt. Meget af det, der allerede er sagt, lader forstå, at opdagelser, som forudsiges af teorier, er en del af normalvidenskab, og at de ikke resulterer i nye arter af kendsgerninger. For eksempel har jeg tidligere henvist til opdagelsen af nye kemiske grundstoffer i anden halvdel af det nittende århundrede som noget, der på denne måde udsprang af normalvidenskab. Men ikke alle teorier er paradigme-teorier. Både i før-paradigmatiske perioder og under kriser, som fører til størstiledede paradigme-ændringer, udvikler videnskabsmænd almindeligvis mange spekulative og uartikulerede teorier, som selv kan vise vejen til opdagelser. Men ofte er denne opdagelse ikke helt den, som den spekulative og foreløbige hypotese foregreb. Først når forsøg og foreløbig teori sideløbende udarbejdes, fremkommer opdagelsen, og teorien bliver et paradigme.

Opdagelsen af Leydnerflasken udviser alle disse træk samt de andre, vi tidligere har bemærket. Da den begyndte, var der ikke et enkelt paradigme for elektricitetsforskningen. I stedet konkurrerede en hel række teorier, som alle stammede fra forholdsvis tilgængelige fænomener. Ingen af dem havde held til at ordne hele mangfoldigheden af elektriske fænomener særlig godt, og denne fiasko er kilde til mange af de uregelmæssigheder, som udgør baggrunden for leydnerflaskens opdagelse. En af de konkurrerende skoler regnede elektricitet for et fluidum, og det fik en række mennesker til at forsøge at komme dette fluidum på flaske ved at holde en vandfyldt hætteflaske i hænderne og berøre vandet med en leder, som hang ned fra en aktiv elektrostatiske generator. Når disse forskere fjernede glasset fra maskineriet og med den frie hånd rørte ved vandet (eller en leder, som var forbundet med det), følte de et kraftigt stød. Disse første eksperimenter gav imidlertid ikke elektricitetsforskerne leydnerflasken. Den fremkom

L
E
Y
D
N
E
R
F
L
A
S
K
E
N

lidt efter lidt, og igen er det umuligt at sige nøjagtigt, hvornår opdagelsen af den var afsluttet. De første forsøg på at opsamle elektrisk fluidum fungerede kun, fordi forskerne holdt glasset i hånden, mens de stod på jorden. Elektricitetsforskere skulle først lære, at flasken skulle have et ydre såvel som et indre ledende lag, og at fluidumet i virkeligheden slet ikke blev opsamlet i flasken. På et eller andet punkt i de undersøgelser, som viste dem dette, og som gjorde dem bekendt med mange andre unormale effekter, fremkom den indretning, vi kalder leydnerflasken. Endvidere var det de forsøg, som førte til dens fremkomst, og som for en stor dels vedkommende blev udført af Franklin, der også nødvendiggjorde den drastiske ændring af fluidumteorien og således sørgede for det første fuldstændige paradigme for elektricitet.⁵⁵

De egenskaber, som er fælles for de tre beskrevne eksempler, er i større eller mindre omfang (svarende til den gradvise overgang fra det chokerende til det forventede resultat) karakteristiske for alle opdagelser, hvorfra nye arter af fænomener fremkommer. Disse egenskaber omfatter: forudgående bevidsthed om uregelmæssigheder, den gradvise og samtidige fremkomst af både iagttagelsesmæssig og begrebsmæssig erkendelse, og den efterfølgende ændring af paradigmatisk kategorier og fremgangsmåder, som ofte ledsages af modstand. Der er endog vidnesbyrd om, at netop disse egenskaber er indbygget i selve sanseprocessens natur. I et psykologisk forsøg, som fortjener at blive langt bedre kendt uden for faget, bad Bruner og Postman forsøgspersoner om at identificere en række spillekort ud fra korte og kontrollerede forevisninger. Mange af kortene var almindelige, men nogle af dem var lavet uregelmæssige, f. eks. en rød spar seks og en sort hjerter fire. Hver forsøgsrunde udgjordes af forevisningen af et enkelt kort for en enkelt person i gradvis længere perioder. Efter hver forevisning blev personen spurgt, hvad han havde set, og runden sluttede med to på hinanden følgende rigtige identifikationer.⁵⁶

Mange personer identificerede de fleste af kortene selv ved de korteste forevisninger, og efter en ringe forøgelse heraf identificerede alle samtlige kort. For de normale korts vedkommende var disse identifikationer almindeligvis rigtige, men de unormale kort blev næsten altid identificeret som normale, tilsyneladende uden tøven eller forvirring. Den sorte hjerter fire kunne f. eks. blive identificeret som fireren i enten spar eller hjerter. Uden nogen bevidsthed om vanskeligheder blev den umiddelbart passet ind i en af de begrebskategorier, den tidligere erfaring havde skabt. Man er ikke engang tilbøjelig til at sige, at forsøgspersonerne havde set noget andet end det, de identificerede.

Når forevisningen af de unormale kort forlængedes yderligere, begyndte personerne faktisk at tøve og vise bevidsthed om noget unormalt. Stillet over for den røde spar seks f. eks., kunne nogle af dem sige: Det er spar seks, men der er noget galt med den, - det sorte har en rød kant. Endnu længere forevisning resulterede i endnu mere tøven og forvirring, indtil de fleste endelig og sommetider ganske pludselig uden at tøve kom med den rigtige identifikation. Og når de havde gjort dette med to eller tre unormale kort, havde de kun ringe vanskelighed med de andre. Der var imidlertid altid nogle få, som aldrig var i stand til at foretage den påkrævede tilpasning af deres begreber. Selv når forevisningstiden var fyrrer gange den gennemsnitlige til korrekt genkendelse af normale kort, blev mere end 10 procent af de unormale kort ikke identificeret korrekt. Og de personer, som tog fejl her, følte sig ofte dybt ulykkelige. En af dem udbrød: »Jeg kan ikke finde ud af kuløren, hvad den end er. Denne gang lignede det ikke engang et kort. Nu ved jeg ikke, hvad farve det er, eller om det er spar eller hjerter. I øjeblikket er jeg ikke engang sikker på, hvordan en spar ser ud. A Gud!«⁵⁷ I næste kapitel vil vi lejlighedsvis se videnskabsmænd opføre sig på denne måde også.

Dette psykologiske forsøg giver et dejligt enkelt og rammende skema for den videnskabelige opdagelsesproces, - enten billedligt, eller fordi det afspejler sindets natur. I videnskaben som i spillekortsforsøget er der en baggrund af forventninger, hvorfra nyheder kun med besvær træder frem på grund af modstand. Til at begynde med iagttages kun det forventede og almindelige selv under omstændigheder, hvor man senere vil opdage noget unormalt. Men større kendskab fremkalder faktisk bevidsthed om, at noget er galt, eller forbinder virkningen med noget, der tidligere har været galt. Denne bevidsthed om noget unormalt indleder en periode, hvor begrebsklasser korrigeres, indtil det oprindeligt unormale er blevet til det forventede. På dette tidspunkt er opdagelsen afsluttet. Jeg har allerede understreget, at denne proces eller en ganske lignende er inddraget i fremkomsten af alle grundlæggende videnskabelige nyheder. Lad mig nu påpege, at når vi kender processen, kan vi endelig begynde at se, hvorfor normalvidenskaben, selv om den ikke stræber efter nyheder og til at begynde med har en tendens til at undertrykke dem, alligevel må være så effektiv til at få dem til at opstå.

I enhver videnskabs udvikling føler man normalt, at det første paradigme, der antages, giver ganske vellykkede forklaringer af de fleste af de iagttagelser og forsøg, som er lettilgængelige for den pågæl-

dende videnskabs udøvere. Yderligere udvikling kræver derfor i almindelighed, at man konstruerer omfattende udstyr, at man udvikler et specielt ordforråd og specielle færdigheder, og at man forfiner begreber, således at de mindre og mindre ligner deres oprindelige, alment forståelige grundform. Denne stigende professionalisme fører på den ene side til en umådelig begrænsning af forskerens udsyn og til en betragtelig modstand mod paradigme-forandring. Videnskaben er blevet mere og mere stiv. Men inden for de områder, som gennem paradigmet tiltrækker sig gruppens opmærksomhed, fører normalvidenskaben på den anden side til så detaljerede oplysninger og til så nøjagtig overensstemmelse mellem iagttagelse og teori, som man ikke kunne opnå på nogen anden måde. Endvidere har denne detaljerighed og nøjagtighed en værdi, som går ud over deres ikke altid særlig store og selvstændige interesse. Uden det specialapparat, som hovedsagelig er konstrueret til forventede resultater, kunne de resultater, som i den sidste ende fører til nyskabelser, ikke forekomme. Og selv når apparaturet findes, opstår nyheder almindeligvis kun for den, som nøjagtigt ved, hvad han måtte forvente, og som derfor er i stand til at erkende, at noget er forkert. Uregelmæssighed kan kun ses på den baggrund, der udgøres af paradigmet. Jo mere nøjagtigt og vidtrækkende dette paradigme er, jo finere angiver det en uregelmæssighed og dermed en lejlighed til paradigme-forandring. I den normale opdagelsesmåde har selv modstanden mod forandring en funktion, som vil blive undersøgt nærmere i næste kapitel. Ved at sikre, at paradigmet ikke opgives for let, garanterer modstanden, at forskere ikke uden videre distraheres, og at de uregelmæssigheder, som fører til paradigme-forandring, går den eksisterende viden til marv og ben. Selve den kendsgerning, at en betydelig videnskabelig nyhed så ofte kommer samtidigt fra mange laboratorier, er et tegn på normalvidenskabens stærkt traditionsbundne karakter og udtryk for, hvor fuldstændigt denne traditionsbestemte beskæftigelse forbereder vejen for sin egen forandring.

VII. Krise og fremvæksten af videnskabelige teorier

Alle de opdagelser, vi så på i kapitel VI, var årsager til eller medvirkende ved paradigme-forandringer. Endvidere var alle de forandringer, hvor disse opdagelser var impliceret, destruktive såvel som konstruktive. Når opdagelsen var blevet assimileret, var forskere i stand til at forklare et større område af naturfænomener eller tidligere kendte naturfænomener med større nøjagtighed. Men den gevinst opnåedes kun ved at forkaste visse, tidligere almindelige ideer eller fremgangsmåder og ved samtidig at erstatte disse dele af det hidtidige paradigme med andre. Jeg har argumenteret for, at sådanne forandringer er forbundet med alle de opdagelser, der opnås gennem normalvidenskaben, blot med undtagelse af de lidet overraskende, der foregribes i alle henseender på nær detaljerne. Opdagelser er imidlertid ikke de eneste kilder til disse destruktive-konstruktive paradigme-forandringer. I dette kapitel vil vi begynde at undersøge de lignende, men i almindelighed langt større forandringer, der er resultatet af nye teorier.

Da jeg allerede har fremhævet, at i videnskaberne er kendsgerning og teori, opdagelse og opfindelse ikke kategorisk og evigt adskilt, kan vi forvente overlappning mellem dette og foregående kapitel. (Det umulige forslag, at først opdagede Priestley oxygen, og derefter opfandt Lavoisier det, har sin tiltrækning. Oxygen har vi allerede mødt som opdagelse; vi skal straks træffe det igen som opfindelse). Når vi behandler fremkomsten af nye teorier, vil vi uundgåeligt også forøge vor forståelse af opdagelse. Men immervæk er overlappning ikke identitet. De arter af opdagelser, vi så på i sidste kapitel, var ikke, i det mindste ikke alene, ansvarlige for sådanne paradigme-skift som den kopernikanske, den newtonske, den kemiske og den einsteinske revolution. De var heller ikke ansvarlige for de mindre, dvs. mere snævert faglige, ændringer af paradigme, som fremkaldtes af bølge-teorien om lyset, den dynamiske varmeteorier eller Maxwells elektromagnetiske teori. Hvorledes kan teorier som disse opstå af normalvidenskaben, som i endnu ringere grad er en stræben efter dem end efter opdagelser?

Når erkendelsen af uregelmæssigheder spiller en rolle for fremvæk-

sten af nye former for erfaring, skulle det ikke overraske nogen, at en lignende, men dybere erkendelse er en forudsætning for alle acceptable teoriændringer. På dette punkt tror jeg, at de historiske vidnesbyrd er ganske utyetydige. Den ptolemæiske astronomis tilstand før Kopernikus' budskab var en skandale.⁵⁹ Galileis bidrag til studiet af bevægelse var i høj grad afhængig af vanskeligheder, som skolastiske kritikere havde opdaget i Aristoteles' teori.⁶⁰ Newtons nye teori om lys og farve havde sin rod i den opdagelse, at ingen af de eksisterende førparadigmatiske teorier kunne forklare spektrets længde; og den bølgeteori, som erstattede Newtons teori, blev fremført midt i voksende betænkeligheder ved uregelmæssigheder i forholdet mellem diffraktions- og polarisations-effekter og Newtons teori.⁶¹ Termodynamikken fødtes ved sammenstødet mellem to eksisterende fysiske teorier fra det nittende århundrede, og kvantemeknikken dukkede op af en mangfoldighed af vanskeligheder, som omgav sort-legeme-udstråling, specifik varme og den fotoelektriske effekt.⁶² Endvidere havde kendskabet til uregelmæssigheder i alle disse tilfælde undtagen Newtons været så længe og var trængt så dybt ind, at man med rimelighed kan beskrive de berørte områder som værende i en tilstand af voksende krise. Da det kræver storstilet ødelæggelse af paradigmer og store forandringer af normalvidenskabens problemer og metoder, går der normalt en periode med udtalt faglig usikkerhed forud for nye teories fremvækst. Som man kunne forvente, skabes denne usikkerhed, når normalvidenskabens gåder bliver ved med ikke at gå op. Eksisterende reglers fiasko er optakten til en søgen efter nye.

Lad os først se på et særlig berømt tilfælde af paradigme-forandring, fremkomsten af den kopernikanske astronomi. Da dens forgænger, det ptolemæiske system, oprindeligt blev udviklet i de to sidste århundreder før Kristus og det første efter, havde det et beundringsværdigt held med at forudsige både stjerners og planeters skiftende stillinger. Intet andet oldtidssystem havde fungeret så godt; for stjernernes vedkommende bruges den ptolemæiske astronomi i vidt omfang endnu i dag som en praktisk tilnærmelse; angående planeterne var Ptolemæus' forudsigelser lige så gode som Kopernikus'. Men at have ypperligt held er for en videnskabelig teori aldrig det samme som at have fuldstændigt held. Både med hensyn til planeternes stilling og nøjagtigheden af jævndøgnspunkterne var det ptolemæiske systems forudsigelser aldrig helt i overensstemmelse med de bedste, foreliggende iagttagelser. For mange af Ptolemæus' efterfølgere var hovedproblemerne i normal astronomisk forskning at reducere disse mindre uoverensstemmelser

yderligere, ligesom et lignende forsøg på at skabe overensstemmelse mellem himmeliagttagelser og Newtons teori skabte normale forskningsproblemer for dennes efterfølgere i det attende århundrede. I et stykke tid havde astronomer al mulig grund til at tro, at disse bestræbelser ville være lige så vellykkede som dem, der førte til Ptolemæus' system. Stillet over for en bestemt uoverensstemmelse var astronomer uden undtagelse i stand til at fjerne den ved at foretage en eller anden korrektions af Ptolemæus' system af sammensatte cirkler. Men som tiden gik, kunne den, der så på nettoresultatet af mange astronomers normale forskningsindsats, iagttagelse, at astronomiens indviklethed forøgedes langt hurtigere end dens nøjagtighed, og at en uoverensstemmelse, som blev rettet et sted, var tilbøjelig til at dukke op et andet.⁶³

Disse vanskeligheder blev kun langsomt erkendt, fordi den astronomiske tradition gentagne gange blev afbrudt udefra, og fordi kommunikationen mellem astronomer var begrænset, så længe man ikke havde bogtrykkerkunsten. Men erkendelsen kom. I det trettende århundrede kunne Alfonso X kundgøre, at hvis Gud havde rådspurgt ham, da han skabte universet, ville han have fået gode råd. I det sekstende århundrede hævdede Kopernikus' medarbejder Domenico da Novara, at et system, der var så klodset og unøjagtigt, som det ptolemæiske efterhånden var blevet, umuligt kunne være sandheden om naturen. Og Kopernikus selv skrev i Forordet til *De Revolutionibus*, at den astronomiske tradition, han fik i arv, i den sidste ende kun havde skabt et misfoster. Ved begyndelsen af det sekstende århundrede erkendte et stigende antal af Europas bedste astronomer, at det astronomiske paradigme slog fejl, når det anvendtes på sine egne traditionelle problemer. Denne erkendelse var en forudsætning for Kopernikus' forkastelse af det ptolemæiske paradigme og hans søgen efter et nyt. Hans berømte forord er stadig en af de klassiske beskrivelser af en krise-tilstand.⁶⁴

Sammenbruddet af den normale teknik til at løse gåder er naturligvis ikke den eneste bestanddel af den astronomiske krise, Kopernikus stod over for. En bredere behandling måtte også diskutere det sociale pres for en kalenderreform, et pres der gjorde nøjagtighedsproblemet særligt påtrængende. Dertil måtte en fyldigere redegørelse undersøge middelalderlig kritik af Aristoteles, fremkomsten af renaissance-platonismen og andre vigtige historiske elementer iøvrigt. Men teknisk sammenbrud ville stadig være krisens kerne. I en moden viden- skab – og det var astronomien blevet i oldtiden – er ydre faktorer som de nævnte hovedsagelig af betydning for sammenbruddets tidsfastsæt-

telse, for hvor let det kan erkendes, og for det område, hvor sammenbruddet først forekommer, fordi der lægges særligt mærke til det. Skønt de er umådelig vigtige, ligger sådanne emner uden for rammerne af dette essay.

Hvis disse ting står klart for den kopernikanske revolutions vedkommende, lad os da vende os til et helt andet eksempel, nemlig den krise der gik forud for fremkomsten af Lavoisiers oxygen-teori om forbrænding. I 1770'erne forenedes talrige faktorer og skabte en krise i kemien, og historikere er ikke ganske enige om hverken deres karakter eller deres indbyrdes betydning. Men to af dem er almindelig anerkendt som værende af største vigtighed: den pneumatiske kemis opkomst og spørgsmålet om vægtforhold. Historien om det første begynder i det syttende århundrede med udviklingen af luftpumpen og dens udnyttelse til kemiske forsøg. I løbet af det følgende århundrede, hvor kemikerne brugte denne pumpe og en række andre pneumatiske indretninger, blev de mere og mere klar over, at luft må være en aktiv ingrediens i kemiske reaktioner. Men med nogle få undtagelser – som er så tvetydige, at de måske slet ikke er undtagelser – fortsatte kemikere at tro, at luft var den eneste luftart. Indtil 1756, da Joseph Black viste, at kulfveilt (CO₂) konsekvent kunne skelnes fra normal luft, mente man, at to luftprøver alene var forskellige ved deres urenheder.⁶⁴

Efter Blacks arbejde skred undersøgelsen af luftarter hurtigt frem, mest betydningsfuldt i hænderne på Cavendish, Priestley og Scheele, som tilsammen udviklede en række nye metoder, som var i stand til at skelne én luftprøve fra en anden. Alle disse mænd, fra Black til Scheele, troede på flogiston-teorien og anvendte den ofte i deres konstruktion og fortolkning af forsøg. Faktisk frembragte Scheele først oxygen ved en omfattende række af forsøg, som var beregnet til at afflogistere varme. Men slutresultatet af deres forsøg var en så kompliceret mangfoldighed af luftarter og luftegenskaber, at flogiston-teorien mere og mere viste sig ude af stand til at klare laboratorieerfaringerne. Selv om ingen af disse kemikere foreslog, at teorien skulle udskiftes, var de ude af stand til at bruge den modsigelsesfrit. Da Lavoisier begyndte sine forsøg med luftarter i begyndelsen af 1770'erne var der næsten lige så mange udgaver af flogiston-teorien, som der var pneumatiske kemikere.⁶⁵ Denne hastige forøgelse af en teoris versioner er et meget almindeligt symptom på en krise. Kopernikus klagede også over det i sit forord.

Flogiston-teoriens tiltagende vaghed og aftagende nytte for den

pneumatiske kemi var imidlertid ikke den eneste kilde til den krise, Lavoisier stod over for. Han var også meget optaget af at forklare den vægtforøgelse, de fleste legemer er ude for, når de brændes eller ristes, og også det er et problem med en lang forhistorie. I det mindste nogle få islamiske kemikere havde vidst, at visse metaller får større vægt, når de opvarmes. Af denne kendsgerning havde mange forskere i det syttende århundrede draget den slutning, at et opvarmet metal optager en eller anden bestanddel fra atmosfæren. Men i det syttende århundrede havde denne slutning forekommet de fleste kemikere unødvendig. Hvis kemiske reaktioner kunne ændre bestanddelenes rumfang, farve og sammensætning, hvorfor skulle de så ikke også forandre vægten? Vægt blev ikke altid opfattet som et mål for stoffets mængde. Desuden var vægtforøgelse på grund af opvarmning stadig et isoleret fænomen. De fleste naturlige legemer (f. eks. træ) taber i vægt ved at opvarmes, således som flogiston-teorien senere sagde, at de skulle.

I løbet af det attende århundrede blev det imidlertid mere og mere vanskeligt at opretholde disse oprindeligt dækkende svar på problemet med vægtforøgelse. Kemikere opdagede flere og flere tilfælde, hvor vægtforøgelse ledsagede opvarmning, dels fordi vægten mere og mere blev brugt som et standard redskab i kemien, og dels fordi den pneumatiske kemis udvikling gjorde det muligt og ønskeligt at bevare luftprodukterne fra reaktioner. Samtidig førte den gradvise optagelse af Newtons tyngdeteori kemikere til at hævde, at vægtforøgelse må være ensbetydende med forøgelse af stofmængde. Disse konklusioner førte ikke til en forkastelse af flogiston-teorien, for denne teori kunne korrigeres på mange måder. Måske havde flogistonet negativ vægt, eller måske trængte ildpartikler eller noget andet ind i det opvarmede stof, idet flogistonet forlod det; og der var også andre forklaringer. Men førte problemet med vægtforøgelse ikke til en forkastelse, så førte det i det mindste til et stigende antal special-studier, hvor dette problem var fremtrædende. Et af dem var »Om flogiston betragtet som en substans med vægt og analyseret ud fra de vægtforandringer, det frembringer hos legemer, det forenes med«, og det blev holdt som foredrag for det Franske Akademi i begyndelsen af 1772, det år der sluttede med Lavoisiers aflevering af sin berømte, forseglede notits til Akademiets sekretær. Før denne notits blev skrevet, var et problem, som i mange år havde befundet sig i udkanten af kemikerens bevidsthed, blevet til en fremtrædende, uløst gåde.⁶⁶ Der blev udarbejdet mange forskellige versioner af flogiston-teorien for at imødegå den. Problemerne med vægtforøgelse gjorde det ligesom problemerne med den

pneumatiske kemi vanskeligere og vanskeligere at vide, hvad flogiston-teorien gik ud på. Skønt man stadig troede på den og havde tillid til den som et redskab, var et paradigme for det attende århundredes kemi gradvist ved at miste sin unikke status. Den forskning, den ledede, lignede stadig mere den, der blev udført af de konkurrerende skoler i den førparadigmatiske periode, – en anden typisk krisereaktion.

L
R
E
L
A
T
I
V
I
T
E

Lad os nu som det tredje og sidste eksempel se på den krise i fysikken i slutningen af det nittende århundrede, som beredte vejen for relativitetsteoriens fremkomst. En af denne krises rødder kan spores tilbage til slutningen af det syttende århundrede, da en række naturfilosoffer, først og fremmest Leibniz, kritiserede, at Newton bibeholdt en ajourført udgave af det klassiske begreb om absolut rum.⁶⁷ Uden nogensinde helt at nå det var de meget nær ved at påvise, at absolutte steder og absolutte bevægelser overhovedet ikke havde nogen funktion i Newtons system; og de havde faktisk held til at antyde den betydelige æstetiske tiltrækning, som en fuldstændig relativistisk opfattelse af rum og bevægelse senere skulle lægge for dagen. Men deres kritik var rent logisk. Ligesom den tidlige Kopernikus, der kritiserede Aristoteles' beviser for jordens stabilitet, drømte de ikke om, at overgang til et relativistisk system kunne have iagttagelsesmæssige følger. På intet tidspunkt stillede de deres synspunkter i forhold til nogen af de problemer, der opstod, når man anvendte Newtons teori på naturen. Som følge heraf døde synspunkterne med dem i løbet af de første årtier af det attende århundrede for ikke at blive genoplivet før i de sidste årtier af det nittende århundrede, da de havde et helt andet forhold til fysikkens arbejde.

De tekniske problemer, som en relativistisk rum-filosofi i den sidste ende skulle bringes i forbindelse med, begyndte at trænge ind i normalvidenskaben med antagelsen af bølge-teorien for lys efter ca. 1815, selv om de ikke fremkaldte nogen krise før 1890'erne. Hvis lys er bølgebevægelse forplantet gennem en mekanisk æter, som er underkastet Newtons love, så skulle både iagttagelser af himlen og forsøg på jorden være i stand til at afsløre strøm i æteren. Blandt iagttagelserne af himlen var der kun udsigt til en så tilstrækkelig nøjagtighed, at det gav relevante oplysninger hos iagttagelserne af planetafvigelse, og derfor blev det et anerkendt problem for normal forskning at påvise æterstrøm ved at måle planet-afvigelse. Der blev bygget meget specialudstyr for at løse det; men dette udstyr opdagede ikke nogen iagttagelig strøm, og problemet blev derfor overført fra eksperimentatorerne og iagttagerne til teoretikerne. I årtierne omkring århundredets midte ud-

tænkte Fresnel, Stokes m. fl. talrige udarbejdelser af æter-teorien, som skulle forklare, hvorfor man ikke fandt strøm. Alle disse udarbejdelser antog, at et legeme i bevægelse »medfører« en vis del af æteren. Og de var alle tilstrækkelig vellykkede til at forklare det negative resultat ikke alene af iagttagelser af himlen, men også af forsøg på jorden, derunder Michelsons og Morleys berømte forsøg.⁶⁸ Der var stadig ingen konflikt med undtagelse af den mellem de forskellige udformninger. Da der manglede relevante forsøgsmetoder, blev denne konflikt aldrig akut.

Situationen forandredes først igen med den gradvise accept af Maxwells elektromagnetiske teori i de to sidste årtier af det nittende århundrede. Maxwell selv var newtonianer og troede, at lys og elektromagnetisme i almindelighed skyldtes vekslende forskydninger af partiklerne i en mekanisk æter. Hans tidligste udformninger af en teori om elektricitet og magnetisme gjorde direkte brug af tænkte egenskaber, som han tillagde dette medium. Disse blev udeladt i hans endelige version, men han troede stadig, at hans elektromagnetiske teori var forenelig med en eller anden udarbejdelse af Newtons mekaniske opfattelse.⁶⁹ Det var for ham og hans efterfølgere en udfordring at opstille en egnet udarbejdelse. Men som det er sket igen og igen i videnskabens udvikling, viste den nødvendige udarbejdelse sig i praksis at være uhyre vanskelig at opstille. Ligesom Kopernikus' astronomiske forslag – på trods af ophavsmandens optimisme – skabte en voksende krise for de eksisterende bevægelsesteorier, således fremkaldte Maxwells teori – på trods af dens newtonske oprindelse – i den sidste ende en krise for det paradigme, den var udsprunget af.⁷⁰ Endvidere udgjordes det stærkeste brændpunkt for denne krise af de problemer, vi netop har betragtet, problemerne om bevægelse med hensyn til æteren.

Maxwells diskussion af den elektromagnetiske adfærd hos legemer i bevægelse havde ikke regnet med nogen »medføring« af æteren, og det viste sig meget vanskeligt at indføre en sådan »medføring« i hans teori. Som følge heraf blev en hel række tidligere iagttagelser, som var beregnet på at afsløre strøm i æteren, unormale. Årene efter 1890 oplevede derfor en lang række eksperimentelle såvel som teoretiske forsøg på at opdage bevægelse med hensyn til æteren og på at indarbejde ætermodstand i Maxwells teori. Det første slog uden undtagelse fejl, om end nogle kemikere mente, at deres resultater var tvetydige. Det andet gav en række lovende begyndelser, især hos Lorentz og Fitzgerald, men de afslørede også helt andre gåder og resulterede i netop

den mangfoldighed af konkurrerende teorier, som vi tidligere har konstateret som et ledsagefænomen ved kriser.⁷¹ Det er på denne historiske baggrund, Einsteins specielle relativitetsteori fremkom i 1905.

Disse tre eksempler er næsten helt typiske. I hvert tilfælde fremkom der først en ny teori efter en udtalt fiasko for det normale problemløsningsarbejde. Og med undtagelse af Kopernikus' tilfælde, hvor faktorer uden for videnskaben spillede en særlig stor rolle, indtraf dette sammenbrud og den hastige formering af teorier, som er et tegn på det, ikke mere end et tiår eller to før den nye teoris formulering. Den nye teori synes at være et direkte svar på krisen. Bemærk også, selv om dette måske ikke er helt så typisk, at de problemer, der blev berørt af sammenbruddet, alle var af en type, der havde været erkendt længe. Tidligere normalvidenskabelig praksis havde givet al mulig grund til at betragte dem som løste eller så godt som løste, hvilket hjælper til at forklare, hvorfor følelsen af fiasko kunne være så stærk, da den indtrådte. Manglende held med en ny slags problemer er ofte skuffende, men aldrig overraskende. Hverken problemer eller gåder giver sig almindeligvis i første forsøg. Endelig har disse eksempler en anden egenskab fælles, som måske kan bidrage til at styrke argumentationen for krisernes funktion: løsningen på dem alle var i det mindste blevet delvis foregribet i en periode, da der ikke var nogen krise i den pågældende videnskab; og da der ikke var nogen krise, var disse foregribelser blevet ignoreret.

Den eneste fuldstændige foregribelse er også den berømteste, nemlig Aristarkos' foregribelse af Kopernikus i det tredje århundrede f. Kr. Man siger ofte, at hvis græsk videnskab havde været mindre deduktiv og mindre plaget af dogmer, havde den heliocentriske astronomi måske begyndt sin udvikling atten hundrede år tidligere, end den gjorde.⁷² Men det er at se bort fra enhver historisk sammenhæng. Da Aristarkos' forslag blev fremsat, havde det langt mere fornuftige geocentriske system ikke nogen mangler, som man blot kunne have forestillet sig et helioeentrisk system udfylde. Hele udviklingen af den ptolemæiske astronomi, både dens triumfer og dens sammenbrud, falder i århundrederne efter Aristarkos' forslag. Desuden er der ikke nogen åbenbare grunde til at tage Aristarkos alvorligt. Selv Kopernikus' mere udarbejdede forslag var hverken enklere eller mere nøjagtigt end Ptolemæus' system. Forhåndenværende erfaringsmæssige afprøvninger gav, som vi vil få at se tydeligere nedenfor, ikke noget grundlag for et valg mellem dem. Under disse omstændigheder var en af de ting, der førte astronomer over til Kopernikus, (og som ikke kunne have ført dem

over til Aristarkos) den erkendte krise, som oprindeligt havde været ansvarlig for nyskabelsen. Den ptolemæiske astronomi havde ikke kunnet løse sine problemer; tiden var kommet til at give en konkurrent chancen. Vore to andre eksempler byder ikke på lignende fuldstændige foregribelser. Men en af grundene til, at teorierne om forbrænding ved absorption fra atmosfæren – teorier, som var blevet udviklet i det syttende århundrede af Rey, Hooke og Mayow – ikke havde held til at blive hørt, var, at de ikke havde nogen berøring med et erkendt område af vanskeligheder i normalvidenskabelig praksis.⁷³ Og det må først og fremmest have skyldtes en lignende mangel på konfrontation, at det attende og nittende århundredes forskere længe negligerede Newtons relativistiske kritikere.

Videnskabsfilosoffer har gentagne gange vist, at der altid kan bygges mere end én teori-konstruktion på en given samling data. Videnskabshistorien tyder på, at det særlig på de tidlige udviklingsstrin af et nyt paradigme ikke engang er særlig vanskeligt at opfinde sådanne alternativer. Men det er netop denne opfindelse af alternativer, videnskabsmænd sjældent giver sig i kast med undtagen på det førparadigmatiske trin af deres videnskabs udvikling og ved ganske særlige lejligheder i dens senere udvikling. Så længe de redskaber, et paradigme leverer, fortsat er i stand til at løse de problemer, det fastlægger, bevæger videnskaben sig hurtigst og trænger dybest ned ved tillidsfuldt at anvende disse redskaber. Grunden er klar. Lige som i industrien således også i videnskaben – produktionsomstilling er en ekstravagance, som må vente til den bliver nødvendig. Krisernes betydning ligger i den påvisning, de giver af, at en omstilling er blevet nødvendig.

"kamp"

VIII. Reaktionen på kriser

Lad os da antage, at kriser er en nødvendig betingelse for fremkomsten af nye teorier og derefter spørge, hvorledes videnskabsmænd reagerer på deres eksistens. Man kan få en del af svaret, som er lige så åbenbar som vigtig, ved først at lægge mærke til, hvad forskere aldrig gør, når de står over for alvorlige og langvarige uregelmæssigheder. Selv om de måske begynder at tabe troen på og derefter at overveje alternativer til det paradigme, der har ført dem ud i krisen, forkaster de det ikke. De behandler med andre ord ikke uregelmæssigheder som modeksempler, skønt det efter videnskabsfilosofiens ordbog er, hvad de er. Delvis er denne generalisation kun en påstand, som udspringer af historiske kendsgerninger som for eksempel dem, der er nævnt ovenfor og de mere omfattende nedenfor. Disse antyder det, som vor undersøgelse af paradigme-forkastelse senere vil afsløre mere fuldstændigt; når en videnskabelig teori én gang har opnået paradigme-status, bliver den kun erklæret ugyldig, hvis der findes en alternativ kandidat, som kan overtage dens plads. De historiske studier har endnu ikke afsløret nogen videnskabelig udviklingsproces, som overhovedet ligner metodelærens stereotypi: falsifikation ved direkte sammenligning med naturen. Dette betyder ikke, at videnskabsmænd ikke forkaster videnskabelige teorier, eller at erfaring og forsøg ikke er af afgørende betydning, når de gør det. Men det betyder noget, som i den sidste ende vil være centralt, nemlig at den bedømmelse, der fører videnskabsmænd til at forkaste en tidligere accepteret teori, altid hviler på mere end en sammenligning af denne teori med verden. Beslutningen om at forkaste et paradigme er altid samtidig beslutningen om at acceptere et andet, og den bedømmelse, der fører til denne beslutning, inddrager sammenligninger både af paradigmer med naturen og af paradigmer indbyrdes.

Der er yderligere en anden grund til at betvivle, at videnskabsmænd forkaster paradigmer, fordi de stilles over for uregelmæssigheder eller modeksempler. Ved at fremføre den vil min argumentation i sig selv foregribe en anden af dette essays hovedteser. De grunde til tvivl, der blev skitseret ovenfor, var rent faktiske; de var med andre ord selv

modeksempler mod en fremherskende erkendelsesteori. Som sådanne kan de, hvis nærværende pointe er rigtig, højst hjælpe til at skabe en krise, eller mere nøjagtigt, at forstærke en, der allerede er godt på vej. I sig selv kan og vil de ikke falsificere denne filosofiske teori, thi dens fortalere vil gøre det samme, som vi allerede har set videnskabsmænd gøre, når de stod over for uregelmæssigheder. De vil foretage talrige udarbejdelser og lejlighedsbestemte ændringer af deres teori for at fjerne enhver synlig konflikt. Mange af de relevante ændringer og forbehold findes faktisk allerede i litteraturen. Hvis disse erkendelsesteoretiske modeksempler derfor bliver mere end et ringe irritament, vil det være, fordi de er med til at lade en ny og anderledes analyse af videnskaben komme frem, inden for hvilken de ikke længere er en kilde til besvær. Og hvis et typisk mønster, som vi senere vil opdage i videnskabelige revolutioner, er anvendeligt her, så synes disse uregelmæssigheder ikke længere at være blotte kendsgerninger. Inden for en ny teori om videnskabelig erkendelse kan de derimod i høj grad ligne tautologier, beskrivelser af situationer, som man ikke kunne tænke sig anderledes.

For eksempel er det ofte blevet bemærket, at selv om det tog århundreder med vanskeligt erfaringsmæssigt og teoretisk arbejde at nå til Newtons anden bevægelseslov, tager den sig for dem, der hylder Newtons teori, ud nogenlunde som et rent logisk udsagn, som nok så mange iagttagelser ikke kunne tilbagevise.⁷⁴ I kapitel X vil vi få at se, at den kemiske lov om faste blandingsforhold, som før Dalton var et tilfældigt eksperimentelt fund af meget tvivlsom almen gyldighed, efter Daltons indsats kom til at indgå i en definition af kemisk forbindelse, som intet eksperimentelt arbejde i sig selv kunne have opstillet. Noget ganske lignende vil også ske med den generalisation, at videnskabsmænd ikke forkaster paradigmer, når de står over for uregelmæssigheder eller modeksempler. Det kunne de ikke gøre og samtidig forblive videnskabsmænd.

Selv om det er usandsynligt, at historien skulle bevare deres navne, er visse mennesker uden tvivl blevet drevet til at forlade videnskaben, fordi de ikke kunne tolerere kriser. Skabende videnskabsmænd må til tider lige som kunstnere leve i en kaotisk verden – andetsteds har jeg beskrevet denne nødvendighed som »den fundamentale spænding«, der ligger i videnskabelig forskning.⁷⁵ Men denne forkastelse af videnskaben til fordel for en anden beskæftigelse er efter min mening den eneste form for paradigme-forkastelse, modeksempler i sig selv kan føre til. Så snart man har fundet et første paradigme til at betragte

naturen igennem, findes der ikke mere sådan noget som forskning uden paradigme. At forkaste et paradigme uden samtidig at sætte et andet i stedet er at forkaste videnskaben selv. En sådan handling koster ikke tvivl over paradigmet, men over manden. Hans kolleger vil uundgåeligt betragte ham som »tømreren der dadler sit værktøj«.

Man kan fremføre den samme pointe mindst lige så effektivt på omvendt måde: der findes ikke forskning uden modeksempler. Thi hvad er det, der skiller normalvidenskab fra videnskab i en krisetilstand? Bestemt ikke at den første ikke støder på modeksempler. Tværtimod eksisterer det, vi tidligere kaldte gåderne, der udgør normalvidenskaben, fordi et paradigme, der danner grundlag for videnskabelig forskning, aldrig fuldstændigt løser alle sine problemer. De meget få, der synes at have gjort det (f. eks. geometrisk optik), er kort efter holdt op med at give forskningsproblemer overhovedet og er istedet blevet tekniske hjælpemidler. Med undtagelse af de rent instrumentelle problemer kan ethvert problem, som normalvidenskaben betragter som en gåde, fra en anden synsvinkel ses som et modeksempl og således som en kilde til krise. Det, som Ptolemæus' øvrige efterfølgere havde betragtet som gåder for overensstemmelsen mellem iagttagelse og teori, betragtede Kopernikus som modeksempler. Det, Priestley havde opfattet som en heldigt løst gåde ved udarbejdelsen af flogiston-teorien, opfattede Lavoisier som et modeksempl. Og det, Lorentz, Fitzgerald og andre havde anset for gåder ved udarbejdelsen af Newtons og Maxwells teorier, anså Einstein for modeksempler. Desuden forandrer ikke engang eksistensen af en krise i sig selv en gåde til et modeksempl. Der findes ikke en sådan skarp skillelinje. Men når krisen spreder opfattelserne af paradigmet, slækkes reglerne for normal gådeløsning på en måde, der til sidst tillader et nyt paradigme at fremkomme. Jeg tror kun, der er to alternativer: enten møder ingen videnskabelig teori nogen sinde modeksempler, eller også møder alle sådanne teorier modeksempler til alle tider.

Hvorledes kan man have opfattet situationen anderledes? Det spørgsmål fører uvægerligt til historisk og kritisk belysning af filosofien, og disse emner er udelukket her. Men vi kan i det mindste bemærke to grunde til, at videnskaben har forekommet at være så god en illustration af den almene påstand, at sandhed og falskhed alene og utvetydigt bestemmes ved sammenligningen mellem sætninger og kendsgerninger. Normalvidenskaben stræber og må konstant stræbe efter at bringe teori og kendsgerninger i nærmere overensstemmelse, og denne virksomhed kan let opfattes som afprøvning eller som en søgen efter be-

kræftelse eller afkræftelse. Men dens formål er at løse en gåde, som overhovedet kun kan eksistere, hvis paradigmets gyldighed antages. Manglende held til at nå en løsning diskrediterer kun forskeren og ikke teorien. Her passer ordspøget endnu bedre end ovenfor: »Det er en slet tømrer, der dadler sit værktøj«. Dertil kommer at den måde, hvorpå videnskabspædagogikken sammenvikler diskussion af en teori med bemærkninger om dens mønstergyldige anvendelser, har bidraget til at forstærke en bekræftelsesteori, som hovedsagelig stammer fra andre kilder. Hvis man giver blot den ringeste grund til det, kan den, der læser en videnskabelig lærebog, let tro, at anvendelserne af teorien er beviser for den, dvs. grundene til, at man bør tro på den. Men studenter accepterer teorier på lærerens og bogens autoritet, ikke på grund af beviser. Hvilke alternativer har de, eller hvilken kompetence? Lærebogens eksempler på anvendelser står der ikke som beviser, men fordi indlæringen af dem er et led i indlæringen af det paradigme, som ligger til grund for almindelig praksis. Lærebogsforfatterne ville være skyldige i vidtgående ensidighed, hvis anvendelser blev fremført som beviser, alene fordi bøgerne ikke foreslår alternative fortolkninger eller diskuterer problemer, som videnskabsmænd ikke har kunnet give paradigmatisk løsning. Men der er ikke den ringeste grund til en sådan beskyldning.

For nu at vende tilbage til det oprindelige spørgsmål, hvorledes reagerer videnskabsmænd da på bevidstheden om uregelmæssighed i forholdet mellem teori og natur? Det, vi netop har sagt, antyder, at selv en uoverensstemmelse, som er uforklarligt større end den, man oplever ved andre anvendelser af teorien, ikke behøver at fremkalde nogen særlig dybtgående reaktion. Der er altid visse uoverensstemmelser. I almindelighed giver selv de genstridigste sig til sidst for normal praksis. Forskere er meget ofte indstillet på at vente, især hvis der er mange tilgængelige problemer i andre dele af faget. Vi har allerede bemærket, at i de tres år efter Newtons oprindelige beregning var den forudsagte bevægelse af månens perigæum kun halvdelen af det iagttagne. Da Europas bedste matematiske fysikere fortsat uden held kæmpede med den velkendte uoverensstemmelse, var der lejlighedsvis forslag om en ændring af Newtons lov om det omvendte kvadrat. Men ingen tog disse forslag særlig alvorligt, og i praksis viste denne tålmodighed med en større uoverensstemmelse sig at være fornuftig. I 1750 var Clairaut i stand til at vise, at kun matematikken ved anvendelsen havde været forkert, og at Newtons teori kunne blive stående som hidtil.⁷⁶ Selv i tilfælde, hvor simple misforståelser ikke rigtig synes mulige, (måske

subjekt - teori o brykt

fordi den indblandede matematik er enklere eller af en kendt og andetsteds heldig art), fremkalder vedvarende og erkendte uregelmæssigheder ikke altid kriser. Ingen betvivlede for alvor Newtons teori på grund af de længe kendte uoverensstemmelser mellem forudsigelser fra denne teori og såvel lydets hastighed som Merkurs bevægelse. Den første uoverensstemmelse blev tilsidst ganske uventet opløst ved forsøg med varme, som blev foretaget med et helt andet formål; den anden forsvandt, da den generelle relativitetsteori fremkom efter en krise, som den ikke havde været med til at skabe.⁷⁷ Tilsyneladende var ingen af dem forekommet tilstrækkelig fundamentale til at fremkalde det ubehag, som følger med kriser. De kunne erkendes som modeksempler og alligevel lægges til side til senere bearbejdelse.

Det følger, at hvis en uregelmæssighed skal fremkalde krise, må den almindeligvis være mere end en blot uregelmæssighed. Der er altid vanskeligheder et eller andet sted i forholdet mellem paradigme og natur; de fleste af dem klares før eller senere, ofte ad veje som ikke kunne være forudset. Den forsker, der standser op for at undersøge enhver uregelmæssighed, han bemærker, vil sjældent få udført noget betydningsfuldt arbejde. Vi må derfor spørge, hvad det er, der får en uregelmæssighed til at synes en samlet undersøgelse værd, og på det spørgsmål er der sandsynligvis ikke noget helt almengyldigt svar. De tilfælde, vi allerede har undersøgt, er nok karakteristiske, men næppe regeldannende. Sommetider vil en uregelmæssighed stille et klart spørgsmålstegn ved eksplicitte og grundlæggende generalisationer af paradigmet, således som problemet med æter-modstand gjorde for dem, der anerkendte Maxwells teori. Eller en uregelmæssighed uden åbenlyst afgørende betydning kan, således som det skete i den kopernikanske revolution, fremkalde krise, hvis de anvendelser, den hindrer, har en speciel praktisk betydning, i dette tilfælde for kalenderberegning og astrologi. Eller som det var tilfældet i det nittende århundredes kemi, kan normalvidenskabens udvikling forandre en uregelmæssighed, som tidligere kun havde været en irritation, til en kilde til kriser; problemet med vægtforhold havde en helt anden stilling efter udviklingen af pneumatisk-kemiske metoder. Formentlig er der endnu flere omstændigheder, der kan gøre en uregelmæssighed særligt påtrængende, og almindeligvis vil mange af disse gå sammen. Vi har allerede bemærket, at en af kilderne til den krise, Kopernikus stod over for, var selve den lange tid, astronomer uden held havde kæmpet med at nedskære de resterende uoverensstemmelser i Ptolemæus' system.

Når en uregelmæssighed af disse og lignende grunde først forekom-

mer at være mere end blot endnu en normalvidenskabelig gåde, er overgangen til krise og unormal videnskab begyndt. Uregelmæssigheden selv bliver nu mere alment anerkendt som sådan i faget. Flere og flere af fagets mest fremtrædende mænd viser den mere og mere opmærksomhed. Hvis den stadig fortsætter med at yde modstand, hvad den normalt ikke gør, vil mange af dem måske betragte dens løsning som opgaven for deres disciplin. For dem vil faget ikke længere helt se ud som før. Dets ændrede udseende er til dels et simpelt udslag af det nye fikseringspunkt for videnskabelig forsken. En endnu vigtigere kilde til forandring er den divergerende karakter hos de talrige delvise løsninger, som den fælles opmærksomhed om problemet har muligjort. De tidlige angreb på det modstandsdygtige problem vil have fulgt paradigme-reglerne ganske nøje. Men med fortsat modstand vil flere og flere af angrebene på det have inddraget visse små eller knap så små udarbejdelser af paradigmet, og ingen af dem er helt ens, hver enkelt er delvis vellykket, men ingen tilstrækkelig til at blive accepteret som paradigme af gruppen. Ved denne mangfoldiggørelse af divergerende udarbejdelser, (som hyppigere og hyppigere må beskrives som lejlighedsbestemte korrektioner), bliver normalvidenskabens regler mere og mere udviskede. Selv om der stadig er et paradigme, viser få fagfolk sig at være helt enige om, hvad det går ud på. Selv løste problemers hidtidige standardløsninger betvivles.

Når denne situation bliver akut, erkendes den sommetider af de involverede forskere. Kopernikus klagede over, at astronomerne på hans tid var så »inkonsistente i disse [astronomiske] undersøgelser . . . , at de ikke en gang kan forklare eller iagttage det samlede års konstante længde.« »Hos dem,« fortsatte han, »står det til som hos den kunster, der skulle tage hænderne, fødderne, hovedet og andre dele til sit billede fra forskellige modeller; hver del var glimrende malet, men var uden forbindelse med et enkelt legeme, og eftersom de på ingen måde passer sammen, ville resultatet være et uhyre snarere end et menneske.«⁷⁸ Hæmmet af moderne sprogbrugs mindre blomstrende vendinger skrev Einstein blot, »Det var som om jorden var trukket væk under én, uden at man kunne se fast grund nogetsteds, hvor man kunne bygge.«⁷⁹ Og i månederne før Heisenbergs artikel om matrix-mekanik viste vejen til en ny kvanteteori, skrev Wolfgang Pauli til en ven, »For øjeblikket er fysikken igen skrækkelig forvirret. I hvert fald er den for vanskelig for mig, og jeg ønsker, at jeg havde været filmkomiker eller lignende og aldrig havde hørt om fysik.« Dette vidnesbyrd er særlig slående, hvis det sammenlignes med Paulis ord mindre end fem måneder se-

ner: »Heisenbergs form for mekanik har igen givet mig håb og glæde i livet. Vel giver den ikke gådens løsning, men jeg tror, at det igen er muligt at komme fremad.«⁶⁰

Den slags udtalte erkendelser af sammenbrud er overordentlig sjældne, men en krises virkninger afhænger ikke alene af dens bevidste erkendelse. Hvilke kan disse virkninger siges at være? Kun to af dem synes at være almene. Alle kriser begynder med, at et paradigme sløres, og at reglerne for normal forskning som følge heraf bliver løsere. I denne henseende ligner forskning under en krise i høj grad forskning i den førparadigmatiske periode, bortset fra at i første tilfælde er uenighedens område både mindre og klarere defineret. Og alle kriser slutter på én af tre måder. Sommetider viser normalvidenskaben sig til sidst i stand til at klare det krisefremkaldende problem på trods af fortvivlelsen hos dem, der har set det som et eksisterende paradigmes endeligt. Andre gange modstår problemet selv tilsyneladende radikalt nye tilnærmelser. Videnskabsmænd kan så konkludere, at der ikke vil fremkomme nogen løsning i deres fags nuværende tilstand. Problemet bliver rubriceret og lagt til side til en kommende generation med mere udviklede redskaber. Eller der er endelig det tilfælde, som vi her vil beskæftige os mest med, at en krise kan ende med fremkomsten af en ny kandidat til paradigme-posten og med den medfølgende kamp om dens antagelse. Denne sidste form for afslutning vil blive behandlet udførligt i senere kapitler, men vi må foregribe lidt af, hvad der vil blive sagt, for at afrunde disse bemærkninger om krisetilstandens udvikling og opbygning.

Overgangen fra et paradigme, som er i en krise, til et nyt paradigme, hvorfra en ny normalvidenskabelig tradition kan udspringe, er langt fra at være en kumulativ proces med udarbejdelse eller udvidelse af det gamle paradigme. Snarere er det en rekonstruktion af faget ud fra et nyt grundlag, en rekonstruktion som ændrer nogle af fagets mest elementære teoretiske generalisationer såvel som mange af dets paradigmatisk metode og anvendelser. I overgangsperioden vil der være en stor, men aldrig fuldstændig overlappning mellem de problemer, der løses af det gamle og af det nye paradigme. Men der vil også være en afgørende forskel i løsningsmåderne. Når overgangen er afsluttet, vil professionen have ændret sit syn på faget, dets metoder og dets mål. En klartskuen historiker, der undersøgte et klassisk tilfælde af en videnskabs nyorientering ved paradigmeændring, har fornylig beskrevet det som »at vende bøtten«, en proces der omfatter »at man behandler den samme mængde data som tidligere, men at man placerer dem i et

nyt system af indbyrdes forhold ved at give dem en anden ramme.«⁶¹ Andre, som har lagt mærke til denne side af videnskabens fremadskriden, har understreget ligheden med en forandring af synsgestalt: de tegn på papiret, der først blev set som en fugl, ses nu som en antilope, eller omvendt.⁶² Denne parallel kan være vildledende. Videnskabsmænd ser ikke noget som noget andet; de ser det blot. Vi har allerede undersøgt nogle af de problemer, der skabtes ved at sige, at Priestley så oxygen som afflogisteret luft. Dertil kommer, at videnskabsmanden ikke har gestalt-personens frihed til at skifte frem og tilbage mellem synsmåder. Men da gestaltskiftet er så kendt i dag, er det alligevel et nyttigt elementært mønster for det, der sker ved store paradigme-skift.

Denne foregribelse kan måske få os til at opfatte en krise som en passende optakt til fremkomsten af nye teorier, især eftersom vi allerede har undersøgt den samme proces i mindre udgave, da vi diskuterede fremkomsten af opdagelser. Netop fordi fremkomsten af en ny teori bryder med én tradition for videnskabeligt arbejde og indfører en ny, som udføres efter andre regler og i en anden sprog-verden, vil det sandsynligvis fremkomme, når man føler, at den første tradition virkelig er kommet på afveje. Denne bemærkning er imidlertid ikke andet end en optakt til undersøgelsen af krisetilstanden, og uheldigvis kræver de spørgsmål, den rejser, mere psykologens end historikerens kompetence. Hvad går unormal forskning ud på? Hvorledes gøres uregelmæssigheder lovmæssige? Hvorledes bærer forskere sig ad, når de kun er klar over, at et eller andet er fundamentalt forkert på et niveau, som deres uddannelse ikke har sat dem i stand til at behandle? Disse spørgsmål må undersøges langt nøjere, og det bør ikke alene ske historisk. Det følgende må nødvendigvis blive mere foreløbigt og mindre fuldstændigt end det foregående.

Et nyt paradigme fremkommer ofte – i det mindste som en spire – før en krise har udviklet sig ret langt eller er blevet direkte erkendt. Lavoisiers arbejde er et eksempel. Hans forseglede notits blev deponeret hos det Franske Akademi mindre end et år efter det første dybtgående studium af vægtforhold inden for flogiston-teorien, og før Priestleys skrifter havde afsløret det fulde omfang af den pneumatisk-kemis krise. Et andet eksempel er, at Thomas Youngs første redegørelse for bølgeteorien for lyset fremkom på et meget tidligt trin af en krise, som var under udvikling i optikken. Denne krise ville være næsten umærkelig, hvis den ikke i løbet af et tiår efter Youngs virke ville være vokset til en international videnskabelig skandale, selv om

Young ikke havde hjulpet til. Man kan sige, at i sådanne tilfælde var blot et mindre sammenbrud for paradigmet og den allerførste sløring af dets regler for normalvidenskab tilstrækkeligt til at tilskynde en eller anden til at se på faget på en ny måde. Det, der har ligget mellem den første fornemmelse af besværligheder og erkendelsen af et muligt alternativ, må i høj grad have været ubevidst.

Men i andre tilfælde – som f. eks. med Kopernikus, Einstein og moderne atomteori – går der en rum tid mellem den første bevidsthed om et sammenbrud og fremkomsten af et nyt paradigme. Når det sker, kan historikeren måske få lidt antydninger af, hvorledes unormal videnskab er. Når forskeren står over for en afgjort grundlæggende uregelmæssighed i en teori, vil hans første bestræbelse ofte være at afgrænse den mere nøjagtigt og at strukturere den. Selv om han nu er klar over, at de normalvidenskabelige regler ikke kan være helt rigtige, vil han presse dem hårdere end nogensinde for at se nøjagtigt, hvor og i hvor høj grad han inden for det vanskelige område kan få dem til at virke. Samtidig vil han søge efter metoder til at forstørre sammenbruddet til at gøre det mere slående og også mere tankevækkende, end det havde været, da det fremkom ved forsøg, hvis resultater regnedes for kendte på forhånd. Og i den sidste bestræbelse vil han mere end i nogen anden del af videnskabens efterparadigmatiske udvikling næsten være i overensstemmelse med vor mest almindelige opfattelse af en videnskabsmand. Han vil for det første ofte synes at være en mand, der laver tilfældige undersøgelser, der foretager forsøg blot for at se, hvad der sker, der leder efter en effekt, hvis karakter han ikke rigtig kan gætte sig til. Men eftersom intet forsøg kan udtænkes uden en eller anden teori, vil forskeren under en krise samtidig konstant prøve at skabe spekulative teorier, som, hvis de er vellykkede, kan afsløre vejen til et nyt paradigme, og som, hvis de ikke er vellykkede, kan forkastes forholdsvis let.

Keplers beskrivelse af sin lange kamp med Mars' bevægelse og Priestleys beskrivelse af sin reaktion på den hastige forøgelse af nye luftarter udgør klassiske eksempler på den mere tilfældige form for forskning, der fremkaldes af bevidstheden om uregelmæssigheder.⁶³ Men de bedste eksempler af alle kommer formentlig fra moderne udforskning af feltteori og fundamentale partikler. Ville den umådelige anstrengelse, der skulle til for at opdage neutrinoen, have forekommet rimelig, hvis der ikke havde været en krise, som gjorde det nødvendigt at undersøge nøjagtigt, hvor langt normalvidenskabens regler kunne strække sig? Eller ville den radikale hypotese om ikke-bevarelse af

paritet være blevet foreslået eller afprøvet, hvis reglerne ikke tydeligvis var brudt sammen på et eller andet skjult sted? Ligesom så megen anden forskning inden for fysikken i det sidste årti var disse eksperimenter delvis forsøg på at lokalisere og bestemme kilden til en stadigvæk spredt klasse af uregelmæssigheder.

Denne form for unormal forskning ledsages ofte, men slet ikke altid, af en anden. Jeg tror, at det særligt er i perioder, hvor en krise har været erkendt, at videnskabsmænd har vendt sig til filosofisk analyse som et middel til at løse deres fags gåder. Videnskabsmænd har i almindelighed ikke behøvet eller ønsket at være filosoffer. Ja, normalvidenskab holder almindeligvis filosofien på afstand – formentlig med god grund. I det omfang normal forskning kan udføres ved at bruge paradigmet som model, behøver regler og antagelser ikke gøres eksplicitte. I kapitel V bemærkede vi, at hele den klasse af regler, den filosofiske analyse søger efter, ikke engang behøver at eksistere. Men det er ikke det samme som at sige, at søgen efter antagelser (selv de ikke-eksisterende) ikke kan være en effektiv måde at svække en traditions greb om tanken og antyde grundlaget for en ny. Det er ikke nogen tilfældighed, at fundamentale filosofiske analyser af den samtidige forskningstradition både er gået forud for og har ledsaget fremvæksten af newtonsk fysik i det syttende århundrede og af relativitet og kvantemekanik i det tyvende.⁶⁴ Og det er heller ikke et tilfælde, at det såkaldte tankeeksperiment i begge disse perioder skulle spille en så kritisk rolle for forskningens fremadskriden. Som jeg har vist andetsteds, er det analytiske tankeeksperiment, som er så fremtrædende i Galileis, Einsteins, Bohrs og andres skrifter, nøje beregnet på at stille det gamle paradigme over for eksisterende viden på en sådan måde, at krisens rod afsløres med en klarhed, som er uopnåelig i laboratoriet.⁶⁵

Når disse unormale metoder anvendes enkeltvis eller sammen, kan der også ske noget andet. En krise mangfoldiggør ofte nye opdagelser ved at samle opmærksomheden om et snævert område med besværligheder og ved at forberede den videnskabelige tanke på at erkende eksperimentelle uregelmæssigheder som det, de er. Vi har allerede set, hvorledes bevidstheden om krise adskiller Lavoisiers arbejde med oxygen fra Priestleys; og oxygen var ikke den eneste luftart, som de kemikere, der var opmærksomme på uregelmæssighed, var i stand til at opdage i Priestleys arbejde. Og ligeledes samlede der sig hurtigt nye optiske opdagelser lige før og under fremvæksten af bølge-teorien for lyset. Nogle af dem, så som polarisation ved tilbagekastning

var et resultat af de tilfældigheder, som bliver sandsynlige ved koncentreret arbejde med et område i vanskeligheder. (Malus, som gjorde opdagelsen, var netop ved at begynde arbejdet med Akademiets prisopgave om dobbeltbrydning, et emne der var almindelig kendt for at være i en utilfredsstillende tilstand.) Andre, som f. eks. lysprikken i centrum af skyggen fra en rund plade, var den nye hypoteses forudsigelser, hvis succes hjalp med til at ændre det til et paradigme for senere arbejde. Og atter andre – som ridsers og tykke pladers farver – var effekter, som man ofte havde set og til tider omtalt, men som på linje med Priestleys oxygen var blevet optaget blandt velkendte effekter på en sådan måde, at det forhindrede, at de blev set, som det de var.⁸⁶ Man kunne give en lignende forklaring på de mangfoldige opdagelser, som fra ca. 1895 var en konstant ledsager af kvantemekanikkens fremvækst.

Unormal forskning må have endnu flere udslag og virkninger, men på dette område er vi næppe begyndt at få øje på de spørgsmål, der skal stilles. Men måske behøves der ikke mere på dette sted. De foregående bemærkninger skulle være tilstrækkeligt til at vise, hvorledes kriser på én gang løser stereotyperne og sørger for tilvæksten af nødvendige data til et fundamentalt paradigmeskifte. Sommetider foregribes det nye paradigmes form i det mønster, som den unormale forskning har givet uregelmæssigheden. Einstein skrev, at før han havde nogen erstatning for den klassiske mekanik, kunne han se den indbyrdes forbindelse mellem de kendte uregelmæssigheder ved sort-legemeudstråling, den fotoelektriske effekt og varmfyldte.⁸⁷ Hyppigere bliver der ikke bevidst lagt mærke til et sådant mønster på forhånd. Derimod fremkommer det nye paradigme eller en antydning, som er tilstrækkelig til at tillade senere udarbejdelse, på én gang, somme tider midt om natten, i tanken hos et menneske, som er stærkt fordybet i krisen. Her må det (måske altid) forblive uudgrundeligt, hvilken karakter dette sidste trin har – hvorledes en enkelt person finder på (eller opdager, at han har fundet på) en ny måde at bringe orden i alle de nu indsamlede data. Lad os her blot bemærke én ting desangående. De mennesker, som når frem til disse fundamentalt nye paradigmer, har næsten altid enten været meget unge eller meget nye i det fagområde, hvis paradigme de ændrer.⁸⁸ Og måske behøvede den pointe ikke fremhæves, for det er naturligvis særlig sandsynligt, at disse mennesker, som gennem tidligere praksis kun er lidet forpligtet af normalvidenskabens traditionelle regler, vil indse, at disse regler ikke

længere fastlægger et spil, som kan spilles, og vil udtænke et andet sæt, som kan erstatte dem.

Den overgang til et nyt paradigme, som bliver resultatet, er en videnskabelig revolution, et emne vi omsider er klar til at nærme os direkte. Men læg først mærke til, at de sidste tre kapitler har beredt vejen i endnu en henseende, som tilsyneladende er vanskelig at bestemme. Indtil kapitel VI, hvor begrebet om uregelmæssighed først blev indført har udtrykkene 'revolution' og 'unormal videnskab' måske forekommet ensbetydende. Og vigtigere endnu: ingen af udtrykkene har syntes at betyde mere end 'ikke-normal videnskab', en gåen i ring, som må have irriteret i det mindste nogle få læsere. I praksis behøver den ikke have gjort det. Vi er ved at opdage, at en lignende gåen i ring er karakteristisk for videnskabelige teorier. Men hvad enten den er irriterende eller ej, er den ikke længere ubetinget. Dette og de to foregående kapitler har fået talrige kriterier for sammenbrud i normalvidenskaben frem, og disse kriterier er på ingen måde afhængige af, om sammenbrud følges af revolution. Når videnskabsmænd stilles over for uregelmæssigheder eller kriser, indtager de en anden holdning over for eksisterende paradigmer og karakteren af deres forskning ændres derefter. Den hastige formering af konkurrerende udarbejdelser, villigheden til at prøve alt, den direkte tilkendegivelse af utilfredshed, tilflugten til filosofi og til diskussion om principper, alle disse ting er tegn på en overgang fra normal til unormal forskning. Det er mere af deres end af revolutionernes eksistens, at begrebet om normalvidenskab afhænger.

IX. De videnskabelige revolutioners natur og nødvendighed

Disse bemærkninger tillader os endelig at betragte de problemer, som giver dette essay dets titel. Hvad er videnskabelige revolutioner, og hvilken funktion har de i den videnskabelige udvikling? En stor del af svaret på disse spørgsmål er blevet foregrebet i tidligere kapitler. Den foregående diskussion har især antydnet, at videnskabelige revolutioner her opfattes som de ikke-kumulative episoder i udviklingen, hvor et ældre paradigme erstattes helt eller delvis af et nyt, som er uforeneligt med det gamle. Der er imidlertid mere at sige, og en væsentlig del kan man tage fat på ved at stille endnu et spørgsmål. Hvorfor skal en paradigmeændring kaldes en revolution? Hvilken parallelisme kan retfærdiggøre den metafor, der finder revolutioner både i politisk og videnskabelig udvikling, når man tænker på de store og væsentlige forskelle mellem dem?

En side af parallelismen må allerede være klar. Politiske revolutioner indledes med en voksende følelse, som ofte er begrænset til en del af det politiske samfund, af, at de eksisterende institutioner ikke længere slår til over for de problemer, som stilles af de omgivelser, som de delvis selv har skabt. På noget lignende vis indledes videnskabelige revolutioner med en voksende følelse, som ligeledes ofte er begrænset til en mindre del af det videnskabelige samfund, af, at et eksisterende paradigme ikke længere slår til ved udforskningen af en side af naturen, som paradigmet selv tidligere havde ført frem til. I både den politiske og den videnskabelige udvikling er fornemmelsen af fejl, som kan føre til krise, en forudsætning for revolutioner. Og selv om det må siges at være en anstrengelse af metaforen, gælder denne parallelisme ikke alene for de større paradigme-ændringer som f. eks. Kopernikus' og Lavoisiers, men også for de langt mindre, som er forbundet med opdagelsen af et nyt fænomen så som oxygen eller røntgenstråler. Som vi bemærkede i slutningen af kapitel V behøver videnskabelige revolutioner kun forekomme revolutionære for dem, hvis paradigmer berøres af dem. For udenforstående kan de lige som Balkan-revolutionerne i begyndelsen af det tyvende århundrede synes at være normale led i udviklingen. Astronomer kunne for eksempel

acceptere røntgenstråler som en tilføjelse til erkendelsen, thi deres paradigmer blev ikke berørt af eksistensen af den nye udstråling. Men for folk som Kelvin, Crookes og Röntgen, hvis forskning drejede sig om udstrålingsteori eller katodestrålerør, måtte fremkomsten af røntgenstråler nødvendigvis krænge ét paradigme, idet den skabte et andet. Det er grunden til, at disse stråler kun kunne opdages ved, at noget gik galt i den normale forskning.

Denne genetiske parallel mellem den politiske og den videnskabelige udvikling, hvad angår oprindelse, skulle ikke længere kunne betvivles. Parallellen har imidlertid et andet og dybere aspekt, som det førstes betydning afhænger af. Politiske revolutioner stræber efter at ændre politiske institutioner med metoder, som disse institutioner selv forbyder. Deres heldige gennemførelse gør det derfor nødvendigt delvis at give afkald på én gruppe af institutioner til fordel for en anden, og i mellemtiden er samfundet slet ikke under institutioners fulde kontrol. Til at begynde med er det krisen alene, der svækker de politiske institutioners rolle, ligesom vi allerede har set den svække paradigmernes rolle. I stigende antal bliver enkeltpersoner mere og mere fremmede for det politiske liv og opfører sig mere og mere besynderligt inden for det. Når krisen så uddybes, engagerer mange af disse mennesker sig i et eller andet konkret forslag til genopbygning af samfundet med en ny ramme af institutioner. På dette tidspunkt er samfundet delt i konkurrerende lejre eller partier, hvor én part søger at forsvare den gamle sammensætning af institutioner, mens de andre søger at indføre en eller anden ny. Og når denne polarisering først er indtrådt, er der ingen politisk udvej. Parterne i en revolutionær konflikt må i den sidste ende gribe til masse-overtalelsesmetoder, derunder ofte vold, fordi de er uenige om den ramme af institutioner, inden for hvilken politiske forandringer skal opnås og vurderes, fordi de ikke anerkender nogen over-institutionel ramme for afgørelsen af revolutionær uenighed. Selv om revolutioner har haft en afgørende rolle i de politiske institutioners udvikling, er denne rolle afhængig af, at de delvis er foregået uden for de politiske institutioner.

Resten af dette essay søger at vise, at den historiske undersøgelse af paradigme-ændringer afslører omtrent de samme træk i videnskaberens udvikling. Det viser sig, at valget mellem konkurrerende paradigmer ligesom valget mellem konkurrerende politiske institutioner er et valg mellem uforenelige former for samfundsliv. Når valget har denne karakter, er det ikke og kan det ikke være bestemt alene af de vurderingsmetoder, som er karakteristiske for normalvidenskaben, for disse

afhænger delvis af et bestemt paradigme, og dette paradigme er under diskussion. Når paradigmer, således som de er nødt til, indgår i en diskussion om paradigme-valg, går de nødvendigvis i ring. Hver gruppe bruger sit eget paradigme til at argumentere for dette paradigme.

Den gåen i ring, som bliver resultatet, gør selvfølgelig ikke argumenterne forkerte eller blot ineffektive. Den, der går ud fra et paradigme, når han forsvaret det, kan ikke desto mindre give et klart billede af, hvordan videnskabelig praksis vil være for dem, der antager det nye syn på naturen. Dette billede kan være særdeles overbevisende, ja, ofte tvingende. Men hvilken kraft det end har, så er cirkel-argumentets status dog kun at være overtalende. Det kan ikke gøres logisk eller dog sandsynlighedsmæssigt tvingende for dem, der nægter at gå ind i cirklen. Dertil har de to parter i en diskussion om paradigmer ikke tilstrækkelig mange fælles præmisser og værdier. Det er med paradigmevalg som med politiske revolutioner, - der er ingen højere norm end det berørte samfunds tilslutning. For at finde ud af hvorledes videnskabelige revolutioner fremkaldes, må vi derfor ikke alene undersøge naturens og logikkens indvirken, men også den overtalende argumentations metoder således som den virker inden for de helt specielle grupper, der udgør forskernes samfund.

For at se hvorfor logik og eksperimenter alene aldrig entydigt kan afgøre problemet med paradigme-valg, må vi kort undersøge de forskelle, der skiller fortalere for et traditionelt paradigme fra deres revolutionære efterfølgere. Denne undersøgelse er hovedemnet for dette og næste kapitel. Vi har imidlertid allerede talrige eksempler på sådanne forskelle, og ingen tvivler på, at historien kan give mange andre. Snarere end deres eksistens vil man sikkert betvivle, at de kan give væsentlige oplysninger om videnskabens natur, - og dette må derfor først undersøges. Hvis man indrømmer, at paradigme-forkastelse har været en historisk kendsgerning, belyser det så andet end menneskelig godtroenhed og forvirring? Er der reelle grunde til, at optagelse af enten et nyt fænomen eller en ny videnskabelig teori må kræve, at et gammelt paradigme forkastes?

Læg først mærke til, at hvis der er sådanne grunde, hidrører de ikke fra den videnskabelige erkendelses logiske struktur. I princippet kunne et nyt fænomen fremkomme uden at have ødelæggende indflydelse på nogen del af den hidtidige videnskabelige praksis. Hvis man i dag opdagede liv på månen, ville det være ødelæggende for eksisterende paradigmer, (disse fortæller os ting om månen, som synes uforenelig med dette), men det ville ikke være tilfældet, hvis man opda-

gede liv på et mindre kendt sted i Mælkevejen. På samme måde behøver en ny teori ikke være i modstrid med nogen af dens forgængere. Den kunne udelukkende dreje sig om hidtil ukendte fænomener, sådan som kvanteteorien behandler subatomare fænomener (men, hvilket har stor betydning, ikke kun disse) som var ukendte før det tyvende århundrede. Eller den nye teori kunne simpelthen være på et højere niveau end de tidligere, således at den sammenkædede en hel gruppe af teorier på et lavere niveau uden egentlig at ændre dem. I dag giver teorien om energiens bevarelse netop sådanne led mellem dynamik, kemi, elektricitet, optik, varmeteorier osv. Og man kunne tænke sig endnu andre forhold mellem gamle og nye teorier. Alle kunne de eksemplificeres ved videnskabens historiske udvikling. Hvis de blev det, ville den videnskabelige udvikling være virkelig kumulativ. Nye arter af fænomener ville simpelthen afsløre orden i en del af naturen, hvor man ikke tidligere havde set nogen. Når videnskaben udvikledes, ville ny viden erstatte uvidenhed snarere end anden og uforenelig viden.

Selvfølgelig kunne videnskaben (eller et andet, måske mindre effektivt foretagende) have udviklet sig på denne rent kumulative måde. Mange mennesker har troet, at den gjorde det, og de fleste synes stadig at tro, at den ideelle historiske udvikling ville være kumulativ, hvis den blot ikke så ofte var blevet forvrænget af menneskelige idiosyncrasier. Der er vigtige grunde til denne tro. I kapitel X vil vi opdage, hvor nær ideen om videnskaben som ophobende er kædet sammen med en fremherskende erkendelsesteori, der regner erkendelse for at være direkte opbygget af nøgne sansedata. Og i kapitel XI vil vi undersøge den stærke støtte, dette historiske skema får af den effektive videnskabspædagogik's metoder. Men selv om dette idealbillede er særdeles rimeligt, er der ikke desto mindre mere og mere grund til at tvivle på, om det kan være et billede af videnskaben. Efter den før-paradigmatiske periode har optagelsen af alle nye teorier og af næsten alle nye arter af fænomener rent faktisk krævet ødelæggelse af et tidligere paradigme og en efterfølgende konflikt mellem konkurrerende videnskabskoler. Kumulativ erhvervelse af nyheder, som ikke er ventet og foregribet, viser sig næsten ikke at forekomme som undtagelse fra reglen for videnskabelig udvikling. Den, der tager historiske kendsgerninger alvorligt, må få en mistanke om, at videnskaben ikke går i retning af det ideal, vort billede af dens kumulative karakter har fremkaldt. Måske er den helt anderledes.

Hvis genstridige kendsgerninger imidlertid kan få os så vidt, så kan

endnu et blik på det, vi allerede har behandlet, måske vække en formodning om, at kumulativ erhvervelse af nyheder ikke alene rent faktisk er sjælden, men principielt usandsynlig. Normal forskning, som er kumulativ, er vellykket, fordi forskerne har evne til regelmæssigt at udvælge problemer, der kan løses med begrebsmæssige og instrumentelle metoder, som ligger nær op ad de allerede eksisterende. (Derfor kan det så let hæmme videnskabelig udvikling at beskæftige sig for meget med nyttige problemer uden hensyn til deres forhold til eksisterende viden og teknik). Den, der søger at løse et problem, som er bestemt af den eksisterende viden og teknik, vil imidlertid ikke blot tage alle ting i betragtning. Han ved, hvad han vil nå, og han konstruerer sine instrumenter og retter sine tanker derefter. Nyheder, der ikke er foregribet, den nye opdagelse, kan kun fremkomme i det omfang, hans forventninger om naturen og hans instrumenter viser sig forkerte. Ofte vil betydningen af den opdagelse, der bliver resultatet, i sig selv være proportional med vanskeligheden og omfanget af den uregelmæssighed, der gav varsel om den. Derfor må der tydeligvis være en konflikt mellem det paradigme, der afslører uregelmæssighed, og det, der senere gør uregelmæssigheden lovmæssig. Det var ikke rene historiske tilfældigheder, vi stilledes over for i kapitel VI med undersøgelsen af eksempler på opdagelse gennem paradigme-ødelæggelse. Der er ikke nogen anden effektiv metode til at skabe opdagelser.

1. Det samme argument gælder endnu klarere for opfindelsen af nye teorier. I princippet er der kun tre arter af fænomener, man kan udarbejde nye teorier om. Den første udgøres af fænomener, som allerede forklares godt af eksisterende paradigmer, og disse giver sjældent motiv til eller udgangspunkt for teori-konstruktion. Når de gør det, som i tilfældene med de tre berømte foregribelser, som blev diskuteret i slutningen af kapitel VII, accepterer man sjældent de teorier, der kommer ud af det, fordi naturen ikke giver grundlag for at skelne.

2. Der er en anden klasse af fænomener, hvis karakter antydes af eksisterende paradigmer, men hvis detaljer kun kan forstås ved yderligere udarbejdelse af teorier. Det er disse fænomener, forskere behandler i deres forskning meget af tiden, men denne forskning sigter mod udarbejdelsen af eksisterende paradigmer snarere end mod opfindelsen af nye. Først når disse forsøg på udarbejdelse slår fejl, møder videnskabsmænd den trede art af fænomener, de erkendte uregelmæssigheder, hvis kendetegn er deres stædige vægring ved at blive optaget i eksisterende paradigmer. Kun denne art giver ophav til nye teorier. Para-

digmer giver alle fænomener undtagen uregelmæssigheder en teori-bestemt plads i videnskabsmandens synsfelt.

Men hvis nye teorier fremkaldes for at opløse uregelmæssigheder i forholdet mellem en eksisterende teori og naturen, så må den vellykkede nye teori et eller andet sted muliggøre forudsigelser, som er forskellige fra forgængerens. Denne forskel kunne ikke forekomme, hvis de to var logisk forenelige. Ved optagelsesprocessen må den anden erstatte den første. Selv en teori som den om energiens bevarelse, som i dag synes at være en logisk overbygning, der kun har forbindelse med naturen gennem uafhængigt opstillede teorier, involverede paradigme-ødelæggelse i sin historiske udvikling. Den voksede nemlig frem af en krise, der som en væsentlig bestanddel havde uforeneligheden mellem Newtons dynamik og visse nyligt formulerede følger af varmestofteorien om varme. Først da varmestofteorien var blevet forkastet, kunne energi-bevarelse blive en del af videnskaben.⁹⁹ Og først da den havde været en del af videnskaben i et stykke tid, kunne den begynde at tage sig ud som en teori af logisk højere type, én der ikke var i konflikt med sine forgængere. Det er vanskeligt at se, hvorledes nye teorier kunne opstå uden disse ødelæggende ændringer af ideer om naturen. Selv om det stadig er en tilladelig opfattelse af forholdet mellem successive videnskabelige teorier, at de senere logisk indeholder de foregående, er det historisk urimeligt.

* For hundrede år siden tror jeg, at det ville have været muligt at lade argumentationen for revolutioners nødvendighed hvile her. Men det kan man desværre ikke gøre i dag, fordi den opfattelse, der er fremstillet ovenfor, ikke kan opretholdes, hvis man accepterer den mest fremherskende nutidige fortolkning af videnskabelige teories karakter og funktion. Denne fortolkning, som er nært forbundet med den tidlige logiske positivisme, og som ingen af dens efterfølgere har forkastet, ville indskrænke en accepteret teoris omfang og mening, således at den umuligt kunne komme i konflikt med nogen senere teori, der kom med forudsigelser om nogle af de samme naturfænomener. Det bedst kendte og stærkeste argument for denne begrænsede idé om en videnskabelig teori fremkommer i diskussionen om forholdet mellem Einsteins moderne dynamik og de ældre dynamiske ligninger, der hidrører fra Newtons *Principia*. Fra dette essays synspunkt er disse to teorier fundamentalt uforenelige på samme måde som f. eks. kopernikansk og ptolemæisk astronomi: Einsteins teori kan kun accepteres, når man erkender, at Newtons var forkert. Dette er i dag stadig

Fundament

en mindretals-opfattelse.⁹⁰ Vi må derfor undersøge de mest almindelige indvendinger mod den.

Kernen i disse indvendinger kan fremstilles således. Relativistisk dynamik kan ikke have vist, at newtonsk dynamik er forkert, for newtonsk dynamik bruges stadig med stort held af de fleste ingeniører og til udvalgte formål af mange fysikere. Endvidere kan berettigelsen af denne anvendelse af den ældre teori bevises ud fra selve den teori, der ved andre anvendelser har erstattet den. Einsteins teori kan bruges til at vise, at forudsigelser fra Newtons ligninger vil være lige så gode som vore måleinstrumenter er ved alle anvendelser, der tilfredsstiller et ringe antal restriktive betingelser. Hvis Newtons teori f. eks. skal give en godt tilnærmet løsning, må de betragtede legemers relative hastigheder være små i forhold til lysets hastighed. Under forudsætning af denne og nogle få andre betingelser, synes Newtons teori at kunne udledes af Einsteins, som den derfor er et specialtilfælde af.

Men, fortsætter indvendingen, en teori kan umuligt være i strid med et af sine specialtilfælde. Hvis einsteinsk videnskab synes at gøre newtonsk dynamik forkert, er det kun, fordi visse newtonianere var så uforsigtige at hævde, at Newtons teori gav helt nøjagtige resultater, eller at den var gyldig for meget høje relative hastigheder. Eftersom de ikke kunne have nogen beviser for sådanne påstande, svigtede de videnskabens standarder ved at fremsætte dem. For så vidt Newtons teori nogensinde var en virkelig videnskabelig teori, som var underbygget af gyldige vidnesbyrd, er den det stadig. Einstein kan kun have tilbagevist overdrevne påstande om teorien, - påstande som egentlig aldrig har været en del af videnskaben. Når den newtonske teori renses for disse påstande, har den aldrig været truet og kan heller ikke trues.

En variant af dette argument er fuldt tilstrækkelig til at gøre enhver teori, der nogensinde er blevet brugt af en betydende gruppe kvalificerede forskere, immun over for angreb. Den ildesete flogiston-teori bragte f. eks. orden i en lang række fysiske og kemiske fænomener. Den forklarede, hvorfor legemer brændte - de var rige på flogiston - og hvorfor metaller havde så mange flere egenskaber fælles end deres malme. Metallerne var alle sammensat af forskellige elementære jordarter i forbindelse med flogiston, og dette, som var fælles for alle metaller, frembragte fælles egenskaber. Yderligere forklarede flogiston-teorien en række reaktioner, hvor der dannedes syrer ved forbrænding af stoffer som kulstof og svovl. Den forklarede også rumfangsformindskelse, når forbrænding foregår i en begrænset luftmængde: den flogiston, der frigøres ved forbrænding, »ødelægger« elasticiteten i den

luft, der absorberede den, lige som ild »ødelægger« elasticiteten i en stålfjeder.⁹¹ Hvis dette var de eneste fænomener, flogiston-teoretikere havde gjort fordring på med deres teori, kunne denne teori aldrig være blevet truet. Et lignende argument vil slå til for enhver teori, der overhovedet nogensinde er blevet anvendt med held på en række fænomener.

Men for at redde teorier på denne måde må deres anvendelsesområde indskrænkes til de fænomener og til den nøjagtighed ved iagttagelse, som de disponible eksperimentelle vidnesbyrd allerede klarer.⁹² Hvis en sådan begrænsning føres blot et skridt videre (og dette skridt kan næppe undgås, når man har taget det første), hindrer den forskeren i at tale »videnskabeligt« om noget fænomen, der ikke allerede er iagttaget. Selv i den øjeblikkelige form forbyder begrænsningen forskeren at stole på en teori inden for hans egen forskning, så snart denne forskning kommer ind på et område eller søger en grad af nøjagtighed, som der ikke er præcedens for i teoriens hidtidige brug. Disse forbud er logisk uangribelige; men blev de accepteret, ville det betyde enden på den forskning, hvorigennem videnskaben kan udvikle sig videre.

På nuværende tidspunkt er denne pointe faktisk også en tautologi. Uden engagement i en teori kunne der ikke være nogen normalvidenskab. Endvidere må dette engagement omfatte områder og grader af nøjagtighed, som der ikke gives fuldstændig præcedens for. Hvis det ikke var tilfældet, kunne paradigmet ikke stille nogen gåder, der ikke allerede var løst. Desuden er det ikke alene normalvidenskaben, der er afhængig af engagement i et paradigme. Hvis den eksisterende teori kun binder forskeren med hensyn til eksisterende anvendelser, så kan der ikke være nogen overraskelser, uregelmæssigheder eller kriser. Men de er netop vejvisere til unormal videnskab. Hvis positive indskrænkninger i en teoris tilladte anvendelsesområde tages for bogstavelige, vil den mekanisme, der fortæller det videnskabelige samfund, hvilke problemer der kan føre til grundlæggende ændringer, ophøre med at virke. Og når det sker, vil det videnskabelige samfund uundgåeligt vende tilbage til noget, der meget ligner dets før-paradigmatiske trin, en tilstand, hvor alle medlemmer dyrker videnskab, men hvor deres brutto-produkt faktisk slet ikke ligner videnskab. Er det virkelig så mærkeligt, at prisen for betydningsfulde videnskabelige fremskridt er et engagement, der løber den risiko at være fejlagtigt?

Vigtigere er det, at der er en afslørende logisk lakune i positivistens argument, og dette fører os direkte tilbage til de revolutionære

forandrings natur. Kan newtonsk dynamik *udledes* af relativistisk dynamik? Hvorledes ville en sådan udledning se ud? Lad os forestille os en gruppe udsagn, E_1, E_2, \dots, E_n , som tilsammen udtrykker den relativistiske teori's love. Disse udsagn indeholder variable og parametre, som står for rumlig placering, tid, hvilemasse osv. Fra dem kan man ved hjælp af det logiske og matematiske apparat deducere en hel række yderligere udsagn, deriblandt nogle som kan afprøves ved iagttagelse. For at bevise, at den newtonske dynamik gør fyldest som et specialtilfælde, må vi til E_i 'erne føje yderligere udsagn, så som $(v/c)^2 \ll 1$, der indskrænker klassen af parametre og variable. Denne udvidede gruppe af udsagn bliver så manipuleret således, at den giver en ny gruppe, N_1, N_2, \dots, N_m , som har samme form som Newtons bevægelseslove, tyngdelove osv. Tilsyneladende er Newtons dynamik blevet udledt af Einsteins, når der blot forudsættes nogle få grænse-betingelser.

Alligevel er udledningen falsk – i det mindste indtil nu. Skønt N_i -erne er et specialtilfælde af den relativistiske mekaniks love, er de ikke Newtons love. Eller rettere sagt er de det ikke, med mindre disse love omfortolkes på en måde, som ville have været umuligt før Einsteins arbejde. De variable og parametre, der i de einsteinske E_i 'ere stod for rumlig placering, tid, masse osv., forekommer stadig i N_i 'erne; og der står de stadig for einsteinsk rum, tid, og masse. Men de fysiske størrelser, som disse einsteinske begreber viser hen til, er på ingen måde identiske med dem, som de newtonske begreber med samme navn viser hen til. (Newtonsk masse bevares; den einsteinske kan omdannes til energi. Kun ved lave relative hastigheder kan de to måles på samme måde, og selv da må man ikke tro, at de er identiske.) Med mindre vi ændrer definitionerne af de variable i N_i 'erne, er de udsagn, vi har udledt, ikke newtonske. Og hvis vi ændrer dem, kan vi egentlig ikke siges at have *udledt* Newtons love, i det mindste ikke i nogen almindelig anerkendt betydning af at »udlede«. Vor argumentation har naturligvis forklaret, hvorfor Newtons love nogensinde syntes at fungere. Dermed har det retfærdiggjort, at f. eks. en bilist handler, som om han levede i et newtonsk univers. Samme type argumentation bruges til at retfærdiggøre, at man lærer landmålere geocentrisk astronomi. Men argumentet har stadig ikke gjort det, det foregav. Det har med andre ord ikke vist, at Newtons love er et grænsetilfælde af Einsteins. For ved overgangen til grænsen er det ikke alene lovens form, der har ændret sig. Samtidig har vi måttet ændre de grundlæggende strukturelle elementer i det univers, de drejer sig om.

Denne nødvendige ændring af fastslåede og kendte begrebers mening er central for den revolutionerende virkning af Einsteins teori. Skønt mere umærkelig end ændringerne fra geocentrisk til heliocentrisk system, fra flogiston til oxygen eller fra partikler til bølger, er den forvandling af begreber, der bliver følgen, ikke mindre ødelæggende for et tidligere anerkendt paradigme. Måske vil vi endda komme til at betragte det som et mønster for revolutionerende nyorienteringer i videnskaberne. Netop fordi overgangen fra Newtons til Einsteins mekanik ikke involverede, at der indførtes nye objekter eller begreber, belyser den særlig klart den videnskabelige revolution som en forskydning af det net af begreber, hvorigennem forskere ser verden.

Disse bemærkninger skulle være tilstrækkelige til at vise det, der i et andet filosofisk klima måske kunne være taget for givet. I det mindste for videnskabsmænd er de fleste af de tilsyneladende forskelle mellem en forkastet videnskabelig teori og dens efterfølger virkelige. Selv om en gammeldags teori altid kan betragtes som et specialtilfælde af dens moderne efterfølger, må den omformes til formålet. Og denne omformning kan man kun foretage ved hjælp af bagklogskab – dvs. ledet direkte af den nyere teori. Desuden, selv om denne omformning var et tilladeligt middel at anvende ved fortolkningen af den ældre teori, ville resultatet være en teori, der var så begrænset, at den kun kunne gentage det, der allerede var kendt. Denne gentagelse ville være nyttig på grund af dens økonomi, men den ville ikke være tilstrækkelig til at lede forskning.

Lad os derfor nu tage det for givet, at forskellene mellem successive paradigmer både er nødvendige og umulige at forlige. Kan vi så tydeligere sige, hvilke arter af forskelle det er? Den mest iøjnefaldende art er allerede blevet illustreret gentagne gange. Skiftende paradigmer fortæller os forskellige ting om universets befolkning og om denne befolknings adfærd. De er med andre ord uenige om sådanne spørgsmål som eksistensen af subatomare partikler, lysets materielle beskaffenhed og varmes eller energis bevarelse. Dette er de substantielle forskelle mellem successive paradigmer, og kræver ikke yderligere illustration. Men paradigmer er forskellige m. h. t. andet end substansen, for de retter sig ikke alene mod naturen, men også mod den videnskab, der frembragte dem. De er kilde til de metoder, det problemområde og de normer for løsninger, der på et givet tidspunkt accepteres af et modent videnskabeligt samfund. Som følge heraf nødvendiggør optagelsen af et nyt paradigme ofte en omdefinering af den tilsvarende videnskab. Visse gamle problemer kan henvises til en anden videnskab

eller erklæres ganske »videnskabelige«. Andre, der tidligere ikke eksisterede eller var trivielle, kan med et nyt paradigme blive til selve forbilledet for vigtigt videnskabeligt arbejde. Og ligesom problemerne ændres, således ændres også hyppigt den standard, der skiller en virkelig videnskabelig løsning fra en ren metafysisk spekulation, en ordleg eller et matematisk spil. Den normalvidenskabelige tradition, der fremkommer ved en videnskabelig revolution, er ikke alene uforenelig, men i virkeligheden ofte usammenlignelig med den, der er gået forud.

Virkninger af Newtons arbejde på det syttende århundredes normale tradition for videnskabeligt arbejde giver et slående eksempel på disse mere umærkelige virkninger af paradigme-ændring. Før Newton blev født, havde århundredets »nye videnskab« i det mindste haft held til at forkaste aristoteliske og skolastiske forklaringer ud fra materielle legemers essenser. I modsætning til tidligere havde man fået det til at se ud som et rent tautologisk ordspil at sige, at en sten faldt, fordi dens »natur« drev den mod universets centrum. For fremtiden skulle hele strømmen af sansefænomener, derunder farve, smag og endog vægt forklares ud fra størrelsen, formen, placeringen og bevægelsen hos gemene, elementære stof-partikler. At tillægge de elementære atomer andre kvaliteter var at gribe til det okkulte og derfor uden for videnskabens grænser. Molière ramte den nye ånd præcist, da han gjorde nar af doktoren, der forklarede opiums effektivitet som søvemiddel ved at tillægge den en søvndyssende evne. I sidste halvdel af det syttende århundrede foretrak mange forskere at sige, at opiumspartiklernes runde form satte dem i stand til at dulme de nerver, de bevægede sig rundt om.⁹³

I tidligere tid havde forklaringer ved hjælp af okkulte kvaliteter været en integreret del af produktivt videnskabeligt arbejde. Ikke desto mindre viste det sig umådelig frugtbart for en række videnskaber, at det syttende århundrede bandt sig til mekaniske partikelforklaringer, idet det befriede dem for problemer, der havde unddraget sig alment accepterede løsninger, og pegede på andre i stedet. I dynamikken f. eks. er Newtons tre bevægelseslove mindre et resultat af nye eksperimenter end af forsøget på at nyfortolke velkendte iagttagelser ud fra primære neutrale partiklers bevægelse og indbyrdes påvirkninger. Lad os se på blot et enkelt konkret eksempel. Eftersom neutrale partikler kun kunne påvirke hinanden ved berøring, rettede den mekaniske partikel-opfattelse af naturen den videnskabelige opmærksomhed mod et splinternyt forskningsemne, ændringen af partikel-bevægelser ved kollisioner. Descartes gjorde problemet bekendt og gav den før-

ste formodede løsning. Huyghens, Wren og Wallis førte det endnu videre, dels ved at eksperimentere med kolliderende pendulodder, men mest ved at anvende tidligere velkendte egenskaber ved bevægelse på det nye problem. Og Newton optog deres resultater i sine bevægelseslove. Den tredje lovs lige store »aktion« og »reaktion« er de ændringer i bevægelsesmængde, som de to parter i en kollision kommer ud for. Den samme bevægelsesændring giver definitionen af dynamisk kraft, som er underforstået i den anden lov. I dette tilfælde som i mange andre i det syttende århundrede skabte partikel-paradigmet både et nyt problem og en stor del af dette problems løsning.⁹⁴

Men selv om meget af Newtons arbejde drejede sig om problemer og indeholdt standarder, som hidrørte fra den mekaniske partikel-opfattelse af verden, var virkningen af det paradigme, der blev resultatet af hans arbejde, en yderligere og delvis ødelæggende ændring af de problemer og standarder, der var tilladelige for videnskaben. Tyngde forstået som en iboende tiltrækning mellem ethvert par af stofpartikler var en okkult kvalitet i samme forstand, som skolastikernes »tendens til at falde« havde været det. Så længe partikel-lærens standarder bevarede deres virkning, var søgen efter en mekanisk forklaring af tyngde derfor et af de mest udfordrende problemer for dem, der anerkendte *Principia* som et paradigme. Newton viede det megen opmærksomhed, og det samme gjorde mange af hans efterfølgere i det attende århundrede. Tilsyneladende var det eneste valg at forkaste Newtons teori på grund af dens manglende held til at forklare tyngde, og mange greb også dette alternativ. Men i den sidste ende sejrede ingen af disse synspunkter. Da videnskabsmændene både var ude af stand til at drive videnskab uden *Principia* og til at få dette værk til at stemme overens med partikel-standarderne fra det syttende århundrede, accepterede de gradvist det synspunkt, at tyngde faktisk var iboende. Ved midten af det attende århundrede var denne fortolkning blevet næsten alment accepteret, og resultatet var en virkelig tilbagevenden (hvilket ikke er det samme som et tilbageskridt), til en skolastisk standard. Iboende tiltrækninger og frastødninger sluttede sig til størrelse, form, placering og bevægelse som fysisk irreduktible primære egenskaber ved stoffet.⁹⁵

De resulterende ændringer i fysikkens standarder og problemområde var endnu en gang betydelige. Omkring 1740erne kunne elektricitetsforskere tale om den elektriske strøms tiltrækkende »evne« uden derved at påkalde sig den latterliggørelse, som havde hilst Molières doktor et århundrede tidligere. Når de gjorde det, udviste elektriske fæ-

nomener mere og mere en orden, som var forskellig fra den, de havde vist, da de blev betragtet som virkningerne af et mekanisk effluvium, der kun kunne virke ved berøring. Da elektrisk fjernvirkning blev et selvstændigt forskningsemne, kunne man specielt erkende det fænomen, vi nu kalder opladning ved induktion, som en af dens virkninger. Når det tidligere overhovedet var blevet bemærket, havde man tilskrevet det den direkte indvirkning af elektriske »atmosfærer« eller de overgange, som er uundgåelige i ethvert elektrisk laboratorium. Det nye syn på induktive virkninger var igen nøglen til Franklins analyse af Leydnerflasken og dermed til fremkomsten af et nyt newtoniansk paradigme for elektricitet. Og dynamik og elektricitet var ikke de eneste videnskabelige områder, der blev berørt af, at det var blevet berettiget at søge efter stoffets iboende kræfter. Den store mængde af litteratur i det attende århundrede om arter af kemisk affinitet og substitutionsserier hidrører også fra dette overmekaniske aspekt af newtonianismen. Kemikere, som troede på disse differentierede tiltrækninger mellem de forskellige kemiske stoffer, anstillede forsøg, man hidtil ikke havde forestillet sig, og søgte efter nye arter af reaktioner. Uden de data og de kemiske begreber, der blev udviklet undervejs, ville Lavoisiers og især Daltons senere arbejde være uforståeligt.⁶⁶ Ændringer i de standarder, der bestemmer tilladelige problemer, begreber og forklaringer, kan forvandle en videnskab. I næste kapitel vil jeg endog pege på, at de i en vis forstand forvandler verden.

Andre eksempler på disse ikke substansbestemte forskelle mellem successive paradigmer kan fremdrages fra enhver videnskabs historie i næsten enhver periode af dens udvikling. Lad os for nærværende stille os tilfreds med bare to andre og langt kortere eksempler. Før den kemiske revolution var en af kemiens anerkendte opgaver at redegøre for de kemiske stoffers egenskaber og for de forandringer, disse egenskaber undergik ved kemiske reaktioner. Ved hjælp af et ringe antal elementære »principper« – hvoraf flogiston var et – skulle kemikeren forklare, hvorfor visse stoffer er sure, andre metalliske, brændbare osv. Man havde haft et vist held i så henseende. Vi har allerede bemærket, at flogiston forklarede, hvorfor metallerne lignede hinanden så meget, og vi kunne have fremstillet et lignende argument for syrerne. Men til sidst ryddede Lavoisiers reform de kemiske »principper« af vejen, og endte således med at unddrage kemien en vis aktuel og megen potentiel forklaringssevne. For at kompensere for dette tab krævedes der en ændring af standarder. I en stor del af det nittende

århundrede var det ikke nogen anklage mod en kemisk teori, at den ikke kunne forklare forbindelsers egenskaber.⁶⁷

Eller et andet eksempel: sammen med andre af det nittende århundredes fortalere for bølge-teorien om lyset havde Clerk Maxwell den overbevisning, at lysbølger må forplantes gennem en materiel æter. For mange af hans dygtigste samtidige var det et stående problem at skitsere et mekanisk medium til at bære sådanne bølger. Hans egen teori, den elektromagnetiske teori om lyset, gav imidlertid slet ikke nogen redegørelse for sådan et medium, der var i stand til at bære lysbølger, og den gjorde det tydeligvis vanskeligere at give en sådan forklaring end det tidligere havde syntes. Til at begynde med blev Maxwells teori for det meste forkastet af disse grunde. Men lige som Newtons teori viste det sig vanskeligt at komme uden om Maxwells teori, og efterhånden som den opnåede paradigme-status, ændredes det videnskabelige samfunds holdning til den. Det lignede mere og mere hykleri – hvilket det bestemt ikke havde været tidligere – når Maxwell i de første årtier af det tyvende århundrede holdt fast ved eksistensen af en mekanisk æter, og forsøgene på at konstruere et sådant æterisk medium blev opgivet. Videnskabsmænd regnede det ikke længere for uvidenskabeligt at tale om en elektrisk »forskydning« uden at angive nærmere, hvad der blev forskudt. Resultatet var igen et nyt sæt problemer og standarder, der til syvende og sidst havde en hel del at gøre med relativitetsteoriens fremkomst.⁶⁸

Disse karakteristiske forandringer af det videnskabelige samfunds opfattelse af dets tilladte problemer og standarder ville have mindre betydning for dette essays tese, hvis man kunne regne med, at de altid foregik fra en metodologisk lavere til en højere type. I så tilfælde ville deres virkninger også synes kumulative. Det er ikke så mærkeligt, at nogle historikere har argumenteret for, at videnskabshistorien beretter om en fortløbende forøgelse af modenheten og forfinelsen i menneskets opfattelse af videnskabens natur.⁶⁹ Men det er endnu vanskeligere at gennemføre argumentationen for en kumulativ udvikling af videnskabens problemer og standarder, end det var for dens teorier. Selv om forsøget på at forklare tyngden blev opgivet af de fleste forskere i det attende århundrede, var der ikke tale om et egentligt utilladeligt problem; indvendingerne mod iboende kræfter var hverken i sig selv uvidenskabelige eller metafysiske i en eller anden nedsættende forstand. Der er ingen ydre standarder, der tillader en sådan bedømmelse. Det, der skete, var hverken en sænkning eller en højnelse af standar-

der, men simpelthen en forandring, der var påkrævet ved antagelsen af et nyt paradigme. Desuden er den ændring siden blevet vendt om, og det kunne ske igen. I det tyvende århundrede er det lykkedes Einstein at forklare tyngdemæssig tiltrækning, og denne forklaring har fået videnskaben til at vende tilbage til en klasse af regler og problemer, som i denne bestemte henseende mere ligner dem, man finder hos Newtons forgængere end hos hans efterfølgere. Og ligeledes har kvantemekanikkens udvikling vendt om på det metodologiske forbud, der udsprang af den kemiske revolution. Kemikere forsøger nu – og med stort held – at forklare farven, aggregatformen og andre egenskaber ved de stoffer, der bruges og fremstilles i deres laboratorier. En lignende venden om er måske undervejs i den elektromagnetiske teori. Rummet er i moderne fysik ikke det træge og homogene substrat, der anvendtes i både Newtons og Maxwells teorier; nogle af dets nye egenskaber er ikke ulig dem, man engang tillagde æteren; en dag vil vi måske vide, hvad en elektrisk forskydning er.

Ved at flytte vægten fra paradigmers erkendelsesmæssige til deres normative funktioner forøger de foregående eksempler vor forståelse af, hvorledes paradigmer former det videnskabelige liv. Tidligere havde vi hovedsagelig undersøgt paradigmets rolle som udtryksmiddel for videnskabelige teorier. I den rolle fungerer det ved at fortælle forskeren om de entiteter naturen indeholder og ikke indeholder og om den måde, hvorpå disse opfører sig. Disse oplysninger udgør et kort, hvis detaljer belyses af moden videnskabelig forskning. Og eftersom naturen er alt for sammensat og varieret til at blive udforsket på tilfældig vis, er dette kort lige så væsentligt som iagttagelse og forsøg for videnskabens fortsatte udvikling. Gennem de teorier, de indeholder, viser paradigmet sig at være grundlæggende for forskningsaktiviteten. Men de er også grundlæggende for videnskaben i andre henseender, og det er vor nuværende pointe. Specielt viser vore sidste eksempler, at paradigmer ikke alene giver videnskabsmænd kort, men også nogle af de væsentlige anvisninger for fremstilling af kort. Når videnskabsmanden lærer et paradigme, tilegner han sig teorier, metoder og standarder på en gang – almindeligvis i en uadskillelig blanding. Når paradigmer ændres, er der derfor sædvanligvis vigtige udskiftninger i de kriterier, der bestemmer såvel problemers som foreslåede løsningers legitimitet.

Denne iagttagelse sætter os tilbage til det punkt, hvor dette kapitel begyndte, for den giver os det første klare fingerpeg om, hvorfor valget mellem konkurrerende paradigmer konstant rejser spørgsmål, der ikke kan afgøres ud fra normalvidenskabens kriterier. I det omfang,

– og dette omfang er lige så vigtigt, som det er ufuldstændigt – to videnskabelige skoler er uenige om, hvad der er et problem og hvad en løsning, vil de uundgåeligt tale forbi hinanden, når de diskuterer de relative fortjenester ved deres respektive paradigmer. I de diskussioner, som kommer ud af det, og som i reglen går delvis i ring, vil det blive påvist, at hvert paradigme mere eller mindre tilfredsstiller de kriterier, det foreskriver for sig selv, og at det ikke når op til nogle få af dem, der foreskrives af dets modstander. Der er også andre grunde til ufuldstændigheden af den logiske kontakt, der konsekvent karakteriserer paradigme-diskussioner. For eksempel, eftersom intet paradigme nogensinde løser alle de problemer, det fastlægger, og eftersom der ikke er to paradigmer, der lader de samme problemer uløste, inddrager paradigme-diskussioner altid spørgsmålet: Hvilke problemer er det vigtigst at få løst? Ligesom spørgsmålet om konkurrerende standarder kan dette spørgsmål om værdier kun besvares ud fra kriterier, der ligger helt uden for videnskaben, og det er denne tilflugt til ydre kriterier, der tydeligst gør paradigme-diskussioner revolutionerende. Imidlertid står der noget mere end standarder og værdier på spil. Indtil nu har jeg kun argumenteret for, at paradigmer er grundlæggende for videnskaben. Nu ønsker jeg at pege på, at de i en vis forstand også er grundlæggende for naturen.

212
!
!

X. Revolutioner som ændringer i verdensopfattelse

Når videnskabshistorikeren undersøger beretningen om tidligere forskning ud fra den moderne historieforsknings synspunkt, kan han være fristet til at udbryde, at når paradigmer ændres, ændres verden med dem. Under ledelse af et nyt paradigme indfører forskere nye instrumenter og undersøger nye områder. Og endnu vigtigere: under revolutioner ser forskere nye og helt andre ting, når de med kendte instrumenter undersøger områder, de før har betragtet. Det er næsten som om det professionelle samfund pludselig var bragt til en anden planet, hvor kendte ting ses i et andet lys og forbindes med ukendte ting. Naturligvis er det ikke helt noget sådant, der sker: der er ikke nogen geografisk omplantning; uden for laboratoriet fortsætter hverdagen som før. Ikke desto mindre får paradigme-ændringer videnskabsmænd til at se deres forskningsverden på en anden måde. For så vidt deres eneste forbindelse til denne verden er gennem, hvad de ser og gør, kan vi have lyst til at sige, at efter en revolution reagerer videnskabsmænd på en anden verden.

Det er som elementære mønstre for disse forvandlinger af forskerens verden, at de kendte påvisninger af et skifte i synsgestalt viser sig at være så sigende. Det, som var ændret i videnskabsmandens verden før revolutionen, er kaniner bagefter. Den, der først så kassens yderside ovenfra, ser senere dens inderside nedefra. Selv om forvandlinger i almindelighed er mere gradvise og næsten altid umulige at vende om, er det almindelige, at forvandlinger som disse ledsager videnskabelig uddannelse. Når studenten betragter konturer på et kort, ser han linjer på papir, korttegneren et billede af et terræn. Når studenten kikker på et boblekammer-fotografi, ser han forvirrede og brudte linjer, fysikeren et tegn på kendte subatomare begivenheder. Først efter en række sådanne forvandlinger af opfattelsen bliver studenten borte i videnskabsmandens verden og ser, hvad han ser, og reagerer, som han reagerer. Den verden, studenten da går ind i, er imidlertid ikke fastlagt en gang for alle af omgivelsernes karakter på den ene side og af videnskaben på den anden. Snarere bestemmes den i fællesskab af omgivelserne og den specielle normalvidenskabelige tradition, som

studenten er blevet uddannet til at videreføre. I revolutionstider, når den normalvidenskabelige tradition forandres, må forskerens opfattelse af sine omgivelser derfor omskoles, – i visse kendte situationer må han lære at se en ny gestalt. Når han har gjort det, vil hans forskningsverden her og der synes uforenelig med den, han tidligere beboede. Dette er endnu en grund til, at skoler, der ledes af forskellige paradigmer, altid misforstår hinanden lidt.

I deres mest almindelige form illustrerer gestaltforsøg naturligvis kun karakteren af sansemæssige forvandlinger. De fortæller os intet om den rolle, paradigmer eller tidligere optaget erfaring spiller i sansprocessen. Men om dette emne er der en rig psykologisk litteratur, hvoraf en stor del stammer fra Hannover Instituttets pionerarbejde. En forsøgsperson, som tager briller på med glas, der vender om på synsbilledet, ser til at begynde med verden omvendt. I begyndelsen fungerer hans sansesapparat, således som det var blevet vænnet til at fungere uden hrillerne, og resultatet er den yderste desorientering, en dyb personlig krise. Men når personen begynder at lære at klare sin nye verden, slår hele hans synsfelt over – i almindelighed efter en mellem-liggende periode, hvor synet simpelthen er forvirret. Derefter ses tingene igen som før brillerne blev taget på. Optagelsen af et tidligere unormalt synsfelt har reageret på og forandret feltet selv.¹⁰⁰ Både bogstaveligt og billedligt har den, der har vænnet sig til de omvendende glas, været ude for en revolutionerende forvandling af synet.

Forsøgspersonerne i forsøget med de unormale spillekort, som blev diskuteret i kapitel VI, oplevede en ganske lignende forvandling. Indtil de ved en lang fremvisning lærte, at verden indeholdt unormale kort, så de kun de typer af kort, som tidligere erfaring havde forberedt dem på. Men så snart erfaringen havde givet de nødvendige, yderligere kategorier, var de i stand til at se alle de unormale kort ved den første besigtigelse, der var lang nok til overhovedet at tillade en identifikation. Endnu andre forsøg viser, at eksperimentelt foreviste objektors sansede størrelse, farve osv. også varierer efter personens tidligere uddannelse og erfaring.¹⁰¹ Når man betragter den rige litteratur om forsøg, hvorfra disse eksempler er taget, får man den mistanke, at sådan noget som et paradigme er forudsætning for sansningen selv. Hvad et menneske ser afhænger både af, hvad han kikker på, og også af hvad hans tidligere synsmæssige og begrebmæssige erfaring har lært ham at se. Uden en sådan skoling kan der – med William James' udtryk – kun være »a bloomin' buzzin' confusion«.

Mange, der er optaget af videnskabens historie, har i de senere år

fundet de typer af forsøg, der er beskrevet ovenfor, umådelig tankevækkende. Især har N. R. Hanson brugt gestalt-forsøg til at udvikle nogle af de samme følger af videnskabelige anskuelser, som optager mig her.¹⁰² Andre kolleger har gentagne gange bemærket, at videnskabshistorien ville give bedre og mere sammenhængende mening, hvis man kunne antage, at videnskabsmænd lejlighedsvis var ude for ændringer i sansningen som dem, der er beskrevet ovenfor. Men selv om psykologiske forsøg er tankevækkende, kan de i sagens natur ikke være mere end det. De peger på egenskaber ved sansningen, der kunne være centrale for den videnskabelige udvikling, men de beviser ikke, at forskerens omhyggelige og kontrollerede iagttagelser overhovedet har disse egenskaber. Desuden umuliggør selve karakteren af disse forsøg ethvert direkte bevis i så henseende. Hvis historiske eksempler skal få disse psykologiske forsøg til at synes relevante, må vi først lægge mærke til, hvilke former for vidnesbyrd vi kan, og hvilke vi ikke kan forvente, at historien skal give.

Personen i et gestalt-forsøg ved, at hans sansning er ændret, fordi han kan få den til at skifte frem og tilbage igen og igen, mens han holder den samme bog eller det samme stykke papir i hånden. Da han er klar over, at intet i hans omgivelser har forandret sig, retter han mere og mere sin opmærksomhed ikke mod figuren (and eller kanin), men mod linjerne på det papir, han kikker på. Til sidst kan han måske lære at se disse linjer uden at se nogen af figureerne, og han kunne da sige, (hvilket han ikke med rimelighed kunne sige tidligere), at det i virkeligheden er disse linjer, han ser, men at han ser dem skiftevis som en and og som en kanin. På samme måde ved personen i forsøget med de unormale kort (eller rettere, han kan overbevises om), at hans sansning må have forandret sig, fordi en ydre autoritet, eksperimentatoren, forsikrer ham om, at ligeegyldigt hvad han så, kikkede han hele tiden på en sort hjerter fem. I begge disse tilfælde som i alle lignende psykologiske eksperimenter afhænger bevisets effektivitet af, at det kan analyseres på denne måde. Hvis der ikke var en ydre standard, ud fra hvilken man kunne bevise et synsskifte, kunne der ikke drages nogen slutning om alternative sansmuligheder.

Med videnskabelige iagttagelser er situationen imidlertid lige omvendt. Videnskabsmanden kan ikke tage nogen tilflugt over eller bag det, han ser med sine øjne og instrumenter. Hvis der var en eller anden højere autoritet, ud fra hvilken man kunne bevise, at hans syn havde skiftet, så ville denne autoritet selv blive kilde til hans data, og hans syns funktion ville blive en kilde til problemer (ligesom for-

søgspersonens optræden er det for psykologen). Lignende problemer ville opstå, hvis videnskabsmanden kunne skifte frem og tilbage lige som personen i gestalt-forsøgene. Den periode, hvor lyset »sometider var en bølge, sommetider en partikel«, var en kriseperiode – en periode, hvor noget var galt – og den sluttede først, da man udviklede bølgemeknikken og blev klar over, at lyset var noget selvstændigt, som var forskelligt fra såvel bølger som partikler. Hvis konstante skift derfor ledsager paradigmeændringer i videnskaberne, kan vi ikke forvente, at videnskabsmænd viser disse forandringer direkte. Når den, der er blevet omvendt til kopernikanismen, ser på månen, siger han ikke: »Jeg plejede at se en planet, men nu ser jeg en satellit«. En sådan udtryksmåde ville forudsætte, at det ptolemæiske system engang havde været rigtigt i en eller anden forstand. Derimod siger den, der er gået over til den nye astronomi: »Jeg regnede engang månen for (eller så månen som) en planet, men jeg tog fejl.« Sådanne udtalelser forekommer faktisk efter videnskabelige revolutioner. Hvis det almindeligvis skjuler et skifte i det videnskabelige syn eller en anden mental forvandling med samme virkning, kan vi ikke forvente direkte vidnesbyrd om dette skifte. Snarere må vi lede efter indirekte og adfærdsmæssige tegn på, at videnskabsmanden med et nyt paradigme ser på en anden måde, end han gjorde før.

U
R
A
N
U
S

Lad os da vende tilbage til dataene og spørg, hvilke slags forvandlinger i videnskabsmandens verden, den historiker kan opdage, der tror på sådanne ændringer. Sir William Herschels opdagelse af Uranus er et første eksempel, og det løber næsten parallelt med forsøget med de unormale kort. I det mindste sytten gange mellem 1690 og 1781 havde en række astronomer – derunder nogle af Europas mest emnente iagttagere – set en stjerne på positioner, hvor vi nu antager, at Uranus har været på disse tidspunkter. En af de bedste iagttagere i denne gruppe havde faktisk set stjernen fire nætter efter hinanden i 1769 uden at lægge mærke til bevægelsen, som kunne have givet stødet til en anden identifikation. Da Herschel første gang så det samme objekt tolv år senere, gjorde han det med et meget forbedret teleskop, som han selv havde fremstillet. Derfor var han i stand til at se en tilsyneladende skivestørrelse, som i det mindste var usædvanlig for stjerner. Der var noget galt, og han udskød derfor identifikationen, indtil der forelå yderligere undersøgelse. Denne undersøgelse afslørede Uranus' bevægelse mellem stjernerne, og Herschel meddelte derfor, at han havde set en ny komet! Først mange måneder senere, efter for-gæves forsøg på at få den iagttagne bevægelse til at passe med en ko-

metbane, foreslog Lexell, at det sandsynligvis var en planetbane.¹⁰³ Da det forslag blev accepteret, var der adskilligt færre stjerner og endnu en planet i den professionelle astronoms verden. Et himmelle-
game, der var blevet iagttaget med mellemrum i næsten et århundrede, blev set på en anden måde efter 1781, fordi det ligesom et unormalt spillekort ikke længere kunne passes ind i de sanse-kategorier (stjerne eller komet), som det hidtil fremherskende paradigme bød på.

Det synsskifte, der satte astronomer i stand til at se planeten Uranus, synes imidlertid ikke alene at have berørt opfattelsen af dette tidligere iagttagne objekt. Selv om vidnesbyrdene er tvetydige, er det sandsynligt, at den mindre paradigme-ændring, der blev gennemtvunget af Herschel, var med til at forberede astronomer på den hurtige opdagelse efter 1801 af de talrige mindre planeter og asteroider. På grund af deres ringe størrelse udviste de ikke den unormale forstørrelse, der havde alarmeret Herschel. Men astronomer, der var indstillet på at finde yderligere planeter, var med standardinstrumenter i stand til at identificere tyve af dem i løbet af de første halvtreds år af det nit-tende århundrede.¹⁰⁴ Astronomiens historie giver mange andre eksempler på paradigme-fremkaldte ændringer i den videnskabelige sanseopfattelse, og nogle af dem er endnu mindre tvetydige. Kan det f. eks. tænkes at være en tilfældighed, at vestlige astronomer for første gang så forandringer på den hidtil ubevægelige himmel i det halve århundrede efter, at Kopernikus' nye paradigme første gang blev foreslået? Kinesernes kosmologiske ideer udelukkede ikke forandringer på himlen, og de havde berettet om tilsynekomsten af mange nye stjerner på himlen på et langt tidligere tidspunkt. Ligeledes havde kineserne – endog uden teleskopets hjælp – systematisk skildret forekomsten af solpletter århundreder før disse blev set af Galilei og hans samtidige.¹⁰⁵ Og solpletter og en ny stjerne var ikke de eneste forandringer, der fremkom på den vestlige astronomis himmel umiddelbart efter Kopernikus. Ved at anvende traditionelle instrumenter – nogle af dem så enkle som et stykke tråd – opdagede astronomer i slutningen af det sekstende århundrede gentagne gange, at kometer efter behag strejfede ind gennem det rum, der hidtil havde været reserveret for de uforanderlige planeter og stjerner.¹⁰⁶ Selve den lethed og hurtighed, hvor-
med astronomer så noget nyt, når de kikkede på gamle ting, kan give os lyst til at sige, at efter Kopernikus levede astronomer i en anden verden. I hvert fald reagerede deres forskning, som om det var tilfældet.

De forudgående eksempler er taget fra astronomien, fordi beret-

ninger om himmeliagttagelser hyppigt gives med et ordvalg, der består af forholdsvis rene iagttagelsesudtryk. Kun i sådanne beretninger kan vi håbe at finde noget nær fuldstændig parallelisme mellem videnskabsmandens iagttagelser og de psykologiske forsøgspersoners iagttagelser. Men vi behøver ikke at fastholde en så fuldstændig parallelisme, og vi har meget at vinde ved at slække vor standard. Hvis den almindelige brug af verbet 'at se' er nok for os, kan vi hurtigt blive klar over, at vi allerede har mødt mange andre eksempler på de skift i videnskabens sanseopfattelse, der ledsager paradigme-ændringer. Den udvidede brug af 'sansning' og 'at se' vil snart kræve direkte forsvar, men lad mig først illustrere dens anvendelse i praksis. ?

F
L
Lad os igen et øjeblik se på to af vore tidligere eksempler fra elektricitetsens historie. I det syttende århundrede, hvor elektricitetsforskere blev ledet af en eller anden effluvium-teori, så de gentagne gange småpartikler springe tilbage fra eller falde af de elektrificerede legemer, der havde tiltrukket dem. Det er i det mindste, hvad syttenhundredtal-lets iagttagere siger, at de så, og vi har ikke mere grund til at betvivle deres beretninger om sanseiagttagelser end vore egne. Stillet over for det samme apparatur ville en moderne iagttager se elektrostatisk tilbagesøgning (snarere end mekanisk eller tyngdemæssig tilbageslag), men historisk set blev elektrostatisk tilbagesøgning med en enkelt, generelt upåagtet undtagelse ikke set, før Hauksbees storstilede apparatur havde forstørret dens virkninger kraftigt. Tilbagesøgning efter berørings-elektrificering var imidlertid kun én af mange nye repulsive virkninger, som Hauksbee så. Gennem hans undersøgelser blev tilbagesøgning pludselig – næsten som ved et gestaltskifte – til det grundlæggende udslag af elektrificering, og derefter var det tiltrækning, der behøvede forklaring.¹⁰⁷ De elektriske fænomener, man kunne se i begyndelsen af det attende århundrede, var både finere og mere varierede end dem, der blev iagttaget i det syttende århundrede. Og ligeledes: efter optagelsen af Franklins paradigme så elektricitetsforskeren, der betragtede en leydnervflaske, noget andet, end han tidligere havde set. Indretningen var blevet en kondensator, der hverken behøvede at have flaskefacon eller at være af glas. I stedet kom de to ledende lag – hvoraf det ene ikke fandtes i det oprindelige apparat – i forgrunden. Både skriftlige diskussioner og illustrationer vidner efterhånden om, at to metalplader med en isolator imellem var blevet grundmønstreret.¹⁰⁸ Samtidig fik andre induktive virkninger nye beskrivelser, og atter andre blev bemærket for første gang.

Omsving af denne art er ikke begrænset til astronomi og elektri-

citet. Vi har tidligere lagt mærke til lignende synsforvandlinger i kemiens historie. Vi sagde, at Lavoisier så oxygen, hvor Priestley havde set afflogisteret luft, og hvor andre slet intet havde set. Men da Lavoisier lærte at se oxygen, måtte han også ændre sit syn på mange andre kendte stoffer. Han måtte f. eks. se en sammensat malm, hvor Priestley og hans samtidige havde set en elementær jordart, og der var også andre lignende forandringer. Under alle omstændigheder så Lavoisier naturen anderledes som følge af, at han havde opdaget oxygen. Og når vi ikke på en eller anden måde kan tage tilflugt til den hypotetiske, faste natur, han »så anderledes«, vil økonomi-princippet tilskynde os til at sige, at Lavoisier arbejdede i en anderledes verden, efter at han havde opdaget oxygen.

Jeg skal straks undersøge muligheden for at undgå denne mærkelige udtryksmåde, men først må vi have yderligere et eksempel på dens brug, denne gang fra en af de bedst kendte dele af Galileis arbejde. Siden den tidligste oldtid har de fleste mennesker set et eller andet tungt legeme svinge frem og tilbage i en streng eller kæde, indtil det til sidst er i hvile. For aristotelikerne, som troede, at et tungt legeme bevæges ved sin egen natur fra et højere sted til en tilstand af naturlig hvile på et lavere, foretog det svingende legeme simpelthen et fald under modstand. Under kædens tvang kunne det kun komme i hvile i det laveste punkt efter en omvej og en betragtelig tid. Men da Galilei betragtede det svingende legeme, så han derimod et pendul, et legeme, som næsten havde held til at gentage den samme bevægelse igen og igen i det uendelige. Og da Galilei havde set så meget, iagttog han også andre egenskaber ved pendulet og konstruerede mange af de mest betydningsfulde og originale dele af sin nye dynamik omkring dem. For eksempel udledte Galilei af pendulets egenskaber sine eneste fuldstændige og holdbare argumenter for uafhængigheden af vægt og faldhastighed samt for forbindelsen mellem toppunktets højde og sluthastigheden ved bevægelser ned ad skrå flader.¹⁰⁹ Alle disse naturlige fænomener så han på en anden måde, end de før var set.

Hvorfor indtraf dette synsskifte? På grund af Galileis personlige geni, selvfølgelig. Men læg mærke til at genialiteten her ikke ytrer sig i mere nøjagtige eller objektive iagttagelser af det svingende legeme. Med hensyn til beskrivelse er den aristoteliske sanseiagttagelse lige så nøjagtig. Når Galilei meddelte, at pendulets periode var uafhængigt af amplitude for amplituder op til 90°, førte hans syn på pendulet ham til at se langt større regelmæssighed, end vi nu kan finde der.¹¹⁰ Hvad der snarere synes at have spillet ind, er den geniale udnyttelse af

mulige sanseiagttagelser, som var åbnet af et middelalderligt paradigme-skift. Galilei blev ikke udelukkende opdraget som aristoteliker. Tværtimod blev han oplært til at analysere bevægelser ud fra impetus-teorien, et senmiddelalderligt paradigme, der hævdede, at et tungt legemes fortløbende bevægelse skyldes en indre kraft, som er indplantet i det af det virkende legeme, der påbegyndte dets bevægelse. Skolastikerne Jean Buridan og Nicole Oresme, som i det fjortende århundrede gav de mest fuldstændte formuleringer af impetus-teorien, er de første, der vides at have set en del af det, Galilei så i svingningsbevægelser. Buridan beskriver en svingende strengs bevægelse således: først får den impetus, når strengen slås an; dernæst forbruges impetus'en til at flytte den udspændte streng, som yder modstand; udspændingen får så strengen til at gå tilbage, idet den tillægger den mere og mere impetus, indtil bevægelserens midtpunkt er nået; derefter flytter impetus'en strengen i modsat retning – igen imod strengens spænding, og således videre i en symmetrisk bevægelse, der kan fortsætte i det uendelige. Senere i århundredet skitserede Oresme en lignende analyse af den svingende sten, hvilket efter den nuværende opfattelse er den første diskussion af et pendul.¹¹¹ Det er klart, at hans synspunkt er meget nær ved Galileis første tilnærmelse til pendulet. Det var et synspunkt, som i det mindste i Oresmes tilfælde og ganske sikkert også i Galileis var muliggjort ved overgangen fra det oprindelige aristoteliske til det skolastiske impetus-paradigme for bevægelse. Indtil man fandt på dette skolastiske paradigme, kunne videnskabsmænd ikke se penduler, men kun svingende sten. Penduler skabtes af noget, der meget lignede et paradigme-fremkaldt gestalt-skifte.

Men behøver vi virkelig at beskrive forskellen mellem Galilei og Aristoteles eller mellem Lavoisier og Priestley som en forvandling af synet? Så disse mennesker virkelig forskellige ting, når de kikkede på de samme slags objekter? Kan vi med nogen fornuftig mening sige, at de drev deres forskning i forskellige verdener? Disse spørgsmål kan ikke længere udskydes, for der er tydeligvis en anden og langt mere almindelig måde at beskrive alle de skitserede historiske eksempler. Mange læsere vil uden tvivl have lyst til at sige, at det, der ændres med et paradigme, kun er videnskabsmandens fortolkning af iagttagelser, der i sig selv er fastlagt en gang for alle af omgivelsernes og sanseapparatets natur. Ifølge dette synspunkt så både Priestley og Lavoisier oxygen, men de fortolkede deres iagttagelser forskelligt; Aristoteles og Galilei så begge penduler, men de var uenige i deres udlægning af det, de begge havde set.

Lad mig straks sige, at dette meget almindelige syn på, hvad der sker, når videnskabsmænd ændrer mening om grundlæggende ting, hverken kan være fuldstændig forkert eller en ren misforståelse. Det er snarere en væsentlig del af et paradigme, som blev påbegyndt af Descartes og udviklet på samme tid som Newtons dynamik. Dette paradigme har tjent både videnskaben og filosofien godt. Udnyttelsen af det, ligesom af dynamikken selv, har båret frugt i form af en fundamental forståelse, som måske ikke kunne være opnået på anden måde. Men som eksemplet med Newtons dynamik også viser, giver selv den mest iøjnefaldende tidligere succes ingen garanti for, at en krise kan udskydes i det uendelige. Forskning inden for dele af filosofien, psykologien, lingvistikken og selv kunsthistorien tyder i dag sammenfaldende på, at der er noget galt i det traditionelle paradigme. Dette manglende held til at få tingene til at passe bliver også stadig tydeligere ved det historiske studie af videnskaben, som især optager os her.

Ingen af disse krisefremkaldende emner har endnu frembragt noget muligt alternativ til det traditionelle erkendelsesteoretiske paradigme, men de begynder faktisk at antyde nogle af egenskaberne ved dette fremtidige paradigme. For eksempel er jeg inderligt klar over de vanskeligheder, man skaber ved at sige, at når Aristoteles og Galilei betragtede svingende sten, så den første et hæmmet fald, den anden et pendul. De samme vanskeligheder præsenteres i en endnu mere fundamental form af de indledende sætninger i nærværende kapitel: selv om verden ikke ændres, når paradigmet ændres, arbejder videnskabsmanden bagefter i en anden verden. Ikke desto mindre er jeg overbevist om, at vi må lære at finde mening i udsagn, der i det mindste ligner disse. Det, der sker ved en videnskabelig revolution, kan ikke fuldstændig reduceres til en omfortolkning af faste enkeltdata. For det første er dataene ikke utvetydigt faste. Et pendul er ikke en faldende sten, og oxygen er heller ikke afflogisteret luft. Følgelig er de data, som videnskabsmænd får fra disse ting, selv forskellige, som vi snart skal få at se. Men vigtigere er, at den enkeltes eller det videnskabelige samfunds overgang fra ufrigt fald til pendulet eller fra afflogisteret luft til oxygen slet ikke ligner en fortolkningsproces. Hvorledes skulle den komme til det, når der ikke findes faste data, som videnskabsmanden kan fortolke? Den videnskabsmand, der tager et nyt paradigme op, ligner snarere manden med de omvendte briller, end han ligner en fortolker. Selv om han står over for den samme konstellation af ting som før, og selv om han ved det, finder han dem ikke desto mindre ganske forandrede i mange af deres detaljer.

Ingen af disse bemærkninger skal antyde, at det ikke er karakteristisk for videnskabsmænd at fortolke iagttagelser og data. Tværtimod fortolkede Galilei iagttagelser af pendulet, Aristoteles iagttagelser af faldende sten, Musschenbroek iagttagelser af en opladet flaske og Franklin iagttagelser af en kondensator. Men hver af disse fortolkninger forudsatte et paradigme. De var dele af normalvidenskaben, der – som vi allerede har set – sigter mod at forfine, udvide og udarbejde et paradigme, som allerede eksisterer. Kapitel III gav mange eksempler, hvor fortolkning spillede en central rolle. Disse eksempler er typiske for langt den overvejende del af forskningen. I dem alle vidste forskeren ud fra et anerkendt paradigme, hvad et datum var, hvilke instrumenter der kunne bruges til at fremdrage det, og hvilke begreber der var relevante for fortolkningen af det. Når et paradigme er givet, er fortolkning af data central for arbejdet med at udforske det.

Men fortolkningsarbejdet – og dette var hovedpunktet i næstsidste afsnit – kan kun artikulere, men ikke korrigere et paradigme. Paradigmer kan overhovedet ikke korrigeres af normalvidenskaben. Som vi allerede har set, fører normalvidenskaben derimod i den sidste ende blot til erkendelsen af uregelmæssigheder og til kriser. Og disse bringes ikke til ophør med overvejelse og fortolkning, men med en temmelig pludselig og ustruktureret begivenhed lige som gestaltskiftet. Videnskabsmænd taler da ofte om, »at der falder skæl fra deres øjne«, eller om det »lynglimt«, der »falder over« en hidtil dunkel gåde og lader dens dele komme til syne på en ny måde, som for første gang muliggør dens løsning. Andre gange kommer den pågældende indsigt i søvne.¹¹² Ingen af de almindelige betydninger af ordet »fortolkning« passer på disse intuitive glimt, hvorigennem et nyt paradigme fødes. Selv om sådanne intuitioner afhænger af såvel uregelmæssige som regelmæssige erfaringer, der er indhøstet med det gamle paradigme, er de ikke sammenkædet logisk eller stykkevis med bestemte dele af denne erfaring, således som en fortolkning ville være. Derimod samler de store mængder af denne erfaring sammen og forvandler den til den noget anderledes samling af erfaring, som derefter sammenkædes styk for styk med det nye paradigme, men ikke med det gamle.

Lad os et øjeblik vende tilbage til Aristoteles, Galilei og pendulet for at lære mere om, hvilke disse forskelle i erfaring kan være. Hvilke data blev tilgængelige for dem hver især ved vekselvirkningen mellem deres forskellige paradigmer og deres fælles omgivelser? Når aristotelikeren iagttog et hæmmet fald, ville han måle (eller i det mindste diskutere, – aristotelikeren målte sjældent) stenens vægt, den største høj-

de, den blev hævet til, og den tid, den behøvede for at komme i hvile. Dette var sammen med mediets modstand de begrebskategorier, den aristoteliske videnskab anvendte, når den behandlede et faldende legeme.¹¹³ En normalvidenskab, som var ledet af dem, kunne ikke have frembragt de love, Galilei opdagede. Den kunne kun føre til – og ad en anden vej førte den faktisk til – den række af kriser, hvorfra Galileis syn på den svingende sten voksede frem. Som et resultat af disse kriser og andre intellektuelle forandringer iøvrigt så Galilei den svingende sten anderledes. Arkimedes' arbejde med flydende legemer gjorde mediet uvæsentligt; impetus-teorien gjorde bevægelsen symmetrisk og varig; og nyplatonismen rettede Galileis opmærksomhed mod bevægelsens cirkulære form.¹¹⁴ Han måtte derfor kun vægt, radius, vinkeldrejning og tid pr. svingning, hvilket præcis var de data, der kunne fortolkes således, at de gav Galileis love for pendulet. Da det kom til stykket, viste fortolkning sig næsten unødvendig. Når man havde Galileis paradigmer, kunne man næsten iagttage pendulregelmæssigheder. Hvorledes skal vi ellers forklare Galileis opdagelse af, at loddets periode er helt uafhængig af amplitude, en opdagelse, som den normalvidenskab, der stammer fra Galilei, måtte slette, og som vi er helt ude af stand til at dokumentere i dag. Regelmæssigheder, som ikke kunne have eksisteret for en aristotelik (og som der faktisk ikke findes nøjagtige eksempler på nogetsteds i naturen), fulgte af den umiddelbare erfaring, når man så den svingende sten, således som Galilei gjorde.

Måske er dette eksempel for fantasifuldt, eftersom aristotelikerne ikke berettede om diskussioner af svingende sten. I deres paradigme var det et overordentlig indviklet fænomen. Men aristotelikerne diskuterede det enklere tilfælde med sten, der faldt uden usædvanlig hæmning, og de samme synsforskelle er tydelige her. Når Aristoteles betragtede en faldende sten, så han en forandring af tilstand snarere end en proces. For ham var de relevante mål for en bevægelse derfor den totale, gennemløbne afstand og den totale, forløbne tid – parametre, der ikke giver, hvad vi ville kalde hastighed, men gennemsnitshastighed.¹¹⁵ Og da stenen var tvunget af sin natur til at nå sit endelige hvilepunkt, opfattede Aristoteles ligeledes den relevante afstandsparameter i hvert øjeblik af bevægelsen som afstanden til slutpunktet snarere end fra begyndelsepunktet for bevægelsen.¹¹⁶ Disse begrebmæssige parametre ligger under og giver mening i de fleste af hans velkendte »bevægelseslove«. Men den skolastiske kritik ændrede denne opfattelse af bevægelse, dels gennem impetus-paradigmet, og dels

gennem en teori, der er kendt som formernes intensitet.¹¹⁷ En sten, der blev bevæget af impetus, fik mere og mere af den, når den fjernede sig fra sit udgangspunkt; afstand fra snarere end afstand til blev derfor den relevante parameter. Yderligere opdelte skolastikerne Aristoteles' opfattelse af bevægelse i begreber, som straks efter Galilei blev til vor gennemsnitshastighed og øjeblikkelig hastighed. Men når den faldende sten blev set gennem det paradigme, som disse ideer var led i, kunne man næsten opdage dens ledende love – lige som pendulets – ved den blotte iagttagelse. Galilei var ikke blandt de første, der foreslog, at sten falder med jævnt voksende bevægelse.¹¹⁸ Desuden havde han udviklet sin læresætning om dette emne samt mange af dens følger, før han anstillede forsøg med en skrå flade. Denne læresætning var endnu en af det net af regelmæssigheder, som geniet kunne finde i den verden, som i fællesskab fastlagdes af naturen og de paradigmer, som Galilei og hans samtidige var opdraget med. Fordi han levede i denne verden, kunne Galilei stadig, når han ville, forklare, hvorfor Aristoteles havde set det, han gjorde. Ikke desto mindre var det umiddelbare indhold af Galileis erfaring med faldende sten ikke det samme som Aristoteles'.

Det er selvfølgelig på ingen måde klart, at vi behøver at være så optaget af »umiddelbar erfaring«, dvs. af de træk, som er tilgængelige for sanseropfattelsen, og som et paradigme kaster et sådant lys over, at de næsten udleverer deres regelmæssigheder ved den blotte iagttagelse. Disse træk må tydeligvis ændres med videnskabsmandens optagethed af paradigmer, men de er fjernet fra det, vi normalt tænker på, når vi taler om de rå data eller erfaringer, som den videnskabelige forskning siges at udgå fra. Måske skulle vi lægge den umiddelbare erfaring til side som flydende og i stedet diskutere de konkrete operationer og målinger, forskeren udfører i sit laboratorium. Eller måske skulle analysen føres endnu videre fra det umiddelbart givne. Den kunne for eksempel udføres ved hjælp af et eller andet neutralt iagttagelsesprog, måske et, der var konstrueret således, at det var i overensstemmelse med nethindebillederne, som formidler det, forskeren ser. Kun på en af disse måder kan vi håbe at genvinde et område, hvor erfaringen igen står fast en gang for alle, – hvor pendulet og det ufriske fald ikke er forskellige sanseropfattelser, men snarere forskellige fortolkninger af de utvetydige data, som en svingende sten giver.

Men er sanserfaringen fast og neutral? Er teorier simpelthen menneskeskabte fortolkninger af givne data? Det erkendelsesteoretiske synspunkt, der som oftest har været ledende i den vestlige filosofi i tre

hundrede år, foreskriver et øjeblikkeligt og utvetydigt Ja! Uden et udviklet alternativ finder jeg det umuligt helt at opgave dette synspunkt. Men det fungerer ikke længere effektivt, og forsøgene på at effektivisere det ved at indføre et neutralt sprog forekommer mig nu håbløse.

De operationer og målinger, en forsker foretager i laboratoriet, er ikke noget, erfaringen »giver«, men snarere noget man »indsamler med besvær«. De er ikke det, forskeren ser, - i det mindste ikke før hans forskning er godt i vej og hans opmærksomhed koncentreret. Snarere er de konkrete udtryk for indholdet af mere elementære sanseopfattelser, og som sådan udvælges de kun til nærmere undersøgelse af den normale forskning, fordi de stiller en lejlighed i udsigt til en frugtbar udarbejdelse af et anerkendt paradigme. Operationer og målinger er langt klarere paradigme-bestemte end den umiddelbare erfaring, de delvis hidrører fra. Videnskaben tager sig ikke af alle mulige laboriemånøvrer. Derimod udvælger den dem, der er relevante for en sammenstilling af et paradigme og den umiddelbare erfaring, som dette paradigme delvis har fastlagt. Følgelig giver forskere med forskellige paradigmer sig i kast med forskellige konkrete laboriemånøvrer. De målinger, der skal udføres med et pendul, er ikke relevante for et tilfælde af ufrit fald. Og de operationer, som er relevante for belystningen af oxygenets egenskaber, er ikke ganske de samme som de, der er påkrævet, når man undersøger egenskaberne ved affogisteret luft.

Med hensyn til et rent iagttagelsessprog vil der måske en dag blive udtænkt et. Men tre hundrede år efter Descartes hviler håbet om denne mulighed stadig kun på en teori om sanseopfattelse og om bevidstheden. Og moderne psykologiske forsøg forøger hastigt antallet af fænomener, som denne teori næppe kan klare. Kanin/anden viser, at to mennesker med det samme nethindebillede kan se forskellige ting; de omvendte briller viser, at to mennesker med forskellige nethindebilleder kan se den samme ting. Psykologien giver en hel del andre vidnesbyrd i samme retning, og de tvivl, det rejser, forstærkes let af de forsøg, der gennem tiden har været gjort på at fremvise et eksisterende iagttagelses-sprog. Endnu er intet gængs forsøg på at nå dette mål kommet i nærheden af et alment anvendeligt, rent perceptionssprog. Og de forsøg, der kommer nærmest, har en egenskab fælles, som i høj grad styrker mange af dette essays hovedteser. De forudsætter fra begyndelsen et paradigme, som enten er taget fra en løbende videnskabelig teori eller fra en del af hverdags sproget, og de prøver så at ude-

lukke alle de udtryk, der ikke hidrører fra logikken eller fra perceptionen. På nogle få sprogområder er denne bestræbelse blevet drevet meget vidt og med fascinerende resultater. Der kan ikke være tvivl om værdien af den slags bestræbelser. Men resultatet er et sprog, som - ligesom videnskabernes - indeholder en mængde forventninger om naturen, og som ikke kan fungere, så snart disse forventninger skuffes. Nelson Goodman kommer med nøjagtig denne pointe, når han beskriver målet med sin *Structure of Appearance*: »Det er heldigt, at det ikke drejer sig om andet [end fænomener, hvis eksistens er kendt]; thi ideen om 'mulige' tilfælde, om tilfælde, som ikke eksisterer, men som kunne have eksisteret, er langt fra klar.«¹¹⁹ Intet sprog, som således er begrænset til at referere en verden, som er fuldstændig kendt på forhånd, kan give rent neutrale og objektive referater af »det givne«. Filosofiske undersøgelser har endnu ikke givet blot en antydning af, hvortledes et sprog, som var i stand til det, ville se ud.

Under disse omstændigheder kan vi i det mindste have en mistanke om, at videnskabsmænd har ret såvel i princippet som i praksis, når de behandler oxygen og penduler (og måske også atomer og elektroner) som de grundlæggende bestanddele i deres erfaring. Som et resultat af racens, kulturens og endelig professionens paradigme-udformede erfaring er videnskabsmandens verden blevet befolket af planeter og penduler, kondensatorer og sammensatte malme og andre lignende ting. Sammenlignet med disse objekter for sanseopfattelsen er både målestoks-aflæsninger og nethindebilleder udviklede konstruktioner, som kun er tilgængelige for erfaringer, når videnskabsmanden foranstalter det til sine specielle forskningsformål. Dette skal ikke antyde, at penduler f. eks. er det eneste, det er muligt for en videnskabsmand at se, når han betragter en svingende sten. (Vi har allerede bemærket, at medlemmer af et andet videnskabeligt samfund kunne se et ufrit fald). Men det skal antyde, at når videnskabsmanden betragter en svingende sten, kan han ikke have nogen erfaring, som er principielt mere elementær end dette at se et pendul. Alternativet er ikke en eller anden hypotetisk »fast« synsopfattelse, men synsopfattelse gennem et andet paradigme, som gør den svingende sten til noget andet.

Alt dette vil måske forekomme mere rimeligt, hvis vi husker på, at hverken forskere eller lægmænd lærer at se verden trinvis eller stykke for stykke. Med undtagelse af de tilfælde hvor alle de begrebsmæssige og praktiske kategorier på forhånd er forberedte - f. eks. på at opdage et yderligere transuran eller på at få øje på et nyt hus - udvælger både forskere og lægmænd samlede områder fra erfaringsstrømmen.

Barnet, som overfører ordet 'mor' fra alle mennesker til alle kvinder og derefter til sin mor, er ikke blot ved at lære, hvad 'mor' betyder, eller hvem dets mor er. Samtidig lærer det noget om nogle af forskellene mellem mænd og kvinder samt noget om, hvorledes alle kvinder på nær én vil forholde sig over for det. Dets reaktioner, forventninger og ideer – ja, meget af dets sanseverden – ændrer sig i overensstemmelse hermed. På samme måde lærte de kopernikanere, som ikke ville give solen den traditionelle betegnelse 'planet', ikke blot, hvad 'planet' betød, eller hvad solen var. Derimod forandrede de meningen med ordet 'planet', således at det fortsat kunne give nyttige distinktioner i en verden, hvor ikke alene solen, men alle himmellegemer blev set på en anden måde end tidligere. Den samme pointe kunne man komme med ved alle vore tidligere eksempler. At se oxygen i stedet for afflogisteret luft, kondensatoren i stedet for leydnærflasken eller pendulet i stedet for det ufrige fald var kun én del af et samlet skifte i forskerens syn på en hel masse beslægtede kemiske, elektriske og dynamiske fænomener. Paradigmer fastlægger store områder af erfaring på én gang.

Imidlertid kan søgen efter en operationel definition eller et rent iagttagelsessprog først begynde, efter at erfaringen er blevet fastlagt på denne måde. Videnskabsmanden eller filosofen, som spørger, hvilke målinger eller nethindebilleder der gør pendulet til et pendul, må allerede være i stand til at genkende et sådant, når han ser det. Hvis han i stedet så et ufrigt fald, kunne hans spørgsmål ikke engang stilles. Og hvis han så et pendul, men så det på samme måde som en stemmegaffel eller en svingende vægt, kunne hans spørgsmål ikke besvares. I hvert fald kunne det ikke besvares på samme måde, thi det ville ikke være det samme spørgsmål. Selv om spørgsmål om nethindebilleder eller om følgerne af bestemte laboratorieforanstillinger altid er rimelige og til tider overordentlig frugtbare, forudsætter de en verden, som allerede er sansemæssigt og begrebmæssigt opdelt på en bestemt måde. I en vis forstand er sådanne spørgsmål en del af normalvidenskaben, for de afhænger af eksistensen af et paradigme, og de får ændrede svar som følge af paradigme-ændringer.

Lad os nu for at slutte dette kapitel se bort fra nethindeindtryk og igen begrænse opmærksomheden til de laboratorieoperationer, der giver forskeren konkrete, om end ufuldstændige, tegn på det, han allerede har set. Vi har allerede gentagne gange bemærket én måde, hvorpå sådanne laboratorieoperationer forandres med paradigmerne. Efter en videnskabelig revolution bliver mange gamle målinger og manipulations-

ner irrelevante og erstattes af andre. Man anvender ikke de samme prøver på oxygen som på afflogisteret luft. Men den slags forandringer er aldrig totale. Hvad forskeren end ser, betragter han efter en videnskabelig revolution stadig den samme verden. Endvidere er meget af hans sprog og de fleste af hans laboratorie-instrumenter stadig de samme som tidligere, om end han måske anvendte dem anderledes før. Følgelig omfatter efterrevolutionær videnskab altid mange af de samme manipulationer, udført med de samme instrumenter og beskrevet med de samme udtryk som dens førrevolutionære forgænger. Hvis disse manipulationer overhovedet er blevet ændret, må ændringen enten ligge i deres forhold til paradigmet eller i deres konkrete resultater. Ved at indføre et afsluttende, nyt eksempel vil jeg foreslå, at begge former for forandring forekommer. Ved at undersøge Daltons og hans samtidiges arbejde vil vi opdage, at en og samme operation, når den har forbindelse med naturen via et anderledes paradigme, kan blive en nøgle til en helt anden side af naturens regelmæssighed. Yderligere vil vi få at se, at den gamle manipulation i sin nye rolle lejlighedsvis vil give ændrede, konkrete resultater.

I en stor del af det attende og et stykke ind i det nittende århundrede troede næsten alle europæiske kemikere, at de elementære atomer, som alle kemiske arter bestod af, blev holdt sammen i gensidig tiltrækning. Således hang en klump sølv sammen på grund af affinitetskræfterne mellem sølvpartikler, (indtil Lavoisier blev disse partikler selv opfattet som sammensatte af endnu mere elementære partikler). Ifølge samme teori blev sølv opløst i syre (eller salt i vand), fordi syrepartiklerne tiltrak sølvpartiklerne – (eller vandpartiklerne tiltrak saltpartiklerne) – stærkere end partiklerne i disse opløste stoffer tiltrak hinanden. Og ligeledes ville kobber opløses i sølvopløsningen og udskille sølv, fordi affiniteten mellem kobber og syre var større end syrens affinitet for sølv. En mængde andre problemer blev forklaret på samme måde. I det attende århundrede var teorien om selektiv affinitet et beundringsværdigt kemisk paradigme, som var almindelig brugt – sommetider med gode resultater – ved konstruktionen og analysen af kemiske forsøg.¹²⁰

Affinitetsteorien trak imidlertid skillelinjen mellem fysiske blandinger og kemiske forbindelser på en måde, som er blevet ualmindelig efter, at Daltons arbejde er blevet almindelig anerkendt. Det attende århundredes kemikere regnede faktisk med to slags processer. Når sammenblanding frembragte varme, lys, brusen eller noget lignende, regnede man det skete for en kemisk forbindelse. Hvis på den anden

side partikler i blandingen kunne skelnes med øjet eller adskilles mekanisk, var det kun en fysisk blanding. Men i alle mellemsituationerne – salt i vand, legeringer, glas, oxygen i atmosfæren osv. – var disse unuancerede kriterier til ringe hjælp. Under indflydelse af deres paradigme betragtede de fleste kemikere hele dette mellemliggende område som kemisk, fordi alle de processer, det bestod af, lededes af den samme art kræfter. Salt i vand eller oxygen i kvælstof var lige så godt et eksempel på kemisk forbindelse som den, der fremkom ved at ilte kobber. Argumenterne for at betragte disse opløsninger som forbindelser var meget stærke. Affinitetsteorien selv var godt underbygget. Desuden forklarede dannelsen af en forbindelse den iagttagne ensartethed i en opløsning. Hvis for eksempel oxygen og kvælstof kun var blandet og ikke forbundet i atmosfæren, så skulle den tungere luftart, oxygenet, falde til bunds. Dalton, som regnede atmosfæren for en blanding, var aldrig i stand til at give en tilfredsstillende forklaring på, at oxygenet ikke gjorde det. Optagelsen af hans atomteori skabte i den sidste ende en uregelmæssighed, hvor der ikke tidligere havde været nogen.¹²¹

Man fristes til at sige, at de kemikere, der betragtede opløsninger som forbindelser, kun adskilte sig fra deres efterfølgere i et definitions-spørgsmål. I én forstand har det måske været tilfældet, – men ikke den forstand, der gør definitioner til rent konventionelle hjælpemidler. I det attende århundrede var blandinger ikke fuldstændig adskilt fra forbindelser ved operationelle prøver, og måske kunne de ikke være blevet det. Selv hvis kemikere havde regnet med sådanne prøver, ville de have søgt efter kriterier, som gjorde opløsningen til en forbindelse. Distinktionen blanding-forbindelse var en del af deres paradigme – en del af den måde, hvorpå de betragtede hele deres forskningsområde – og som sådan gik den forud for hver enkelt laboratorieprøve, om end ikke forud for hele kemiens opsamlende erfaring.

Mens kemien blev betragtet på denne måde, gav kemiske fænomener imidlertid eksempler på love, som var forskellige fra dem, der fremkom med optagelsen af Daltons nye paradigme. Specielt kunne ingen mængde kemiske forsøg i sig selv have frembragt loven om faste forhold, så længe opløsninger forblev forbindelser. I slutningen af det attende århundrede var det almindelig kendt, at nogle forbindelser sædvanligvis havde faste vægtforhold mellem deres bestanddele. For visse kategorier af reaktioner havde den tyske kemiker Richter endog bemærket de yderligere regelmæssigheder, der nu omfattes af loven om kemiske ækvivalenter.¹²² Men ingen kemiker gjorde brug af disse

regelmæssigheder undtagen til opskrifter, og næsten lige til århundredets slutning tænkte ingen på at generalisere dem. I betragtning af de åbenbare modeksempler så som glas eller salt i vand var ingen generalisation mulig, uden at man forkastede affinitetsteorien og dannede sig nye begreber om grænserne for kemikerens domæne. Denne følge blev tydelig lige i slutningen af århundredet i en berømt debat mellem de franske kemikere Proust og Berthollet. Den første hævdede, at alle kemiske reaktioner skete i faste forhold, den anden, at de ikke gjorde det. Begge samlede imponerende eksperimentelle vidnesbyrd for deres synspunkter. Ikke desto mindre talte de to mænd nødvendigvis forbi hinanden, og deres diskussion var fuldstændig resultatløs. Hvor Berthollet så en forbindelse, som kunne variere i forholdene, så Proust blot en fysisk blanding.¹²³ I dette spørgsmål kunne hverken forsøg eller definitionsændring være relevant. De to mænd misforstod hinanden lige så grundlæggende som Galilei og Aristoteles.

Sådan var situationen i de år, hvor John Dalton foretog de undersøgelser, som til slut førte til hans berømte kemiske atomteori. Men lige til de allersidste trin af disse undersøgelser var Dalton hverken kemiker eller interesseret i kemi. Derimod var han meteorolog og undersøgte de i hans øjne fysiske problemer med vandets absorption af gasser og atmosfærens absorption af vand. Dels fordi hans uddannelse lå på et andet specialområde og dels på grund af hans arbejde inden for dette speciale, nærmede han sig disse problemer med et paradigme, som var forskelligt fra de samtidige kemikeres. Specielt betragtede han luftarters blanding eller en luftarts absorption i vand som en fysisk proces, hvor affinitetskræfter ikke spillede nogen rolle. Derfor var den iagttagne ensartethed i opløsninger et problem for ham, men et problem, som han mente at kunne løse, hvis han kunne bestemme de relative størrelser og vægte af de forskellige atomare partikler i forsøgsblandingerne. Det var for at bestemme disse størrelser og vægte, at Dalton endelig vendte sig til kemien, idet han fra begyndelsen antog, at i den begrænsede række af reaktioner, han regnede for kemiske, kunne atomer kun sættes sammen en-og-en eller i et andet enkelt forhold mellem hele antal.¹²⁴ Denne naturlige antagelse satte ham i stand til at bestemme elementære partiklers størrelse og vægt, men den gjorde også loven om konstante forhold til en tautologi. For Dalton var enhver reaktion, hvor bestanddelene ikke indgik i faste forhold, netop af den grund ikke en rent kemisk proces. En lov, som forsøg ikke kunne have skabt før Daltons arbejde, blev et grundlæggende princip, som ikke kunne kuldcastes af et enkelt sæt kemiske målinger, så snart

dette arbejde var blevet accepteret. Som et resultat af det, der måske er vort mest fuldkomne eksempel på en videnskabelig revolution, fik de samme kemiske manipulationer et forhold til kemisk teori, som var meget forskelligt fra det, de havde før.

- Selvfølgelig blev Daltons konklusioner angrebet af mange, da de blev meddelt første gang. Især blev Berthollet aldrig overbevist. I betragtning af emnets natur behøvede han ikke blive det. Men for de fleste kemikere viste Daltons nye paradigme sig overbevisende, hvor Prousts ikke havde været det, for det havde langt videre og langt vigtigere følger end et nyt kriterium for skelnen mellem en blanding og en forbindelse. Hvis for eksempel atomer kun kunne sammensættes kemisk i enkle forhold mellem hele antal, så skulle en fornyet undersøgelse af eksisterende kemiske data afsløre eksempler på multiple såvel som faste proportioner. Kemikere holdt op med at skrive, at de to oxyder af f. eks. kulstof indeholdt 56 pct. og 72 pct. oxygen i vægt; i stedet skrev de, at en vægtenhed kulstof ville gå i forbindelse med enten 1,3 eller 2,6 vægtenheder oxygen. Når resultaterne af gamle forsøg blev stillet op på denne måde, sprang et 2:1 forhold i øjnene; og dette fremkom ved analysen af mange velkendte reaktioner og af nye ved siden af. Yderligere gjorde Daltons paradigme det muligt at optage Richters arbejde og at indse dets fulde almenhed. Og det foreslog også nye forsøg, især Gay-Lussacs med at forbinde rumfang, og disse gav endnu andre regelmæssigheder, som kemikere ikke tidligere havde drømt om. Det, kemikerne tog fra Dalton, var ikke nye eksperimentelle love, men en ny måde at drive kemi (han kaldte det selv den »kemiske filosofis nye system«), og denne viste sig så hurtigt at være frugtbar, at kun få af de ældre kemikere i Frankrig og Storbritannien var i stand til at modstå den.¹²⁵ Følgelig kom kemikere til at leve i en verden, hvor reaktioner optrådte helt anderledes, end de tidligere havde gjort.

Mens alt dette stod på, foregik der en anden typisk og meget vigtig forandring. Her og der begyndte selve kemiens numeriske data at ændres. Da Dalton første gang ledte efter data i den kemiske litteratur til at underbygge sin fysiske teori, fandt han visse beskrivelser af reaktioner, der passede, men han kan næppe have undgået at finde andre, der ikke passede. Prousts egne målinger af kobberets to oxyder gav f. eks. et oxygen-vægtforhold på 1,47:1 i stedet for 2:1, som krævedes af atomteorien; og Proust er netop den mand, man kunne vente ville nå til det daltonske forhold.¹²⁶ Han var nemlig en fin eksperimentator, og hans syn på forholdet mellem blandinger og

forbindelser lå nær op ad Daltons. Men det er vanskeligt at få naturen til at passe ind i et paradigme. Derfor er normalvidenskabens gåder så udfordrende, og derfor fører målinger, som foretages uden et paradigme, så sjældent til resultater overhovedet. Kemikere kunne derfor ikke simpelthen acceptere Daltons teori ud fra vidnesbyrdene, for mange af dem var endnu negative. I stedet måtte de, selv efter at de havde accepteret teorien, stadig tvinge naturen til at make ret, og det skulle vise sig, at denne proces næsten tog endnu en generation. Da den var afsluttet, var selv den procentvise sammensætning af velkendte forbindelser ændret. Dataene selv havde ændret sig. Dette er den sidste betydning, vi kan ønske at lægge i udtrykket, at videnskabsmænd efter en revolution arbejder i en ændret verden.

XI. Revolutioners usynlighed

Vi må endnu stille det spørgsmål, hvorledes videnskabelige revolutioner slutter. Først synes der imidlertid at være behov for et sidste forsøg på at forstærke overbevisningen om deres eksistens og natur. Indtil nu har jeg forsøgt at fremvise revolutioner gennem eksempler, og eksemplerne kunne forøges *ad nauseam*. Men det er klart, at de fleste af dem, som blev valgt, fordi de var så kendte, sædvanligvis ikke er blevet betragtet som revolutioner, men som tilføjelser til den videnskabelige erkendelse. Det samme synspunkt kunne lige så godt anlægges over for alle yderligere eksempler, og disse ville sandsynligvis være ineffektive. Jeg har den idé, at der er udmærkede grunde til, at revolutioner således har vist sig at være næsten usynlige. Både videnskabsmænd og lægmænd får i høj grad deres billede af skabende videnskabelig virksomhed fra en autoritativ kilde, som – til dels af betydningsfulde praktiske grunde – systematisk tilslører eksistensen og betydningen af videnskabelige revolutioner. Først når man har erkendt og analyseret denne autoritets karakter, kan man gøre sig håb om, at de historiske eksempler bliver helt effektive. Endvidere vil den analyse, som nu er påkrævet, begynde at antyde et af de aspekter af det videnskabelige arbejde, som klarest skiller det fra al anden skabende virksomhed, måske med undtagelse af teologien. Denne pointe kan imidlertid først udvikles fuldstændigt i mit afsluttende kapitel.

Den kilde til autoritet, jeg tænker på, er først og fremmest videnskabelige lærebøger sammen med de populariseringer og de filosofiske arbejder, der tager dem som forbillede. Indtil for nylig var der ud over selve forskningsaktiviteten ikke andre betydningsfulde kilder til oplysninger om videnskaben end disse tre kategorier, som alle har én ting fælles. De giver sig i kast med en allerede udformet gruppe af problemer, data og teorier – som oftest det bestemte sæt paradigmer, det videnskabelige samfund er optaget af på det tidspunkt, hvor de bliver skrevet. Lærebøgerne selv har til formål at formidle et samtidigt videnskabeligt sprogs ordforråd og syntaks. Populariseringer søger at beskrive de samme anvendelser i et sprog, som er nærmere det almindelige livs. Og videnskabsfilosofien – især i den engelsktalende verden

– analyserer den logiske struktur i den samme afrundede helhed af videnskabelig erkendelse. En mere udtømmende diskussion måtte naturligvis behandle de meget håndgribelige forskelle mellem disse tre genrer, men alligevel er det deres ligheder, der her optager os mest. De beskriver alle tre det varige *resultat* af tidligere revolutioner og viser således grundlaget for den aktuelle normalvidenskabelige tradition. For at opfylde deres funktion behøver de ikke at give autentiske oplysninger om, hvorledes dette grundlag oprindelig blev opdaget og siden antaget af faget. I det mindste hvad angår lærebøgerne, er der ovenikøbet gode grunde til, at de i så henseende må være systematisk vildledende.

I kapitel II så vi, at en voksende tillid til lærebøger eller lignende ufravigeligt fulgte med fremkomsten af et første paradigme på et hvilket som helst videnskabsområde. Det afsluttende kapitel i dette essay vil argumentere for, at sådanne bøgers herredømme over en udviklet videnskab i betydelig grad gør dens udviklingsmønster forskelligt fra andre områders. Lad os blot for nærværende tage for givet, at både lægmandens og udøverens viden om forskning i et omfang uden sidestykke på andre områder stammer fra lærebøger og nogle få andre former for litteratur, som er afhængig af disse. Lærebøger er imidlertid pædagogiske midler til normalvidenskabens fortsættelse, og de må derfor helt eller delvis skrives om, når normalvidenskabens sprog, problemstruktur eller standarder forandres. De må kort sagt skrives om efter hver videnskabelig revolution, og når de én gang er skrevet om, skjuler de uundgåeligt ikke alene funktionen, men selve eksistensen af de revolutioner, som skabte dem. Hos den aktive videnskabsmand eller hos den læge læser af lærebogslitteratur strækker den historiske sans sig kun til resultatet af de allernyeste revolutioner i faget, med mindre han personligt har oplevet en revolution i sit liv.

Lærebøger begynder således med at afstumpe forskerens sans for sit fags historie og giver sig så til at erstatte det, de har fjernet. Det er almindeligt, at videnskabelige lærebøger indeholder blot en lille smule historie, enten i indledningen eller – hyppigere – i spredte henvisninger til en tidligere tids store helte. Sådanne henvisninger får både studenter og fagfolk til at føle sig som deltagere i en lang historisk tradition. Men den tradition, videnskabsmænd udleder af lærebøger og kommer til at føle sig som deltagere i, har faktisk aldrig eksisteret. Af grunde, som er både åbenbare og overordentlig funktionelle, henviser videnskabelige lærebøger (og for mange af de ældre videnskabshistorier) kun til den del af tidligere videnskabsmænds arbejde,

som uden besvær kan betragtes som bidrag til formuleringen og løsningen af lærebøgernes paradigme-problemer. Tidligere tiders videnskabsmænd gengives dels i udvalg og dels forvrænget, og dermed lader man forstå, at de har arbejdet på den samme gruppe af faste problemer og overholdt det samme sæt af faste regler, som den nyeste revolution i videnskabelig teori og metode har gjort videnskabelige. Ikke mærkeligt at lærebøger og den historiske tradition, de antyder, må skrives om efter hver videnskabelig revolution. Og ikke mærkeligt at videnskaben, når de er skrevet om, igen kommer til at synes overvejende kumulativ.

Videnskabsmænd er selvfølgelig ikke den eneste gruppe, der betragter sin disciplins fortid som en direkte udvikling henimod dens nuværende gunstige tilstand. Fristelsen til at skrive historien baglæns er tilstede overalt og altid. Men videnskabsmænd berøres mere af fristelsen til at skrive historien om, dels fordi den videnskabelige forsknings resultater ikke viser nogen åbenbar afhængighed af undersøgelsens historiske sammenhæng, og dels fordi videnskabsmandens øjeblikkelige stilling synes så sikker – undtagen under kriser og revolutioner. Flere historiske detaljer, såvel om videnskabens nutid som om dens fortid, eller mere ansvarlighed over for de historiske detaljer, der fremlægges, kunne kun tildele menneskelige idiosyncrasier, fejltagelser og forvirring en kunstig stilling. Hvorfor hædre dét, videnskabens bedste og ihærdigste bestræbelser har gjort det muligt at forkaste? Nedvurderingen af historiske kendsgerninger er dybt og sandsynligvis praktisk rodfæstet i den professionelle videnskabelige ideologi, som samtidig tillægger andre former for faktiske detaljer den højeste værdi af alt. Whitehead ramte det videnskabelige samfunds uhistoriske ånd, da han skrev: »En videnskab, der tøver med at glemme sine grundlæggere, er fortabt.« Amgøvel havde han ikke helt ret, for ligesom andre professioner behøver videnskaberne faktisk deres helte, og de bevarer faktisk deres navne. I stedet for at glemme disse helte har videnskabsmænd heldigvis været i stand til at glemme eller revidere deres værker.

Resultatet er en stærk tendens til at få videnskabshistorien til at se retlinjet og kumulativ ud, en tendens som endog har sin virkning på videnskabsmænd, når de ser tilbage på deres egen forskning. For eksempel får Daltons tre uforenelige beskrivelser af hans kemiske atomismes udvikling det alle til at se ud som om han fra et tidligt tidspunkt var interesseret i netop de kemiske problemer med forbindelses-forhold, som han senere blev berømt for at have løst. I virkelig-

heden synes disse problemer først at være faldet ham ind sammen med deres løsninger, og da ikke før hans eget skabende arbejde næsten var fuldendt.¹²⁷ Alle Daltons beskrivelser udelader de revolutionerende virkninger af, at man i kemien anvender en række spørgsmål og begreber, som tidligere var begrænset til fysikken og meteorologien. Det var det, Dalton gjorde, og resultatet var en nyorientering over for faget, som lærte kemikere at stille nye spørgsmål om og at drage nye slutninger af gamle data.

Eller et andet eksempel. Newton skrev, at Galilei havde opdaget, at den konstante tyngdekraft frembringer en bevægelse, som er proportional med kvadratet på tiden. Galileis bevægelsesteorem får faktisk den udformning, når det kommer i støbeformen hos Newtons egne dynamiske begreber. Men Galilei sagde aldeles ikke noget sådant. Hans diskussion af faldende legemer hentyder sjældent til kræfter, langt mindre til en ensartet tyngdekraft, som forårsager legemers fald.¹²⁸ Ved at tilskrive Galilei æren for svaret på et spørgsmål, som Galileis paradigmer ikke tillod at stille, skjuler Newtons fremstilling resultatet af en lille, men revolutionerende omformulering af de spørgsmål, videnskabsmænd stillede om bevægelse, såvel som af de svar, de følte sig i stand til at acceptere. Men det er netop den slags forandringer i formuleringen af spørgsmål og svar i langt højere grad, end det er nye empiriske opdagelser, der forklarer overgangen fra aristotelisk til galileisk og fra galileisk til newtonsk dynamik. Lærebøgernes tendens til at gøre videnskabens fremadskriden retlinjet ved at tilsløre sådanne forandringer, skjuler en proces, som står i centrum af de vigtigste begivenheder i videnskabens udvikling.

Inden for hver sin revolutions sammenhæng viser de foregående eksempler begyndelserne til en rekonstruktion af historien, som almindeligvis fuldendes af efterrevolutionære videnskabelige lærebøger. Men i denne fuldendelse er der inddraget mere end en mangfoldiggørelse af de historiske fejlfortolkninger, der blev illustreret oven for. Disse fejlfortolkninger gør revolutioner usynlige; lærebøgernes opstilling af det endnu synlige materiale implicerer en udvikling, som, hvis den eksisterede, ville nægte revolutioner en funktion. Lærebøgerne stræber efter hurtigt at sætte den studerende ind i, hvad det samtidige videnskabelige samfund mener at vide, og derfor behandler de den aktuelle normalvidenskabs talrige forsøg, begreber, love og teorier særskilt og efter tur i så høj grad som muligt. Pædagogisk er denne fremstillingsmåde upåklagelig. Men når den forbindes med videnskabelig litteraturs overvejende uhistoriske karakter og med de til tider systematiske fejl-

fortolkninger, der blev diskuteret ovenfor, er der ét indtryk, som efter al sandsynlighed vil følge: videnskaben har nået sin nuværende tilstand ved en række enkeltopdagelser og -opfindelser, som tilsammen udgør hele den moderne fagkundskab. Lærebogens fremstilling lader forstå, at forskere fra videnskabens begyndelse har stræbt efter de bestemte mål, som er udformet i nutidens paradigmer. I en proces, som ofte er blevet sammenlignet med at lægge sten på sten til en bygning, har forskere en for en føjet endnu en kendsgerning, et begreb, en lov eller en teori til den mængde information, den moderne lærebog giver.

Men det er ikke på den måde, videnskaben udvikler sig. Mange af gåderne i den nutidige normalvidenskab eksisterede først efter den nyeste videnskabelige revolution. Meget få af dem kan spores tilbage til den historiske begyndelse på den videnskab, de nu forekommer i. Tidligere generationer forfulgte deres egne problemer med deres egne instrumenter og deres egne løsningsregler. Og det er ikke alene problemerne, der er forandret. Snarere er hele det mønster af kendsgerninger og teorier, som lærebogsparadigmet tilpasser til naturen, skiftet. Er kemiske sammensætningskonstanter for eksempel blot en erfaringsmæssig kendsgerning, som kemikere kunne have opdaget gennem forsøg inden for en hvilken som helst af de verdener, de har arbejdet i? Eller er det snarere et element – og ovenikøbet et ubetvivleligt element – i en ny opbygning af sammenhængende erfaring og teori, Dalton tilpassede til den tidligere kemiske erfaring som helhed, hvorved han samtidig ændrede denne erfaring? Eller, er den konstante acceleration, som frembringes af en konstant kraft, en ren og skær kendsgerning, som dynamikkens udforskere altid har søgt efter, eller er den snarere svaret på et spørgsmål, som til at begynde med kun opstod inden for Newtons teori, og som denne teori kunne besvare ud fra den mængde viden, som forelå, før spørgsmålet blev stillet?

Her stilles disse spørgsmål om de trinvist opdagede kendsgerninger, som forekommer i en lærebogs fremstilling. Men det er klart, at de også har betydning for det, lærebogen fremstiller som teorier. Disse teorier »passer med kendsgerningerne«, naturligvis, men kun når de omformer forud tilgængelig viden til kendsgerninger, som overhovedet ikke eksisterede for det foregående paradigme. Og det betyder, at teorier heller ikke udvikler sig trinvist til at passe til kendsgerninger, som har været der hele tiden. Snarere opstår de sammen med de kendsgerninger, de passer til, af en revolutionerende omformulering af den forudgående videnskabelige tradition, inden for hvilken det for-

hold, som erkendelsen formidler mellem forsker og natur, ikke var helt det samme.

Et sidste eksempel kan måske belyse vor forklaring af den indflydelse, lærebøgers fremstilling har på vort billede af den videnskabelige udvikling. Enhver lærebog i elementær kemi må diskutere begrebet om et kemisk grundstof. Når dette begreb indføres, tilskrives dets oprindelse så godt som altid syttenhundredtals kemikeren Robert Boyle, i hvis *Sceptical Chymist* den opmærksomme læser vil finde en definition af 'grundstof', som ligger ganske nær op ad den, vi bruger i dag. En henvisning til Boyles indsats er med til at gøre begynderen klar over, at kemien ikke begyndte med sulfapræparaterne; endvidere fortæller det ham, at en af forskerens traditionelle opgaver er at opfinde den slags begreber. Som en del af det pædagogiske arsenal, der gør et menneske til videnskabsmand, er henvisningen umådelig vellykket. Ikke desto mindre belyser det endnu engang mønstret i de historiske fejltagelser, som vildleder både studerende og lægmand angående det videnskabelige arbejdes natur.

Boyle havde ganske ret, når han mente, at hans »definition« af et grundstof ikke var andet end en omskrivning af et traditionelt kemisk begreb. Boyle opstillede det kun for at argumentere for, at der ikke findes sådan noget som et kemisk grundstof; betragtet som historie er lærebogsversionen af Boyles indsats helt forkert.¹²³ Denne fejl er selvfølgelig trivial omend ikke mere end enhver anden fordrejning af data. Men hvad der ikke er trivielt er det indtryk af videnskaben, der ophjælpes, når denne form for fejltagelse først forøges og så indbygges i lærebogens tekniske struktur. Ligesom 'tid', 'energi', 'kraft', eller 'partikel' hører begrebet om et grundstof til de lærebogsingredienser, som ofte slet ikke opfindes eller opdages. Hvad specielt angår Boyles definition, kan den spores tilbage i det mindste til Aristoteles og fremad over Lavoisier til moderne tekster. Men det er ikke ensbetydende med, at videnskaben har kendt det moderne begreb om et grundstof siden oldtiden. Verbale definitioner som Boyles har ringe videnskabeligt indhold, når de betragtes i sig selv. De er ikke fuldstændige, logiske specifikationer af mening (hvis der findes sådanne), men snarere pædagogiske hjælpemidler. De videnskabelige begreber, de drejer sig om, får først fuldstændig mening, når de i en lærebog eller anden systematisk fremstilling bliver forbundet med andre videnskabelige begreber, med brugsregler og med paradigme-ændringer. Det er en følge, at begreber som f.eks. det om et grundstof næppe kan opfindes uafhængigt af en sammenhæng. Desuden, når sammenhængen er givet, kræver

de sjældent opfindelse, fordi de allerede er til stede. Både Boyle og Lavoisier ændrede i vigtige henseender den kemiske betydning af 'grundstof'. Men de opfandt ikke begrebet, ja, de ændrede ikke engang den sproglige formel, der tjener som dets definition. Og som vi har set, behøvede Einstein ikke at opfinde, ja, ikke engang eksplicit at omdefinere 'rum' og 'tid' for at give dem ny mening inden for rammerne af sit arbejde.

Hvad var da Boyles historiske rolle i den del af hans arbejde, der indeholder hans berømte »definition«? Han var leder af en videnskabelig revolution, som ved at ændre forholdet mellem 'grundstof' og kemisk praksis og kemisk teori omdannede begrebet til et helt andet redskab, end det havde været tidligere, og som ændrede både kemien og kemikerens verden undervejs.¹³⁰ For at give begrebet dets moderne form og funktion måtte der andre revolutioner til, derunder den der har Lavoisier som centrum. Men Boyle giver et tydeligt eksempel både på den udvikling, som er inddraget på hvert af disse trin, og på, hvad der sker med denne udvikling, når den eksisterende viden indlemmes i en lærebog. Mere end nogen anden enkeltside ved videnskaben har denne pædagogiske form bestemt vort billede af videnskabens natur og af den rolle, opdagelse og opfindelse spiller i dens fremadskriden.

XII. Opløsningen af revolutioner

De lærebøger, vi netop har diskuteret, frembringes først i kølvandet på en videnskabelig revolution. De danner grundlag for en ny normalvidenskabelig tradition. Ved at tage spørgsmålet om deres struktur op, har vi tydeligvis sprunget et trin over. Hvorledes går det til, at en ny paradigme-kandidat erstatter sin forgænger? Enhver ny fortolkning af naturen, hvad enten det er en opdagelse eller en teori, kommer først frem i en enkelt eller nogle få personers tanke. Det er dem, der først lærer at betragte videnskaben og verden anderledes, og deres evne til at foretage overgangen støttes af omstændigheder, som ikke er almindelige for de fleste andre medlemmer af deres profession. Uden undtagelse er deres opmærksomhed blevet stærkt koncentreret om de krisefremkaldende problemer; dertil kommer almindeligvis, at de er så unge eller så nye i det kriseramte område, at praksis har forpligtet dem mindre end de fleste af deres samtidige over for det verdenssyn og de regler, som er fastlagt af det gamle paradigme. Hvorledes kan de – således som de er nødt til – omvende hele faget eller den pågældende undergruppe af faget til deres måde at betragte videnskaben og verden? Hvad får gruppen til at forkaste én tradition for normalvidenskab til fordel for en anden?

For at se betydningen af disse spørgsmål må vi erindre, at de er de eneste rekonstruktioner, historikeren kan bidrage med til filosofens undersøgelse af afprøvningen, verifikation eller falsifikation af anerkendte videnskabelige teorier. For så vidt som forskeren er optaget af normalvidenskab, løser han gåder, og afprøver ikke paradigmer. Selv om han måske ved efterforskningen af en bestemt gådes løsning prøver en række alternative tilnærmelser og forkaster dem, der ikke giver det ønskede resultat, så er det ikke en afprøvning af paradigmet, han foretager. Snarere kan han sammenlignes med skakspilleren, som med skakbrættet konkret eller tænkt foran sig står over for et problem og afprøver forskellige alternative træk i sin søgen efter en løsning. Disse forsøg – hvad enten det drejer sig om skakspilleren eller videnskabsmanden – er kun afprøvninger af dem selv og ikke af spillets regler. De er kun mulige, så længe paradigmet tages for givet. Derfor

forekommer paradigme-afprøvning først efter at vedvarende uheld med at løse en betydningsfuld gåde har skabt en krise. Og selv da forekommer den først, når krisefølelsen har fremkaldt en alternativ kandidat til paradigme-posten. Afprøvningssituationen i videnskaberne består aldrig således som løsningen af gåder i en simpel sammenligning af et enkelt paradigme med naturen. Derimod forekommer afprøvning som et led i konkurrencen mellem to rivaliserende paradigmer om det videnskabelige samfunds tilslutning.

Undersøger man denne formulering nøje, viser den uventede og formentlig betydningsfulde paralleller med to af de populære moderne filosofiske teorier om verifikation. Der er kun få videnskabsfilosoffer, som stadig søger efter absolutte kriterier for verifikationen af videnskabelige teorier. Idet de bemærker, at ingen teori nogensinde kan udsættes for alle mulige, relevante afprøvninger, spørger de ikke, om en teori er blevet verificeret, men snarere om dens sandsynlighed i lyset af de vidnesbyrd, der faktisk eksisterer. Og for at besvare dette spørgsmål tvinges en betydningsfuld skole til at sammenligne forskellige teories evner til at forklare de forhåndenværende vidnesbyrd. Denne underregning af sammenligningen mellem teorier karakteriserer også den historiske situation, hvor en ny teori bliver accepteret. Sandsynligvis peger det på en af de retninger, som fremtidige diskussioner af verifikation må tage.

I deres mest almindelige former falder alle teorier om sandsynlighedsmæssig verifikation imidlertid tilbage på det ene eller det andet af de rene eller neutrale iagttagelsessprog, der blev diskuteret i kapitel X. En sandsynlighedsteori beder os sammenligne den pågældende videnskabelige teori med alle andre, som kunne tænkes at passe med den samme klasse af iagttagne data. En anden kræver, at man i tankerne konstruerer alle de prøver, som man kunne tænke sig, at den pågældende videnskabelige teori skulle klare.¹³¹ Tilsyneladende er en konstruktion af denne slags nødvendig til udregningen af specifikke sandsynligheder – absolutte eller relative – og det er vanskeligt at se, hvorledes det er muligt at nå til en sådan konstruktion. Hvis der, som jeg allerede har fremhævet, ikke kan være noget videnskabeligt eller empirisk neutralt begrebs- eller sprogsystem, så må den foreslåede konstruktion af alternative afprøvninger og teorier udgå fra en eller anden paradigme-begrundet tradition. Og når den var begrænset på denne måde, ville den ikke have adgang til alle, mulige erfaringer eller teorier. Følgelig fordunkler sandsynlighedsteorier verifikationssituationen, i lige så høj grad som de belyser den. Selv om denne situation,

som de hævder, faktisk afhænger af sammenligningen af teorier og af en mængde omfattende vidnesbyrd, står de pågældende teorier og iagttagelser altid i nær forbindelse med allerede eksisterende. Verifikation er ligesom naturlig udvælgelse: den vælger de mest levedygtige blandt de foreliggende alternativer i en bestemt historisk situation. Om dette valg er det bedste, der kunne være foretaget, hvis også andre alternativer havde været åbne, er det ikke til nogen nytte at spørge om. Der er ingen midler, man kan anvende, når man søger at besvare det.

↓
En helt anderledes tilnærmelse til hele dette kompleks af problemer er blevet udviklet af Karl R. Popper, som benægter, at der i det hele taget findes verifikationsprocedurer.¹³² I stedet lægger han vægt på betydningen af falsifikation, dvs. den afprøvning, som nødvendiggør forkastelsen af en accepteret teori, fordi dens resultat er negativt. Den rolle, der således gives falsifikationen, ligner tydeligvis meget den rolle, som dette essay tillægger uregelmæssige erfaringer, dvs. erfaringer som fremkalder en krise og derved bereder vejen for en ny teori. Alligevel må uregelmæssige erfaringer ikke identificeres med falsificerende erfaringer. Faktisk tvivler jeg på, om de sidste eksisterer. Som det er blevet understreget gentagne gange tidligere, løser ingen teori nogensinde alle de problemer, som den på et givet tidspunkt står over for; og de allerede opnåede løsninger er sjældent fuldkomne. Tværtimod er det netop den manglende fuldendelse og fuldkommenhed i det eksisterende forhold mellem data og teori, der på ethvert tidspunkt fastlægger mange af de problemer, der karakteriserer normalvidenskaben. Hvis enhver mangel på overensstemmelse var en grund til at forkaste teorien, burde alle teorier altid forkastes. Hvis på den anden side kun alvorlige uoverensstemmelser retfærdiggør forkastelse af en teori, så behøver popperianerne et eller andet kriterium på »usandsynlighed« eller »grad af falsifikation«. Og ved at udvikle et sådant vil de næsten med sikkerhed møde det samme net af vanskeligheder, som har plaget fortællerne for de forskellige teorier om sandsynlig verifikation.

Begge disse fremherskende og modsat rettede opfattelser af den videnskabelige forsknings tilgrundliggende logik har søgt at sammentrænge to stort set adskilte processer til én, og hvis man erkender det, kan mange af de foregående vanskeligheder undgås. Poppers unormale erfaring er vigtig for videnskaben, fordi den fremkalder konkurrenter til et eksisterende paradigme. Men selv om falsifikation bestemt forekommer, sker den ikke sammen med, eller blot på grund af, fremkomsten af en uregelmæssighed eller et falsificerende tilfælde. Der-

imod er det en efterfølgende og særskilt proces, som lige så godt kunne kaldes verifikation, eftersom den består i et nyt paradigmes triumf over det gamle. Endvidere er det i denne fælles verifikations-falsifikationsproces, at sandsynlighedsteoretikerens sammenligning af teorier spiller en central rolle. En sådan formulering i to trin har efter min mening det fortrin at ligne sandheden meget, og den kan måske også sætte os i stand til at begynde at forklare den rolle, som overensstemmelse (eller uoverensstemmelse) mellem kendsgerning og teori spiller i verifikationsprocessen. I det mindste for historikeren giver det ikke mening at foreslå, at verifikation er tilvejebringelse af overensstemmelse mellem kendsgerning og teori. Alle historisk betydningsfulde teorier har været i overensstemmelse med kendsgerningerne, men kun mere eller mindre. Der findes ikke noget mere nøjagtigt svar på spørgsmålet om, hvorvidt og hvor godt en enkelt teori passer med kendsgerningerne. Men man kan stille spørgsmål, som ligner disse meget, når teorier tages samlet eller blot parvis. Det giver ganske god mening at spørge om, hvilken af to foreliggende og konkurrerende teorier der *bedst* passer med kendsgerningerne. Selv om hverken Priestleys eller Lavoisiers teori for eksempel var i nøjagtig overensstemmelse med eksisterende iagttagelser, tøvede kun få samtidige i mere end et årti med at drage den slutning, at Lavoisiers gav den bedste overensstemmelse af de to.

Denne formulering får imidlertid opgaven med at vælge mellem paradigmer til at se både lettere og mere velkendt ud, end den er. Hvis der kun var én gruppe af videnskabelige problemer, én verden inden for hvilken man skulle arbejde med dem, og ét sæt af standarder for deres løsning, så kunne konkurrence mellem paradigmer afgøres mere eller mindre rutinemæssigt – så som ved at tælle de problemer, hver af dem har løst. Men disse betingelser er faktisk aldrig fuldstændig opfyldt. Fortalerne for konkurrerende paradigmer misforstår altid hinanden i det mindste lidt. Ingen af siderne vil tillade alle de ikke-empiriske antagelser, som den anden behøver i sin argumentation. Ligesom Proust og Berthollet i diskussionen om sammensætningen af kemiske forbindelser er de dømt til delvis at tale forbi hinanden. Selv om hver af dem kan håbe på at omvende den anden til sin måde at se på hans videnskab og dens problemer, kan ingen af dem håbe at føre bevis for sin sag. Konkurrencen mellem paradigmer hører ikke til den slags kampe, der kan afgøres med beviser.

Vi har allerede set mange grunde til at fortalerne for konkurrerende paradigmer ikke kan have held til at få fuldstændig kontakt med hin-

andens synspunkter. Disse grunde er samlet blevet beskrevet som usammenligneligheden mellem før- og efterrevolutionære normalvidenskabelige traditioner, og her behøver vi kun at rekapitulere dem kort. For det første vil fortalerne for konkurrerende paradigmer ofte være uenige om den liste af problemer, som enhver paradigme-kandidat må løse. Deres standarder eller deres definitioner af videnskab er ikke de samme. Skal en bevægelsesteori forklare årsagen til de tiltrækkende kræfter mellem stofpartikler, eller kan den simpelthen bemærke eksistensen af sådanne kræfter? Newtons teori blev i vid udstrækning forkastet, fordi den i modsætning til Aristoteles' og Descartes' teorier forudsatte det sidste svar på spørgsmålet. Da Newtons teori var blevet accepteret, blev et spørgsmål derfor forvist fra videnskaben. Dette spørgsmål kan den almene relativitetsteori imidlertid stolt hævde at have besvaret. Og ligeledes hindrede Lavoisiers kemiske teori, således som den var udbredt i det nittende århundrede, kemikere i at spørge, hvorfor metallerne var så ens, – et spørgsmål som flogistisk kemi både havde stillet og besvaret. Overgangen til Lavoisiers paradigme havde ligesom overgangen til Newtons betydet et tab ikke alene af et legitimt spørgsmål, men også af en opnået løsning. Dette tab var imidlertid heller ikke varigt. I det tyvende århundrede er spørgsmål om kemiske stoffers kvaliteter igen kommet ind i videnskaben sammen med visse svar på dem.

Der er imidlertid mere involveret end usammenligneligheden af standarder. Eftersom nye paradigmer fødes af gamle, optager de i almindelighed meget af det ordforråd og det udstyr af såvel begreber som manipulationer, som det traditionelle paradigme tidligere havde anvendt. Men de anvender sjældent disse lånte elementer helt traditionelt. Inden for det nye paradigme kommer gamle udtryk, begreber og forsøg til at stå i nye forhold indbyrdes. Det uundgåelige resultat er, hvad vi – omend lidt unøjagtigt – må kalde en misforståelse mellem de to konkurrerende skoler. De lægmænd, der spottede Einsteins almene relativitetsteori, fordi rummet ikke kunne være »krumt« – sådan var det ikke – tog ikke simpelthen fejl eller misforstod. Og det var heller ikke tilfældet med de matematikere, fysikere og filosoffer, som forsøgte at udvikle en euklidisk udgave af Einsteins teori.¹³³ Det, man tidligere havde ment med rum, var nødvendigvis fladt, homogent, isotropt og uberørt af stofs tilstedeværelse. Hvis det ikke havde været det, ville den newtonske fysik ikke have fungeret. For at foretage overgangen til Einsteins univers måtte hele det net af begreber, hvis tråde er rum, tid, stof, kraft osv., udskiftes og igen lægges ned over naturen i sin

helhed. Kun mennesker, som sammen var undergået forvandlingen, ville være i stand til at opdage nøjagtigt, hvad de var enige eller uenige om. Kommunikationen over det revolutionære svælg er nødvendigvis ufuldstændig. Tænk som et andet eksempel på de mennesker, der kaldte Kopernikus forrykt, fordi han erklærede, at jorden bevægede sig. De tog hverken bare fejl eller fuldstændig fejl. En del af det, de mente med 'jord', var fast placering. Deres jord kunne i det mindste ikke bevæges. Tilsvarende var Kopernikus' fornyelse ikke blot at bevæge jorden. Snarere var det en helt ny måde at betragte fysikkens og astronomiens problemer på, og den ændrede nødvendigvis meningen med både 'jord' og 'bevægelse'.¹⁵⁴ Uden disse ændringer var ideen om en jord i bevægelse forrykt. På den anden side, så snart de var blevet foretaget og forstået, kunne både Descartes og Huyghens indse, at jordens bevægelse var et spørgsmål uden indhold for videnskaben.¹⁵⁵

Disse eksempler peger på det tredje og mest fundamentale aspekt af usammenligneligheden mellem konkurrerende paradigmer. Uden at jeg kan forklare meningen med det nærmere, udfører fortalene for konkurrerende paradigmer deres arbejde i forskellige verdener. Den ene indeholder hæmmede legemer, der falder langsomt, den anden penduler, der gentager deres bevægelser igen og igen. I en er opløsninger forbindelser, i en anden blandinger. En er indfattet i en flad, en anden i en krum rumform. Fordi de to grupper af forskere arbejder i forskellige verdener, ser de forskellige ting, når de fra samme sted ser i samme retning. Men det er ikke ensbetydende med, at de kan se, hvad de ønsker. Begge betragter verden, og det, de betragter, har ikke ændret sig. Men på visse områder ser de forskellige ting, og de ser dem i forskellige indbyrdes forhold. Det er grunden til, at en lov, som ikke engang kan bevises for én gruppe af forskere, til tider kan synes intuitivt indlysende for en anden. Og det er ligeledes grunden til, at før to grupper kan gøre sig håb om fuldstændig kommunikation, må den ene eller den anden gennemgå den omvendelse, vi har kaldt et paradigme-skift. Netop fordi overgangen mellem konkurrerende paradigmer er en overgang mellem usammenlignelige størrelser, kan den ikke gøres til et tidsfæstet skridt, som er fremtvunget af logik og neutral erfaring. Lige som gestaltskiftet må den foregå samlet og på én gang (men ikke nødvendigvis på et øjeblik), eller også helt lade være med at foregå.

Hvorledes bringes videnskabsmænd da til at foretage denne omstilling? En del af svaret er, at det ofte ikke sker. Kopernikanismen omvendte kun få i næsten et århundrede efter Kopernikus' død. I mere

end et halvt århundrede efter *Principias* fremkomst blev Newtons arbejde ikke almindelig accepteret, især ikke på kontinentet.¹⁵⁶ Priestley accepterede aldrig oxygenteorien, lord Kelvin aldrig den elektromagnetiske teori osv. Vanskelighederne ved omvendelse er ofte blevet bemærket af videnskabsmændene selv. I en særligt forstående passage i slutningen af *Origin of Species* skrev Darwin: »Selv om jeg er fuldstændig overbevist om sandheden af synspunkterne i denne bog . . ., forventer jeg på ingen måde at overbevise erfarne naturhistorikere, hvis tanker er fyldt med en mængde kendsgerninger, som igenem mange år er blevet betragtet fra et synspunkt, som er direkte modsat mit . . . Men jeg ser tillidsfuldt hen til fremtiden – til unge, opvoksende naturhistorikere, som vil være i stand til upartisk at se begge sider af sagen.«¹⁵⁷ Og da Max Planck i sin *Scientific Autobiography* tog et overblik over sin egen karriere, bemærkede han trist, at »en ny videnskabelig sandhed ikke sejrer ved at overbevise sine modstandere og få dem til at se lyset, men snarere fordi dens modstandere efterhånden dør, og en ny generation vokser op, som er vant til den.«¹⁵⁸

Disse og lignende kendsgerninger er for alment kendte til at behøve yderligere understregning. Men derimod behøver de omvurdering. Tidligere er de oftest blevet opfattet som tegn på, at da videnskabsmænd kun er mennesker, kan de ikke indrømme alle deres fejl, selv når de står over for et strengt bevis. Jeg ville snarere sige, at i disse spørgsmål er der hverken tale om bevis eller fejl. Overførelsen af tilhørsforholdet fra et paradigme til et andet er en oplevelse af omvendelse, som ikke kan fremtvinges. Livslang modstand – især fra dem, hvis produktive karrierer har forpligtet dem over for en ældre normalvidenskabelig tradition – er ikke et brud på videnskabelige standarder, men et udtryk for selve den videnskabelige forsknings natur. Kilden til modstand er overbevisningen om, at det ældre paradigme i den sidste ende vil løse alle sine problemer, at naturen kan puttes i den kasse, paradigmet udgør. Det er uundgåeligt, at denne overbevisning i revolutionstider forekommer stivsindet og egenrådlig, hvilket den til tider faktisk bliver. Men den er også noget andet og mere. Det er den samme overbevisning, der gør normal eller gådeløsende videnskab mulig. Og det er kun gennem normalvidenskaben, at det professionelle samfund af forskere har held til, først at udnytte det ældre paradigmes mulige rækkevidde og nøjagtighed, og dernæst til at isolere den vanskelighed, hvis udforskning kan give stødet til et nyt paradigme.

Men at sige at modstand er uundgåelig og rimelig, at paradigme-

ændringer ikke kan retfærdiggøres ved beviser, er immervæk ikke det samme som, at ingen argumenter er relevante, eller at videnskabsmænd ikke kan overtales til at ændre mening. Selv om der sommetider kræves en generation for at sætte ændringen igennem, er videnskabelige samfund igen og igen blevet omvendt til nye paradigmer. Endvidere sker disse omvendelser ikke på trods af den kendsgerning, at forskere er mennesker, men fordi de er det. Selv om nogle forskere, især de ældre og mere erfarne, kan gøre modstand i det uendelige, kan de fleste af dem nås på den ene eller den anden måde. Omvendelser vil foregå få ad gangen, indtil hele professionen, efter at de sidste udholdende er døde, igen vil arbejde under et enkelt, men nu ændret paradigme. Vi må derfor spørge, hvorledes omvendelse fremkaldes, og hvorledes den modstås.

Hvilken slags svar kan vi forvente på det spørgsmål? Netop fordi vort spørgsmål drejer sig om overtalelsesteknik eller om argumenter og modargumenter i en situation, hvor der ikke kan være nogen beviser, er det et nyt spørgsmål, som kræver en form for undersøgelse, der ikke tidligere har været foretaget. Vi må nøjes med en meget ufuldstændig og impresjonistisk oversigt. Desuden tyder det tidligere sagte og resultatet af denne oversigt tilsammen på, at spørgsmålet om den videnskabelige argumentations karakter ikke har noget enkelt standard-svar, når det stilles om overtalelse i stedet for om bevis. Den enkelte videnskabsmand tager et nyt paradigme op af alle mulige grunde og almindeligvis af mange på én gang. Nogle af disse grunde – som for eksempel soltilbedelsen, der var med til at gøre Kepler til kopernikanner – ligger helt uden for det klart videnskabelige område.¹³⁹ Andre må bero på selvbiografiske og personlige særegenheder. Selv reformatorens og hans læreres nationalitet og tidligere ry kan til tider spille en vigtig rolle.¹⁴⁰ I den sidste ende må vi derfor lære os at stille dette spørgsmål på en anden måde. Vi vil så ikke interessere os for de argumenter, der rent faktisk omvender den ene eller den anden person, men snarere for den form for videnskabeligt samfund, som altid før eller senere nydannes som enkeltgruppe. Dette problem udskyder jeg imidlertid til det sidste kapitel og undersøger i mellemtiden nogle af de former for argumentation, der kan vise sig særligt effektive i kampene om paradigme-forandringer.

Sandsynligvis er den mest fremtrædende påstand, fortalerne for et nyt paradigme fremsætter, at de kan løse de problemer, der førte det gamle paradigme ud i en krise. Når denne påstand kan hævdes med rimelighed, er den ofte den mest effektive, der er mulig. Der hvor

man sætter den ind, ved man, at paradigmet er i vanskeligheder. Disse vanskeligheder er gentagne gange blevet udforsket, og forsøg på at fjerne dem har igen og igen vist sig forgæves. Selv før det nye paradigme var opfundet, har man erkendt og underbygget »afgørende eksperimenter« – dvs. eksperimenter, som er i stand til at skelne særlig skarpt mellem de to paradigmer. Kopernikus hævdede således, at han havde løst det gamle, irriterende problem med kalenderårets længde, Newton at han havde forligt jord- og himmel-mekanik, Lavoisier at han havde løst problemerne med luftarters identitet og vægtforhold, og Einstein at han havde gjort elektrodynamikken forenelig med en revideret bevægelsesvidenskab.

Påstande af denne art har særlig udsigt til at have heldet med sig, hvis det nye paradigme udviser en kvantitativ nøjagtighed, som er påfaldende bedre end dens ældre konkurrent. Den kvantitative overlegenhed i Keplers rudolfinske tavler i forhold til alle dem, der blev udregnet ud fra den ptolemæiske teori, var en vigtig faktor ved omvendelsen af astronomer til kopernikanismen. Newtons held med at forudsige kvantitative astronomiske iagttagelser var sandsynligvis den vigtigste enkelte grund til hans teoris sejr over dens mere fornuftige, men helt igennem kvalitative konkurrenter. Og i vort århundrede overtalte såvel Plancks strålingslov som Bohr-atomet hurtigt mange fysikere til at tage dem op, også selv om begge disse indsatser, hvis man betragtede fysikken som helhed, skabte mange flere problemer, end de løste.¹⁴¹

Påstanden om at have løst de krisefremkaldende problemer er imidlertid sjældent nok i sig selv; og den er heller ikke altid berettiget. Faktisk var Kopernikus' teori ikke mere nøjagtig end Ptolemæus', og den førte ikke direkte til nogen forbedring af kalenderen. Og bølge-teorien om lyset havde i nogle år efter dens første fremsættelse ikke engang så meget held som den rivaliserende partikelteori med at opløse de polarisationseffekter, der var en hovedårsag til optikkens krise. Sommetider frembringer den løsere praksis, der karakteriserer unormal forskning, en paradigme-kandidat, som til at begynde med slet ikke er til nytte over for de problemer, der har fremkaldt krisen. Når det forekommer, må man hente beviser fra andre dele af området – hvilket ofte sker alligevel. På disse andre områder kan der udvikles særligt overbevisende argumenter, hvis det nye paradigme tillader forudsigelsen af fænomener, som man var uden anelse om, mens det gamle var fremherskende.

Kopernikus' teori foreslog for eksempel, at planeter skulle være lige-

som jorden, at Venus skulle udvise faser, og at universet måtte være langt større end tidligere antaget. Da teleskopet tres år efter hans død pludselig afslørede bjerge på månen, Venus' faser og en umådelig mængde hidtil uanede stjerner, skaffede disse iagttagelser følgelig den nye teori en mængde tilhængere – især blandt ikke-astronomer.¹⁴² I tilfældet med bølgeteorien var en af hovedkilderne til omvendelser inden for faget endnu mere dramatisk. Den franske modstand faldt pludseligt og temmelig fuldstændigt sammen, da Fresnel var i stand til at påvise eksistensen af en hvid plet midt i skyggen fra en rund plade. Det var en effekt, som ikke engang han havde forventet, men som Poisson, der til at begynde med var en af hans modstandere, havde påvist som en nødvendig, omend absurd følge af Fresnels teori.¹⁴³ Argumenter som disse viser sig særligt overbevisende på grund af deres chokværdi, og fordi de så åbenbart ikke har været »indbygget« i den nye teori fra begyndelsen. Og sommetider kan denne ekstra styrke udnyttes, selv om det pågældende fænomen var blevet iagttaget længe før, man første gang indførte den teori, der forklarer den. Einstein synes for eksempel ikke at have ventet, at den almene relativitetsteori ville give en nøjagtig forklaring på bevægelsen af Merkurs perihelium, og han oplevede en tilsvarende sejr, da den gjorde det.¹⁴⁴

Alle de hidtil diskuterede argumenter for et nyt paradigme har været baseret på konkurrenternes forholdsvise evne til at løse problemer. For videnskabsmænd er disse argumenter almindeligvis de vigtigste og mest overbevisende. De foregående eksempler skulle ikke lade nogen tvivl tilbage angående kilden til deres umådelige tiltrækning. Men af grunde, som vi snart skal vende tilbage til, er de hverken enkeltvis eller tilsammen tvingende. Heldigvis er der også en anden form for overvejelser, der kan føre videnskabsmænd til at forkaste et gammelt paradigme til fordel for et nyt. Det er de argumenter, som sjældent gøres helt klare, men som appellerer til den enkeltes sans for det hensigtsmæssige eller det æstetiske – den nye teori siges at være »mere velformet«, »mere velegnet« eller »enklere« end den gamle. Formentlig er sådanne argumenter mindre effektive i videnskaberne end i matematikken. De tidlige udførelser af de fleste nye paradigmer er grove. Når deres fulde æstetiske tiltrækning først kan udvikles, er de fleste i det videnskabelige samfund blevet overbevist med andre midler. Alligevel kan betydningen af æstetiske overvejelser sommetider være afgørende. Selv om de ofte kun tiltrækker få videnskabsmænd til en ny teori, kan dens sluttelige sejr afhænge af disse få. Hvis de ikke hurtigt havde taget den op af helt individuelle grunde, var den

nye paradigme-kandidat måske aldrig blevet udviklet tilstrækkeligt til at tiltrække sig hele det videnskabelige samfunds tilslutning.

For at indse grunden til disse mere subjektive og æstetiske overvejelsers betydning, må vi erindre, hvad en paradigme-diskussion drejer sig om. Når en ny paradigme-kandidat første gang foreslås, har den sjældent løst mere end nogle få af de problemer, den står over for, og de fleste af disse løsninger er endnu langt fra fuldkomne. Før Kepler forbedrede den kopernikanske teori næppe de forudsigelser af planetstillinger, som var gjort af Ptolemæus. Da Lavoisier så oxygen som »selve luften«, kunne hans nye teori slet ikke klare de problemer, der frembødes af den hurtige forøgelse af nye luftarter – en pointe Priestley fremsatte med meget held i sit modangreb. Tilfælde som Fresnels hvide plet er overordentlig sjældne. I almindelighed er det først meget senere, efter at et nyt paradigme er blevet udviklet, accepteret og udnyttet, at tilsyneladende afgørende argumenter udvikles – så som Foucault-pendulet til at bevise jordens rotation eller Fizeau-forsøget til at vise, at lys bevæger sig hurtigere i luft end i vand. Det er en del af normalvidenskaben at frembringe dem, og deres rolle er ikke i paradigme-diskussionen, men i efterrevolutionære bøger.

Før disse bøger bliver skrevet, og mens diskussionen står på, er situationen ganske anderledes. I almindelighed kan modstanderne af et nyt paradigme med rette hævde, at det selv på krisområdet kun er lidt bedre end dets traditionelle rival. Selvfølgelig klarer det visse problemer bedre og har afsløret nogle nye regelmæssigheder. Men det ældre paradigme kan formentlig udarbejdes til at imødegå disse udfordringer, som det har imødegået andre tidligere. Både Tycho Brahes jordcenterede astronomiske system og de senere versioner af flogiston-teorien var svar på udfordringer fra en ny paradigme-kandidat, og begge var ganske vellykkede.¹⁴⁵ Yderligere kan forsvarerne for traditionelle teorier og fremgangsmåder næsten altid pege på problemer, som den nye rival ikke har løst, men som for deres synspunkt slet ikke er problemer. Indtil opdagelsen af vandets sammensætning var hydrogens forbrænding et stærkt argument for flogiston-teorien og imod Lavoisiers. Og efter at oxygenteorien havde sejret, kunne den stadig ikke forklare dannelsen af en brændbar luftart fra kulstof, et fænomen, flogiston-teoretikerne havde peget på som et stærkt argument for deres synspunkt.¹⁴⁶ Selv i krisområdet kan der sommetider så godt som være ligevægt mellem argument og modargument. Og uden for dette område vil balancen ofte være afgjort i traditionens favør. Kopernikus ødelagde en hævdvunden forklaring på jordiske bevægelser

uden at erstatte den; Newton gjorde det samme med en ældre forklaring af tyngde, Lavoisier med de fælles egenskaber for metal osv. Kort sagt, hvis en ny paradigme-kandidat fra begyndelsen skulle bedømmes af nøgterne folk, som kun undersøgte relativ problemløsende evne, ville videnskaberne opleve meget få større revolutioner. Føj hertil de modargumenter, der skabes af det, vi tidligere kaldte paradigmers usammenlignelighed, og videnskaberne ville måske slet ikke komme ud for nogen revolutioner.

Men paradigmediskussioner drejer sig i virkeligheden slet ikke om relativ problemløsende evne, selv om de almindeligvis af gode grunde er udtrykt i et sådant sprog. Spørgsmålet er derimod, hvilket paradigme der i fremtiden skal lede udforskningen af problemer, hvoraf mange endnu ikke kan hævdes at kunne løses fuldstændigt af nogen af konkurrenterne. Der kræves et valg mellem alternative måder at udøve videnskab på, og under omstændighederne må dette valg mindre baseres på tidligere indsats end på løfter for fremtiden. Den, der tager et nyt paradigme op på et tidligt trin, må ofte gøre det stik imod de vidnesbyrd, problemløsningen giver. Han må med andre ord tro på, at det nye paradigme vil have heldet med sig over for de mange store problemer, det står over for, og samtidig ved han, at det ældre paradigme kun har været uden held med nogle få problemer. Et sådant valg kan kun foretages ud fra tro.

Det er en af grundene til, at forudgående krise viser sig så vigtig. Videnskabsmænd, som ikke har været gennem den, vil sjældent give afkald på problemløsningens hårde vidnesbyrd for at følge noget, som let kan vise sig at være, og som vil blive almindelig betragtet som, en lygtemand. Men krise alene er ikke nok. Selv om det hverken behøver at være rationelt eller rigtigt i den sidste ende, må der også være et grundlag for troen på den bestemte, udvalgte kandidat. Et eller andet må få i det mindste nogle få forskere til at føle, at det nye forslag er på rette spor, og somme tider kan kun personlige og uartikulerede æstetiske betragtninger gøre det. Folk har gjort det på tidspunkter, hvor de fleste af de tekniske argumenter, man kunne udarbejde, pegede i modsat retning. Da Kopernikus' astronomiske teori eller De Broglies stoffeori første gang blev introduceret, havde ingen af dem ret mange andre grunde til at være tiltrækkende. Selv i dag tiltrækker Einsteins almene teori hovedsagelig folk af æstetiske grunde, en tiltrækning, som få mennesker uden for matematikken har været i stand til at føle.

Dette skal ikke antyde, at nye paradigmer i den sidste ende sejrer

via en eller anden mystisk æstetik. Tværtimod, meget få mennesker svigter en tradition alene af disse grunde. De, der gør det, viser sig ofte at have taget fejl. Men hvis et paradigme skal sejre, må det vinde nogle første støtter, mennesker som vil udvikle det til det punkt, hvor nøgterne argumenter skal fremsættes og forøges. Og selv disse argumenter er ikke individuelt afgørende, når de kommer. Fordi videnskabsmænd er fornuftige mennesker vil det ene eller det andet argument til sidst overtale dem. Men der er ikke noget enkelt argument, der kan ske eller bør overtale dem alle; snarere end en enkel gruppeomvendelse sker der en tiltagende ændring i fordelingen af de faglige tilhørsforhold.

Til at begynde med har en ny paradigme-kandidat måske kun få støtter, og til tider kan disses motiver være suspekter. Ikke desto mindre vil de, hvis de er kvalificerede, udvikle den, udnytte dens muligheder og vise, hvorledes det vil være at tilhøre det samfund, den leder. Og mens det står på, og hvis paradigmet er bestemt til at vinde kampen, vil antallet og styrken af overtalende argumenter til dens fordel forøges. Så vil flere videnskabsmænd blive overtalt, og udforskningen af det nye paradigme vil fortsætte. Antallet af forsøg, instrumenter, artikler og bøger, som hviler på paradigmet, vil gradvis forøges. Endnu flere mennesker, som er overbevist om det nye synspunkts frugtbarhed, vil tage den nye normalvidenskabelige arbejdsmåde op, indtil til sidst kun nogle få ældre holder stand. Og selv om dem kan vi ikke sige, at de tager fejl. Selv om historikeren altid kan finde mennesker - Priestley f. eks. - som uklogt gjorde modstand så længe, som tilfældet var, vil han ikke finde et punkt, hvor modstand bliver ulogisk eller uvidenskabelig. Højest kan han have lyst til at sige, at den mand, der fortsætter med at gøre modstand, efter at hele hans fag er blevet omvendt, netop derigennem er ophørt med at være videnskabsmand.

XIII. Fremskridt gennem revolutioner

De foregående sider har bragt min skematiske beskrivelse af den videnskabelige udvikling så langt, som den kan komme i dette essay. Alligevel kan de ikke rigtig give en konklusion. Hvis denne beskrivelse overhovedet har fået fat i den væsentlige struktur i en videnskabs løbende udvikling, vil den samtidig have stillet et særligt problem: Hvorfor skulle det ovenfor skitserede foretagende støt gå fremad på en måde, som f. eks. kunst, politisk teori eller filosofi ikke gør? Hvorfor er fremskridt et privilegium som næsten udelukkende er forbeholdt de aktiviteter, vi kalder videnskab? De almindeligste svar på dette spørgsmål er blevet afvist i de centrale dele af dette essay. Vi må afslutte det med at spørge, om der findes erstatninger.

Lad os straks lægge mærke til, at en del af spørgsmålet er rent sprogligt. Ordet 'videnskab' er i meget høj grad forbeholdt de områder, der gør åbenbare fremskridt. Intet sted viser dette sig tydeligere end i de tilbageværende diskussioner om, hvorvidt den ene eller den anden af de nutidige socialvidenskaber virkelig er en videnskab. Disse diskussioner har paralleller i de førparadigmatiske perioder af fag, som i dag uden tøven kaldes videnskab. Deres tilsyneladende emne er alene en definition af dette irriterende ord. Folk argumenterer for, at psykologien f. eks. er en videnskab, fordi den har de og de egenskaber. Andre svarer, at disse egenskaber enten er unødvendige eller utilstrækkelige til at gøre et fag til en videnskab. Ofte bruges der stor energi og vækkes megen lidenskab, og den udenforstående er i vildrede med hvorfor. Kan særlig meget afhænge af en *definition* af 'videnskab'? Kan en definition fortælle en mand, om han er videnskabsmand eller ej? Hvis det er tilfældet, hvorfor bekymrer naturvidenskabsmænd eller kunstnere sig ikke om definitionen af ordet? Man får uundgåeligt en mistanke om, at problemet er mere fundamentalt. Sandsynligvis er det i virkeligheden spørgsmål som de følgende, der stilles: Hvorfor går mit fag ikke fremad således som f. eks. fysikken? Hvilke ændringer i teknik eller metode eller ideologi ville sætte det i stand til at gøre det? Dette er imidlertid ikke spørgsmål, der kunne besvares med at enes om definitioner. Endvidere vil de, hvis naturvidenskaberne tjener

som præcedens, ophøre med at have interesse, ikke når der bliver fundet en definition, men når de grupper, som nu er i tvivl om deres egen status, når til enighed om deres tidligere og nuværende resultater. Det kan for eksempel være værd at lægge mærke til, at økonomer diskuterer mindre om, hvorvidt deres fag er en videnskab, end udøverne af andre dele af socialvidenskaberne gør. Er det, fordi økonomer ved, hvad videnskab er? Eller er det snarere økonomi, de er enige om?

Denne pointe har en anden side, som selv om den ikke længere er rent sproglig kan være med til at vise de uløselige bånd mellem vore begreber om videnskab og fremskridt. I mange århundreder både i antikken og igen i begyndelsen af den nyere tid i Europa blev malerkunsten betragtet som *den* kumulative disciplin. I disse år regnede man fremstilling for kunstnerens mål. Kritikere og historikere som Plinius og Vasari berettede da med ærbødighed om rækkerne af opfindelser fra perspektivisk forkortning over clairobscur, som havde muliggjort stadig mere fuldkomne fremstillinger af naturen.¹⁴⁷ Men det var også i disse år – især i renæssancen – at der følte ringe splittelse mellem videnskaberne og kunsterne. Leonardo var kun en af mange, der uhindret bevægede sig frem og tilbage mellem områder, som først senere blev kategorisk adskilte.¹⁴⁸ Endvidere fortsatte ordet 'kunst', selv efter at denne stadige udveksling var ophørt, med at stå lige så meget for teknologi og håndværk, som også blev betragtet som fremadskridende, som for maleri og skulptur. Først da de sidste opgav fremstilling som deres mål og igen begyndte at lære af primitive modeller, antog den kløft, vi nu tager for givet, noget af dens nuværende dybde. Og selv i dag – for at skifte område endnu en gang – må en del af vore vanskeligheder ved at se de dybe forskelle mellem videnskab og teknologi stå i forbindelse med den kendsgerning, at fremskridt er en åbenbar egenskab ved begge områder.

Det kan imidlertid kun afklare, ikke løse, vore nuværende vanskeligheder at erkende, at vi har en tendens til at betragte ethvert område, hvor fremskridt er udpræget, som en videnskab. Tilbage står det problem at forstå, hvorfor fremskridt skulle være en så bemærkelsesværdig egenskab ved en beskæftigelse, som drives efter de metoder og mål, som er beskrevet i dette essay. Dette spørgsmål viser sig at være mange på en gang, og vi må derfor se på dem hver for sig. I alle tilfælde undtagen det sidste vil deres løsning imidlertid vise sig at afhænge delvis af, at vi vender om på vor normale opfattelse af forholdet mellem videnskabelig aktivitet og det videnskabelige samfund, som driver den. Vi må lære at erkende det som årsager, der normalt er

blevet taget for virkninger. Hvis vi kan gøre det, vil udtrykkene 'videnskabeligt fremskridt' og endog 'videnskabelig objektivitet' måske komme til at synes delvis overflødige. Faktisk er en side af denne overflødhed allerede blevet belyst. Gør et område fremskridt, fordi det er en videnskab, eller er det en videnskab, fordi det gør fremskridt?

Lad os nu spørge, hvorfor et foretagende som normalvidenskaben skulle gøre fremskridt, og lad os begynde med at erindre nogle få af dens mest iøjnefaldende egenskaber. I almindelighed arbejder medlemmerne af et udviklet videnskabeligt samfund ud fra et enkelt paradigme eller en gruppe nært beslægtede paradigmer. Forskellige videnskabelige samfund udforsker yderst sjældent de samme problemer. I disse undtagelsestilfælde har grupperne mange større paradigmer fælles. Men betragtet fra et hvilket som helst samfund, hvad enten af videnskabsmænd eller ikke-videnskabsmænd, er resultatet af succesrigt skabende arbejde fremskridt. Hvorledes skulle det kunne være andet? Vi har for eksempel netop bemærket, at mens kunstnere satte fremstilling som deres mål, optegnede både kritikere og historikere fremskridtet for den tilsyneladende samlede gruppe. Andre kreative områder viser fremskridt af samme art. Teologen, som udarbejder trossætninger, eller filosofen, som forfiner de kantianske imperativer, bidrager til fremskridtet, om ikke for andre så for den gruppe, der deler hans forudsætninger. Ingen kreativ skole anerkender en kategori af arbejde, som på den ene side er en kreativ succes, men som på den anden side ikke er et bidrag til gruppens samlede indsats. Hvis vi – som mange gør – betvivler, at ikke-videnskabelige områder gør fremskridt, kan det ikke være, fordi individuelle skoler ikke gør det. Det må snarere være, fordi der altid er konkurrerende skoler, som hver for sig konstant betvivler grundlaget for de andre. Den mand, der for eksempel argumenterer for, at filosofien ikke har gjort noget fremskridt, lægger vægt på, at der stadig er aristotelikere, ikke at aristotelismen ikke har kunnet gøre fremskridt.

Denne tvivl om fremskridtet opstår imidlertid også i videnskaberne. I hele den førparadigmatiske periode, hvor der er en mangfoldighed af konkurrerende skoler, er det meget vanskeligt at finde beviser for fremskridt undtagen inden for skolerne. Dette blev i kapitel II beskrevet som den periode, hvor enkeltpersoner dyrker videnskab, men hvor resultaterne af deres arbejde ikke tilsammen bliver til videnskab, som vi kender den. Og ligeledes i revolutionære perioder, hvor et områdes grundlæggende principper endnu engang er til debat, bliver der gentagne gange udtrykt tvivl om den blotte mulighed for fortsat frem-

skridt, hvis det ene eller det andet af de modstridende paradigmer tages op. De, der forkastede newtonianismen, erklærede, at dens tillid til iboende kræfter ville sætte videnskaben tilbage i den mørke middelalder. De, der modsatte sig Lavoisiers kemi, hævdede, at forkastelsen af kemiske »principper« til fordel for laboratoriets grundstoffer var ensbetydende med, at de, der tog tilflugt i et blot navn, forkastede en gennemført kemisk forklaring. En lignende om end mere behersket udtrykt følelse synes at ligge bag Einsteins, Bohms og andres modstand mod den dominerende sandsynlighedsfortolkning af kvantemekanikken. Kort sagt er det kun i perioder med normalvidenskab, at fremskridtet forekommer både åbenbart og sikkert. Men i disse perioder ville det videnskabelige samfund ikke kunne se frugterne af sit arbejde på anden måde.

Med hensyn til normalvidenskaben ligger da en del af svaret på fremskridtets problem i iagttagernes øje. Videnskabeligt fremskridt er ikke væsensforskelligt fra fremskridt på andre områder, men det gør et normalvidenskabeligt samfunds fremskridt langt mere synligt, at der til de fleste tider ikke er konkurrerende skoler, som betvivler hinandens mål og standarder. Det er imidlertid kun en del af svaret og på ingen måde den vigtigste del. Vi har for eksempel allerede bemærket, at så snart optagelsen af et fælles paradigme har befriet det videnskabelige samfund for konstant at skulle efterprøve sine grundlæggende principper, kan medlemmerne af dette samfund nøjes med at koncentrere sig om de mest udviklede og specielle fænomener, der interesserer det. Dette forøger uundgåeligt hele gruppens ydeevne og effektivitet til at løse nye problemer. Andre aspekter af det faglige liv i videnskaberne forøger denne meget specielle effektivitet endnu mere.

Nogle af disse er følgen af, at udviklede videnskabelige samfund er så isolerede som ingen andre fra lægfolks og hverdagens krav. Denne isolation har aldrig været fuldstændig – vi diskuterer nu gradsspørgsmål. Men der er ingen andre professionelle samfund, hvor individuelt kreativt arbejde i så høj grad alene stiles til og bedømmes af andre medlemmer af professionen. Den mest esoteriske digter eller den mest abstrakte teolog er i langt højere grad end forskeren interesseret i lægfolks billigelse af hans skabende arbejde, selv om han måske er endog endnu mindre interesseret i billigelse i al almindelighed. Denne forskel viser sig betydningsfuld. Netop fordi forskeren kun arbejder for et publikum af kolleger, et publikum der deler hans egne værdier og overbevisninger, kan han regne en enkelt gruppe af standarder for givne. Han behøver ikke bekymre sig om, hvad den ene eller den an-

den gruppe eller skole vil tænke og kan derfor gøre et problem færdigt og gå videre til det næste hurtigere end de, der arbejder for en mere sammensat gruppe. Endnu vigtigere er det, at det videnskabelige samfunds isolation fra det øvrige samfund tillader den enkelte forsker at koncentrere sin opmærksomhed om problemer, som han har god grund til at tro, at han vil være i stand til at løse. I modsætning til ingeniøren, mange læger og de fleste teologer behøver forskeren ikke at vælge problemer, fordi det er bydende nødvendigt at få dem løst og uden at tage hensyn til de redskaber, som er til rådighed til at løse dem. Også i denne henseende viser det sig, at forskellen mellem naturforskere og mange socialforskere er lærerig. De sidstnævnte har en tendens, som de førstnævnte næsten aldrig har, til især at bruge den sociale betydning af at opnå en løsning som forsvar for deres valg af et forskningsproblem – f. eks. virkningerne af raceforskning eller årsagerne til konjunktursvingninger. Hvilken gruppe ville man da forvente var hurtigst til at løse problemer?

Virkningerne af isolationen fra et større samfund forstærkes i høj grad af en anden egenskab ved det professionelle videnskabelige samfund, nemlig karakteren af dets begynderundervisning. I musik, de bildende kunster og litteratur får udøveren sin uddannelse ved at opleve andre kunstneres, især tidligere kunstneres arbejder. Med undtagelse af håndbøger og kompendier til originale arbejder spiller lærebøger kun en sekundær rolle. I historie, filosofi og socialvidenskaberne har lærebogslitteraturen større betydning. Men selv på disse områder anvender det elementære universitetskursus sideløbende læsestof fra originale kilder – nogle af dem fagets »klassikere«, andre de moderne forskningsrapporter, som de udøvende skriver til hinanden. Som følge heraf gøres studenten inden for hver af disse discipliner til stadighed opmærksom på den store mangfoldighed af problemer, som medlemmerne af hans fremtidige gruppe i tidens løb har søgt at løse. Og endnu vigtigere er det, at han konstant møder en række konkurrerende og uforenelige løsninger på disse problemer, og disse løsninger må han i den sidste ende vurdere selv.

Lad os sætte denne situation over for den, som hersker i det mindste i nutidens naturvidenskaber. På disse områder er den studerende hovedsagelig afhængig af lærebøger, indtil han i det tredje eller fjerde år efter sin eksamen begynder på sin egen forskning. Mange videnskabers pensum beder ikke engang den viderekomne studerende om at læse bøger, som ikke er skrevet specielt for studerende. Og de få, som faktisk foreskriver supplerende læsning i artikler og monografier

af forskningsmæssig karakter, begrænser sådanne forskrifter til de mest avancerede kurser og til materiale, som mere eller mindre ligger i forlængelse af de forhåndenværende lærebøger. Indtil de allersidste trin i uddannelsen af en videnskabsmand sættes lærebøger systematisk i stedet for den kreative videnskabelige litteratur, som har muliggjort dem. Når videnskabsmændene har den tillid til deres paradigmer, som gør dette uddannelsessystem muligt, vil få af dem ønske at ændre det. Når alt kommer til alt, hvorfor skulle den fysikstuderende så læse Newtons, Faradays, Einsteins eller Schrödingers værker, når alt, hvad han behøver at vide om disse værker, er sammenfattet i langt kortere, nøjagtigere og mere systematisk form i en række moderne lærebøger?

→ Selv om man ikke ønsker at forsvare, at denne form for uddannelse bliver ført så overdrevent vidt, som den til tider er blevet, kan man ikke lade være med at bemærke, at den i almindelighed har været umådelig effektiv. Selvfølgelig er det en snæver og streng uddannelse, sandsynligvis mere end nogen anden undtagen måske den ortodokse teologiske. Men til normalvidenskabeligt arbejde, til at løse gåder inden for den tradition, som lærebøgerne fastlægger, er videnskabsmanden næsten perfekt udrustet. Desuden er han også veludrustet til en anden opgave – at skabe betydningsfulde kriser gennem normalvidenskaben. Når de opstår, er videnskabsmanden selvfølgelig ikke lige så godt forberedt. Selv om længere kriser sandsynligvis afspejles i mindre stram uddannelsespraksis, er den videnskabelige skoling ikke velegnet til at skabe den mand, der let får øje på en ny fremgangsmåde. Men så længe en eller anden kommer med en ny paradigmekandidat – almindeligvis en ung forsker eller en der er ny på området – er det kun den enkelte, der taber på grund af det stramme system. Når blot der gives en generation til at sætte ændringen igennem, er individuel strength forenelig med et videnskabeligt samfund, som kan skifte fra paradigme til paradigme, når omstændighederne kræver det. Især er det foreneligt, når netop denne strength giver det videnskabelige samfund en følsom indikator for, at noget er galt.

I normal tilstand er et videnskabeligt samfund da et umådelig effektivt redskab til at løse de problemer eller gåder, som dets paradigmer fastlægger. Endvidere må resultatet af at løse disse gåder uundgåeligt være fremskridt. Her er der ikke noget problem. Men at indse dette lader blot den anden hoveddel af problemet med fremskridt i videnskaberne træde klart frem. Lad os derfor vende os til den og spørge om fremskridt gennem unormal videnskab. Hvorfor må frem-

skridt tilsyneladende altid følge med videnskabelige revolutioner også? Endnu en gang kan man lære meget af at spørge, hvad resultatet af en revolution ellers skulle være. Revolutioner slutter med en total sejr for en af de to stridende lejre. Vil denne gruppe nogensinde sige, at resultatet af dens sejr har været noget ringere end fremskridt? Det ville nærmest være som at indrømme, at de havde haft uret og deres modstandere ret. I det mindste for dem må revolutionens resultat være fremskridt, og de er i en udmærket stilling til at sikre, at fremtidige medlemmer af deres gruppe vil se den tidligere historie på samme måde. Kapitel XI beskrev detaljeret metoderne til at opnå dette, og vi er netop kommet tilbage til et nært beslægtet aspekt af det professionelle og videnskabelige liv. Når et videnskabeligt samfund forkaster et tidligere paradigme, afviser det samtidig de fleste af de bøger og artikler, som indeholdt dette paradigme, som et egnet emne for faglig udforskning. Videnskabelig uddannelse gør ikke brug af noget side-stykke til kunstmuseet eller samlingen af klassikere, og følgen er sommetider en drastisk forvrængning af videnskabsmandens opfattelse af sin disciplins fortid. Han kommer i højere grad end udøverne af andre kreative fag til at betragte den, som om den i lige linje førte til disciplinens nuværende gunstige stilling. Kort sagt, han kommer til at betragte den som fremskridt. Så længe han bliver i faget står intet alternativ åbent for ham.

Disse bemærkninger vil uundgåeligt give det indtryk, at medlemmet af et udviklet videnskabeligt samfund lige som den typiske skikkelse i Orwells 1984 er offer for en historie, som er skrevet om af de øjeblikkelige magthavere. Desuden er dette indtryk ikke helt malplaceret. Der er tab såvel som gevinster ved videnskabelige revolutioner, og videnskabsmænd har en tendens til at være særligt blinde for de første.¹⁴⁰ På den anden side må en forklaring af fremskridt gennem revolutioner ikke standse på dette punkt. Det ville være det samme som at lade forstå, at magt skaber ret i videnskaberne – en formulering som ikke ville være helt forkert, hvis den ikke skjulte karakteren af processen og den autoritet, hvormed valget mellem paradigmer foretages. Hvis det var autoritet alene, og især hvis det var ikke-faglig autoritet, der var dommer i paradigme-diskussioner, ville resultatet af disse diskussioner måske stadig være revolution, men det ville ikke være videnskabelig revolution. Selve videnskabens eksistens afhænger af, at man overlader medlemmerne af en bestemt slags videnskabeligt samfund magten til at vælge mellem paradigmer. Nøjagtigt hvor specielt dette samfund må være, hvis videnskaben skal overleve, antydes måske

af, hvor lidt menneskeheden har haft hold i det videnskabelige arbejde. Enhver civilisation, som vi har historiske vidnesbyrd om, har haft en teknologi, en kunst, et politisk system, love osv. I mange tilfælde har disse faeetter af civilisation været lige så udviklede som vore. Men kun de civilisationer, som nedstammer fra det hellenske Grækenland, har haft mere end den mest rudimentære videnskab. Størstedelen af den videnskabelige erkendelse er Europas værk i de sidste fire hundrede år. Intet andet sted og ingen anden tid har understøttet de meget specielle videnskabelige samfund, hvorfra den videnskabelige produktionsevne kommer.

Hvad er de væsentlige egenskaber ved disse videnskabelige samfund? Det er klart, at de må udforskes langt mere. På dette område er kun de mest forsigtige generalisationer mulige. Ikke desto mindre må en række nødvendige betingelser for medlemskab i en professionel videnskabelig gruppe allerede være lysende klare. Videnskabsmanden må for eksempel være interesseret i at løse problemer om naturens opførsel. Og selv om hans interesse for naturen måske er altomfattende, må de problemer, han arbejder med, desuden være detaljproblemer. Vigtigere er det, at de løsninger, som stiller ham tilfreds, ikke må være rent personlige, men derimod må accepteres som løsninger af mange. Den gruppe, der er fælles om dem, må imidlertid ikke være tilfældigt udvalgt af samfundet som helhed, men derimod det velafgrænsede samfund af forskerens faglige kolleger. En af de stærkeste, om end stadig uskrevne regler for videnskabeligt liv er forbudet mod at appellere til statsoverhoveder eller befolkningen i almindelighed i videnskabelige spørgsmål. Anerkendelse af eksistensen af en eneste kompetent professionel gruppe og accept af dens rolle som enedommer over faglige resultater har yderligere konsekvenser. Som enkeltpersoner og i kraft af deres fælles uddannelse og erfaring må gruppens medlemmer betragtes som de eneste, som er i besiddelse af spillets regler eller et lignende grundlag for utvetydige bedømmelser. At betvivle at de havde et sådant fælles grundlag for vurderinger, ville være at indrømme eksistensen af uforenelige standarder for videnskabelige resultater. Denne indrømmelse ville uundgåeligt rejse spørgsmålet, om sandheden i videnskaberne kan være entydig.

Denne lille liste over fælles egenskaber ved videnskabelige samfund er alene taget fra det normalvidenskabelige arbejde, og det skulle den også. Det er den beskæftigelse, videnskabsmanden almindeligvis uddannes til. Men læg mærke til, at selv om denne liste er lille, er allerede den tilstrækkelig til at adskille sådanne samfund fra alle andre

faglige grupper. Og læg desuden mærke til, at trods listens udspring i normalvidenskaben, forklarer den mange specielle træk ved gruppens reaktion under revolutioner og især under paradigmediskussioner. Vi har allerede set, at en gruppe af denne art må betragte paradigmeændring som fremskridt. Nu kan vi indse, at denne iagttagelse i vigtige henseender er selvopfyldende. Det videnskabelige samfund er et overordentlig effektivt redskab til at forøge antallet og nøjagtigheden af problemer, der løses gennem paradigmeændring.

Da målestokken for videnskabelig indsats er løste problemer, og da gruppen udmærket ved, hvilke problemer der allerede er løst, vil det ikke være let at overtale ret mange videnskabsmænd til at anlægge et synspunkt, som igen stiller spørgsmålstegn ved mange problemer, som tidligere var blevet løst. Først må naturen selv undergrave den faglige sikkerhed ved at få tidligere resultater til at synes problematiske. Selv når det er sket, og en ny paradigme-kandidat er fremkaldt, vil videnskabsmænd iøvrigt være utilbøjelige til at tilslutte sig det, med mindre de er overbevist om, at to altafgørende betingelser bliver opfyldt. For det første må den nye kandidat se ud til at løse et eller andet fremtrædende og almindelig erkendt problem, som ikke kan klæres på anden måde. For det andet må det nye paradigme give løfte om at bevare en forholdsvis stor del af den konkrete problemløsende evne, som videnskaben har indvundet gennem dens forgængere. Nyhed for nyhedens egen skyld er ikke noget ønskeligt i videnskaberne, således som det er på så mange andre kreative områder. Følgen er, at selv om nye paradigmer sjældent eller aldrig besidder alle deres forgængeres evner, bevarer de almindeligvis en stor del af de mest konkrete tidligere resultater, og de tillader altid yderligere konkrete problemløsninger ved siden af.

Dette skal ikke antyde, at evnen til at løse problemer enten er det eneste eller et utvetydigt grundlag for paradigmevalg. Vi har allerede bemærket mange grunde til, at der ikke kan være noget sådant kriterium. Men det skal antyde, at et samfund af videnskabelige specialister vil gøre alt, hvad det kan for at sikre den fortsatte vækst af de indsamlede data, som det kan behandle præcist og detaljeret. Undervejs vil samfundet lide tab. Ofte må et gammelt problem forvises. Dertil kommer, at revolutioner hyppigt indsnævrer det videnskabelige samfunds faglige interesser, forøger dets specialisering og svækker dets forbindelse med andre grupper, såvel videnskabelige som læge. Selv om videnskaben bestemt vokser i dybden, vokser den måske ikke også i bredden. Hvis den gør det, viser denne bredde sig først og fremmest

i den hurtige forøgelse af videnskabelige specialområder, ikke i noget enkelt speciales omfang. Men trods disse og andre tab for de enkelte videnskabelige samfund giver sådanne samfunds karakter en virkelig garanti for, at både listen over problemer, som er løst af videnskaben, og nøjagtigheden af de enkelte problemløsninger vil vokse og vokse. I det mindste giver det videnskabelige samfunds karakter en sådan garanti, hvis den overhovedet kan gives. Hvilket bedre kriterium kunne der være end den videnskabelige gruppes afgørelse?

Disse sidste afsnit viser de retninger, hvor en mere forfinet løsning på problemet med fremskridt i videnskaberne efter min mening skal findes. Måske antyder de, at videnskabeligt fremskridt ikke helt er, hvad vi havde troet. Men de viser samtidigt, at en form for fremskridt uundgåeligt vil kendetegne det videnskabelige arbejde, så længe dette arbejde overlever. I videnskaberne behøver der ikke være nogen anden form for fremskridt. For at sige det mere præcist bliver vi måske nødt til at forkaste den udtalte eller underforståede idé, at ændringer af paradigme bringer forskere og de, der lærer af dem, nærmere og nærmere sandheden.

Det er nu på tide at lægge mærke til, at indtil de sidste par sider har ordet 'sandhed' kun optrådt i dette essay i et citat fra Francis Bacon. Og selv på disse sider kom det kun ind som kilde til videnskabsmandens overbevisning om, at uforenelige regler for at drive videnskab ikke kan eksistere sammen undtagen under revolutioner, hvor fagets hovedopgave er at eliminere alle sæt undtagen et. Den udviklingsproces, der er beskrevet i dette essay, har været en udvikling fra primitive begyndelser - en proces hvis successive trin er karakteriseret af en stadig mere detaljeret og forfinet forståelse af naturen. Men intet, der er blevet eller vil blive sagt, gør det til en udvikling mod noget. Denne lakune vil uundgåeligt have forurolet mange læsere. Vi er alle inderlig vant til at betragte videnskab som den beskæftigelse, der konstant nærmer sig til et mål, som på forhånd er opstillet af naturen.

Men behøver der at være et sådant mål? Kan vi ikke forklare både videnskabens eksistens og dens succes ved hjælp af udvikling fra det videnskabelige samfunds erkendelsestrin på et hvilket som helst givet tidspunkt? Hjælper det virkelig at forestille sig, at der er en eller anden fuldkommen, objektiv og sand forklaring af naturen, og at den rigtige målestok for videnskabens resultater er, i hvor høj grad den bringer os nærmere til dette yderste mål? Hvis vi kan lære at sætte udvikling fra det, vi faktisk ved, i stedet for udvikling henimod, hvad

vi ønsker at vide, vil en række irriterende problemer måske forsvinde undervejs. For eksempel må induktionsproblemet ligge et eller andet sted i denne labyrint.

Jeg kan endnu ikke i detaljer specificere følgerne af dette alternative syn på videnskabeligt fremskridt. Men det hjælper at lægge mærke til, at den begrebsmæssige omstilling, der anbefales her, ligger meget nær en, som Vesten foretog for blot et århundrede siden. Dette er særligt nyttigt, fordi den vigtigste hindring for omstillingen i begge tilfælde er den samme. Da Darwin første gang offentliggjorde sin teori om udvikling gennem naturlig udvælgelse i 1859, var det, der mest generede mange fagfolk, hverken ideen om artsændring eller menneskets mulige nedstamning fra aberne. Beviserne, der pegede mod udvikling, derunder også menneskets udvikling, havde samlet sig i årtier, og udviklingsideen havde tidligere været foreslået og vidt udbredt. Selv om udvikling som sådan faktisk mødte modstand, især fra visse religiøse grupper, var det på ingen måde den største af de vanskeligheder, darwinisterne mødte. Den stammede fra en idé, som var nærmere Darwins egne. Alle de velkendte førdarwinistiske udviklingsteorier – Lamareks, Chambers', Spencers og de tyske *Naturphilosophen's* – havde regnet udvikling for en proces rettet mod et mål. »Ideen om mennesket eller den samtidige flora og fauna mentes at have været til stede fra den første skabelse af liv, måske i Guds tanke. Denne idé eller plan havde givet retningen og den styrende kraft for hele udviklingsprocessen. Hvert nyt udviklingstrin var en mere fuldkommen virkeliggørelse af en plan, som havde været til stede fra begyndelsen.»¹⁵⁰

For mange mennesker var forkastelsen af denne teleologiske form for udvikling det vigtigste og mindst acceptable af Darwins forslag.¹⁵¹ *Origin of Species* anerkendte ikke noget mål sat af enten Gud eller naturen. Ved at virke i de foreliggende omgivelser og med de faktisk forhåndenværende organismer var den naturlige udvælgelse derimod ansvarlig for den gradvise, men stadige fremvækst af mere komplicerede, mere artikulerede og langt mere specialiserede organismer. Selv sådanne fantastisk tilpassede organer som menneskets øje og hånd – organer hvis opbygning tidligere havde udgjort stærke argumenter for eksistensen af en højeste skaber og forhåndsplan – var resultater af en proces, som støt bevægede sig fra primitive begyndelser, men ikke mod noget mål. Troen på, at naturlig udvælgelse som resultat af organismers blotte konkurrence for at overleve kunne have frembragt mennesket sammen med de højere dyr og planter, var det vanskeligste og mest foruroligende aspekt af Darwins teori. Hvad kunne 'evolution',

Abstrakt
logik

'udvikling' og 'fremskridt' betyde, når der ikke var noget nærmere angivet mål? For mange mennesker syntes sådanne ord pludselig selvmodsigende.

Analogien mellem organismers og videnskabelige ideers udvikling kan let drives for vidt. Men med hensyn til emnerne i dette slutningskapitel er den næsten fuldstændig. Den proces, der i kapitel XII blev beskrevet som opløsningen af revolutioner, er udvælgelsen ved konflikt inden for det videnskabelige samfund af den bedst egnede måde at dyrke videnskab i fremtiden. Nettoresultatet af en række af sådanne revolutionære udvælgelser, som er adskilt af perioder med normal forskning, er det forunderligt tilpassede sæt af redskaber, vi kalder moderne videnskabelig erkendelse. De successive trin i denne udviklingsproces er kendetegnet ved stigende udarbejdelse og specialisering. Og hele processen kan være foregået, således som vi nu antager, at den biologiske udvikling er foregået, uden hjælp af et fast mål, en evig fastslået videnskabelig sandhed, som hvert trin i den videnskabelige erkendelses udvikling er en bedre udgave af.

Enhver, der har fulgt argumentationen hertil, vil alligevel føle trang til at spørge, hvorfor udviklingsprocessen skulle virke. Hvorledes skal naturen inklusive mennesket være, for at videnskaben overhovedet skal være mulig? Hvorfor skulle videnskabelige samfund være i stand til at nå til en fast enighed, som er uopnåelig på andre felter? Hvorfor skulle enigheden blive stående på tværs af den ene paradigmeændring efter den anden? Og hvorfor skulle paradigmeændring uden undtagelse frembringe et redskab, som i nogen forstand er mere perfekt end de tidligere kendte? Set fra én side er disse spørgsmål med undtagelse af det første allerede blevet besvaret. Men fra en anden er de lige så åbne, som da dette essay begyndte. Det er ikke alene det videnskabelige samfund, der må være specielt. Den verden, som dette samfund er en del af, må også have ganske specielle egenskaber, og vi er ikke nærmere ved at vide, hvilke disse må være, end vi var ved begyndelsen. Dette problem – hvorledes må verden være, for at mennesket kan erkende den? – blev imidlertid ikke skabt af dette essay. Tværtimod er det så gammelt som videnskaben selv, og det forbliver ubesvaret. Men det behøver ikke besvares på dette sted. Enhver idé om naturen, som er forenelig med videnskabens vækst, er bevisligt forenelig med den udviklingsopfattelse af videnskaben, som er udviklet her. Eftersom denne opfattelse også er forenelig med nøje iagttagelse af det videnskabelige liv, er der stærke argumenter for at anvende den i forsøg på at løse den mængde af problemer, som stadig står tilbage.

Harmon: har været svært ved at
 erkende en ny paradigme?
 Som et væsentligt bogst, kan
 ikke det sprog for?

Det er nu næsten syv år siden, denne bog blev offentliggjort første gang.¹⁵² I mellemtiden har både kritikeres reaktioner og mit eget videre arbejde forøget min forståelse af en række spørgsmål, den rejser. I det grundlæggende er mit synspunkt på det nærmeste uændret, men jeg erkender nu aspekter af den oprindelige formulering, som skaber unødige vanskeligheder og misforståelser. Eftersom nogle af disse misforståelser har været mine egne, vinder jeg ved deres eliminering nyt fodfæste, som i den sidste ende skal danne grundlag for en ny version af bogen.¹⁵³ I mellemtiden er jeg glad for lejligheden til at skitsere nødvendige revisioner, til at kommentere visse gentagne kritikker og til at antyde de veje, mine tanker for øjeblikket går.¹⁵⁴

Mange af de centrale vanskeligheder i min oprindelige tekst samler sig om paradigmebegrebet, og min diskussion begynder med disse.¹⁵⁵ I det umiddelbart følgende underafsnit peger jeg på ønskeligheden af at adskille dette begreb fra ideen om et videnskabeligt samfund, antyder hvorledes dette måske kan gøres, og diskuterer visse betydningsfulde følger af den pågældende analytiske adskillelse. Dernæst ser jeg på, hvad der sker, når man søger efter paradigmer ved at undersøge adfærden hos medlemmerne af et *forud afgrænset* videnskabeligt samfund. Denne fremgangsmåde afslører hurtigt, at i en stor del af bogen anvendes ordet 'paradigme' i to forskellige betydninger. På den ene side står det for hele den konstellation af ideer, værdier, teknikker osv., som er fælles for medlemmerne af et givet videnskabeligt samfund. På den anden side betegner det et bestemt element i denne konstellation, de konkrete gåde-løsninger, som, når de anvendes som modeller eller eksempler, kan erstatte udtrykkelige regler som et grundlag for løsningen af de tilbageblevne gader i normalvidenskaben. Den første betydning af ordet, - lad os kalde den den *sociologiske* - behandles i underafsnit 2 nedenfor; underafsnit 3 er viet til paradigmer som *mønstergyldige tidligere resultater*.

I det mindste filosofisk betragtet er denne anden betydning af 'paradigme' den dybeste af de to, og de påstande, jeg har fremsat om den, er de vigtigste kilder til de kontroverser og misforståelser, som

bogen har fremkaldt især den beskyldning, at jeg gør videnskaben til noget subjektivt og irrationelt. Disse spørgsmål behandles i underafsnittene 4 og 5. I det første argumenteres der for, at udtryk som 'subjektiv' og 'intuitiv' ikke med rimelighed kan anvendes på de elementer i erkendelsen, som jeg har beskrevet som liggende underforstået i fælles eksempler. Selv om sådan erkendelse ikke uden væsentlig ændring kan omformuleres til regler og kriterier, er den ikke desto mindre systematisk, gennemprøvet og i en vis forstand til at korrigere. Underafsnit 5 anvender denne argumentation på problemet om at vælge mellem to uforenelige teorier og konkluderer kort, at mennesker, som hylder usammenlignelige synspunkter, må betragtes som medlemmer af forskellige sprogsamfund, og at deres kommunikationsproblemer skal analyseres som oversættelsesproblemer. Tre udestående problemer diskuteres i underafsnittene 6 og 7. Det første behandler den beskyldning, at det videnskabssyn, som udvikles i denne bog, er helt igennem relativistisk. Det andet begynder med at spørge, om min argumentation virkelig, som det er blevet sagt, lider af en sammenblanding mellem deskriptivt og normativt; det afsluttes med korte bemærkninger om et emne, som fortjener et essay for sig selv: i hvor høj grad bogens hovedteser med rimelighed kan anvendes på andre områder end videnskaben.

1. Paradigmer og videnskabelige samfunds struktur

Udtrykket 'paradigme' indføres tidligt på de foregående sider, og det sker i virkeligheden på cirkulær måde. Et paradigme er det, der er fælles for medlemmerne af et videnskabeligt samfund, og omvendt består et videnskabeligt samfund af mennesker, som har et paradigme fælles. Ikke alle cirkler er skadelige, (jeg skal i slutningen af denne efterskrift forsvare en argumentation af lignende struktur), men denne her er ophav til virkelige vanskeligheder. Videnskabelige samfund kan og skal afgrænses uden først at benytte paradigmer; disse kan man så få øje på ved at udforske adfærden hos medlemmerne af et givet videnskabeligt samfund. Hvis denne bog skulle skrives om, ville den derfor begynde med en diskussion af videnskabens samfundsstruktur, et emne som i den sidste tid er blevet et vigtigt sociologisk studieobjekt, og som videnskabshistorikere også er begyndt at tage alvorligt. Foreløbige resultater, hvoraf mange endnu ikke er offentliggjorte, antyder, at de empiriske metoder, som kræves til dets udforskning, ikke er trivielle, men visse er man i besiddelse af, og andre vil med sikkerhed

blive udviklet.¹⁵⁶ De fleste aktive videnskabsmænd svarer straks på spørgsmål om deres tilhørsforhold til videnskabelige samfund, idet de tager det for givet, at ansvaret for de forskellige løbende specialer er fordelt blandt grupper med i det mindste nogenlunde fast medlemskab. Jeg vil derfor her gå ud fra, at der vil blive fundet mere systematiske midler til deres identifikation. I stedet for at præsentere foreløbige forskningsresultater vil jeg kort artikulere den intuitive idé om det videnskabelige samfund, som ligger til grund for mange ting i de forudgående kapitler i denne bog. Det er en idé, som nu er vidt udbredt blandt videnskabsmænd, sociologer og en række videnskabshistorikere.

Et videnskabeligt samfund består ud fra dette synspunkt af udøverne af et videnskabeligt specialområde. I et omfang uden lige har de fået ensartede uddannelser og indførelser i faget; undervejs har de tilegnet sig den samme faglitteratur og uddraget mange fælles belæringer af den. I almindelighed markerer grænserne for denne standard-litteratur grænserne for et videnskabeligt emne, og hvert videnskabeligt samfund har sædvanligvis sit eget emne. Der er skoler inden for videnskabernes, dvs. videnskabelige samfund, som nærmer sig det samme emne ud fra uforenelige synspunkter. Men de er langt sjældnere dér end på andre områder; de er altid i konkurrence; og deres konkurrence bliver som regel hurtigt afsluttet. Følgelig betragtes medlemmerne af et videnskabeligt samfund både af sig selv og af andre som de mennesker, der alene er ansvarlige for stræben efter en klasse af fælles mål – derunder uddannelsen af deres efterfølgere. Inden for sådanne grupper er kommunikationen forholdsvis fuldstændig og de faglige bedømmelser forholdsvis enstemmige. Da forskellige videnskabelige samfunds opmærksomhed på den anden side er koncentreret om forskellige emner, er faglig kommunikation på tværs af gruppe-opdelinger til tider besværlig, resulterer ofte i misforståelser, og kan – hvis den drives videre – fremkalde betydelige og hidtil uventede uoverensstemmelser.

Videnskabelige samfund i denne forstand eksisterer naturligvis på mange niveauer. Det mest omfattende er samfundet af alle naturvidenskabsmænd. På et blot lidt lavere niveau danner de vigtigste videnskabelige faggrupper samfund: f. eks. fysikere, kemikere, astronomer, zoologer og lignende. For disse større grupperinger kan man let afgøre medlemskab af et videnskabeligt samfund undtagen ved grænserne. Emnet for den højeste uddannelsesgrad, medlemskab af faglige foreninger og de tidsskrifter, vedkommende læser, er i regelen mere end tilstrækkeligt. Lignende metoder kan også afgrænse større undergrupper: folk i organisk kemi, og måske derunder protein-kemi, folk i fast-

stoffysik og højenergetisk fysik, radioastronomer osv. Det er først på niveauet derunder, at der fremkommer empiriske problemer. Hvorledes ville man – for at tage et nutidigt eksempel – have afgrænset gruppen af bakteriofag-forskere, før den fik offentlig succes? Til dette formål må man gribe til at undersøge deltagelse i specialistkonferencer, fordelingen af foreløbige manuskripter eller den uombrudte korrektur før offentliggørelser, og frem for alt formelle og uformelle kommunikationsmønstre, for eksempel de der opdages gennem korrespondance og gennem forbindelsesleddene i citater.¹⁵⁷ Jeg tror, at arbejdet kan og vil blive udført, i det mindste for den nutidige scene og de nyere dele af den historiske. I almindelighed vil det måske give videnskabelige samfund lad os sige på mindre end hundrede medlemmer, til tider betragtelig færre. I almindelighed vil de enkelte videnskabsmænd, især de dygtigste, høre til i mange sådanne grupper, enten samtidigt eller efter tur.

Denne bog har fremstillet sådanne videnskabelige samfund som de enheder, der frembringer og vurderer videnskabelig erkendelse. Paradigmer er somme tider fælles for medlemmerne af sådanne grupper. Uden henvisning til karakteren af disse fælles elementer, kan mange af de aspekter ved videnskaben, der er blevet beskrevet på de foregående sider, næppe forstås. Men andre aspekter kan, selv om de ikke fremstilles selvstændigt i min oprindelige tekst. Før vi vender os direkte til paradigmer, er det derfor værd at bemærke en række af emner, som alene kræver henvisning til det videnskabelige samfunds struktur.

Det mest slående af disse er formentlig, hvad jeg tidligere har kaldt overgangen fra den før- til den efterparadigmatiske periode i udviklingen af et videnskabeligt område. Denne overgang er blevet skitseret ovenfor i kapitel II. Før den indtræffer, konkurrerer en række skoler om at dominere et givet område. Bagefter, i kølvandet på et eller andet bemærkelsesværdigt videnskabeligt resultat, bliver antallet af skoler kraftigt reduceret, i almindelighed til én, og der begynder en mere effektiv videnskabelig praksis. Denne er i reglen specialiseret og rettet mod at løse gåder, som en gruppes arbejde kun kan være det, når dens medlemmer regner grundlaget for dens fag for givet.

Karakteren af denne overgang fortjener fyldigere diskussion, end den har fået i denne bog, – især hos dem, der er optaget af de moderne samfundsvidenskabs udvikling. I den forbindelse er det måske nyttigt at påpege, at overgangen ikke behøver (og efter min nuværende mening ikke bør) forbindes med den første antagelse af et paradigme. Medlemmerne af alle videnskabelige samfund, også skolerne i den »før-

paradigmatiske« periode, er fælles om den slags elementer, jeg samlet har kaldt 'et paradigme'. Det, der ændres ved overgangen til moden-
hed, er ikke tilstedeværelsen af et paradigme, men snarere dets karak-
ter. Først efter ændringen er normal gædeløsende forskning mulig. Mange af de egenskaber ved en udviklet videnskab, som jeg ovenfor har forbundet med antagelsen af et paradigme, ville jeg derfor nu diskutere som følger af, at man antager den slags paradigme, som fastlægger udfordrende gåder, giver fingerpeg om deres løsning, og garanterer, at den virkelig dygtige praktiker vil have heldet med sig. Kunde, der er blevet opmuntret ved at se, at deres eget fag (eller egen skole) har paradigmer, vil sandsynligvis føle, at der ofres noget vigtigt ved ændringen.

Et andet spørgsmål, som i det mindste for historikeren er vigtigere, angår denne bogs underforståede identifikation af videnskabelige samfund med videnskabelige emner. Jeg har med andre ord gentagne gange udtrykt mig som om f. eks. 'fysisk optik', 'elektricitet' og 'varme' må benævnes videnskabelige samfund, fordi de benævner forskningsemner. Det eneste alternativ, min tekst synes at tillade, er, at alle disse emner har tilhørt fysik-samfundet. Den slags identifikationer vil imidlertid i reglen ikke stå for undersøgelser, som mine kolleger i historie gentagne gange har påpeget. Der var f. eks. ikke noget fysik-samfund før midten af det nittende århundrede, og det blev da dannet ved sammensmeltning af dele af to tidligere adskilte samfund, matematik og naturfilosofi (*physique expérimentale*). Det, der i dag er emnet for et enkelt bredt videnskabeligt samfund, har i tidligere tid været vidt spredt blandt forskellige samfund. Andre emner, f. eks. varme og stofteori, har eksisteret i lange perioder uden at blive noget enkelt videnskabeligt samfunds domæne. Både normalvidenskab og revolutioner er imidlertid aktiviteter med rod i det videnskabelige samfund. Hvis man vil opdage og analysere dem, må man først udrede videnskaberens vekslende samfundsstrukturer gennem tiden. Et paradigme leder ikke i første række et emne, men snarere en gruppe af udøvere. Ethvert studie af paradigme-bestemt eller paradigme-omvæltende forskning må begynde med at lokalisere den eller de ansvarlige grupper.

Når analysen af den videnskabelige udvikling gribes an på denne måde, vil mange vanskeligheder, som har været centrum for kritisk opmærksomhed, sandsynligvis forsvinde. En række kommentatorer har f. eks. brugt stofteorien til at pege på, at jeg drastisk overdriver forskernes enighed om tilhørsforholdet til et paradigme. De gør opmærksom på, at disse teorier indtil for forholdsvis kort tid siden har

været genstand for løbende uenighed og debat. Jeg er enig i beskrivelsen, men mener ikke, at det er et modeksempel. Stofteorier var ikke – i det mindste ikke før omkring 1920 – noget videnskabeligt samfunds specielle virkefelt eller emne. Derimod var de redskaber for en lang række specialistgrupper. Medlemmer af forskellige videnskabelige samfund valgte til tider andre redskaber og kritiserede andres valg. Men endnu vigtigere er det, at en stofteori ikke er et af den slags emner, medlemmerne af selv et enkelt videnskabeligt samfund nødvendigvis må være enige om. Behovet for enighed afhænger af, hvad det videnskabelige samfund bestiller. Kemien i den første halvdel af det nittende århundrede er et relevant eksempel. Selv om mange af det kemiske samfunds grundlæggende redskaber – konstante proportioner, multiple proportioner og vægtforhold ved blandinger – var blevet fælles ejendom som et resultat af Daltons atomteori, kunne kemikere bagefter udmærket basere deres arbejde på disse redskaber og alligevel være uenige – til tider voldsomt – om eksistensen af atomer.

Visse andre vanskeligheder og misforståelser vil efter min mening opløses på samme måde. Delvis på grund af de eksempler, jeg har valgt, og delvis på grund af min vaghed med hensyn til de relevante videnskabelige samfunds karakter og størrelse har nogle få læsere af denne bog draget den slutning, at jeg hovedsageligt eller udelukkende beskæftiger mig med store revolutioner som dem, man forbinder med Kopernikus, Newton, Darwin eller Einstein. En klarere fremstilling af det videnskabelige samfunds struktur skulle imidlertid hjælpe til at understrege det noget anderledes indtryk, jeg har søgt at skabe. En revolution er for mig en særlig form for forandring, der medfører en bestemt form for omkonstruktion af gruppetilhørsforhold. Men det behøver ikke at være en stor forandring, og den behøver heller ikke forekomme revolutionerende for folk uden for et enkelt videnskabeligt samfund, som måske består af færre end femogtyve mennesker. Det er netop, fordi denne form for forandring, som er lidet erkendt eller diskuteret i den videnskabsfilosofiske litteratur, forekommer så jævnligt i denne mindre skala, at det er så overordentlig nødvendigt at forstå revolutioner i modsætning til kumulativ forandring.

En sidste ændring, som er nært forbundet med den foregående, kan måske lette denne forståelse. En række kritikere har tvivlet på, om kriser – dvs. den almindelige bevidsthed, om at noget er gået galt – så regelmæssigt går forud for revolutioner, som jeg har ladet forstå i min tekst. Ingen væsentlige ting i min argumentation afhænger imidlertid af, at kriser er en nødvendig forudsætning for revolutioner; de skal

Kri-
sen
Janid
?

blot være den almindelige optakt; dvs. at de skal være en selvkorri-gerende mekanisme, som sikrer, at normalvidenskabens stivhed ikke i al evighed forbliver uantastet. Revolutioner kan også fremkaldes på andre måder, som end jeg tror, at det sker sjældent. Yderligere vil jeg nu pege på, hvad mangelen på en ordentlig diskussion af det videnskabelige samfunds struktur ovenfor har tilsløret: kriser behøver ikke fremkaldes af arbejdet i det videnskabelige samfund, der rammes af dem, og som til tider undergår revolutioner som følge deraf. Nye instrumenter som elektronmikroskopet eller nye love som Maxwells kan udvikles inden for ét specialområde og skabe kriser i et andet.

2. Paradigmer som fælles gruppeinteresser

Lad os nu vende os til paradigmer og spørge, hvad de mon kan være for noget. Min oprindelige tekst efterlader ikke noget spørgsmål, der er mere dunkelt eller betydningsfuldt. En enkelt sympatisk indstillet læser, som er enig med mig i, at 'paradigme' betegner bogens centrale filosofiske elementer, udfærdigede et delvis analytisk indeks og konkluderede, at ordet anvendes på mindst toogtyve forskellige måder.¹⁵⁸ Jeg mener nu, at de fleste af disse forskelle skyldes stilistisk inkonsekvens, (f. eks. er Newtons love sommetider et paradigme, sommetider dele af et paradigme og sommetider paradigmatiske), og de kan fjernes forholdsvis let. Men når dette udgiverarbejde var gjort, ville der være to meget forskellige anvendelser af ordet tilbage, og de må adskilles. Den mest almene anvendelse behandles i dette underafsnit, den anden i næste.

Når man med de metoder, som lige er blevet diskuteret, har afgrænset et bestemt videnskabeligt samfund, kan det være nyttigt at spørge: Hvad er det, der er fælles for dets medlemmer, og som forklarer, at deres faglige kommunikation er så forholdsvis fuldstændig og deres faglige bedømmelser så forholdsvis sammenfaldende? På det spørgsmål tillader den oprindelige tekst svaret: et paradigme eller en gruppe af paradigmer. Men ordet er uheldigt, når det anvendes på denne måde - i modsætning til den anvendelse, der skal diskuteres nedenfor. Videnskabsmændene selv ville sige, at de er fælles om en teori eller en gruppe af teorier, og det vil glæde mig, om ordet kan genvindes til denne brug. Men således som 'teori' i almindelighed bruges i videnskabsfilosofien, betyder det en struktur, som er af langt mere begrænset karakter og omfang, end det, der er behov for her. Indtil ordet kan befries for dets almindelige implikationer, vil man undgå

forvirring ved at anvende et andet. Til de øjeblikkelige formål vil jeg foreslå 'faglig matrix': 'faglig' fordi det henviser til, at de udøvende er fælles om et bestemt fag; 'matrix' fordi det er sammensat af ordnede elementer af forskellige slags, som hver for sig kræver yderligere specifikation. Alle eller de fleste af de ting, som er genstand for gruppens engagement, og som i den oprindelige tekst bliver til paradigmer, dele af paradigmer eller paradigmatiske, indgår i den faglige matrix, og som sådan udgør de en helhed og fungerer sammen. De må imidlertid ikke længere diskuteres, som om de var ens. Her skal jeg ikke forsøge at give en udtømmende liste, men det vil både afklare min nuværende tilnærmelse og samtidig forberede mit næste hovedpunkt, hvis vi lægger mærke til de vigtigste former for elementer i en faglig matrix.

En vigtig gruppe af elementer vil jeg kalde 'symbolske generalisationer'. Jeg tænker her på de udtryk, som uden tøven eller afvigelser anvendes af gruppemedlemmer, og som let kan gives en logisk form som f. eks. $(x)(y)(z) \varphi(x,y,z)$. Det er de elementer i den faglige matrix, som er formelle, eller som let kan formaliseres. Sommetider findes de allerede i symbolsk form: $f = ma$, eller $I = V/R$. Andre udtrykkes normalt i ord: »grundstoffer indgår forbindelser i konstante vægtforhold«, eller »aktion og reaktion er lige store«. Hvis sådanne udtryk ikke var alment accepterede, var der ikke nogen punkter, hvor til gruppens medlemmer kunne knytte deres effektive logiske og matematiske metoder, når de løste gåder. Selv om systematikens eksempel tyder på, at normalvidenskaben kan klare sig uden sådanne udtryk, synes en videnskabs styrke i al almindelighed at forøges med antallet af symbolske generalisationer, som dens udøvere har til deres rådighed.

Disse generalisationer ser ud som naturlove, men ofte er det ikke deres eneste funktion for medlemmer af en gruppe. Sommetider er det: Joule-Lenz loven, $H = RI^2$, f. eks. Da den lov blev opdaget, vidste gruppe-medlemmerne allerede, hvad H , R og I stod for, og disse generalisationer fortalte dem simpelthen noget om, hvorledes varme, strøm og modstand virkede, som de ikke havde vidst før. Men oftere tjener symbolske generalisationer samtidig også et andet formål, således som det er blevet antydnet af diskussioner tidligere i bogen. Og dette formål holdes almindeligvis skarpt adskilt i videnskabsfilosofers analyser. Ligesom $f = ma$ eller $I = V/R$ fungerer de delvis som love, men også delvis som definitioner af nogle af de symboler, de anvender. Endvidere ændres med tiden balancen mellem deres uadskillelige ev-

ner til at lovgive og til at definere. I en anden sammenhæng ville det kunne betale sig at analysere disse punkter detaljeret, for der er stor forskel mellem at være forpligtet af en lov og af en definition. Love kan man ofte rette på efterhånden, men det kan man ikke med definitioner, idet de er tautologier. For eksempel var det en del af betingelsen for at acceptere Ohms lov, at både 'strøm' og 'modstand' blev omdefineret. Hvis disse udtryk havde fortsat med at betyde det samme som tidligere, kunne Ohms lov ikke være rigtig; det er grunden til, at den mødte så hård modstand - i modsætning til Joule-Lenz loven.¹⁵⁹ Denne situation er sandsynligvis typisk. I øjeblikket tror jeg, at alle revolutioner blandt andet involverer forkastelsen af generalisationer, hvis styrke tidligere til dels havde bestået i, at de var tautologier. Viste Einstein, at samtidighed var relativ, eller ændrede han selve begrebet om samtidighed? Tog de mennesker, i hvis ører udtrykket 'samtidighedens relativitet' lød paradoksalt, simpelthen fejl?

2. Lad os derefter betragte en anden komponent i den faglige matrix, som i den oprindelige tekst er blevet omtalt en hel del under sådanne rubrikker som 'metafysiske paradigmer' eller 'de metafysiske dele af paradigmer'. Jeg tænker på den fælles overbevisning om sådanne ting som: varme er den kinetiske energi hos alle de dele, der konstituerer et legeme; alle sanselige fænomener skyldes vekselvirkningen mellem kvalitativt neutrale atomer i det tomme rum, eller subsidiært stof og kraft eller felter. Hvis jeg nu skulle skrive bogen på ny, ville jeg udvide modelbegrebet, således at det også omfattede denne forholdsvis heuristiske art: den elektriske strøm kan betragtes som et hydrodynamisk ligevægtssystem; en luftarts molekyler opfører sig som små elastiske billardkugler, der bevæger sig tilfældigt. Selv om styrken af en gruppes engagementer varierer, uden at det har trivielle konsekvenser, lige fra heuristiske til ontologiske modeller, har alle modeller ens funktioner. Blandt andet udstyrer de gruppen med foretrukne eller tilladelige analogier og metaforer. Dermed er de med til at bestemme, hvad der vil blive accepteret som en forklaring og som en løsning på en gåde; omvendt er de med til at fastlægge listen over uløste gåder og vurderingen af hver enkelts betydning. Men læg mærke til, at medlemmerne af videnskabelige samfund ikke behøver at have fælles heuristiske modeller, selv om de almindeligvis har det. Jeg har allerede peget på, at medlemskab af kemikernes samfund i første halvdel af det nittende århundrede ikke krævede en tro på atomer.

3. Et tredje element i den faglige matrix vil jeg her beskrive som

værdier. I almindelighed er de i højere grad fælles for forskellige videnskabelige samfund end symbolske generalisationer og modeller, og de bidrager meget til en fællesskabsfølelse mellem naturvidenskabsmænd som helhed. Selv om de virker altid, træder deres særlige betydning frem, når medlemmerne af et bestemt samfund skal identificere en krise eller senere vælge mellem uforenelige måder at dyrke deres fag. De mest indgroede værdier drejer sig sandsynligvis om forudsigelser: de skal være nøjagtige; kvantitative forudsigelser er at foretrække for kvalitative; ligegyldigt hvad margenen for tilladelige fejl er, må den konsekvent overholdes i et givet fag; og så videre. Der er imidlertid også værdier, som skal bruges til bedømmelsen af hele teorier: de må først og fremmest tillade formulering og løsning af gåder; hvor det er muligt bør de være enkle, modsigelsesfrie og plausible, dvs. forenelige med andre teorier, som er almindeligt anvendte. (Jeg finder det nu en svaghed i min oprindelige tekst, at der lægges så lidt vægt på sådanne værdier som indre og ydre modsigelsesfrihed ved behandlingen af kilder til krise og faktorer i teorivalg.) Der findes også andre værdier - f. eks. at videnskaben bør (eller ikke bør) være socialt nyttig - men det forudgående skulle antyde, hvad jeg tænker på.

Der er imidlertid en side ved fælles værdier, der kræver at blive nævnt for sig. I højere grad end ved andre bestanddele i den faglige matrix kan værdier være fælles for mennesker, som er uenige om deres anvendelse. Bedømmelser af nøjagtighed er forholdsvis, om end ikke fuldstændig, stabile fra det ene tidspunkt til det andet og fra det ene medlem til det andet i en bestemt gruppe. Men bedømmelser af enkelhed, konsistens, plausibilitet osv. varierer ofte meget fra individ til individ. Det, der for Einstein var en uoverstigelig inkonsistens i den gamle kvanteteori, og som gjorde det umuligt at dyrke normalvidenskab, var for Bohr og andre en vanskelighed, som man kunne forvente ville blive ordnet med normale midler. Og endnu vigtigere er det, at i de situationer, hvor der skal anvendes værdier, ville forskellige værdier taget for sig selv ofte foreskrive forskellige valg. En teori kan være mere nøjagtig, men mindre konsistent eller plausibel end en anden; igen er den gamle kvanteteori et eksempel. Kort sagt, selv om værdier i vidt omfang er fælles for videnskabsmænd, og selv om forpligtelsen over for dem både stikker dybt og er bestemmende for videnskaben, er anvendelsen af værdier til tider i betragteligt omfang påvirket af de træk ved den enkelte personlighed og biografi, som adskiller medlemmerne af gruppen.

For mange, der har læst de foregående sider, har denne karaktere-

ristik af de fælles værdiers virke forekommet at være en stor svagbed i mit standpunkt. Fordi jeg hævder, at det, videnskabsmænd har fælles, ikke er tilstrækkeligt til at påbyde almen enighed om sådanne ting som valget mellem konkurrerende teorier eller distinktionen mellem en almindelig og en krisefremkaldende uregelmæssighed, bliver jeg til tider beskyldt for at forherlige subjektivitet og irrationalitet.¹⁰⁰ Men denne reaktion ser bort fra to karakteristika, som værdidomme på ethvert område udviser. For det første kan fælles værdier være af betydning ved bestemmelsen af gruppeadfærd, også selv om ikke alle medlemmerne af gruppen anvender dem på den samme måde. (Hvis det ikke var tilfældet, ville der ikke være nogen *specielle* filosofiske problemer i værditeori og æstetik.) Ikke alle malede ens i de perioder, hvor afbildning var en primær værdi, men de plastiske kunstarters udviklingsmønster ændredes drastisk, da denne værdi blev forkastet.¹⁰¹ Tænk hvad der ville ske i videnskaberne, hvis konsistens ophørte med at være en primær værdi. For det andet kan individuelle variationer ved anvendelsen af fælles værdier tjene væsentlige funktioner i videnskaben. De punkter, hvor man må anvende værdier, er uvægerligt også de punkter, hvor man må tage en risiko. De fleste uregelmæssigheder opløses med normale midler; de fleste forslag til nye teorier viser sig faktisk at være forkerte. Hvis alle medlemmer af et videnskabeligt samfund reagerede på enhver uregelmæssighed som en kilde til krise eller optog enhver ny teori, som blev fremsat af en kollega, ville videnskaben høre op. På den anden side, hvis ingen tog den store risiko at reagere på uregelmæssigheder eller helt nye teorier, ville der være få eller ingen revolutioner. I sådanne spørgsmål kan det videnskabelige samfund tage sin tilflugt til fælles værdier snarere end fælles regler for det individuelle valg og på denne måde fordele risikoen og sikre den langsigtede succes for sit arbejde.

Lad os nu vende os til et fjerde element i den faglige matrix – ikke det eneste ud over de allerede diskuterede, men det sidste jeg skal diskutere her. Både filologisk og selvbiografisk ville betegnelsen 'paradigme' være ganske på sin plads for dette; det var denne bestanddel i en gruppes fælles overbevisninger, der oprindeligt fik mig til at vælge dette ord. Da ordet imidlertid har fået et selvstændigt liv, vil jeg i stedet sætte 'forbillede' (eng. »exemplar« o. a.). Hermed mener jeg for det første de konkrete problemløsninger, som studenter møder fra begyndelsen af deres videnskabelige uddannelse, i laboratorier, ved eksamener eller i slutningen af kapitler i videnskabelige lærebøger. Til disse fælles eksempler må man imidlertid føje i det mindste nogle af de

tekniske problemløsninger, som findes i den periodiske litteratur, videnskabsmænd støder på i deres forskerkarriere efter uddannelsen, og som også ved eksemplets hjælp viser dem, hvorledes deres arbejde skal udføres. Forskelle mellem klasser af forbillede giver mere end andre bestanddele af den faglige matrix de videnskabelige samfund deres finstruktur. Alle fysikere begynder f. eks. med at lære de samme forbillede: problemer så som det skrå plan, det koniske pendul og de keplerske baner; instrumenter så som noniusen, kalorimeteret og wheatstonemålebroen. Men efterhånden som deres uddannelse skrider frem, bliver de symbolske generalisationer, som de har fælles, i stadig højere grad illustreret med andre forbillede. Skønt både faststoffysikere og feltteoretikere har Schrödinger-ligningen, er kun dens mere elementære anvendelser fælles for begge grupper.

3. Paradigmer som fælles eksempler

Paradigmet i betydningen fælles eksempel er det centrale element i det, jeg nu regner for det nyeste og mindst forståede aspekt af denne bog. Forbillede vil derfor kræve mere opmærksomhed end de øvrige bestanddele af den faglige matrix. Videnskabsfilosoffer har i almindelighed ikke diskuteret de problemer, som en student møder i laboratorier eller i videnskabelige lærebøger, for man antager, at disse kun byder på den praktiske anvendelse af det, studenten allerede ved. Han kan overhovedet ikke, hedder det, løse problemer, hvis han ikke først har lært teorien og visse regler for dens anvendelse. Den videnskabelige erkendelse indeholdes i teorier og regler; problemer føjes til for at vinde færdighed i deres anvendelse. Jeg har imidlertid søgt at argumentere for, at denne lokalisering af det erkendelsesmæssige indhold i videnskaben er forkert. Når den studerende har løst mange problemer, kan det være, at han blot får yderligere færdighed ved at løse flere. Men ved begyndelsen og et stykke tid derefter er dette at løse problemer ensbetydende med at lære betydningsfulde ting om naturen. Uden sådanne forbillede ville de love og teorier, han tidligere har lært, kun have ringe empirisk indhold.

For at antyde hvad jeg tænker på, vender jeg kort tilbage til symbolske generalisationer. Et vidt accepteret eksempel er Newtons anden bevægelseslov, som almindeligvis skrives således $f = ma$. Den sociolog f. eks. eller den lingvist, som opdager, at de tilsvarende udtryk uden besvær ytres og forstås af medlemmerne af et givet videnskabeligt sam-

fund, vil ikke – uden en masse yderligere undersøgelser – have lært noget særligt om, hvad udtrykket eller ordene i det betyder, dvs. om hvorledes forskerne i det videnskabelige samfund fæstner udtrykket på naturen. Og den erkendtgerning, at de accepterer det uden tøven og anvender det som et punkt, hvor de kan indføre logiske og matematiske metoder, betyder i sig selv på ingen måde, at de overhovedet er enige om sådanne ting som mening og anvendelse. Selvfølgelig er de i betragteligt omfang enige, ellers ville det snart vise sig i deres efterfølgende samtale. Men man kan udmærket spørge, hvor og hvorledes de har haft held til dette. Hvorledes har de, når de var stillet over for en given forsøgssituation, lært at udvælge de relevante kræfter, masser og accelerationer?

Selv om man sjældent eller aldrig bemærker denne side af situationen, må de studerende i praksis lære noget, der er endnu mere indviklet end dette. Det er ikke helt rigtigt, at logiske og matematiske metoder bliver anvendt direkte på $f = ma$. Dette udtryk viser sig ved nærmere undersøgelse at være en skitse eller et skema til en lov. Når den studerende eller den aktive forsker går fra den ene problemsituation til den næste, ændres den symbolske generalisation, hvorpå man kan anvende sådanne metoder. I tilfældet med det frie fald bliver $f = ma$

$$\text{til } mg = \frac{d^2s}{dt^2}; \text{ ved det enkle pendul ændres det til } mg \sin\theta = \div ml \frac{d^2\theta}{dt^2}.$$

ved et par vekselvirkende harmoniske oscillatorer bliver det til to lig-

$$\text{ninger, hvoraf den første kan skrives således } m_1 \frac{d^2s_1}{dt^2} + k_1s_1 =$$

$k_2(s_2 \div s_1 + d)$; og ved mere indviklede situationer så som gyroskopet antager det endnu andre former, hvis familielighed med $f = ma$ er endnu vanskeligere at få øje på. Men mens den studerende lærer at identificere kræfter, masser og accelerationer i mange forskellige fysiske situationer, som han ikke tidligere har mødt, lærer han også at udforme den rette version af $f = ma$, som han kan bruge til at forbinde disse med – ofte en version, som han ikke tidligere har mødt noget nøjagtigt modstykke til. Hvorledes har han lært at gøre dette?

Et fænomen, som er kendt for både videnskabens studerende og videnskabshistorikere, giver et spor. De førstnævnte fortæller jævnlige, at de har gennemlæst et kapitel i deres lærebog, forstået det udmærket, men ikke desto mindre haft vanskeligheder med at løse en række af problemerne i kapitlets slutning. I almindelighed opløses disse problemer også på samme måde. Studenten opdager – med eller uden sin

lærers hjælp – en måde, hvorpå man kan betragte hans problem ligesom et problem, han allerede har mødt. Når han har set ligheden og forstået analogien mellem to eller flere forskellige problemer, kan han forbinde symbolerne med hinanden og hæfte dem på naturen ad veje, som tidligere har vist sig effektive. Lovskitsen, f. eks. $f = ma$, har fungeret som et redskab ved at fortælle studenten, hvilke ligheder han skulle holde udvig efter, og ved at angive den gestalt, hvorigennem situationen skal ses. Den resulterende evne til at se en mangfoldighed af situationer som ensartede, som underlagt $f = ma$ eller en anden symbolsk generalisation, er efter min mening det vigtigste, en student lærer ved at arbejde med forbillede problemer, hvad enten det sker med pen og papir eller i et velplanlagt laboratorium. Når han har afsluttet et vist antal, som kan variere stærkt fra den ene til den anden, betragter han de situationer, han står over for som videnskabsmand, igennem den samme gestalt som andre medlemmer af hans specialistgruppe. For ham er det ikke længere de samme situationer, som han mødte, da hans uddannelse begyndte. Han har undervejs optaget en gennemprøvet og gruppeautoriseret måde at se på.

De tillærte lighedsrelationers rolle viser sig også tydeligt i videnskabens historie. Videnskabsmænd løser gåder ved at følge tidligere gådeløsninger – ofte kun med ringe anvendelse af symbolske generalisationer. Galilei fandt ud af, at en kugle, som ruller ned ad en skrå flade, netop får så megen hastighed, at den kommer op til det samme højdepunkt på en anden skrå flade uanset hældningen, og han lærte at betragte denne forsøgssituation som lig med pendulet, der har et massepunkt som lod. Huyghens løste så problemet med svingningscentret for et fysisk pendul ved at forestille sig, at dettes udstrakte legeme var sammensat af galileiske punktpenduler, hvis indbyrdes bånd kunne løses på et hvilket som helst punkt af svingningen. Når båndene var løst, ville de enkelte punktpenduler svinge frit, men deres fælles gravitationscentrum ville, når hver af dem nåede sit højeste punkt, ligesom ved Galileis pendul kun hæve sig til den højde, hvorfra det udstrakte penduls gravitationscentrum var begyndt at falde. Endelig opdagede Daniel Bernoulli, hvorledes man kunne få udstømmende vand fra en åbning til at ligne Huyghens' pendul. Bestem faldet af vandets gravitationscentrum i beholder og strøm i et uendeligt lille tidsinterval. Lad os dernæst forestille os, at hver vandpartikel bagefter hver for sig bevæger sig op til den maximumshøjde, som kan nås med den hastighed, der er opnået i intervallet. Opstigningen af de enkelte partiklers gravitationscentrum må da være lig med nedstigningen af vandets gravitations-

centrum i beholder og strøm. Ud fra dette syn på problemet fulgte straks den længe søgte hastighed for en strøm.¹⁰²

Dette eksempel skulle begynde at gøre det klart, hvad jeg mener med at lære ud fra problemer at betragte situationer som ensartede, som tilgængelige for anvendelsen af den samme videnskabelige lov eller lovskitse. Samtidig skulle det vise, hvorfor jeg peger på den deraf følgende naturerkendelse, som man får ved at lære ensartetheden, og som derefter rummes i en måde at betragte fysiske situationer snarere end i regler eller love. De tre problemer i eksemplet, som alle var forbilleder for mekanikforskere i det attende århundrede, udnytter kun én naturlov. Den var kendt som vis viva princippet og blev i almindelighed formuleret således: »Aktuelt fald er lig med potentiel stigning«. Bernoullis anvendelse af loven skulle antyde, hvor betydningsfuld den var. Men den verbale formulering er i sig selv faktisk uden betydning. Forelæg den for en moderne fysikstuderende, som kender ordene og kan klare disse problemer, men som nu anvender andre midler. Lad os så forestille os, hvad ordene, selv om de alle er velkendte, kan have sagt til én, der ikke engang kender problemerne. For ham kunne generalisationen først begynde at fungere, når han havde lært at betragte »aktuelt fald« og »potentielt stigning« som bestanddele af naturen, og det er ensbetydende med forud for loven at lære noget om de situationer, som naturen byder på, og de, den ikke byder på. Denne form for indlæring opnås ikke alene med verbale midler. Snarere kommer den, når man får ord sammen med konkrete eksempler på, hvorledes de fungerer i brug; natur og ord læres sammen. For endnu en gang at låne Michael Polanyis nyttige udtryk, kan man betegne resultatet af denne proces som »uudtalt viden«, der læres ved at dyrke videnskab snarere end ved at lære regler for at dyrke den.

4. Uudtalt viden og intuition

Denne henvisning til uudtalt viden og den medfølgende forkastelse af regler indkredser et andet problem, som har generet mange af mine kritikere og syntes at udgøre et grundlag for beskyldningerne for subjektivitet og irrationalitet. Nogle læsere har følt, at jeg prøvede at få videnskaben til at hvile på individuelle og uanalyserbare intuitioner snarere end på logik og love. Men denne fortolkning går galt i to vigtige henseender. For det første, hvis jeg overhovedet taler om intuitioner, er de ikke individuelle. Snarere er de afprøvet fælleseje for med-

lemmerne af en succesrig gruppe, og begynderen får dem gennem øvelse som forberedelse til gruppemedlemskab. For det andet er de ikke principielt uanalyserbare. Tværtimod arbejder jeg i øjeblikket med et computerprogram, som er beregnet på at undersøge deres egenskaber på et elementært plan.

Dette program vil jeg ikke behandle her,¹⁰³ men blot nævnelser af det skulle være tilstrækkeligt for min væsentligste pointe. Når jeg taler om erkendelse, som ligger i fælles forbilleder, henviser jeg ikke til en form for erkendelse, der er mindre systematisk eller mindre analyserbar end erkendelse, der ligger i love, regler eller kriterier for identifikation. Derimod tænker jeg på en erkendemåde, som fejlkonstrueres, hvis det sker ved hjælp af regler, som først abstraheres fra forbilleder og derefter fungerer i deres sted. Eller for at sige det på en anden måde: når jeg taler om, at man fra forbilleder får evner til at genkende en given situation som lig nogle og ulig andre, man tidligere har set, peger jeg ikke på en proces, som ikke potentielt kan forklares fuldstændigt ud fra neuro-cerebrale mekanismer. Derimod hævder jeg, at forklaringen ifølge sin natur ikke vil besvare spørgsmålet, »lighed med hensyn til hvad?« Dette er et spørgsmål om en regel, i dette tilfælde de kriterier, hvorefter bestemte situationer grupperes i lighedsklasser, og jeg argumenterer for, at fristelsen til at lede efter kriterier (eller i det mindste en fuldstændig klasse) bør modstås i dette tilfælde. Det er imidlertid ikke system, men blot en bestemt form for system, jeg modsætter mig.

For at give dette punkt indhold må jeg foretage et kort sidespring. Det følgende forekommer mig nu indlysende, men den stadige brug i min oprindelige tekst af udtryk som »verden forandres« antyder, at dette ikke altid har været tilfældet. Hvis to mennesker står på samme sted og ser i samme retning, må vi – for at undgå solipsismen – drage den slutning, at de modtager næsten ens stimuli. (Hvis begge kunne have deres øjne på samme sted, ville stimuliene være identiske.) Men mennesker ser ikke stimuli; vor viden om dem er overordentlig teoretisk og abstrakt. Derimod har de sanseopfattelser, og vi har ikke nogen tvivl grund til at tro, at vore to iagttageres sanseopfattelser er de samme. (Skeptikere bør erindre, at farveblindhed aldrig var blevet bemærket før John Daltons beskrivelse af det i 1794.) Tværtimod foregår der megen neural bearbejdelse mellem modtagelsen af en stimulus og bevidstheden om en sanseopfattelse. Blandt de meget få ting, vi ved om det med sikkerhed, er: at meget forskellige stimuli kan fremkalde de samme sanseopfattelser; at den samme stimulus kan frem-

kalde meget forskellige sanseopfattelser; og endelig at vejen fra stimulus til sanseopfattelse til dels er bestemt af uddannelse. Individer, der er opdraget i forskellige samfund, opfører sig ved visse lejligheder, som om de så forskellige ting. Hvis vi ikke var tilbøjelige til at identificere stimuli én for én med sanseopfattelser, kunne vi anerkende, at de faktisk gør det.

Læg nu mærke til, at to grupper, hvis medlemmer har systematisk forskellige sanseopfattelser, selv om de modtager de samme stimuli, i en vis forstand lever i forskellige verdener. Vi postulerer eksistensen af stimuli for at forklare vor perception af verden, og vi postulerer deres uforanderlighed for at undgå såvel individuel som social solipsisme. Ingen af disse postulater har jeg det ringeste imod. Men vor verden er i første omgang befolket ikke af stimuli, men af genstandene for vore sanseoplevelser, og disse behøver ikke være de samme fra individ til individ eller fra gruppe til gruppe. Det er klart, at i det omfang individer hører til den samme gruppe og således har fælles uddannelse, sprog, erfaring og kultur, har vi god grund til at antage, at deres sanseopfattelser er de samme. Hvorledes skal vi ellers forstå omfanget af deres kommunikation og den fælles adfærd over for deres omgivelser? De må se tingene, bearbejde stimuli på nogenlunde de samme måder. Men hvor differentieringen og specialiseringen af grupper begynder, har vi ikke noget tilsvarende bevis for sanseopfattelsernes uforanderlighed. Jeg har en mistanke om, at ren og skær snæversynethed får os til at antage, at vejen fra stimuli til sanseopfattelse er den samme for medlemmerne af alle grupper.

Lad os nu vende tilbage til forbilleder og regler. Det, jeg har villet foreslå – så foreløbigt det end er gjort – er dette. En af de grundlæggende metoder, hvormed medlemmerne af en gruppe – hvad enten det er en hel kultur eller et specialistsamfund inden for denne – lærer at se de samme ting, når de står over for de samme stimuli, er forevisning af eksempler på situationer, som deres forgængere i gruppen allerede har lært at betragte som ensartede og som forskellige fra andre former for situationer. Disse ens situationer kan være successive samsemæssige billeder af det samme individ – f. eks. af en moder, som til sidst ved synet af hende genkendes som den hun er og som forskellig fra far eller søster. De kan være billeder af medlemmerne af naturlige familier – f. eks. på den ene side svaner og på den anden gæs. Eller de kan for medlemmerne af mere specialiserede grupper være eksempler på den newtonske situation, dvs. på situationer, som er ens derved, at de er tilgængelige for en eller anden version af $f = ma$, og

som er forskellige fra de situationer, hvor f. eks. optikkens lovskitser er anvendelige.

Indrøm mig nu for et øjeblik, at der faktisk forekommer sådan noget som dette. Skal vi sige, at det man har fået ud af forbilleder er regler og evnen til at anvende dem? Denne beskrivelse er fristende, fordi vor opfattelse af en situation som lig nogle, vi tidligere har mødt, må være resultatet af neural behandling, som er fuldstændig ledet af fysiske og kemiske love. I denne forstand må genkendelse af lighed, så snart vi har lært det, være lige så systematisk som vort hjerteslag. Men netop denne parallel peger på, at genkendelse også kan være ufrivillig, en proces som vi ikke har nogen kontrol over. Hvis det er tilfældet, så kan vi ikke med rette tænke på det, som noget, vi gør ved at anvende regler og kriterier. At tale om det på denne måde implicerer, at der står alternativer åbne for os – at vi f. eks. kunne have ladet være med at adlyde en regel eller misbrugt et kriterium eller eksperimenteret med en anden betragtningsmåde.¹⁶⁴ Det er efter min mening netop den slags ting, vi ikke kan gøre.

Eller mere præcist, det er ting, vi ikke kan gøre, før efter vi har haft en sanseoplevelse, har perciperet noget. Så leder vi ofte efter kriterier og anvender dem. Så kan vi give os ud i fortolkninger, en bevidst proces hvorved vi vælger mellem alternativer, hvilket vi ikke gør i selve perceptionen. Måske er der f. eks. noget mærkeligt ved det, vi har set (husk de unormale spillekort). Idet vi går rundt om et hjørne, ser vi mor gå ind i en af byens forretninger på et tidspunkt, hvor vi troede, hun var hjemme. Idet vi tænker på det, vi har set, udbryder vi pludselig: »Det var ikke mor, for hun har rødt hår!« Når vi går ind i forretningen, ser vi kvinden igen og kan ikke forstå, hvorledes vi kunne tage hende for mor. Eller måske ser vi halefjerene af en vandfugl, som søger føde på bunden af en lavvandet dam. Er det en svane eller en gås? Vi tænker på det, vi har set, idet vi i tankerne sammenligner halefjerene med dem, vi tidligere har set hos svaner og gæs. Eller som eksemplariske videnskabsmænd ønsker vi simpelthen at kende en eller anden generel karakteristik (f. eks. svaners hvidhed) ved medlemmerne af en naturlig familie, som vi allerede med lethed kan genkende. Igen tænker vi på, hvad vi forud har iagttaget, idet vi søger efter, hvad medlemmerne af den givne familie har fælles.

Dette er alle bevidste processer, og i dem søger og anvender vi faktisk kriterier og regler. Vi prøver med andre ord at fortolke allerede tilstedeværende sansninger – at analysere det, der er givet for os. Hvordan vi end gør dette, må de involverede processer i den sidste ende

være neurale, og de er derfor ledet af de samme *fysisk-kemiske* love, som styrer perceptionen på den ene side og vort hjerteslag på den anden. Men den kendsgerning, at systemet adlyder de samme love i alle tre tilfælde, er ikke nogen grund til at antage, at vort neurale udstyr er programmeret til at virke på samme måde ved fortolkning som ved perception eller ved en af disse som ved vort hjerteslag. Det, jeg har modsat mig i denne bog, er derfor det forsøg, som har været traditionelt siden Descartes, men ikke tidligere, på at analysere perception som en fortolkningsproces – som en ubevidst version af det, vi gør, efter vi har perciperet.

Det, der gør det værd at understrege perceptionens integritet, er naturligvis, at der er så megen tidligere erfaring indeholdt i det neurale udstyr, som forvandler stimuli til sanseoplevelser. En ordentligt programmeret perceptionsmekanisme har overlevelsesværdi. At sige, at medlemmerne af forskellige grupper kan have forskellige perceptioner, når de står over for de samme stimuli, er ikke ensbetydende med, at de kan have hvilke som helst perceptioner overhovedet. Under mange omstændigheder kunne en gruppe, som ikke kunne skelne ulve fra hunde, ikke bestå. Og en gruppe af atomfysikere ville i dag ikke overleve som videnskabsmænd, hvis de ikke kunne genkende sporene af alfapartikler og elektroner. Det er netop fordi der er så overordentligt få betragtningsmåder, der dner, at de, der har modstået afprøvning ved gruppeanvendelse, er værd at overføre fra generation til generation. Ligeledes er det fordi de er blevet udvalgt på grund af deres succes i historisk tid, at vi må tale om den erfaring og viden om naturen, der ligger på vejen fra stimulus til sanseoplevelse.

Måske er 'viden' ikke det rette ord, men der er grunde til at anvende det. Det, der er indbygget i den neurale proces, som forvandler stimuli til sanseoplevelser, har følgende egenskaber: det er formidlet gennem uddannelse; det har gennem afprøvning vist sig mere effektivt end dets historiske konkurrenter i en gruppes øjeblikkelige situation; og endelig kan det ændres både gennem yderligere uddannelse og ved opdagelse af dårlig tilpasning til situationen. Dette er egenskaber ved viden, og de forklarer, hvorfor jeg anvender ordet. Men det er en mærkelig anvendelse, for der mangler en anden egenskab. Vi har ingen direkte adgang til det, vi ved, ingen regler eller generalisationer til at udtrykke denne viden. Regler, som kunne give denne adgang, ville henviser til stimuli og ikke til sanseoplevelser, og stimuli kan vi kun have viden om gennem en udarbejdet teori. Når den mangler, forbliver den viden, der ligger på vejen fra stimulus til sanseoplevelse, udtalt.

Selv om det selvfølgelig er foreløbigt og ikke behøver at være korrekt i alle detaljer, er det, der netop er blevet sagt om sanseoplevelse, bogstaveligt ment. I det mindste er det en hypotese om synet, som skulle kunne undersøges eksperimentelt, om end det sandsynligvis ikke kan ske ved direkte afprøvning. Men denne omtale af syn og sanseoplevelse tjener her såvel som i selve bogen også metaforiske formål. Vi ser ikke elektroner, men spår deres spor eller også dampbobler i et tågekammer. Vi ser overhovedet ikke elektrisk strøm, men spåreren i et amperemeter eller galvanometer. Men på de foregående sider, især i kapitel X, har jeg gentagne gange udtrykt mig, som om vi faktisk iagttog teoretiske størrelser som strøm, elektroner og felter, som om vi lærte at gøre det ud fra undersøgelse af forbilleder, og som om det også i disse tilfælde ville være forkert at tale om kriterier og fortolkning istedet for om at se. Den metafor, der overfører 'at se' til sammenhænge som disse, er næppe et tilstrækkeligt grundlag for sådanne påstande. I det lange løb må den elimineres til fordel for en mere bogstavelig talemåde.

Det computerprogram, jeg henviste til ovenfor, begynder at antyde metoder til at gøre dette, men hverken pladsen eller min nuværende forståelse tillader, at jeg eliminerer metaforen her.¹⁰⁵ I stedet vil jeg kort søge at befæste den. Iagttagelsen af vanddråber eller en viser på en talskala er en primitiv sanseerfaring for den, der ikke er kendt med tågekammer og amperemetre. Det kræver således eftertanke, analyse og fortolkning (eller også indgriben af en ydre autoritet), før der kan nå slutninger angående elektroner eller strøm. Men den, der har lært om disse instrumenter og fået megen erfaring om forbilleder fra dem, er ganske anderledes stillet, og der er tilsvarende forskelle i den måde, hvorpå han behandler de stimuli, han får fra dem. Når han betragter fugten i sin ånde en kold vintereftermiddag, er hans sanseoplevelse måske nok den samme som lægmandens, men når han betragter et tågekammer, ser han (her bogstaveligt) ikke dråber, men spor af elektroner, alfapartikler osv. Disse spor er, om man vil, kriterier, som han fortolker som tegn på tilstedeværelsen af de tilsvarende partikler, men denne vej er både kortere og anderledes end den er for ham, der fortolker dråber.

Eller tænk på videnskabsmanden, der ser på et amperemeter for at afgøre, ved hvilket tal viseren er faldet til ro. Hans sanseopfattelse er sandsynligvis den samme som lægmandens, især hvis denne tidligere har aflæst andre måleapparater. Men han har set måleren (igen ofte bogstaveligt) i sammenhæng med hele strømkredsen, og han ved noget

om dens indre struktur. For ham er viserens stilling et kriterium, men kun på strømmens værdi. For at fortolke den behøver han kun afgøre, hvilken skala måleren skal aflæses på. For lægmanden derimod er viserens stilling ikke et kriterium på noget andet end den selv. For at fortolke den, må han undersøge hele indretningen af ledninger, indre såvel som ydre, gøre forsøg med batterier og magneter, osv. I den overførte såvel som den bogstavelige betydning af 'at se' begynder fortolkning, hvor perceptionen ender. De to processer er ikke identiske, og hvad perceptionen overlader til fortolkningen at fuldende afhænger i højeste grad af karakteren og omfanget af den forudgående erfaring og uddannelse.

5. Forbilleder, usammenlignelighed og revolutioner

Det, der netop er blevet sagt, giver grundlag for at afklare endnu et aspekt af bogen: mine bemærkninger om usammenlignelighed og dennes konsekvenser for videnskabsmænd, der diskuterer valget mellem successive teorier.¹⁶⁴ I kapitlerne X og XII har jeg argumenteret for, at parterne i sådanne diskussioner uundgåeligt ser forskelligt på visse af de eksperimentelle og iagttagelsesmæssige situationer, som begge benytter sig af. Men eftersom de ordforråd, hvormed de diskuterer sådanne situationer, hovedsagelig består af de samme ord, må de fæstne visse af disse ord forskelligt på naturen, og deres kommunikation er nødvendigvis kun ufuldstændig. Følgelig er den ene teori fortrin for den anden noget, der ikke kan bevises i diskussionen. I stedet må hver part, som jeg har hævdet, søge gennem overtalelse at omvende den anden. Kun filosoffer har for alvor fejlfortolket disse dele af min argumentation. Men en række af dem har fortalt, at jeg tror på følgende:¹⁶⁷ fortalene for usammenlignelige teorier kan overhovedet ikke kommunikere indbyrdes; følgelig kan der ikke i en diskussion om teorivalg gribes til gode grunde; derimod må teorier vælges af grunde, som i den sidste ende er personlige og subjektive; en eller anden mystisk apperception er ansvarlig for den beslutning, der bliver resultatet. Mere end nogen anden del af bogen har de passager, hvorpå disse fejlfortolkninger hviler, været ansvarlige for beskyldninger for irrationalitet.

Lad os først se på mine bemærkninger om bevis. Den pointe, jeg har forsøgt mig med, er enkel og velkendt i videnskabsfilosofien. Diskussioner om teorivalg kan ikke gives en udformning, som fuldstændig ligner logisk eller matematisk bevis. I disse fastsættes præmisser og

slutningsregler fra begyndelsen. Hvis der er uenighed om konklusioner, kan parterne i den påfølgende debat spore deres skridt et for et, idet de efterprøver hvert af dem efter den forudgående fastsættelse. Derefter må den ene eller den anden indrømme, at han har gjort en fejltagelse, brudt en forud anerkendt regel. Efter denne indrømmelse har han ingen udvej, modstanderens bevis er da tvingende. Kun hvis de to i stedet opdager, at de er uenige om meningen med eller anvendelsen af fastsatte regler, at deres forudgående enighed ikke giver tilstrækkeligt grundlag for bevis, fortsætter diskussionen i den form, den uundgåeligt antager under videnskabelige revolutioner. Denne diskussion drejer sig om præmisser, og den anvender overtalelse som en optakt til muligheden for bevis.

Intet i denne forholdsvis kendte tese implicerer, at der enten ikke er nogen gode grunde til at blive overtalt, eller at disse grunde ikke i den sidste ende er afgørende for gruppen. Og den implicerer heller ikke engang, at grundene til at vælge er anderledes end de, der normalt anføres af videnskabsfilosoffer: nøjagtighed, enkelhed, frugtbarhed og liguende. Imidlertid skulle den antyde, at sådanne grunde fungerer som værdier, og at de således individuelt eller kollektivt kan anvendes forskelligt af mennesker, som er enige om at hylde dem. Hvis to mennesker f. eks. er uenige om den forholdsvis frugtbarhed i deres teorier, eller hvis de er enige om det, men er uenige om betydningen af frugtbarhed i forhold til f. eks. mulighederne for at foretage et valg, så kan ingen af dem bringes til at indrømme, at de tager fejl. Og der er heller ikke nogen af dem, der er uvidenskabelige. Der er ikke nogen neutral algoritme for teorivalg, ingen systematisk afgørelsesprocedure, som rigtigt anvendt må føre hver enkelt i gruppen til den samme afgørelse. I denne forstand er det specialistsamfundet snarere end dets enkelte medlemmer, der foretager den effektive beslutning. For at forstå, hvorfor videnskaben udvikler sig, som den gør, behøver man ikke udrede de detaljer i biografi og personlighed, som fører hver enkelt til et bestemt valg, selv om dette emne er højst fascinerende. Derimod må man forstå den måde, hvorpå en bestemt klasse af fælles værdier samvirker med de bestemte erfaringer, som er fælles i et specialistsamfund, således at de fleste af gruppens medlemmer i den sidste ende vil finde én klasse af argumenter afgørende snarere end en anden.

Denne proces består i overtalelse, men den stiller et dybere problem. To mennesker, der opfatter den samme situation forskelligt, men ikke desto mindre bruger det samme ordforråd ved diskussionen af

den, må anvende ordene forskelligt. De taler med andre ord ud fra det, jeg har kaldt usammenlignelige synspunkter. Hvorledes kan de så meget som håbe på at tale sammen, end mindre at virke overtalende? Selv et foreløbigt svar på dette spørgsmål kræver yderligere specificifikation af vanskelighedens karakter. Jeg tror, at den i det mindste delvis antager følgende form.

2
3

Dirkelsen af normalvidenskab afhænger af den evne, man har henhævet fra forbilleder, til at gruppere objekter og situationer i lighedsklasser, som er elementære i den forstand, at grupperingen foregår uden et svar på spørgsmålet: »Lig med hensyn til hvad?« Et centralt aspekt i enhver revolution er da, at visse af lighedsrelationerne forandres. Objekter, som tidligere blev grupperet i samme klasse, grupperes i andre bagefter, og omvendt. Tænk på Solen, Månen, Mars og Jorden før og efter Kopernikus; på frit fald, pendul- og planetbevægelse før og efter Galilei; eller på salte, legeringer og en svovl-jern ordnende blanding før og efter Dalton. Eftersom de fleste objekter selv inden for de ændrede klasser fortsat bliver grupperet sammen, bliver navnene på klasserne almindeligvis bevaret. Alligevel er overførelsen af en underklasse i almindelighed en del af en kritisk ændring i nettet af forbindelser mellem dem. Ved fremvæksten af en ny teori om forbrænding, om surhed og om fysisk og kemisk forbindelse spillede overførelsen af metaller fra klassen af sammensætninger til klassen af grundstoffer en væsentlig rolle. I løbet af kort tid var disse ændringer spredt ud over hele kemien. Når sådanne omfordelinger forekommer er det derfor ikke overraskende, at to mennesker, hvis samtale tidligere tilsyneladende var foregået med fuld forståelse, pludselig kan finde ud af, at de reagerer på den samme stimulus med uforenelige beskrivelser og generalisationer. Disse vanskeligheder vil ikke føles på alle områder selv af deres videnskabelige samtale, men de vil fremkomme, og de vil da samle sig tættest om de fænomener, som teorivalget er mest direkte afhængigt af.

Selv om sådanne problemer først bliver åbenbare ved kommunikation, er de ikke blot sproglige, og de kan ikke løses blot ved at fastlægge definitionerne af besværlige ord. Fordi de ord, hvorom vanskelighederne samler sig, delvis er blevet lært ved direkte anvendelse af forbilleder, kan parterne i et kommunikationssammenbrud ikke sige: »Jeg anvender ordet 'element' (eller 'blanding', eller 'planet', eller 'uhæmmet bevægelse'), således som det fastlægges ved følgende kriterier.« De kan med andre ord ikke tage deres tilflugt til et neutralt sprog, som begge bruger på samme måde, og som er egnet til at

formulere begge deres teorier eller dog disse teoriers empiriske følger. En del af forskellen går forud for anvendelsen af de sprog, i hvilke den ikke desto mindre bliver afspejlet.

De mennesker, der oplever sådanne kommunikationssammenbrud, må imidlertid have en eller anden udvej. De stimuli, der rammer dem er de samme. Det samme gælder deres almene nerveapparat, ligegyldigt hvor forskelligt det er programmeret. Med undtagelse af et lille, om end overordentlig vigtigt erfaringsområde må endvidere selv deres nervemæssige programmering være næsten den samme, for de er fælles om en historie – med undtagelse af den umiddelbare fortid. Følgelig er både deres hverdagsverden og det meste af deres videnskabelige verden og sprog fælles. Når de har alt dette fælles, skulle de være i stand til at finde ud af en hel del om, hvorledes de adskiller sig indbyrdes. De nødvendige metoder er imidlertid hverken lige til eller behagelige; og de er heller ikke med i videnskabsmandens almindelige arsenal. Videnskabsmænd indser aldrig helt, hvilke de er, og de anvender dem sjældent længere, end det er påkrævet for at tilskynde til omvendelse eller for at overbevise sig om, at de aldrig vil blive opnået.

ΣQ Kort sagt er det, parterne i et kommunikationssammenbrud kan gøre at anerkende hinanden som medlemmer af forskellige sprog-samfund og så blive oversættere.¹⁶⁸ Ved at tage forskellene mellem deres egen samtale i en gruppe og mellem grupper indbyrdes som et studieobjekt i sig selv, kan de først søge at opdage de udtryk og vendinger, som selv om de anvendes uproblematisk inden for hvert samfund alligevel er centrer for vanskeligheder ved diskussioner grupper imellem. (Vendinger, som ikke giver sådanne vanskeligheder, kan oversættes homofont.) Efter at have indkredset sådanne områder med vanskeligheder ved videnskabelig kommunikation, kan de derefter gribe til deres fælles hverdagsordforråd i et forsøg på yderligere at belyse deres vanskeligheder. Hver af dem kan med andre ord prøve at finde ud af, hvad den anden ville se og sige, hvis han blev stillet over for en stimulus, som han selv ville reagere anderledes på rent verbalt. Hvis de i tilstrækkelig grad kan afholde sig fra at forklare unormal adfærd som en følge af rene fejltagelser og tåbelighed, kan de med tiden blive særdeles gode til at forudsige hinandens adfærd. Hver af dem vil have lært at oversætte den andens teori og dens følger til sit eget sprog og samtidig at beskrive den verden, som denne teori gælder for, i sit eget sprog. Det er det, videnskabshistorikeren gør (eller skulle gøre), når han behandler forældede videnskabelige teorier.

Eftersom oversættelse, hvis den forfølges, tillader parterne i et kom-

0
1
munikationssammenbrud at opleve nogle af fortjenesterne og manglerne i modpartens synspunkter indefra, er det et effektivt redskab både til overtalelse og til omvendelse. Men selv overtalelse behøver ikke lykkes, og hvis den gør det, behøver den ikke ledsages eller følges af omvendelse. De to oplevelser er ikke det samme, - en distinktion jeg først for nylig har indset fuldstændigt.

At overtale én er efter min opfattelse at overbevise ham om, at ens eget synspunkt er bedre og derfor bør erstatte hans eget. Så vidt kan man til tider komme uden at gøre brug af sådan noget som oversættelse. Når den mangler, vil mange af de forklaringer og problemformuleringer, der hyldes af medlemmerne af en videnskabelig gruppe være uigennemskuelige for en anden. Men hvert sprogfællesskab kan i almindelighed fra begyndelsen frembringe nogle få konkrete forskningsresultater, som, selv om de kan beskrives i sætninger, der opfattes på samme måde af begge grupper, alligevel ikke kan forklares af den anden gruppe med dens egne ord. Hvis det nye synspunkt holder sig et stykke tid og fortsætter med at være frugtbar, er det sandsynligt, at de forskningsresultater, der kan formuleres på denne måde, vil vokse i antal. For nogle mennesker vil sådanne resultater alene være afgørende. De kan sige: Jeg ved ikke, hvorledes fortalerne for det nye synspunkt bærer sig ad, men jeg må lære det; hvad de end gør, er det tydeligvis rigtigt. Denne reaktion fremkommer særligt let hos mennesker, der netop er ved at komme ind i faget, for de har endnu ikke tillagt sig den ene eller den anden gruppes særlige ordforråd og engagementer.

Argumenter, der kan formuleres med det ordforråd, som begge grupper anvender, er imidlertid sjældent afgørende, i det mindste ikke før på et meget sent stade i udviklingen af de modsatte synspunkter. Blandt de, der allerede tilhører faget, vil der være få, der bliver overtalt, hvis man ikke på en eller anden måde tyer til de mere omfattende sammenligninger, der muliggøres af oversættelse. Selv om prisen ofte er meget lange og indviklede sætninger, (tænk på at Proust-Berthollet kontroversen førtes uden inddragelse af ordet 'grundstof'), kan mange yderligere forskningsresultater oversættes fra det ene videnskabelige samfunds sprog til det andets. Efterhånden som oversættelsen skrider frem, vil nogle medlemmer af hver gruppe måske også begynde indefra at forstå, hvorledes et førhen uforståeligt udsagn kunne synes at være en forklaring for medlemmer af den modsatte gruppe. Overtalelse garanteres imidlertid ikke af tilgængeligheden af metoder som

disse. For de fleste mennesker er oversættelse en truende proces, og den er helt fremmed for normalvidenskaben. Under alle omstændigheder findes der altid modargumenter, og der er ikke nogen regler, der foreskriver, hvorledes balancen skal opnås. Alligevel, efterhånden som argument hober sig på argument og den ene udfordring efter den anden mødes med held, kan kun blind stædighed til sidst være forklaringsgen på fortsat modstand.

2
Når det er tilfældet, bliver et andet aspekt af oversættelse, som længe har været kendt af både historikere og lingvister, af afgørende betydning. At oversætte en teori eller et verdenssyn til sit eget sprog er ikke det samme som at gøre det til sit eget. Dertil må man blive indfødt, finde ud af, at man tænker og arbejder i - og ikke blot oversætter fra - et sprog, som tidligere var fremmed. Denne overgang kan en enkeltperson imidlertid ikke foretage eller undlade at foretage ud fra overtalelse og valg, ligegyldigt hvor gode hans grunde er for at ønske at gøre det. Derimod finder han på et eller andet punkt i processen med at lære at oversætte, at overgangen er sket, at han er gledet over i det nye sprog, uden at der er taget nogen beslutning. Eller også finder han ligesom mange af dem, der første gang mødte f. eks. relativitet eller kvantemekanik i en moden alder, at han er fuldstændig overbevist af det nye synspunkt, men ikke desto mindre ude af stand til at leve sig ind i det og føle sig hjemme i den verden, det er med til at skabe. Intellektuelt har et sådant menneske foretaget sit valg, men den omvendelse, der er nødvendig, hvis det skal være effektivt, kan han ikke nå. Han kan godt anvende den nye teori alligevel, men han vil gøre det som en fremmed i uvante omgivelser - det er et alternativ, som kun er til rådighed for ham, fordi det allerede huser indfødte. Hans arbejde snylter på deres, for han mangler den sammensætning af mentalt udstyr, som fremtidige medlemmer af det videnskabelige samfund vil få gennem uddannelse.

3
Den oplevelse af omvendelse, som jeg har sammenlignet med et gestaltskifte forbliver derfor i centrum af den revolutionære proces. Gode grunde for et valg giver motiver for omvendelse samt et klima, hvor den har større udsigt til at forekomme. Oversættelse kan yderligere give indfaldsveje for den nervemæssige omprogrammering, som må ligge bag omvendelse, ligegyldigt hvor uransagelig den er på dette tidspunkt. Men hverken gode grunde eller oversættelse udgør omvendelse, og det er den proces, vi må gøre rede for for at forstå en væsentlig form for videnskabelig forandring.

6. Revolutioner og relativisme

En følge af det synspunkt, der netop er blevet skitseret, har især generet en række af mine kritikere.¹⁰⁰ De finder mit synspunkt relativistisk, især således som det udvikles i det sidste kapitel af denne bog. Mine bemærkninger om oversættelse belyser grundene til denne beskyldning. Fortalerne for forskellige teorier er på linje med medlemmerne af forskellige sprogligt-kulturelle samfund. Når man indser parallellismen, får man en antydning af, at begge grupper kan have ret. Anvendt på kulturen og dens udvikling er dette synspunkt relativistisk.

Men anvendt på videnskaben er dette måske ikke tilfældet, og det er i hvert tilfælde langt fra *ren* relativisme i en henseende, som dets kritikere ikke har indset. Betragtet som en gruppe eller i grupper er udøverne af de udviklede videnskaber ifølge min argumentation fundamentalt gædeløse. Selv om de værdier, de udnytter, når de foretager teorivalg, også hidrører fra andre sider af deres arbejde, er den påviste evne til at formulere og løse gåder, som er stillet af naturen, i tilfælde af konflikter mellem værdier det fremherskende kriterium for de fleste medlemmer af en videnskabelig gruppe. Ligesom enhver anden værdi viser evnen til at løse gåder sig at være tvetydig, når den skal anvendes. To mennesker, som begge hylder den, kan ikke desto mindre uddrage forskellige domme ved at benytte den. Men adfærden hos et samfund, som gør den til noget fremherskende, vil være meget forskellig fra et, der ikke gør det. I videnskaberne har den høje værdi, der tilskrives evnen til at løse gåder, efter min mening følgende konsekvenser.

Lad os forestille os et udviklingstræ, der fremstiller udviklingen af de moderne specialvidenskaber fra deres fælles oprindelse i f. eks. primitiv naturfilosofi og teknik. En linje trukket op gennem dette træ uden nogen sving bagud lige fra stammen til spidsen af en eller anden gren ville spore en rækkefølge af teorier, som var forbundet ved oprindelse. Hvis vi betragter to tilfældige teorier af denne art, som er valgt ved punkter, der ikke er for nær deres oprindelse, så skulle det være let at opstille en række kriterier, som ville sætte en uafhængig iagttagelse i stand til at skelne den tidligere fra den senere teori igen og igen. Blandt de nyttigste ville være: nøjagtighed i forudsigelse, især med kvantitative forudsigelser; forholdet mellem specialiserede og dagligdags emner; antallet af forskellige problemer, der er løst. Sådanne værdier

som enkelhed, omfang og forenelighed med andre specialområder ville være mindre nyttige til dette formål, om end de også er vigtige bestemmelser ved det videnskabelige liv. Disse lister er endnu ikke alt, hvad der er påkrævet, men jeg er ikke i tvivl om, at de kan fyldes ud. Hvis de kan det, så er videnskabelig udvikling ligesom den biologiske en ensrettet og irreversibel proces. Senere videnskabelige teorier er bedre end tidligere til at løse gåder i de ofte helt forskellige situationer, de anvendes på. Dette er ikke en relativists synspunkt, og det viser, i hvilken forstand jeg med overbevisning tror på videnskabeligt fremskridt.

Sammenlignet med det begreb om fremskridt, som er mest almindeligt blandt såvel videnskabsfilosoffer som lægmænd, mangler denne holdning imidlertid et væsentligt element. I almindelighed føler man, at en videnskabelig teori er bedre end sine forgængere ikke alene i den forstand, at den er et bedre redskab til at opdage og løse gåder, men også fordi den på en eller anden måde er en bedre fremstilling af, hvorledes naturen i virkeligheden er. Man hører ofte, at successive teorier kommer stadig tættere på eller nærmer sig mere og mere til sandheden. Tilsyneladende refererer sådanne generalisationer ikke til gædeløsningerne og de konkrete forudsigelser, som udledes af en teori, men snarere til dens ontologi, dvs. til overensstemmelsen mellem de entiteter, som teorien udstyrer naturen med, og »det virkelige«.

Der er måske andre måder, hvorpå man kan redde begrebet om 'sandhed', således at det kan anvendes på hele teorier, men det går ikke på denne måde. Jeg tror ikke, at der er nogen teori-uafhængig metode til at rekonstruere udtryk som »det virkelige«; ideen om en overensstemmelse mellem en teoris ontologi og dens »virkelige« modstykker i naturen forekommer mig nu at være principielt illusorisk. Desuden gør synspunktets usandsynlighed indtryk på mig som historiker. Jeg er f. eks. ikke i tvivl om, at Newtons mekanik er en forbedring i forhold til Aristoteles, og at Einsteins er en forbedring i forhold til Newtons, når man betragter dem som redskaber til at løse gåder med. Men i denne række af teorier kan jeg ikke se nogen entydig ontologisk udvikling. Tværtimod: i visse vigtige henseender, men på ingen måde i alle, er Einsteins almene relativitetsteori nærmere ved Aristoteles, end nogen af dem er ved Newton. Selv om fristelsen til at beskrive denne holdning som relativistisk er forståelig, forekommer beskrivelsen mig at være forkert. Og omvendt, hvis denne holdning er relativistisk, kan jeg ikke se, at relativisten mister noget, som er nødvendigt til at forklare videnskaberne karakter og udvikling.

7. Videnskabens natur

Jeg slutter af med en kort diskussion af de to tilbagevendende reaktioner på min oprindelige tekst; den første er kritisk, den anden imødekommende, og ingen af dem helt rigtige efter min mening. Selv om ingen af dem har forbindelse med det, der er blevet sagt indtil nu, eller med hinanden, har de begge været tilstrækkelig fremtrædende til, at de kræver i det mindste lidt af et svar.

Nogle få læsere af min oprindelige tekst har lagt mærke til, at jeg gentagne gange svinger frem og tilbage mellem deskriptiv og normativ sprogbrug, en svingen som er særlig tydelig i sådanne passager, der begynder med: »Men det er ikke det, videnskabsmænd faktisk gør», og slutter med at hævde, at videnskabsmænd ikke bør gøre det pågældende. Nogle kritikere hævder, at jeg sammenblander beskrivelse og forskrift, idet jeg bryder den hævdede filosofiske læresætning: 'Er' kan ikke implicere 'bør'.¹⁷⁰

Denne læresætning er i praksis blevet til en floskel, og den hyldes ikke længere overalt. En række moderne filosoffer har opdaget vigtige sammenhænge, hvor normativt og deskriptivt er uløseligt blandet sammen.¹⁷¹ 'Er' og 'bør' er slet ikke altid så adskilte, som de har set ud til. Men man behøver ikke at gribe til moderne lingvistisk filosofis subtiliteter for at udrede den tilsyneladende forvirring ved denne side af mit standpunkt. De foregående sider fremstiller et syn på eller en teori om videnskabens natur, og ligesom andre videnskabsfilosofier har teorien konsekvenser for den måde, hvorpå videnskabsmænd bør opføre sig, hvis deres forehavende skal lykkes. Selv om den ikke nødvendigvis er sand – mere end nogen anden teori er det – giver den et legitimt grundlag for gentagne anvendelser af 'bør' og 'skulle'. På den anden side er en af grundene til at tage teorien alvorligt, at videnskabsmænd, hvis metoder er blevet udviklet og valgt ud på grund af deres succes, rent faktisk opfører sig, således som teorien siger, at de skal. Mine beskrivende generalisationer er netop en støtte for teorien, fordi de også kan udledes af den, mens de for andre opfattelser af videnskabens natur beskriver unormal adfærd.

Cirkelgangen i denne argumentation er efter min mening ikke skadelig. Følgerne af det diskuterede synspunkt er ikke udtømt med de iagttagelser, som det hvilede på til at begynde med. Selv før denne bog oprindeligt blev offentliggjort, fandt jeg, at visse dele af den teori, den fremsætter, var et nyttigt redskab til at udforske adfærd og udvikling i videnskaben. En sammenligning mellem denne efterskrift og ori-

ginalens sider vil måske antyde, at den har fortsat med at spille denne rolle. Et synspunkt, der går helt i ring, kan ikke være vejledende på denne måde.

En sidste reaktion på denne bog kræver en anden form for svar. En del af dem, der har glædet sig over den, har ikke så meget gjort det, fordi den belyser videnskaben, som fordi de opfattede dens hovedteser som anvendelige på mange andre områder også. Jeg kan godt se, hvad de mener, og jeg ønsker ikke at modvirke deres forsøg på at udvide standpunktet, men deres reaktion har alligevel bragt mig i vildrede. I den udstrækning bogen skildrer den videnskabelige udvikling som en række af traditionsbundne perioder, som er adskilt ved ikke-kumulative brud, har dens teser utvivlsomt vide anvendelsesmuligheder. Men det skulle de også have, for de er lånt fra andre områder. Historikere inden for litteratur, musik, kunst, politik og mange andre menneskelige aktiviteter har længe beskrevet deres emner på samme måde. Opdeling i perioder ud fra revolutionære brud i stil, smag og institutionel struktur har hørt til deres standardredskaber. Hvis jeg har været original med hensyn til begreber som disse, har det hovedsagelig været ved at anvende dem på videnskaberne – områder som man i almindelighed regnede med udviklede sig på en anden måde. Det kan tænkes, at ideen om et paradigme som en konkret bedrift, et forbillede, også er et bidrag. Jeg har f. eks. en mistanke om, at de almindeligt kendte vanskeligheder ved ideen om stil i kunsten måske kan forsvinde, hvis malerier kan betragtes som skabt med hinanden som forbillede i stedet for som frembragt efter visse abstraherede stilregler.¹⁷²

Bogen tilsigtede imidlertid også en anden pointe, som har været mindre tydelig for mange af dens læsere. Selv om den videnskabelige udvikling måske ligner udvikling på andre områder mere, end man ofte har regnet med, er den også på slående vis anderledes. Det kan f. eks. næppe være helt forkert at sige, at videnskaberne i det mindste efter et vist punkt i deres udvikling gør fremskridt på en anden måde end andre områder, hvad dette fremskridt så i sig selv kan være for noget. Et af målene med bogen var at undersøge sådanne forskelle og at påbegynde en forklaring af dem.

Tænk f. eks. på den gentagne understregning ovenfor af, at der ikke er konkurrerende skoler – eller som jeg nu ville sige: forholdsvis få konkurrerende skoler – i de udviklede videnskaber. Eller husk på mine bemærkninger om, i hvor høj grad medlemmerne af et givet videnskabeligt samfund udgør det eneste publikum til og dommere over dette videnskabelige samfunds arbejde. Eller tænk igen på den videnska-

belige uddannelses særlige karakter, på gådeløsning som et mål og på det værdisystem, som den videnskabelige gruppe anvender i perioder med kriser og beslutninger. Bogen afgrænser andre træk af samme slags; ingen af dem er nødvendigvis enestående for videnskaben, men tilsammen gør de den til noget særligt.

Om alle disse træk ved videnskaben er der en hel del mere at lære. Efter at have begyndt denne efterskrift med at lægge vægt på nødvendigheden af at studere de videnskabelige samfunds struktur, skal jeg slutte med at understrege nødvendigheden af lignende og frem for alt sammenlignende studier af de tilsvarende samfund inden for andre områder. Hvorledes vælger man, og hvorledes bliver man valgt til medlem af et bestemt samfund, det være sig videnskabeligt eller af anden art? Hvorledes og i hvilke trin forløber den sociale oplæringsproces i gruppen? Hvad betragter gruppen som sine fælles mål? Hvilke afvigelser – individuelt såvel som kollektivt – vil den tolerere; og hvorledes kontrollerer den utilladelige vildfarelser? En mere fuldstændig forståelse af videnskaben vil også afhænge af svarene på andre spørgsmål, men der er ikke noget andet område, hvor der er så stærkt behov for mere arbejde. Videnskabelig erkendelse er ligesom sproget inderst inde en gruppes fælles ejendom eller også er den ingenting. For at forstå den må vi kende de særlige træk ved de grupper, der skaber og anvender den.

Noter

- ¹ Særlig indflydelsesrig var Alexandre Koyré, *Etudes Galiléennes* (3 bd.; Paris, 1939); Emile Meyerson, *Identity and Reality*, overs. Kate Loewenberg (New York, 1930); Hélène Metzger, *Les doctrines chimiques en France du début du XVII^e à la fin du XVIII^e siècle* (Paris, 1923) og *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique* (Paris, 1930); og Anneliese Maier, *Die Vorläufer Galileis im 14. Jahrhundert* (Studien zur Naturphilosophie der Spätscholastik; Rom, 1949).
- ² To af Piagets undersøgelser viste sig særlig betydningsfulde, fordi de pegede på begreber og processer, som også kommer direkte frem i videnskabshistorien: *The Child's Conception of Causality*, overs. Marjorie Gabain (London, 1930) og *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant* (Paris, 1946).
- ³ Whorfs artikler er siden blevet samlet af John B. Carroll, *Language, Thought, and Reality – Selected Writings of Benjamin Lee Whorf* (New York, 1956). Quine har fremstillet sine synspunkter i "Two Dogmas of Empiricism", som er genoptrykt i hans *From a Logical Point of View* (Cambridge, Mass., 1953), s. 20–46.
- ⁴ Disse faktorer diskuteres i T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought* (Cambridge, Mass., 1957), s. 122–132, 270–71. Andre virkninger af ydre intellektuelle og økonomiske forhold på den egentlige videnskabelige udvikling diskuteres i mine artikler: "Conservation of Energy as an Example of Simultaneous Discovery", *Critical Problems in the History of Science*, udg. af Marshall Clagett (Madison, Wis., 1959), s. 321–56; "Engineering Precedent for the Work of Sadi Carnot", *Archives internationales d'histoire des sciences*, XIII (1960), 247–51; og "Sadi Carnot and the Cagnard Engine", *Isis*, LII (1961), 567–74. Det er altså kun med hensyn til de problemer, der diskuteres i nærværende essay, at jeg regner de ydre faktoreres rolle for mindre.
- ⁵ Joseph Priestley, *The History and Present State of Discoveries Relating to Vision, Light, and Colours* (London, 1772), s. 385–90.
- ⁶ Vasco Ronchi, *Histoire de la lumière*, overs. Jean Taton (Paris, 1956), kap. i–iv.
- ⁷ Duane Roller og Duane H. D. Roller, *The Development of the Concept of Electric Charge: Electricity from the Greeks to Coulomb* (Harvard

- Case Histories in Experimental Sciences, Case 8; Cambridge, Mass., 1954); og I. B. Cohen, *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Philadelphia, 1956), kap. vii-xii. Ang. nogle af de analytiske detaljer i det efterfølgende afsnit i teksten, står jeg i gæld til en endnu ikke offentliggjort artikel af min student John L. Heilbron. Indtil den offentliggøres, finder man en noget udvidet og mere nøjagtig redegørelse for fremvæksten af Franklins paradigme i T. S. Kuhn, »The Function of Dogma in Scientific Research«, i A. C. Crombie (ed.), »Symposium on the History of Science, University of Oxford, July 9-15, 1961«, som vil blive offentliggjort af Heinemann Educational Books, Ltd.
- ⁸ Se udkåstet til en varmens naturhistorie i Bacon's *Novum Organum*, bd. VIII i *The Works of Francis Bacon*, udg. J. Spedding, R. L. Ellis og D. D. Heath (New York, 1869), s. 179-203.
- ⁹ Roller og Roller, *op. cit.*, s. 14, 22, 28, 43. Først efter det værk, der beskrives sidstnævnte sted, bliver frastødningsfænomener generelt regnet for utvetydigt elektriske.
- ¹⁰ Bacon siger, *op. cit.*, s. 235, 337: »Vand, der er lidt varmt, fryser lettere end det helt kolde.« En delvis redegørelse for denne mærkelige iagttagelses tidlige historie findes i Marshall Clagett, *Giovanni Marliani and Late Medieval Physics* (New York, 1941), kap. iv.
- ¹¹ Roller og Roller, *op. cit.*, s. 51-54.
- ¹² Det besværlige tilfælde var negativt ladede legemers indbyrdes frastødning; se herom Cohen, *op. cit.*, s. 491-94, 531-43.
- ¹³ Det bør bemærkes, at antagelsen af Franklins teori ikke helt gjorde ende på al diskussion. I 1759 foreslog Robert Symmer en version af denne teori, som regnede med to fluida, og i mange år efter var elektricitetsforskere uenige om elektricitet var en eller to fluida. Men diskussionerne om dette emne bekræfter blot, hvad der er blevet sagt ovenfor om, hvorledes en alment accepteret præstation samler faget. Skønt elektricitetsforskerne fortsat var uenige på dette punkt, kom de hurtigt til den slutning, at ingen eksperimentel afprøvning kunne skelne mellem de to versioner af teorien, og at de derfor var ækvivalente. Derefter kunne begge skoler udnytte de fordele, Franklins teori gav, og det gjorde de (*ibid.*, s. 543-46, 548-54).
- ¹⁴ Bacon, *op. cit.*, s. 210.
- ¹⁵ Elektricitetens historie giver et udmærket eksempel, som kunne genfindes i Priestleys, Kelvins og andres karrierer. Franklin fortæller om Nollet, som i midten af århundredet var den mest indflydelsesrige kontinentale elektricitetsforsker, at han »oplevede at se sig selv som den sidste af sin sekt, med undtagelse af Mr. B. - hans elev og direkte discipel« (Max Farrand (udg.), *Benjamin Franklin's Memoirs* (Berkeley, Calif., 1949), s. 384-86). Mere interessant er imidlertid hele skolers udholdenhed i større og større isolation fra den professionelle videnskab. Tænk f. eks. på astrologien, som en gang var en væsentlig bestanddel af astronomien. Eller tænk på fort-

sættelsen i slutningen af det attende og begyndelsen af det nittende århundrede af en tidligere respekteret tradition for »romantisk« kemi. Denne tradition diskuteres af Charles C. Gillispie i »The *Encyclopédie* and the Jacobin Philosophy of Science: A Study in Ideas and Consequences«, *Critical Problems in the History of Science*, udg. Marshall Clagett (Madison, Wis., 1959), s. 255-89; og »The Formation of Lamarck's Evolutionary Theory«. *Archives Internationales d'histoire des sciences*, XXXVII (1956), 323-38.

- ¹⁶ Udviklingen efter Franklin omfatter de første pålidelige og almindeligt udbredte metoder til at måle ladning, en umådelig forøgelse af laddningsmåleres følsomhed, udviklingen af kapacitetsbegrebet og dets forhold til det nylig forfinede begreb elektrisk spænding og kvantifikationen af elektrostatisk kraft. Ang. alt dette se Roller og Roller, *op. cit.*, s. 66-81; W. C. Walker, »The Detection and Estimation of Electric Charges in the Eighteenth Century«, *Annals of Science*, I (1936), 66-100; og Edmund Hoppe, *Geschichte der Elektrizität* (Leipzig, 1884), I. del, kap. iii-iv.
- ¹⁷ Bernard Barber, »Resistance by Scientist to Scientific Discovery«, *Science*, CXXXIV (1961), 596-602.
- ¹⁸ Det eneste gamle kontrolpunkt, som stadig er almindelig anerkendt, er præcessionen af Merkurs perihelium. Rødforskydningen i lysspektret fra fjerne stjerner kan udledes af mere enkle ideer end den generelle relativitet, og det samme er måske muligt angående lysafbøjningen ved solen, - noget der diskuteres en del nu. Under alle omstændigheder er målinger af sidstnævnte fænomen stadig tvetydige. Et yderligere kontrolpunkt er måske opstillet for ganske nylig: tyngdeændringen af Mossbauer stråling. Måske vil der snart være flere på dette nu aktive, men længe slumrende område. En koncentreret up-to-date redegørelse for problemet gives i L. I. Schiff, »A Report on the NASA Conference on Experimental Tests of Theories of Relativity«, *Physics Today*, XIV (1961), 42-48.
- ¹⁹ Ang. to af parallelakse-teleskoperne, se Abraham Wolf, *A History of Science, Technology, and Philosophy in the Eighteenth Century* (2. udg.; London, 1952), s. 103-5. Ang. Atwood maskinen, se N. R. Hanson, *Patterns of Discovery* (Cambridge, 1958), s. 100-102, 207-8. Ang. de to sidste former for specialapparatur, se M. L. Foucault, »Méthode générale pour mesurer la vitesse de la lumière dans l'air et les milieux transparents. Vitesses relatives de la lumière dans l'air et dans l'eau...«, *Comptes rendus .. de l'Académie des sciences*, XXX (1850), 551-60; og C. L. Cowan, Jr., o. a., »Detection of the Free Neutrino: A Confirmation«, *Science*, CXXIV (1956), 103-4.
- ²⁰ J. H. Poynting) giver en oversigt over cirka to dusin målinger af tyngdekonstanten mellem 1741 og 1901 i »Gravitation Constant and Mean Density of the Earth«, *Encyclopaedia Britannica* (11. udg.; Cambridge, 1910-11), XII, 385-89.
- ²¹ Ang. den fuldstændige omplantning af hydrostatikkens begreber til pneu-

- matikken, se *The Physical Treatises of Pascal*, overs. I. H. B. Spiers og A. G. H. Spiers, med indledning og noter af F. Barry (New York, 1937). Torricellis oprindelige indførelse af parallelismen står på s. 164, (»Vi lever nedssænket på bunden af et hav af elementet luft«). Dens hurtige udvikling vises af de to hovedafhandlinger.
- ²² Duane Roller og Duane H. D. Roller, *The Development of the Concept of Electric Charge: Electricity from the Greeks to Coulomb* (»Harvard Case Histories in Experimental Science«, Case 8; Cambridge, Mass., 1954), s. 66-80.
- ²³ Eksempler findes i T. S. Kuhn, »The Function of Measurement in Modern Physical Science«, *Isis*, LII (1961), 161-93.
- ²⁴ T. S. Kuhn, »The Caloric Theory of Adiabatic Compression«, *Isis*, XLIX (1958), 132-40.
- ²⁵ C. Truesdell, »A Program toward Rediscovering the Rational Mechanics of the Age of Reason«, *Archive for History of the Exact Sciences*, I (1960), 3-36, og »Reactions of Late Baroque Mechanics to Success, Conjecture, Error, and Failure in Newton's Principia«, *Texas Quarterly*, X (1967), 281-97. T. L. Hankins, »The Reception of Newton's Second Law of Motion in the Eighteenth Century«, *Archives internationales d'histoire des sciences*, XX (1967), 42-65.
- ²⁶ Wolf, *op. cit.*, s. 75-81, 96-101; og William Whewell, *History of the Inductive Sciences* (rev. udg.; London, 1847), II, 213-71.
- ²⁷ René Dugas, *Histoire de la mécanique* (Neuchâtel, 1950), bog IV-V.
- ²⁸ Konflikten mellem individets rolle og det generelle mønster i den videnskabelige udvikling kan imidlertid lejlighedsvis fremkalde ganske alvorlige frustrationer. Se herom Lawrence S. Kubie, »Some Unsolved Problems of the Scientific Career«, *American Scientist*, XLI (1953), 596-613; og XLII (1954), 104-112.
- ²⁹ En kort beskrivelse af udviklingen af disse forsøg gives på side 4 i C. J. Davissons forelæsning i *Les prix Nobel en 1937* (Stockholm, 1938).
- ³⁰ W. Whewell, *History of the Inductive Sciences* (rev. udg., London, 1847), II, 101-105, 220-22.
- ³¹ Dette spørgsmål skylder jeg W. O. Hagstrom, hvis arbejde inden for videnskabssociologien til tider overlapper mit eget.
- ³² Ang. disse sider af Newtonianismen, se I. B. Cohen, *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Philadelphia, 1956), kap. vii, især ss. 255-57, 275-77.
- ³³ Dette eksempel bliver diskuteret udførligt i slutningen af kap. X.
- ³⁴ H. Metzger, *Les doctrines chimiques en France du début de XVII^e siècle à la fin du XVIII^e siècle* (Paris, 1923), ss. 359-61; Marie Boas, *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* (Cambridge, 1958), ss. 112-115.
- ³⁵ Leo Königsberger, *Hermann von Helmholtz*, oversat af Francis A. Welby (Oxford, 1906), ss. 65-66.
- ³⁶ James E. Meinhard, »Chromatography: A Perspective«, *Science*, CX (1949), 387-92.
- ³⁷ Ang. partikel-læren i almindelighed, se Marie Boas, »The Establishment of the Mechanical Philosophy«, *Osiris*, X (1952), 412-541. Ang. dens indflydelse på Boyle's kemi, se T. S. Kuhn, »Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century«, *Isis*, XLIII (1952), 12-36.
- ³⁸ Michael Polanyi har på fremragende måde udviklet et lignende tema ved at argumentere for, at meget af videnskabsmandens succes afhænger af »uudtalt viden«, dvs. viden, som vindes gennem praksis, og som ikke kan formuleres eksplicit. Se *Personal Knowledge* (Chicago, 1958), især kap. v og vi.
- ³⁹ Ludwig Wittgenstein, *Filosofiske undersøgelser* (København, 1971), s. 66-71. Men Wittgenstein siger næsten intet om, hvilken verden der skal til for at understøtte den navngivningsmetode, han skitserer. En del af den følgende pointe kan derfor ikke tillægges ham.
- ⁴⁰ Ang. kemien, se H. Metzger, *Les doctrines chimiques en France du début du XVII^e à la fin du XVIII^e siècle* (Paris, 1923), s. 24-27, 146-49; og Marie Boas, *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* (Cambridge, 1958), kap. ii. Ang. geologien, se Walter F. Cannon, »The Uniformitarian-Catastrophist Debate«, *Isis*, LI (1960), 38-55; og C. C. Gillispie, *Genesis and Geology* (Cambridge, Mass., 1951), kap. iv-v.
- ⁴¹ Ang. polemikker om kvantemekanikken, se Jean Ullmo, *La crise de la physique quantique* (Paris, 1950), kap. ii.
- ⁴² Ang. den statistiske mekanik, se René Dugas, *La théorie physique au sens de Boltzmann et ses prolongements modernes* (Neuchâtel, 1959), s. 158-84, 206-19. Om modtagelsen af Maxwells arbejde, se Max Planck, »Maxwell's Influence in Germany«, i *James Clerk Maxwell: A Commemorative Volume, 1831-1931* (Cambridge, 1913), s. 45-65, især s. 58-63; og Silvanus P. Thomson, *The Life of William Thomson Baron Kelvin of Largs* (London, 1910), II, 1021-27.
- ⁴³ En prøve på slaget med aristotelikerne findes i A. Koyré, »A Documentary History of the Problem of Fall from Kepler to Newton«, *Transactions of the American Philosophical Society*, XLV (1955), 329-95. Ang. debatterne med cartesianere og leihnizianere, se Pierre Brunet, *L'introduction des théories de Newton en France au XVIII^e siècle* (Paris, 1931); og A. Koyré, *From the Closed World to the Infinite Universe* (Baltimore, 1957), kap. xi.
- ⁴⁴ Forskeren var James K. Senior, som jeg skylder tak for en mundtlig beretning. Nogle beslægtede emner behandles i hans artikel, »The Vernacular of the Laboratory«, *Philosophy of Science*, XXV (1958), 163-168.
- ⁴⁵ En stadig klassisk diskussion af oxygens opdagelse findes i A. N. Meldrum, *The Eighteenth-Century Revolution in Science - the First Phase* (Calcutta, 1930). kap. v. En uundværlig moderne oversigt, som også indeholder en beskrivelse af prioritetstriden, er Maurice Dumas, *Lavoisier*,

- théoricien et expérimentateur* (Paris, 1955), kap. ii-iii. En fyldigere redogørelse og bibliografi findes også i T. S. Kuhn, »The Historical Structure of Scientific Discovery«, *Science*, CXXXVI (1. juni, 1962), 760-64.
- ⁴⁶ Bemærk imidlertid en anden vurdering af Scheeles rolle hos Uno Bocklund »A Lost Letter from Scheele to Lavoisier«, *Lychnos*, 1957-58, s. 39-62.
- ⁴⁷ J. B. Conant, *The Overthrow of the Phlogiston Theory: The Chemical Revolution of 1775-1789* (»Harvard Case Histories in Experimental Science«, Case 3; Cambridge, Mass., 1950), s. 23. Dette meget nyttige skrift genoptrykker mange af de relevante dokumenter.
- ⁴⁸ H. Metzger, *La philosophie de la matière chez Lavoisier* (Paris, 1935); og Daumas, *op. cit.*, kap. vii.
- ⁴⁹ Den mest autoritative redogørelse for oprindelsen til Lavoisiers utilfredshed er Henry Guerlac, *Lavoisier - the Crucial Year: The Background and Origin of His First Experiments on Combustion in 1772* (Ithaca, N. Y., 1961).
- ⁵⁰ L. W. Taylor, *Physics, the Pioneer Science* (Boston, 1941), s. 790-94; og T. W. Chalmers, *Historic Researches* (London, 1949), s. 218-19.
- ⁵¹ E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, I (2. udg.; London, 1951), 358, n.1. Sir George Thomson har fortalt mig om et andet tilfælde, der var lige ved. Sir William Crookes var også på sporet af opdagelsen, idet han var alarmeret af uforklarligt slørede fotografiske plader.
- ⁵² Silvanus P. Thomson, *The Life of Sir William Thomson Baron Kelvin of Largs* (London, 1910), II, 1125.
- ⁵³ Conant, *op. cit.*, s. 18-20.
- ⁵⁴ K. K. Darrow, »Nuclear Fission«, *Bell System Technical Journal*, XIX (1940), 267-89. Krypton, et af de to vigtigste fissionsprodukter, synes ikke at være blevet identificeret ad kemisk vej, før reaktionen var velkendt. Barium, det andet produkt, blev på et sent trin i undersøgelsen næsten identificeret kemisk, fordi dette stof, som det viste sig, måtte til sættes den radioaktive opløsning for at udskille det tunge stof, som kernekemikere var på jagt efter. Fiasko med at udskille dette tilsatte barium fra det radioaktive produkt førte sluttelig, efter at reaktionen i næsten fem år gentagne gange var blevet undersøgt, til følgende rapport: »Som kemikere skulle denne forskning føre os . . . til at forandre alle navnene i det tidligere (reaktions)skema og således skrive Ba, La, Ce i stedet for Ra, Ac, Th. Men som 'kerne-kemikere' med nær tilknytning til fysikken kan vi ikke få os selv til at gøre dette spring, som ville være i modstrid med al tidligere erfaring i atomfysikken. Måske gør en hel række mærkelige sammentræf vore resultater vildledende« (Otto Hahn og Fritz Strassman, »Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle«, *Die Naturwissenschaften*, XXVII (1939), 15).
- ⁵⁵ Ang. de forskellige trin i leydnerflaskens udvikling, se I. B. Cohen, *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Philadelphia, 1956), s. 385-86, 400-406, 506-7. Det sidste trin beskrives af Whittaker, *op. cit.*, s. 50-52.
- ⁵⁶ J. S. Bruner og Leo Postman, »On the Perception of Incongruity: A Paradigm«, *Journal of Personality*, XVIII (1949), 206-23.
- ⁵⁷ *Ibid.*, s. 218. Min kollega Postman har fortalt mig, at selv om han vidste alt om apparatet og forevisningen på forhånd, følte han det ikke desto mindre overordentlig ubehageligt at kigge på de urigtige kort.
- ⁵⁸ A. R. Hall, *The Scientific Revolution, 1500-1800* (London, 1954), s. 16.
- ⁵⁹ Marshall Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages* (Madison, Wis., 1959), Del II-III. A. Koyré påpeger en række middelalderlige elementer i Galileis tanker i *Etudes Galiléennes* (Paris, 1939), især bd. I.
- ⁶⁰ Ang. Newton, se T. S. Kuhn, »Newton's Optical Papers«, i *Isaac Newton's Papers and Letters in Natural Philosophy*, udg. I. B. Cohen (Cambridge, Mass., 1958), s. 27-45. Om optakten til bølgeteorien, se E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, I (2. udg.; London, 1951), 94-109; og W. Whewell, *History of the Inductive Sciences* (rev. udg.; London, 1847), II, 396-466.
- ⁶¹ Ang. Termodynamikken, se Silvanus P. Thomson, *Life of William Thomson Baron Kelvin of Largs* (London, 1910), I, 266-81. Ang. kvanteteorien, se Fritz Reiche, *The Quantum Theory*, overs. H. S. Hatfield og H. L. Brose (London, 1922), kap. i-ii.
- ⁶² J. L. E. Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler* (2. udg.; New York, 1953), kap. xi-xii.
- ⁶³ T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution* (Cambridge, Mass., 1957), s. 135-43.
- ⁶⁴ J. R. Partington, *A Short History of Chemistry* (2. udg.; London, 1951), s. 48-51, 73-85, 90-120.
- ⁶⁵ Selv om de lægger hovedvægten på en lidt senere periode, er der meget relevant materiale spredt i J. R. Partingtons og Douglas McKies »Historical Studies on the Phlogiston Theory«, *Annals of Science*, II (1937), 361-404; III (1938), 1-58, 337-71; og IV (1939), 337-71.
- ⁶⁶ H. Guerlac, *Lavoisier - the Crucial Year* (Ithaca, N.Y., 1961). Hele bogen dokumenterer en krises udvikling og første erkendelse. En klar redogørelse for situationen med henblik på Lavoisier findes s. 35.
- ⁶⁷ Max Jammer, *Concepts of Space: The History of Theories of Space in Physics* (Cambridge, Mass., 1954), s. 114-124.
- ⁶⁸ Joseph Larmor, *Aether and Matter. . . Including a Discussion of the Influence of the Earth's Motion on Optical Phenomena* (Cambridge, 1900), s. 6-20, 320-22.
- ⁶⁹ R. T. Glazebrook, *James Clerk Maxwell and Modern Physics* (London, 1896), kap. ix. Ang. Maxwells endelige indstilling, se hans egen bog, A

- Treatise on Electricity and Magnetism* (3. udg.; Oxford, 1829), s. 470.
- ⁷⁰ Ang. astronomiens rolle i mekanikkens udvikling, se Kuhn, *op. cit.*, kap. vii.
- ⁷¹ Whittaker, *op. cit.*, I, 386-410; og II (London, 1953), 27-40.
- ⁷² Om Aristarkos' arbejde, se T. L. Heath, *Aristarchus of Samos: The Ancient Copernicus* (Oxford, 1913), del II. En yderligere hævdeelse af den traditionelle idé om en forbigåelse af Aristarkos' indsats findes i Arthur Koestler, *The Sleepwalkers: A History of Man's Changing Vision of the Universe* (London, 1959) s. 50.
- ⁷³ Partington, *op. cit.*, s. 78-85.
- ⁷⁴ Se især diskussionen hos N. R. Hanson, *Patterns of Discovery* (Cambridge, 1958) s. 99-105.
- ⁷⁵ T. S. Kuhn, »The Essential Tension: Tradition and Innovation in Scientific Research«, i *The Third (1959) University of Utah Research Conference on the Identification of Creative Scientific Talent*, udg. Calvin W. Taylor (Salt Lake City, 1959), s. 162-77. Ang. det sammenlignelige fænomen blandt kunstnere, se Frank Barron, »The Psychology of Imagination«, *Scientific American*, CXCIX (September, 1958), 151-66, især 160.
- ⁷⁶ W. Whewell, *History of the Inductive Sciences* (rev. udg.; London, 1847), II, 220-21.
- ⁷⁷ Ang. lydens hastighed, se T. S. Kuhn, »The Caloric Theory of Adiabatic Compression«, *Isis*, XLIV (1958), 136-37. Ang. Merkurbanens perihel-bevægelse, se E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*; II (London, 1953), 151, 179.
- ⁷⁸ Citeret i T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution* (Cambridge, Mass., 1957), s. 138.
- ⁷⁹ Albert Einstein, »Autobiographical Notes«, i *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, udg. P. A. Schilpp (Evanston, Ill., 1949), s. 45.
- ⁸⁰ Ralph Kronig, »The Turning Point«, i *Theoretical Physics in the Twentieth Century: A Memorial Volume to Wolfgang Pauli*, udg. M. Fierz og V. F. Weisskopf (New York, 1960), s. 22, 25-26. En stor del af denne artikel beskriver krisen i kvantemekanikken i årene umiddelbart før 1925.
- ⁸¹ Herbert Butterfield, *The Origins of Modern Science, 1300-1800* (London, 1949), s. 1-7.
- ⁸² Hanson, *op. cit.*, kap. I.
- ⁸³ En redegørelse for Keplers beskæftigelse med Mars findes i J. L. E. Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler* (2. udg.; New York, 1953), s. 380-93. Unøjagtigheder hist og her forhindrer ikke, at Dreyers resumé giver det materiale, der er brug for her. Ang. Priestley, se hans egne arbejder, især *Experiments and Observations on Different Kinds of Air* (London, 1774-75).
- ⁸⁴ Ang. det filosofiske modstykke, der ledsagede det syttende århundredes

- mekanik, se René Dugas, *La mécanique au XVII^e siècle* (Neuchâtel, 1954), især kap. xi. Om den lignende episode i det nittende århundrede, se samme forfatters tidligere bog *Histoire de la mécanique* (Neuchâtel, 1950), s. 419-43.
- ⁸⁵ T. S. Kuhn, »A Function for Thought Experiments«, i *Mélanges Alexandre Koyré*, udg. R. Taton og I. B. Cohen, som bliver udsendt af Hermann (Paris) i 1963.
- ⁸⁶ Ang. nye optiske opdagelser i almindelighed, se V. Ronchi, *Histoire de la lumière* (Paris, 1956), kap. vii. Ang. den tidligere forklaring af en af disse effekter, se J. Priestley, *The History and Present State of Discoveries Relating to Vision, Light, and Colours* (London, 1772), s. 498-520.
- ⁸⁷ Einstein, *loc. cit.*
- ⁸⁸ Denne generalisation om ungdommens rolle i grundlæggende videnskabelig forskning er så almindelig, at den er en kliché. Desuden vil et blik på næsten en hvilken som helst liste over grundlæggende bidrag til videnskaben give umiddelbare beviser. Ikke desto mindre behøver påstanden i høj grad systematisk undersøgelse. Harvey C. Lehman (*Age and Achievement* [Princeton, 1953]) giver nyttige data; men hans studier gør ikke noget forsøg på at udskille arbejde, som involverer fundamentalt ny begrebsdannelse. Og de undersøger heller ikke de eventuelle særlige omstændigheder, der kunne ledsage forholdsvis sen produktivitet i videnskaberne.
- ⁸⁹ Sylvanus P. Thomson, *Life of William Thomson Baron Kelvin of Largs* (London, 1910), I, s. 266-81.
- ⁹⁰ Se f. eks. bemærkningerne hos P. P. Wiener i *Philosophy of Science*, XXV (1958), 298.
- ⁹¹ James B. Conant, *Overthrow of the Phlogiston Theory* (Cambridge, 1950), s. 13-16; og J. R. Partington, *A Short History of Chemistry* (2. udg.; London, 1951), s. 85-88. Den fyldigste og mest forstående behandling af flogiston-teoriens resultater er hos H. Metzger, *Newton, Boerhaave et la doctrine chimique* (Paris, 1930), del II.
- ⁹² Sammenlign de slutninger, der nås ved en helt anden form for analyse, hos R. B. Braithwaite, *Scientific Explanation* (Cambridge, 1953), s. 50-87, især s. 76.
- ⁹³ Ang. partikel-læren i almindelighed, se Marie Boas, »The Establishment of the Mechanical Philosophy«, *Osiris*, X (1952), 412-541. Ang. partikel-formens virkning på smagen, se *ibid.*, s. 483.
- ⁹⁴ R. Dugas, *La mécanique au XVII^e siècle* (Neuchâtel, 1954), s. 177-85, 284-98, 345-56.
- ⁹⁵ I. B. Cohen, *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Philadelphia, 1956), kap. vi-vii.
- ⁹⁶ Ang. elektricitet, se *ibid.*, kap. viii-ix. Ang. kemien, se Metzger, *op. cit.*, del I.

- ⁹⁷ E. Meyerson, *Identity and Reality* (New York, 1930), kap. x.
- ⁹⁸ E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, II (London, 1953), 28–30.
- ⁹⁹ C. C. Gillispie, *The Edge of Objectivity: An Essay in the History of Scientific Ideas* (Princeton, 1960) er et strålende og helt moderne forsøg på at få den videnskabelige udvikling i denne prokrustesseng.
- ¹⁰⁰ De oprindelige forsøg blev udført af George M. Stratton, »Vision without Inversion of the Retinal Image«, *Psychological Review*, IV (1897), 341–60, 463–81. En mere moderne oversigt gives af Harvey A. Carr; *An Introduction to Space Perception* (New York, 1935), s. 18–37.
- ¹⁰¹ Eksempler findes hos Albert H. Hastorf, »The Influence of Suggestion on the Relationship between Stimulus Size and Perceived Distance«, *Journal of Psychology*, XXIX (1950), 195–217; og Jerome S. Brunner, Leo Postman og John Rodrigues, »Expectations and the Perception of Color«, *American Journal of Psychology*, LXIV (1951), 216–27.
- ¹⁰² N. R. Hanson, *Patterns of Discovery* (Cambridge, 1958), kap. i.
- ¹⁰³ Peter Doig, *A Concise History of Astronomy* (London, 1950), s. 115–16.
- ¹⁰⁴ Rudolph Wolf, *Geschichte der Astronomie* (München, 1877), s. 513–15, 683–93. Læg især mærke til, hvor vanskeligt Wolfs redegørelse gør det at forklare disse opdagelser som en følge af Bodes lov.
- ¹⁰⁵ Joseph Needham, *Science and Civilization in China*, III (Cambridge, 1959), 423–39, 434–36.
- ¹⁰⁶ T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution* (Cambridge, Mass., 1957), s. 206–9.
- ¹⁰⁷ Duane Roller og Duane H. D. Roller, *The Development of the Concept of Electric Charge* (Cambridge, Mass., 1954), s. 21–29.
- ¹⁰⁸ Se diskussionen i kapitel VII og den litteratur, henvisningen i note 9 vil føre frem til.
- ¹⁰⁹ Galileo Galilei, *Dialogues concerning Two New Sciences*, overs. H. Crew og A. de Salvio (Evanston, Ill., 1946), s. 80–81, 162–66.
- ¹¹⁰ *Ibid.*, s. 91–94, 244.
- ¹¹¹ M. Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages* (Madison, Wis., 1959), s. 537–38, 570.
- ¹¹² (Jacques) Hadamard, *Subscientif intuition, et logique dans la recherche scientifique (Conférence faite au Palais de la Découverte le 8 Décembre 1945 (Alençon, u. a.))*, s. 7–8. Samme forfatters *The Psychology of Invention in the Mathematical Field* (Princeton, 1949) er en langt fyldigere redegørelse, men den er helt begrænset til matematiske nydannelser.
- ¹¹³ T. S. Kuhn, »A Function for Thought Experiments«, i *Mélange Alexandre Koyré*, udg. R. Taton og I. B. Cohen, som bliver udsendt af Hermann (Paris) i 1963.
- ¹¹⁴ A. Koyré, *Etudes Galiléennes* (Paris, 1939), I, 46–51; og »Galileo and Plato«, *Journal of the History of Ideas*, IV (1943), 400–428.

- ¹¹⁵ Kuhn, »A Function for Thought Experiments«, i *Mélanges Alexandre Koyré* (se den fuldstændige citering i note 113).
- ¹¹⁶ Koyré, *Etudes* . . . , II, 8–11.
- ¹¹⁷ Eng. »the latitude of forms« fra latin »latitudo formarum«. Ang. denne teori, se f. eks. A. C. Crombie, *Augustine to Galileo* (Penguin Books, 1969), bd. II, s. 101–105. O. a.
- ¹¹⁸ Clagett, *op. cit.*, kap. iv, vi og ix.
- ¹¹⁹ N. Goodman, *The Structure of Appearance* (Cambridge, Mass., 1951), s. 4–5. Passagen er værd at citere i større sammenhæng: »Hvis alle de og kun de indbyggere i Wilmington i 1947, der vejer mellem 175 og 180 pund, har rødt hår, så kan 'rødhåret 1947-borgere i Wilmington' og '1947-borger i Wilmington, som vejer mellem 175 og 180 pund' forenes i en konstruktionsdefinition. . . . Spørgsmålet om der 'kunne have været' en person, som kunne have haft det ene, men ikke det andet af disse prædikater, spiller ikke nogen rolle. . . . , når vi én gang har bestemt, at der ikke er en sådan person. . . . Det er heldigt, at det ikke drejer sig om andet; thi ideen om 'mulige' tilfælde, om tilfælde, som ikke eksisterer, men som kunne have eksisteret, er langt fra klar.«
- ¹²⁰ H. Metzger, *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique* (Paris, 1930), s. 34–68.
- ¹²¹ *Ibid.*, s. 124–29, 139–48. Ang. Dalton, se Leonard K. Nash, *The Atomic-Molecular Theory* (»Harvard Case Histories in Experimental Science«, Case 4; Cambridge, Mass., 1950), s. 14–21.
- ¹²² J. R. Partington, *A Short History of Chemistry* (2. udg.; London, 1951), s. 161–63.
- ¹²³ A. N. Meldrum, »The Development of the Atomic Theory: (1) Berthollet's Doctrine of Variable Proportions«, *Manchester Memoirs*, LIV (1910), 1–16.
- ¹²⁴ L. K. Nash, »The Origin of Dalton's Chemical Atomic Theory«, *Isis*, XLVII (1956), 101–116.
- ¹²⁵ A. N. Meldrum, »The Development of the Atomic Theory: (6) The Reception Accorded to the Theory Advocated by Dalton«, *Manchester Memoirs*, LV (1911), 1–10.
- ¹²⁶ Ang. Proust, se Meldrum, »Berthollet's Doctrine of Variable Proportions«, *Manchester Memoirs*, LIV (1910), 8. Den detaljerede historie om de gradvise ændringer i målinger af kemisk sammensætning og atomers vægt mangler endnu at blive skrevet, men Partington, *op. cit.*, giver mange nyttige vink om det.
- ¹²⁷ L. K. Nash, »The Origins of Dalton's Chemical Atomic Theory«, *Isis*, XLVII (1956), 101–16.
- ¹²⁸ Ang. Newtons bemærkning, se Florian Cajori (udg.), *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and His System of the World* (Berkeley, Calif., 1946), s. 21. Stedet bør sammenlignes med Ga-

- lilcis egen diskussion i *Dialogues concerning Two New Sciences*, overs. H. Crew og A. de Salvio (Evanston, Ill., 1946), s. 154-76.
- ¹²⁹ T. S. Kuhn, »Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century«, *Isis*, XLIII (1952), 26-29.
- ¹³⁰ I *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* (Cambridge, 1958) behandler Marie Boas mange steder Boyles positive bidrag til udviklingen af begrebet om et kemisk grundstof.
- ¹³¹ En kort skitse af de vigtigste veje til teorier om sandsynlig verifikation findes hos Ernst Nagel, *Principles of the Theory of Probability*, Vol. I, No. 6 af *International Encyclopedia of Unified Science*, s. 60-75.
- ¹³² K. R. Popper, *The Logic of Scientific Discovery* (New York, 1959), især kap. i-iv.
- ¹³³ Ang. læge reaktioner på begrebet om et krumt rum, se Philipp Frank, *Einstein, His Life and Times*, overs. og udg. G. Rosen og S. Kusaka (New York, 1947), s. 142-46. Ang. nogle få af forsøgene på at bevare fordelene ved almen relativitet inden for et euklidisk rum, se C. Nordmann, *Einstein and the Universe*, overs. J. McCabe (New York, 1922), kap. ix.
- ¹³⁴ T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution* (Cambridge, Mass., 1957), kap. iii, iv og vii. Et fremherskende tema i hele bogen er det, i hvor høj grad heliocentrisme var mere end en strengt astronomisk sag.
- ¹³⁵ Max Jammer, *Concepts of Space* (Cambridge, Mass., 1954), s. 118-24.
- ¹³⁶ I. B. Cohen, *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity and an Example Thereof* (Philadelphia, 1956), s. 93-94.
- ¹³⁷ Charles Darwin, *On the Origin of Species . . .* (autoriseret udgave efter den 6. engelske udgave; New York, 1889), II, 295-96.
- ¹³⁸ Max Planck, *Scientific Autobiography and Other Papers*, overs. F. Gaynor (New York, 1940), s. 33-34.
- ¹³⁹ Ang. soltilbedelsens rolle for Keplers tænkning, se E. A. Burt, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science* (rev. udg.; New York, 1932), s. 44-49.
- ¹⁴⁰ Læg mærke til følgende belysning af ryets rolle: På et tidspunkt, da lord Rayleighs ry var slået fast, indsendte han en artikel om visse paradokser i elektrodynamikken til the British Association. Af navne blev hans navn udeladt, da artiklen oprindeligt blev indsendt, og artiklen blev i sig selv forkastet som en »paradoksmagers« arbejde. Kort efter blev artiklen med forfatterens navn på rette plads accepteret med overstrømmende undskyldninger. (R. J. Strutt, 4. Baron Rayleigh, *John William Strutt, Third Baron Rayleigh* (New York, 1924), s. 228).
- ¹⁴¹ Ang. de problemer, kvanteteorien skabte, se F. Reiche, *The Quantum Theory* (London, 1922), kap. ii, vi-ix. Ang. de andre eksempler i dette afsnit, se de tidligere henvisninger i dette kapitel.
- ¹⁴² Kuhn, *op. cit.*, s. 219-25.

- ¹⁴³ E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, I (2. udg.; London, 1951), 108.
- ¹⁴⁴ Se *ibid.*, II (1953), 151-80 angående udviklingen af almen relativitet. Einsteins reaktion på den nøje overensstemmelse mellem teorien og den iagttagne bevægelse af Merkurs perihelium ses i det brev, der er citeret i P. A. Schilpp (udg.), *Albert Einstein, Philosopher-Scientist* (Evanston, Ill., 1949), s. 101.
- ¹⁴⁵ Ang. Brahmes system, som geometrisk svarede fuldstændig til Kopernikus', se J. L. E. Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler* (2. udg.; New York, 1953), s. 359-71. Ang. de sidste udgaver af flogiston teorien og deres succes, se J. R. Partington og D. McKie, »Historical Studies of the Phlogiston Theory«, *Annals of Science*, IV (1939), 113-49.
- ¹⁴⁶ Ang. problemet med hydrogen, se J. R. Partington, *A Short History of Chemistry* (2. udg.; London, 1951), s. 134. Ang. kulilte, se H. Kopp, *Geschichte der Chemie*, III (Braunschweig, 1845), 294-96.
- ¹⁴⁷ E. H. Gombrich, *Art and Illusion: A Study in the Psychology of Pictorial Representation* (New York, 1960), s. 11-12.
- ¹⁴⁸ *Ibid.*, s. 97; og Giorgio de Santillana, »The Role of Art in the Scientific Renaissance«, i *Critical Problems in the History of Science*, udg. M. Clagett (Madison, Wis., 1959), s. 33-65.
- ¹⁴⁹ Videnskabshistorikere møder ofte denne blindhed i en særlig slående form. Den gruppe af studenter, der kommer til dem fra naturvidenskaberne, er meget ofte den mest taknemmelige gruppe at undervise. Men til at begynde med er den almindeligvis også den mest frustrerende. Det er særlig vanskeligt at få studerende fra naturvidenskaberne til at analysere en ældre videnskab for dens egen skyld, fordi de »kender de rigtige løsninger«.
- ¹⁵⁰ Loren Eiseley, *Darwin's Century: Evolution and the Men Who Discovered It* (New York, 1958), kap. ii, iv-v.
- ¹⁵¹ En særlig skarpsindig redegørelse for en fremtrædende darwinists kamp med dette problem er A. Hunter Dupree, *Asa Gray, 1810-1888* (Cambridge, Mass., 1959), s. 295-306, 355-83.
- ¹⁵² Denne efterskrift blev oprindeligt udarbejdet på forslag af min gode ven og tidligere student, dr. Shigeru Nakayama fra Tokyo Universitet. Den skulle fremkomme i hans japanske oversættelse af bogen. Jeg er ham taknemmelig for ideen, for hans tålmodighed til at vente på, at den bar frugt, og for tilladelse til at lade den komme med i den engelsksprogede udgave.
- ¹⁵³ Til denne udgave har jeg ikke forsøgt nogen systematisk omskrivning, men har begrænset ændringerne til nogle få typografiske fejl samt to passager, der indeholdt afgrænsede fejltagelser. Den ene af disse er beskrivelsen på s. 64-66 af den rolle, Newtons *Principia* spillede i udviklingen af det attende århundredes mekanik. Den anden angår reaktionen på kriser på s. 108.

- ¹⁵⁴ Andre antydninger kan findes i to af mine nyeste essays: "Reflections on My Critics", i Imre Lakatos og Alan Musgrave (udg.): *Criticism and the Growth of Knowledge* (Cambridge, 1970); og "Second Thoughts on Paradigms", i Frederick Suppe (udg.): *The Structure of Scientific Theories* (Urbana, Ill., 1970 eller 1971); begge er under udgivelse. Nedenfor vil jeg citere det første af disse essays som "Reflections" og bogen, hvori det findes, som *Growth of Knowledge*; det andet essay vil jeg henvise til som "Second Thoughts".
- ¹⁵⁵ En særligt rammende kritik af min oprindelige fremstilling af paradigmer finder man i: Margaret Masterman, "The Nature of a Paradigm", i *Growth of Knowledge*; og i Dudley Shapere, "The Structure of Scientific Revolutions", *Philosophical Review*, LXXIII (1964), s. 383-94.
- ¹⁵⁶ W. O. Hagstrom: *The Scientific Community* (New York, 1965), kap. iv og v; D. J. Price og D. de B. Beaver, "Collaboration in an Invisible College", *American Psychologist*, XXI (1966), 1011-18; Diana Crane, "Social Structure in a Group of Scientists: A Test for the 'Invisible College' Hypothesis", *American Sociological Review*, XXXIV (1969), 335-52; N. C. Mullins: *Social Networks among Biological Scientists* (Ph. D. afhandling, Harvard University, 1966), og "The Micro-Structure of an Invisible College: The Phage Group" (foredrag holdt ved årsmøde i The American Sociological Association, Boston, 1968).
- ¹⁵⁷ Eugene Garfield: *The Uses of Citation in Writing the History of Science* (Philadelphia: Institute of Scientific Information, 1964); M. M. Kessler, "Comparison of the Results of Bibliographic Coupling and Analytic Subject Indexing", *American Documentation*, XVI (1965), 223-33; D. J. Price, "Networks of Scientific Papers", *Science*, CIL (1965), 510-15.
- ¹⁵⁸ Masterman, *op. cit.*
- ¹⁵⁹ Ang. vigtige dele af denne episode, se: T. M. Brown, "The Electric Current in Early Nineteenth-Century French Physics", *Historical Studies in the Physical Sciences*, I (1969), 61-103, og Morton Schagrin, "Resistance to Ohm's Law", *American Journal of Physics*, XXI (1963), 536-47.
- ¹⁶⁰ Se især: Dudley Shapere, "Meaning and Scientific Change", i *Mind and Cosmos: Essays in Contemporary Science and Philosophy*, The University of Pittsburgh Series in the Philosophy of Science, III (Pittsburgh, 1966), 41-85; Israel Scheffler: *Science and Subjectivity* (New York, 1967); og Sir Karl Poppers og Imre Lakatos' essays i *Growth of Knowledge*.
- ¹⁶¹ Se diskussionen i begyndelsen af kapitel XIII ovenfor.
- ¹⁶² Ang. eksemplet, se: René Dugas: *A History of Mechanics*, overs. af J. R. Maddox (Neuchâtel, 1955), s. 135-36, 186-93, og Daniel Bernoulli: *Hydronamica, sive de viribus et motibus fluidorum, commentarii opus academicum* (Strasbourg, 1738), Sec. iii, I hvor høj grad mekanikken i første halvdel af det attende århundrede udviklede sig ved at tage den ene problemløsning som model for den næste, kan man læse om hos Clifford Truesdell, "Reactions of Late Baroque Mechanics to Success,

Conjecture, Error, and Failure in Newtons *Principia*", *Texas Quarterly*, X (1967), 238-58.

- ¹⁶³ Nogle oplysninger om dette emne kan man finde i "Second Thoughts".
- ¹⁶⁴ Det havde måske aldrig været nødvendigt at komme med denne pointe, hvis alle love var som Newtons og alle regler som de ti bud. I så tilfælde ville udtrykket "at bryde en lov" være vrøvl, og en forkastelse af regler ville ikke se ud til at implicere en proces, som ikke er ledet af love. Uheldigvis kan færdselslove og lignende resultater af lovgivning brydes, og det gør forvirringen nærliggende.
- ¹⁶⁵ For læsere af "Second Thoughts" kan de følgende kryptiske bemærkninger måske være vejledende. Muligheden for umiddelbart at genkende medlemmerne af naturlige familier afhænger af, at der efter neural behandling findes tomt perceptionsrum mellem de familier, der skal adskilles. Hvis vi f. eks. opfattede rækken af vandfugle spændende fra gæs til svaner som kontinuert, ville vi være nødt til at indføre et særligt kriterium til at skelne mellem dem. Den samme pointe gælder for uagttagelige entiteter. Hvis en fysisk teori kun tillader eksistensen af sådanne ting som elektrisk strøm, så vil et ringe antal kriterier, som kan variere betragteligt fra tilfælde til tilfælde, være tilstrækkeligt til at identificere strøm, selv om der ikke er noget sæt af regler, der specificerer de nødvendige og tilstrækkelige betingelser for identifikationen. Dette synes at have en plausibel følge, som måske er vigtigere. Når vi har en gruppe af nødvendige og tilstrækkelige betingelser for at identificere en teoretisk entitet, kan denne entitet elimineres fra en teoris ontologi ved substitution. Men i mangel af sådanne regler kan disse entiteter ikke elimineres; teorien kræver så deres eksistens.
- ¹⁶⁶ De følgende punkter behandles mere detaljeret i afsnit V og VI i "Reflections".
- ¹⁶⁷ Se de værker, der citeres ovenfor i note 160 samt Stephen Toulmins essay i *Growth of Knowledge*.
- ¹⁶⁸ Den allerede klassiske kilde til de mest relevante aspekter ved oversættelse er W. V. O. Quine: *Word and Object* (Cambridge, Mass., og New York, 1960), kap. i og ii. Men Quine synes at gå ud fra, at to mennesker, der modtager den samme stimulus, må have den samme sanseropfattelse, og han har derfor kun lidt at sige om, i hvor høj grad en oversætter må være i stand til at beskrive den verden, som det oversatte sprog er anvendeligt på. Ang. det sidste punkt, se E. A. Nida, "Linguistics and Ethnology in Translation Problems", i Del Hymes (udg.): *Language and Culture in Society* (New York, 1964), s. 90-97.
- ¹⁶⁹ Shapere, "Structure of Scientific Revolutions" og Popper i *Growth of Knowledge*.
- ¹⁷⁰ Et af de mange eksempler er P. K. Feyerabends essay i *Growth of Knowledge*.

- ¹⁷¹ Stanley Cavell: *Must We Mean What We Say?* (New York, 1969), kap. i.
- ¹⁷² Denne pointe samt en bredere diskussion af, hvad der er specielt ved videnskaberne, findes i T. S. Kuhn, "Comment [on the Relations of Science and Art]", *Comparative Studies in Philosophy and History*, XI (1969), 403-12.

Popper: "The Open Society and its Enemies" vol. 1. S. 26

- "kritisk rationalisme", s. 27

Flimmer Steen Nielsen: "En kritisk af den totalitære

statsteori"

1) 59- Videnskabsens hermeneutiske natur

70- gader

76- Wittgensteins

79- skolen, oplysningens skole.

90- sanselseprocessen

96, 98- kritik af den logiske af videnskaben af skolen

98- Leibniz: relativitet, men af hver sig

100- hermeneutisk metode af fortolkelse - af ignoransen

103- videnskabelig og praktisk forstandelse

104- gode = videnskabelig og praktisk

108- omgang til nyt paradigme: eksperimentation

114- polarisering - af videnskabelig og praktisk

124- eksperiment og tilfælde som natur

128- Vals mellem to paradigmer: imidlertid vil det normale

129 -> Gillings til videnskabelig

2/ 159- Popper

176- teori om videnskabelig

177- hvor til den videnskabelige

181- analogi mellem organismer

(i naturlige videnskaber) og

videnskabelig videnskabelig

183- mennesker med to dim. org.

mennesker, tilsvarende. programmet ->

overrettede mennesker.

192- for videnskabelig og praktisk

189- fogtens arbejde