

Ved neste revisjon av læreplanen bør vi ikke bare se på hvilke emner som skal være med, men også på hvordan vi arbeider med de ulike emnene. Dette er et bidrag til den delen av debatten.

Skolefysikk og fysikklover

Mot slutten av artikkelen ”Analyse av Fall registrert med tempograf” i *Fysikklæreren* står påstanden ”Metoden vår har vært hypotetisk-deduktiv, ikke induktiv. Jeg vil påstå at slik må det være i bevegelseslæren.” Formuleringen var ikke med i utkastet til artikkelen, men ble tatt med etter fornyet lesning av *Fra Fysikkens Verden nr. 3-2002*. Artiklene der som helhet og enkelte avsnitt spesielt inspirerte til å se på hvordan skolefysikken etablerer en lov. En reform kan ikke bare se på emner, men også på hvordan vi behandler emnene.

Den vitenskapelige metode

Jeg kan huske at læreplanen i fysikk som gjaldt på begynnelsen av 1960-tallet brukte ”den vitenskapelige metode” som betegnelse på den induktive metode. Det harmonerer godt med et avsnitt i Olav Deviks selvbiografi fra 1971: (1)

Da jeg begynte i departementet høsten 1938, var det en fordel at jeg hadde et personlig kjennskap til så å si alle vitenskapelige institusjoner i landet. Og i folkeopplysningsarbeidet hadde jeg hatt god kontakt med folkeakademiene.

Det var interessant å oppdage at prinsippene for departementets behandling av et sakskompleks i hovedsaken lignet de prinsipper som ligger til grunn for en vitenskapelig undersøkelse av et materiale. Den første oppgave er å undersøke så objektivt som mulig de fakta som har betydning i det foreliggende tilfelle. Den neste er å vurdere deres innbyrdes betydning, og den tredje er å forme en vel begrunnet konklusjon, hvor en også kan finne det nødvendig å vurdere de praktiske konsekvenser konklusjonen vil få.

Dette ble også idealet i skolen: Faktainnsamling, vurdering, en begrunnet konklusjon. I mange sammenhenger er dette en god arbeidsmåte, men å monopolisere den som *den vitenskapelige metode* viser manglende kjennskap til eller manglende respekt for andre metoder. Å presse alt inn i én form kan ha en fordummende virkning og lamme fantasien. I denne artikkelen vil jeg først belyse temaet med glimt fra historien. Så følger enkelte eksempler fra skolefysikken der metodebruken kan kritiseres. Endelig følger glimt fra områder utenfor fysikken, men som likevel kan påvirke en person som arbeider med fysikk.

Historie og filosofi

Tankeeksperiment

Statikk kan føres tilbake til Arkimedes. Metoden var å starte med et postulat, fremsette en påstand og så bevise påstanden gjennom logiske slutninger ut fra postulatet. Tekster viser at han fant at tyngde og avstand er omvendt proporsjonale størrelser ved likevekt. Kildene sier lite om eksperimenter. Grekerne brukte toarmete vekter i handelen. Det ville være lett å se om setningen stemte.

Galilei var opplært i aristotelisk fysikk. Selv om han avviste mange premisser og konklusjoner fra aristotelianerne, kan vi i dialogene om "Nye vitenskaper" se at han går fra oppstilte premisser til setninger som begrunnes logisk.

I moderne tid har ordet *Gedankenexperimente* gått inn som et fremmedord i engelskspråklige fysikktekster. Einstein brukte ofte tankeeksperiment for å teste konsistens av premissene. Det gjorde Bohr også den gang han svarte på Einsteins innvendinger mot kvanteteorien.

Induksjon som veien til kunnskap

Francis Bacon angrep samtidens filosofi og insisterte på den induktive metode som veien til kunnskap. Nyere undersøkelser viser at bildet er mer nyansert. (2)

Historians and philosophers of science have traditionally paid far too much attention to formal methodological pronouncements, often taking such statements at face value as adequate accounts of what past practitioners actually did when they went about making, assessing, and distributing scientific knowledge. In fact, the relation between *any* body of formal methodological directions and concrete natural philosophical practice in the seventeenth century is deeply problematic. For example, neither those whose methodological pronouncements professed radical disengagement between theorizing and fact gathering nor those who announced their systematic skeptical rejection of traditional culture wholly succeeded in their aims. There is much to commend a revisionist view that formal methodology is to be understood as a set of rhetorical tools for positioning practices in the culture and for specifying how those practices were to be valued. This is not, however, to deny formal methodology a role in seventeenth-century science. Methodology may be in part, as it has been called, a "myth," but myths may have real historical functions. Methodological pronouncements like Bacon's were avidly seized on by later, especially English, natural philosophers to *justify* a concerted collective program of observational and experimental fact collecting, while broadly deductive methodologies were used by other sorts of philosophers to justify the importance of rational theorizing over the accumulation of factual particulars. Formal methodology is important, therefore, in the same way that the justification of a practice is important to its recognized identity and worth. A practice without an attendant myth is likely to be weak, hard to justify, hard even to make visible as a distinct kind of activity.⁶ Justifications are not to be simply equated with the practice they justify, and we still need a more vivid picture of what a range of modern natural philosophers actually *did* when they set about securing a piece of knowledge. Modern natural philosophers did not just believe things about the natural world; they *did* things to secure, to justify, and to distribute those beliefs. Doing natural philosophy, that is, was a kind of work.

Understrekingene er mine.

På slutten av 1800-tallet og langt utover 1900-tallet preget positivismen vitenskapene. Samfunnsvitenskapene har tatt oppgjør med den filosofien. I fysikk har kritikken vært lite merkbar. Positivistisk inspirert bruk av induksjon har gått hånd i hånd med opplæring i faget. Ikke minst hadde Ernst Mach stor innflytelse. Spesielt fikk hans bok om mekanikkens utvikling stor utbredelse. Boken ble noe revidert etter hvert som nyere forskning ikke støttet det bildet Mach ville ha fram. Likevel er det god dekning for å si at Mach brukte historien til å fremme sin vitenskapsoppfatning. (3)

Galileo at the center The main effect of Mach's book in the various editions it went through between 1883 and 1912 was that it pinpointed Galileo as the central figure in the birth of modern physics. In one sense this had of course been a commonplace all along, celebrated as it was in many biographies and popular accounts. But what was new about Mach's book was that it purported to discuss the entire science of mechanics from a historical point of view (which is not the same as providing a history of mechanics-that was not Mach's objective). Biographies, by their very nature, focus almost exclusively on the importance of the person whose life and works are being studied. By contrast, Galileo was now, in a

seemingly well documented manner, made the central focus of the first stage of the new physics. At the same time, this focus received a quite distinct coloring through Mach's peculiar conception of science—a conception that has continued to fit in well with the prejudices of many philosophically and historically untrained scientists regarding the nature of their craft. Some time ago Dudley Shapere collected a hilarious sampling of what 'historical' introductions to present-day physics textbooks have to say on Galileo. The striking thing about his survey is that virtually all these perfunctory pronouncements still go back to what Mach had to say about Galileo in his *Science of Mechanics*."

Understrekingene er mine.

Også i psykologi og læringsteori fulgte med i det rådende syn på hvordan vitenskap skulle arbeide. Men er det en god modell for pedagogisk arbeid? Mario Bunge har en syrlig kommentar. (4)

Empirical induction, i.e. generalization of observed cases, has been grossly overestimated by philosophers who have concentrated on the early (pretheoretical) stages of research, as well as on the empirical test of noninductive hypotheses. Inductivism has also been stimulated by the behaviorist (Watsonian) and mechanistic (Pavlovian) learning doctrines, according to which not only preconceptual learning (such as the learning of a skill or a language) but learning of every kind is done on the basis of cumulative trial-by-trial reinforcement and by generalization of associations. On these doctrines -- when extrapolated from maze-racing to theory-building -- the growth of scientific knowledge would be just an accumulation of useful (reinforced) behavior patterns initially hit on by blind trial and error. Actually not even laboratory rats conform strictly to this view but have rather definite expectancies; furthermore, they not only strengthen but also modify their behavior with experience. But whatever rats may do, it seems that men learn to pose and solve conceptual problems by making conjectures and testing them methodically.

Understrekingene er mine.

Einstein var til å begynne med en stor beundrer av Mach. Senere fikk han et annet syn. Heisenberg forteller fra en samtale med Einstein. (5)

«Men De tror vel ikke for alvor,» innvendte Einstein, «at man bare kan ha iakttagbare størrelser i en fysisk teori.»

«Jeg trodde,» kom det spørrende fra meg, «at nettopp De hadde denne tanke som forutsetning for Deres relativitetsteori? De hadde jo understreket at man ikke måtte snakke om absolutt tid, da den ikke kan iakttas. Kun urenes angivelser - hva enten i det bevegede eller hvilende referansesystem - er avgjørende for bestemmelsen av tiden.»

«Muligens har jeg benyttet meg av denne type filosofi,» svarte Einstein, «men den er ikke desto mindre nonsens. Eller jeg vil si litt forsiktigere at det kan ha heuristisk verdi å minne seg om det som man virkelig iakttar. Men prinsipielt er det helt galt å ville basere en teori utelukkende på iakttagbare størrelser. For i virkeligheten er det jo akkurat omvendt. Det er først teorien som avgjør hva man kan iakttå. De vet, iakttagelsen er jo vanligvis en meget komplisert historie.

Understrekingen er min.

Popper og falsifikasjon

Filosofen Karl Popper har innført har foreslått et nytt prinsipp for å finne fram til en holdbar teori. Vi tar med et klipp fra hans selvbiografi. (6)

I can hardly give here an outline of that outline which became my first published book. But there are one or two points I will mention. The book was meant to provide a theory of knowledge and, at the same time, to be a treatise on method the method of science.

The combination was possible because I looked on human knowledge as consisting of our theories, our hypotheses, our conjectures; as the *product* of our intellectual activities. There is of course another way of looking at "knowledge": we can regard "knowledge" as a subjective "state of mind", as a subjective state of an organism. But I chose to treat it as a system of statements-theories submitted to discussion. "Knowledge" in this sense is *objective*, and it is hypothetical or conjectural.

This way of looking at knowledge made it possible for me to reformulate Hume's *problem of induction*. In this objective reformulation the problem of induction is no longer a problem of our beliefs-or of the rationality of our beliefs-but a problem of the logical relationship between singular statements (descriptions of "observable" singular facts) and universal theories.

In this form, the problem of induction becomes soluble: ¹⁰⁸there is no induction, because universal theories are not deducible from singular statements. But they may be refuted by singular statements, since they may clash with descriptions of observable facts.

Moreover, we may speak of "better" and of "worse" theories in an objective sense even before our theories are put to the test : the better theories are those with the greater content and the greater explanatory power (both relative to the problems we are trying to solve). And these, I showed, are also the better testable theories; and-if they stand up to tests-the better tested theories.

This solution of the problem of induction gives rise to a new theory of the method of science, to an analysis of the *critical method*, the method of trial and error : the method of proposing bold hypotheses, and exposing them to the severest criticism, in order to detect where we have erred.

From the point of view of this methodology, we start our investigation with *problems*. We always find ourselves in a certain problem situation; and we choose a problem which we hope we may be able to solve. The solution, always tentative, consists in a theory, a hypothesis, a conjecture. The various competing theories are compared and critically discussed, in order to detect their shortcomings: and the always changing, always inconclusive results of the critical discussion constitute what may be called "the science of the day".

Thus there is no induction: we never argue from facts to theories, unless by way of refutation or "falsification". This view of science may be described as selective, as Darwinian. By contrast, theories of method which assert that we proceed by induction or which stress *verification* (rather than *falsification*) are typically Lamarckian : they stress *instruction* by the environment rather than *selection* by the environment.

It may be mentioned (although this was not a thesis of *Logik der Forschung*) that the proposed solution of the problem of induction also shows the way to a solution of the older problem-the problem of the rationality of our beliefs. For we may first replace the idea of belief by that of action; and we may say that actions (or inactions) are "rational" if they are carried out in accordance with the state, prevailing at the time, of the critical scientific discussion. There is no better synonym for "rational" than "critical".

Understrekningene er mine.

Poppers prinsipp åpner for å bruke fantasi og prøve generaliseringer, men først når omfattende og nådeløse forsøk på å ødelegge teorien har slått feil, kan vi begynne å anta at det er en teori til å arbeide videre med.

Hvordan skal vi klare å bevise energiloven? Jo nettopp, ingen har klart å vise at den ikke er oppfylt. Selv da β -decay så ut til å bryte energiloven og Niels Bohr var innstilt på å gi slipp på

energiloven, viste det seg at energiloven var oppfylt. Paulis nøytrino ikke bare kunne bevare energien. Det var også nøkkelen til å forstå prosessen. Og så ble nøytronen påvist eksperimentelt.

Lov og teori

Lov og teori er ord som ofte blir brukt i tekster om fysikk. Lindsay & Margenau: "foundations of physics" er en klassiker som fortsatt har noe å lære oss. Jeg vil gi noen sitater fra kapitel 1: "The meaning of a physical theory" (7)

It is the aim of the physicist to work with the smallest possible number of concepts and their representative symbols, and to try to describe the most diversified phenomena in terms of these symbols.

- a
-
- In this way the symbolic method leads to the further development of the whole subject. In using it in the way indicated the physicist has not only a shorthand description of actually observed phenomena but also a powerful tool for the prediction of new and hitherto unobserved phenomena.

På bakgrunn av en gjennomgåelse av et eksperiment konstant temperaturloven for en gass skriver L&M videre:

We must be careful to observe, however, that this description is so far strictly limited. It is only when we have performed a large number of similar experiments in widely separated places, at widely separated intervals with widely separated initial conditions .. and using gases of different chemical composition, that our description begins to be felt as having a greater a greater range of application and validity. In every such case the symbolic description we say that we have established a *physical law* .

b

....

The conclusion is that we must recognize strict limitations in the applicability of a physical law. It is only a symbolic description of a limited range of phenomena, and we must be wary about extrpolation.

L&M fortsetter med å gjøre rede for begrepet teori.

The possibility indeed lies open that, among certain symbols representing primitive concepts, a few mathematical relations may exist from which can be deduced, by purely mathematical operations, a whole group of physical laws .. Now when such a state of affairs exists we say we have a *physical theory*.

c

Relation of law and theory

One may ask: what is the relation of the fundamental assumption of mechanics to Newton's laws of motion? The answer is that Newton's laws, however phrased, constitute the hypotheses at the basis of mechanics.

..

Incidentally, it will be found that many so-called "laws" of physics are really hypotheses of theories and not laws in the sense of the present text.

..

It may be desirable from the logical standpoint, however, to ditinguish as sharply as possible between law and theory.

..

Physical theories will allways be based on hypotheses, but the deduction from these hypotheses must allways have a readily identifiable relation with experience.

Criteria for the succes of a theory

..

We have so far, indeed, overlooked one point, and that is the power of a physical theory to

predict physical observations previously unknown. This is a remarkable faculty.

..

It is easy to sympathize with modern theoretical physicist who are inclined to emphasize the power of prediction as the really crucial test of a theory.

H&M viser til P.A.M. Dirac: Principles of Quantum Mechanics

Skolefysikk

Galileis renne

Vi vil la en stålkule trille på et skråplan. "Galileis renne" Vi kan måle tid og posisjon. Bevegelsen starter i origo uten begynnelsesfart. Det gir raskt en rekke tallpar $s_1t_1, s_2t_2, s_3t_3, \dots$. Er det noen orden i måltallene? Vi velger (fordi vi kjenner resultatet) å avsette målingene som punkter i et (s, t^2) -diagram. Det viser seg punktene fordeler seg rimelig tilfeldig over eller under en rett linje gjennom origo. Vi antar at vi kan erstatte det diskrete tallsettet med en kontinuerlig funksjon representert ved den rette linjen gjennom origo. Da har vi funnet bevegelsesloven, som vi skriver som $s = \frac{1}{2} a t^2$ og kan oppgi a med måltall og enhet.

Noen kritiske spørsmål:

Er det ikke mer naturlig å skrive loven på formen $s = k t^2$? Eller når vi tar faktoren $\frac{1}{2}$, er den eksakt 0,50000... eller kunne den ha en annen verdi? For eksempel være 0,499999 ? Når a har en usikkerhet, kunne ikke tallfaktoren også ha det?. Jeg kan ikke se at induksjonen kan gi argument for det eksakte tallet som alltid kommer. En gang jeg problematiserte dette, ble svaret at det var lett å skjønne. Faktoren $\frac{1}{2}$ kommer selvfølgelig når vi integrerer $s'' = a$ og holder a konstant.

Det er også mitt poeng. Bevegelsesligningene for jevnt akselert bevegelse følger fra matematikkens regneregler anvendt sammen med definisjonene av størrelsene fart og akselerasjon. Da er det misvisende å late som vi etablerer bevegelsesloven ved induksjon. Det relevante i undervisningen må være å teste en bevegelse i laboratoriet for å se om modellen konstant akselerasjon passer.

Ekskurs: Galilei

Vi brukte "Galileis renne". Kanskje vi nettopp skulle gå inn i Galileis situasjon og la elevene resonnerer slik Galilei gjorde? Det er stor uenighet om Galileis eksperimenter bare er beskrevet eller om og hvordan de er utført. I alle tilfelle er det ikke til å komme fra at for Galilei var metoden å stille opp en hypotese og lete opp konsekvenser.

Dialogen om *To nye vitenskaper* kom ut i 1638. Da var den 74 år gamle Galilei forvist og i unåde. Gjennom skriftet vil Galilei overbevise leseren om at visse konklusjoner fra aristotelisk fysikk ikke stemmer med observasjoner. Galilei legger andre premisser og utvikler konsekvenser som kan etterprøves. På tredje dag når dialogen fram til naturlig akselerert bevegelse. Vi tar med noen glimt fra en engelsk oversettelse. [198] osv. viser til det avsnittet teksten er hentet fra. (8)

When, therefore, I observe a stone initially at rest falling from an elevated position and continually acquiring new increments of speed, why should I not believe that such increases take place in a manner which is exceedingly simple and rather obvious to everybody? If now we examine the matter carefully we find no addition or increment more simple than that which repeats itself always in the same manner. This we readily understand when we consider the intimate relationship between time and motion; for just as uniformity of motion is defined by and conceived through equal times and equal

spaces (thus we call a motion uniform when equal distances are traversed during equal time-intervals), so also we may, in a similar manner, through equal time-intervals, conceive additions of speed as taking place without complication; thus we may picture to our [198] mind a motion as uniformly and continuously accelerated when, during any equal intervals of time whatever, equal increments of speed are given to it.

[208]

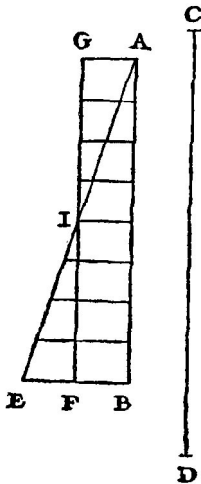


Fig. 47

THEOREM I, PROPOSITION I

The time in which any space is traversed by a body starting from rest and uniformly accelerated is equal to the time in which that same space would be traversed by the same body moving at a uniform speed whose value is the mean of the highest speed and the speed just before acceleration began.

Dette er middelverdisatsen brukt til å finne tilbakelagt veistrekning, slik vi gjør det med elever før de kan integrere.

Beviset til Galilei kan sammenfattes slik:

Her er tidsaksen vertikal. Hastigheten er avsatt vinkelrett på tidsaksen. Konstant fart gir et rektangel som mål på tilbakelagt veistrekning. Ved jevnt økende hastighet får vi en trekant med samme areal. Farten ved I er middelverdien av farten ved A og B.

(Dette er kjent stoff fra middelalderens skolastikk. Middelverdisatsen kan påvise i tekster fra Merton College, Oxford fra rundt 1330 av. (9a)

Neste teorem: [209]

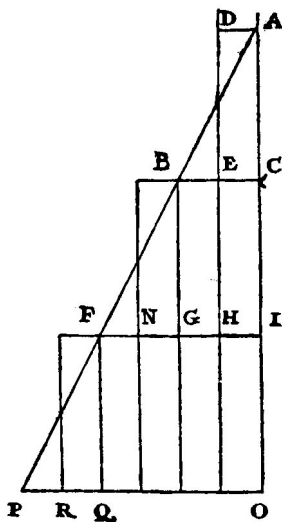


Fig. 49

Galilei brukte figur 49 i beviset for "COROLLARY I".

Vi finner tallene 1, 3, 5, .. lett ved å flytte små trekanter for å danne rektangler.

THEOREM II, PROPOSITION II

The spaces described by a body falling from rest with a uniformly accelerated motion are to each other as the squares of the time-intervals employed in traversing these distances.

Vi kan uttrykke det samme ved å skrive $s = \frac{1}{2} t^2$

Figuren og beviset Galilei bruker her er litt mer vrient å gjennomskue. En konsekvens av setningen er lettere.

COROLLARY I

Hence it is clear that if we take any equal intervals of time whatever, counting from the beginning of the motion, such as AD, DE, EF, FG, in which the spaces HL, LM, MN, NI are traversed, these spaces will bear to one another the same ratio as the series of odd numbers, 1, 3, 5, 7; for this is the ratio of the differences of the squares of the lines [which represent time], differences which exceed one another by equal amounts, this excess being equal to the smallest line [vie. the one representing a single time-interval] : or we may say [that this is the ratio] of the differences of the squares of the natural numbers beginning with unity.

Det er uenighet blant spesialistene i hvilken utstrekning Galilei utførte eksperimentene. Sikkert er det hatt han lot tilvirke og solgte instrumenter (10a) og at han i striden med kirken argumenterte med at "Natural phenomena are directly willed by God. Therefore observations or direct conclusions from them should not be doubted because Scriptures seem to contradict them,

because not all the Scriptural sayings are commanded by such strict laws as all natural effect." (10b) (Synet på *substans* med skille mellom *essens* og *accidens* fikk flere aristotelianere på å tvile på verdien av eksperimenter. (9b)) Uttalelsen fra pave Johannes Paul II i 1979 gjaldt Galileis erkjennelsesteori og prinsipp for bibeltolkning. (10c)

En enkel måte å studere konsekvenser av bevegelseslovene er å bruke øret. På en galilei-renne med smale, ekvidistante innskjæringer vinkelrett på bevegelsesretningen vil en kule som triller, frambringe en serie lyder som musikere gjenkjenner som *acceleratio*. Er avstandene mellom innskjæringene derimot slik at de danner forholdet 1, 3, 5, 7, ... , vil tidsintervallene høres like. Dette ble overbevisende demonstrert av førsteamanuensis Torger Holtsmark i en forelesning på fagdagen 3. januar 2003 ved Fysisk Institutt, UiO.

Newton's 2. lov

Utallige er de fysikklasser som har studert Newtons 2. lov ved hjelp av "Fahrbahn" eller den mer moderne "Luftputebane". Vi må se nærmere bruken.

Slik jeg opplevde det i min elevtid, under pedagogisk opplæring og praktiserte gjennom mange år:

Vi kan godt gjøre kvalitativt at akselerasjonen til et legeme avhenger både av kraften vi bruker og av massen legemet har. Altså har vi tre størrelser som er knyttet sammen a , F og m . Da må vi holde én størrelse fast, variere den andre og måle den tredje. Kraftenheten er foreløpig ikke definert, men vi godtar tyngden av et 10g lodd er 1 F , av et 20g lodd 2 F osv. Vi husker på at samlet masse må inngå i beregningene. Etter to forsøksserier har vi da etablert

m er konstant: $a = k_1 F$ og F er konstant: $a = k_2 /m$

Av dette trekker vi slutningen $a = k F/m$.

Når vi så definerer kraftenheten Newton ($k=1$) har vi funnet Newtons 2. lov! **$F = ma$**

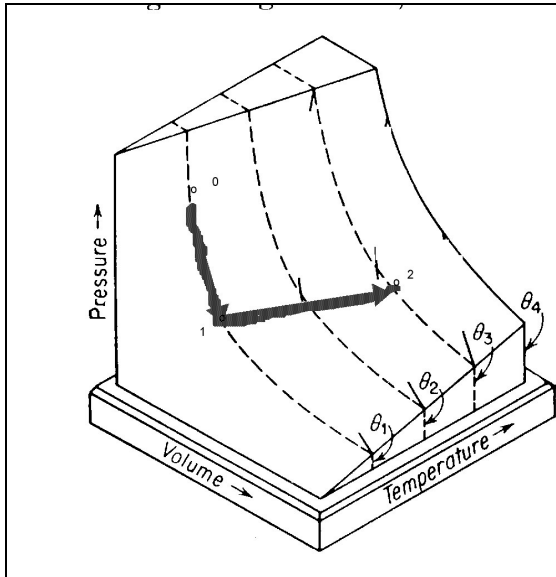
Umiddelbart ser elevene at forsøket ikke er særlig nøyaktig. Når loven er etablert og vi analyserer apparatet, vil vi se at det ikke er tyngden av loddet, men snordraget som teller. Personlig har jeg aldri skjønt logikken i slutningen $a = k_1 F \wedge a = k_2 /m \Rightarrow a = k F/m$ men det går greit, for alle vet at svaret er riktig.

Mer alvorlig er den kritikken som følger av Lindsay & Margenau og Popper. Man kan ikke avlede en grunnleggende hypotese i en teori fra eksperimenter. (L&M c) (6)

Eget opplegg i senere år.

I apparatet glir massen M , gjennom snordraget S , trukket av loddet med masse m . Med Newtons 2. lov kan vi finne akselerasjonen uttrykt ved M og m . Vi kan variere M og m på mange måter. Hver gang sammenligner vi målt akselerasjon med beregnet akselerasjon. Verken Lindsay & Margenau eller Popper angriper den metoden.

Tilstandsligningen for en ideal gass



Vi antar at en tilstand er bestemt av de tre størrelsene p , V og T .

I tilstand 1 har vi p_0 , V_0 og T_0 .

Vi holder temperaturen konstant og øker volumet til V_1 .

$$p_1 V_1 = p_0 V_0, \text{ mens } T_1 = T_0$$

Vi holder så trykket konstant og øker temperaturen til T_2 .

$$V_2 / T_2 = V_1 / T_1, \text{ mens } p_2 = p_1$$

Eliminering av størrelsene knyttet til tilstand 1 knytter tilstandene 0 og 2 sammen.

$$\frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{p_0 V_0}{T_0}$$

Har dermed bevist at ligningen gjelder for alle punktene i flaten? Lindsay & Margenau stiller langt strengere krav før vi kan si noe slikt. (Se L&M b) Vi får ikke tilstandsligningen uten tilleggshypoteser om at en generalisering er gyldig.

Å lage en konstruksjon "ideell gass" og si at her gjelder loven, er uinteressant for den som vil studere naturen. Ville det ikke være bedre å vise en mer realistisk figur over fasene der kondensasjon og frysing inngår. Der kunne vi peke ut områdene der den enkle tilstandsligningen gjelder og si noe om hvorfor den gjelder noen steder og ikke andre steder.

Brytningsloven

Både øvingsoppgaver og eksamensoppgaver har gitt tabell med målte innfallsvinkler og brytningsvinkel ved lysovergang fra et medium til et annet. Ut fra målingene skal de finne en for lysbrytning. Det går bra. Elevene finner Snells lov, for den kjenner de jo. Historisk har dette vært et vanskelig problem. Vi gir ordet til Bunge: (11)

Suppose we have found out that the angle of refraction r of a light ray depends on the angle of incidence i (relatedness hypothesis). We wish to

Table 6.1

i	r	i	r
0°	0° 00'	50°	22° 31'
10°	4° 59'	60°	25° 40'
20°	9° 51'	70°	28° 01'
30°	14° 29'	80°	29° 30'
40°	18° 44'	90°	30° 00'

find the precise law relating these two variables in the case of a given transparent medium and a given light color. We may then proceed as follows. We first perform angle measurements at intervals of 10 degrees with, say, 1 minute accuracy, and tabulate the results of our measurements. In this way we get a table like Table 6.1, which displays our findings. But this table, a summary of experimental results, is clearly insufficient: (i) it contains a finite number of data only, and (ii) it does not help to explain the refraction phenomenon. Consequently we search for a formula of the form " $r = f(i)$ " covering infinitely many possible pairs $\langle i, r \rangle$ of angles. To this end we first plot the data on the i - r plane and join the "empirical points" with a smooth line: this will give us an intuitive representation of the formula. (See Fig. 6.4.) We see that, up to about 30°, the linear approximation - dotted line representing the function " $r = 0.5 i$ " - is quite good. From then on the discrepancy

increases noticeably, reaching 40 per cent at 90°. Before the law was found KEPLER had guessed that a linear relation between the angle of incidence and the angle of refraction holds. This is common in the history of science *first-order approximations*, i.e. the simplest hypotheses, are usually (not always) the first to be conjectured.

To improve on the first-order approximation we may add a quadratic term to the previous expression, i.e. we may put $r=0.5i - a i^2$, where a should be a small negative number to curb the curve downwards. But we need not grope at random: GREGORY and NEWTON, among others, bequeathed upon us a mechanical interpolation technique by means of which our ten pairs of numbers in Table 6.1 can be made to fit a 9th degree polynomial. This procedure can be improved without limits other than those set by the sensitivity of our measuring instruments. In fact, we may next take one degree intervals, then one minute intervals, and so on until we hit the afore-mentioned limitations (which are both technical and physical). We accordingly get better and better fits though at the

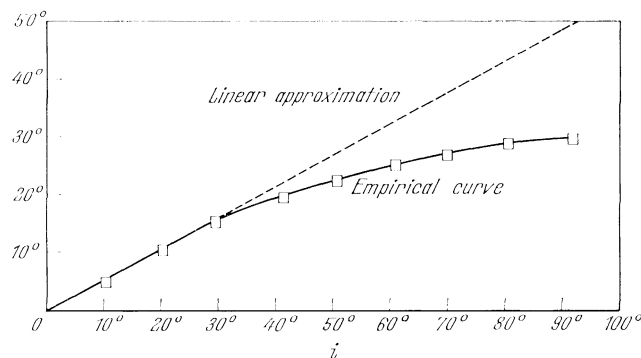


Fig. 6.4. Representation and generalization of Table 6.1 concerning the relation between the angle of incidence i and the angle of refraction r . Each square represents an empirical datum

price of dull complexity. For example, with one reading every one-tenth of a second, and some patience, we could obtain a polynomial with 54,000 terms. But this would take us no single step nearer the true hypothesis, which is SNELL'S law.

Induktiv metode har ingen mulighet for å nå fram her. Da skal heller ikke elevene, som ikke kan vite bedre, forføres til å presse metoden på et materiale som motsetter seg metoden.

Induksjonsloven

Det er lett å vise at e.m.s. oppstår i en spole når magnetfeltet gjennom den endres eller når spolearealet endres. Det følger også lett fra induksjonsloven.

Ser vi nøyere på hvordan lærebøkene etablerer induksjonsloven, oppdager vi at tar ett av leddene, konstant flukstetthet eller konstant areal, og omformer til symbolene i induksjonsloven. Det er ikke noe bevis for at begge leddene skal være med.

Med B konstant:
$$\mathcal{E} = \nu B l = \frac{\Delta s}{\Delta t} B l = B \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{\Delta(B A)}{\Delta t} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (\text{pluss fortegnskonvensjoner})$$

Vil det ikke være en mer instruktiv og ærlig fremgangsmåte å følge Popper og Dirac: Vi har fått et uttrykk som gjelder under forutsetning konstant B. Ser vi nøyere på formelen, kan vi avlede konsekvenser for hva som skjer i en annen situasjon. (B varierer) La oss prøve om dette holder når vi utfører eksperimenter som tester den nye situasjonen.

Dette er en liten smak på en stor teori. Kan vi la fysikkfaget også inneholde fortellinger? Uten at elevene skal reprodusere detaljer fra formalismen kan vi likevel fortelle hvordan Maxwell bandt sammen magnetisme og elektrisitet. At han for å få symmetri tok med et ledd som ikke hadde dekning i kjente observasjoner. At nettopp dette leddet la det teoretiske grunnlaget for å lete etter elektromagnetiske bølger. At manglende tilpasning mellom Maxwells ligninger og Newtons mekanikk førte til relativitetsteorien. At Maxwells ligninger ikke står i motstrid til kvanteelektrodynamikk.. ?

Refleksjon: Stoffmengden må ikke sprengte faget.

Det er enighet om at man ikke må overlesse faget. Det er ikke nok å peke på stoff som burde være med. Det må også være tid til å arbeide med stoffet og antall områder som oppleves isolert må heller ikke bli stort.

Dette blir vanligvis forstått som ett emne inn gir et annet emne ut.

Kravet vil lett konservere tingenes tilstand. Vi må ikke overse at det ikke bare emnene i skolefaget, men også hvordan de blir behandlet og hvilke ordninger for kvalitetssikring som blir tatt i bruk, som påvirker undervisningen. Etter min mening må vi få en samlet pakke der vi ser hvordan alle disse momentene vil virke inn. Først når man ser alle momentene i sammenheng, er det mulig å ta endelig beslutning om hvilke emner som bør være med i faget.

Jeg undres, altså vil jeg vite mer.

Spørsmål som ikke kan avgjøres innenfor fysikken, men som likevel kan påvirke arbeid med faget.

Strategier for læring

I avsnittet om induksjon tok vi Bunges vurdering av noen retninger innen læringspsykologi. Popper har også arbeidet med læring. Vi tar med et klipp fra selvbiografien: (12)

I distinguished three main types of learning process, of which the first was the fundamental one:

- (1) Learning in the sense of discovery: (dogmatic) formation of theories or expectations, or regular behavior, checked by (critical) error elimination.
- (2) Learning by imitation. This can be interpreted as a special case of (1).
- (3) Learning by "repetition" or "practicing", as in learning to play an instrument or to drive a car.

Here my thesis is that (a) there is no genuine "repetition"" but rather (b) change through error elimination (following theory formation) and (c) a process which helps to make certain actions or reactions automatic, thereby allowing them to sink to a merely physiological level, and to be performed without attention.

Poppers punkt (c) harmonerer godt med nyere studier av bevisstheten og viktige prosesser som foregår ubevisst. Tor Nørretander gir i boka MERK VERDEN en populariserende innføring i denne forskningen. Spørsmålet er om ikke dette er innsikter som kan innarbeides i våre læringsstrategier.

Nørretander bruker ordene "Jeg" og "Meg" for å skille mellom det bevisste og ubevisste. Et av eksemplene er et spørsmål Ludwig Boltzmann stilte James Clark Maxwell. (13)

Meg'et rommer selvfølgelig ikke bare vakre og vidunderlige dansetrinn og geniale pasninger i fotball. Meg'et rommer store mengder sterkt negative trekk, som ikke minst psykoanalysen har gjort klart. På samme måte rommer Jeg'et ikke bare vetoer og kontroll, men også evnen til å kommunisere og fastholde tanker livet igjennom og venner imellom. De to sidene av mennesket er avgjort rikere på både skitt og kanel enn det fremgår av den «fenomenologiske» analysen ovenfor.

Men før vi kaster oss ut i en nærmere undersøkelse av hva Jeg'et og Meg'et er for slags størrelser, kan det være grunn til å peke på at vi i hvert fall har fått løst ett problem: Boltzmanns spørsmål om hvem det var som skrev Maxwells ligninger.

Da James Clerk Maxwell ikke kunne utrette mer, men lå kreftsyk på dødsleiet, sa han til sin venn, professor Hort: «Det som gjøres av det som kalles meg selv, gjøres, føler jeg, av noe som er større enn meg selv i meg.»

Det var ikke ment slik, men det *var* svaret til fysikerkollegaen Ludwig Boltzmann, som i ærefrykt spurte om opphavet til de vidunderlige maxwellske ligningene.

Boltzmann: «Var det en gud som skrev disse tegn?» Maxwell: «Nei, det var meg!»

Something greater than myself in me.

Nørretander kommer tilbake til spørsmålet:

Vitenskapens skjønnhet har ofte slått vitenskapsmennene med undring. Men den vitenskapelige tradisjon er grunnlagt i et forsøk på å forstå de guddommelige prinsippene bak verden. Vitenskapens opprinnelse ligger etter Julian Jaynes' syn i studiet av varslere, som ble innledet i Assyria under det tokamrede sinns sammenbrudd. Pythagoras studerte matematikk i det gamle Hellas fordi han ville oppsøke tallenes uttrykk for det guddommelige prinsipp. De store navnene i moderne naturvitenskap var ofte dypt religiøst motiverte i sitt arbeid: Kepler, Newton, Einstein. Som Jaynes formulerer det: «Galilei kalte matematikken Guds tale.»³²

Tenkning er ikke bevisst; vitenskapelig tenkning er heller ikke bevisst, men vårt begrep om bevissthet rommer alt det vi mennesker er stolte av ved oss selv, hvilket ikke minst vil si vitenskapen.

Men kanskje er det ikke så underlig at skjønnheten kan spille en så stor rolle i det vitenskapelige arbeidet. For det er slett ikke det bevisste Jeg som tenker, men det ikkebevisste Meg. Alt det Jeg'et ikke kan redegjøre for.

Vi kan derfor fortsette replikkskiftet fra slutten av kapittel 10: Boltzmann: Var det en gud som skrev disse tegn? Maxwell: Nei, det var meg!

Vårherre: Ja, det var meg.

Kreativ og kritisk nysgjerrighet. Det er det vi trenger.

Det fortelles om Isaac Newton at han sammenlignet seg med en liten gutt som gikk og plukket skjell på stranden (som andre gutter). I blant fant han kanskje noen skjell som var mer kostelige og fine enn de andre gjorde.

Det er et paradoks at det grunnlaget Newton la, ble ført videre til et system som i en periode allment ble sett på som den endelige sannhet om lovene i naturen.

Vi kan sammenligne med Richard Feynman i nyere tid. Han likte å gå sine egne veier og bare bygge på andres arbeid der han var helt trygg på at det holdt. ”Jeg er som en liten jødisk gutt på en markeds plass der jeg prøver å unngå å bli lurt av naturen.”, sa han gjerne. Feynman fortalte at når han så et problem, pleide han å sammenholde det han visste om naturen og sin erfaring, rett og slett å knytte ting sammen. Biografen Jagdish Mehra har et avsnitt som viser hvordan Feynman så på lovene i naturen: (14)

Feynman treated the attempt to discover the laws of nature by giving the following analogy. Imagine that the gods are playing some great game of chess and we don't know the rules of the game, but we are allowed to look at the board, in a little corner perhaps, from time to time. From these observations we try to figure out what the rules of the game are, what rules are obeyed by the moving pieces. After a while we might discover, for example, that when there is only one bishop around on the board that it maintains its color. Later on we might discover that the bishop moves along the diagonal, which would explain the law that we understood before that it maintains its color; this would give us a deeper understanding of the motion of the bishop on the chessboard. Then other things can happen. Everything is going well, we've got all the laws, and then all of a sudden some strange phenomenon occurs in the corner; so we investigate that: it's castling, something we didn't expect.

In fundamental physics, we are always trying to investigate those things in which we don't understand the conclusions. We're not trying to check our conclusions all the time; after we have checked them enough we are OK. The thing that doesn't fit is the thing that's the most interesting, the part that doesn't go according to what you expected. There could also be revolutions in our understanding of the game of chess, which are comparable to revolutions in physics. For instance, after we have noticed that the bishops maintain their color and they move along the diagonal for such a long time that everybody knows that that's true; then we suddenly discover one day in a chess game that the bishop doesn't maintain its color, it changes its color. Only later do we discover a new possibility: that a bishop is captured and that a pawn went down all the way to the queen's end to produce a new bishop. That can happen, but we didn't know it. So it's very analogous to the way the laws of nature are. They keep on working and, all of a sudden, some little gimmick shows that they are wrong. And then we have to investigate the conditions under which this bishop's change of color happened and so forth, and gradually learn the new rule that explains things more deeply.

In the chess game, the rules become more complicated as we go along. In physics, unlike chess, when we discover new things, it looks more simple. It appears on the whole to be more complicated because we have to learn about a greater experience. That is, we have to learn about more particles and new things. And so the laws look more complicated again. But what's wonderful is that if we expand our experience into wilder and wilder regions every once in a while we have these integrations, which make everything look simpler than it looked before.

Er dette en fortelling vi kan bruke som et tillegg når vi skal få fram hva som ligger i fysikkens lover og hvordan en forsker kan arbeide?

* * *

Tilbakeblikk

Når jeg ser tilbake på utført fysikkundervisning, håper jeg at den har bidratt til at elevene har fått se inn i en større verden og har bevart lysten til ny kunnskap og ny innsikt.

Plus ultra

Bjørn Sverre Lerkerød

Henvisninger

1	Devik s. 150	8	Galilei , Dag 3.
2	Shapin s. 94	9	Grant a)s.100 –103 b) s. 159-160
3	Cohen s. 41	10	Segrè a) s.17, b) s.22 c) s.27
4	Bunge s. 244	11	Bunge s. 319
5	Heisenberg s. 69	12	Popper s. 49
6	Popper s. 86	13	Nørretander (s. 13) s. 292, s. 347
7	L & M s. 14-29	14	Mehra s. 592

Mario Bunge: Scientific Reasearch I The Search for System
Springer 1967

H. Floris Cohen: THE SCIENTIFIC REVOLUTION A historiographical inquiry
The University of Chicago Press 1994

Olaf Devik: Blant fiskere, forskere og andre folk.
Aschehoug 1971

Galileo Galilei: Dialogues Conserving Two New Sciences
Macmillan 1914 Dover 1954

Edward Grant: The Foundation of Modern Science in the Middle Ages
Cambridge University Press 1996

Werner Heisenberg: Helhet og del.
Gyldendal Kjempefakkell 1971

R. B. Lindsay & H. Margenau: foundations of physics
(1936) Dover 1957

Jagdish Mehra: THE BEAT OF A DIFFERENT DRUM
The life and science of Richard Feynman
Clarendon Press Oxford 1996

Tor Nørretander: MERK VERDEN En beretning om bevissthet
Cappelen 1999

Karl Popper: UNENDED QUEST An intellectual autobiography
Fontany 1976

Emilio Segrè: From Falling Bodies to Radio Waves, Classical Physicist and Their Discoveries
Freeman and company , New York 1984

Steven Shapin: The Scientific revolution
The University of Chicago Press 1996