

## 8 · Atomfysikk og pragmatisk tenkemåte

(1929)

For oss unge som arbeidet sammen om atomteoriens utvikling, kom de fem årene som fulgte etter Solvay-konferansen i Brüssel til å stå i et eget skjær, og vi talte ofte om dem som atomfysikkens «gullalder». De store vanskelighetene som tidligere hadde krevd vår totale innsats, var borte. Portene stod vidåpne til et nytt område, til den atomære kvantemekanikk. Og for den som ville forske og samarbeide her, som ville høste av havens frukter, fantes det utallige problemer, – tidligere uløselige, nu tilgjengelige og løsbare ved hjelp av de nye metodene. Mange steder hvor rent empiriske regler, ubestemte forestillinger eller uklare anelser tidligere hadde måttet erstatte virkelig sann forståelse – som f.eks. i fysikken om faste legermer, om jernmagnetisme, om kjemisk binding –, der kunne man med de nye metodene oppnå full klarhet. Dertil kom en følelse av at den nye fysikk også filosofisk sett var den gamle overlegen på avgjørende punkter, at den – på en måte som måtte studeres nærmere – var rikere og mer åpen.

Da jeg senhøstes 1927 hadde mottatt tilbud om professorat fra universitetene i Leipzig og Zürich, bestemte jeg meg for Leipzig, hvor jeg følte meg særlig fristet av samarbeidet med den fremragende eksperimentalfysiker Peter Debye. Riktignok hadde jeg da bare en eneste tilhører til mitt første seminar om atomteori, men jeg var overbevist om at det tilslutt skulle lykkes meg å vinne mange unge mennesker for den nye atomfysikken.

Jeg hadde betinget meg at jeg før jeg overtok det fulle ansvar i Leipzig, skulle få reise et år til USA for å forelese over kvantemekanikken der. Så gikk jeg en sprengkald februar dag 1929 i Bremerhaven ombord i det skip som skulle bringe meg til New York. Allerede utseilingen fra havnen bød på vanskeligheter. Den varte to dager, da den åpne råken ut til havet var sperret av tykk is. Og under overfarten kom vi ut i de verste stormer jeg noensinne har opp-

levd, slik at vi fikk hele 15 dagers hard sjøtur før Long Islands kyst og endelig i aftenbelysningen New Yorks berømte 'skyline' viste seg i synsranden.

Den nye verden betok meg nesten fra første dag. De unges frie, ubekymrede aktivitet, deres åpne gjestfrihet og hjelpsomhet, den glade optimismen, altsammen gav meg følelsen av å være befridd for adskillige byrder. Interessen for den nye atomteori var stor. Jeg fikk besøke mange universiteter med mine foredrag, og slik lærte jeg landet godt å kjenne fra de forskjelligste sider. Ble jeg lenge på et sted, kunne menneskelige bånd knyttes, som nådde lenger enn til gleden ved tennis, småbåtutflukter og seiling. Og stundom førte det også til inngående samtaler om den nye vitenskapelige utvikling. Særlig minnes jeg en samtale med min tennispartner Barton, en ung eksperimental-fysiker i Chicago, som en gang inviterte meg med på noen dagers fisketur ved avsides sjør i det nordlige av landet.

Vi kom inn på noe jeg stadig hadde lagt merke til under mine forskjellige foredrag i Amerika og som forbausest meg. Mens de uanskuelige trekk ved den nye atomteori, dualismen mellom partikkel og bølgeforestilling, naturlovenes rent statistiske karakter gjerne førte til heftige diskusjoner i Europa, ja, ofte til forbitret avvisning av de nye tanker, så syntes de fleste amerikanske fysikere beredt til å akseptere den nye betraktningsmåte uten videre. Jeg spurte Barton hvordan han ville forklare denne forskjellen, og han sa omtrent følgende:

«Dere européere, og særlig dere tyskere, er tilbøyelige til å ta slike erkjennelser så forferdelig prinsipielt. Vi ser meget enklere på det. Tidligere var Newtons fysikk en tilstrekkelig nøyaktig beskrivelse av de observerte fakta. Så lærte man de elektromagnetiske fenomenene å kjenne og fant ut at Newtons mekanikk ikke strakk til her, men at Maxwells ligninger foreløbig kunne brukes til beskrivelse av disse fenomenene. Endelig viste så studiet av atomprosesene at man ikke kommer til de observerte resultater ved anvendelse av den klassiske mekanikk og elektrodynamikken. Altså var man nødt til å forbedre de tidligere lover eller ligninger, og dermed oppstod kvantemekanikken. Igrunnen er det her ganske enkelt med fysikeren, også med teoretikeren, som med ingeniøren når han f.eks. skal konstruere en bro. La oss anta han da merker at de statiske formler som tidligere hadde vært benyttet, ikke helt strekker til for hans nye konstruksjon. Han må f.eks. ta hensyn til vindtrykk, til materialtretthet, til temperatursvingninger o.l., og derfor gjøre kor-

rigeringer. Disse innlemmes i de gamle formlene. Dermed kommer han frem til bedre formler, til påliteligere konstruksjonsforskrifter, og alle gleder seg ved fremskrittet. Men i prinsippet er likevel intet endret. Slik tror jeg det er i fysikken også. Kanskje gjør dere den feil, at dere erklærer naturlovene for absolutte, og så forbauses dere når de må endres. Allerede betegnelsen 'naturlov' føler jeg som en betenklig glorifisering av noe som vel egentlig også bare er en praktisk rettesnor for vår omgang med naturen på angeldende område. Derfor vil jeg konkludere med at man må gi avkall på enhver form for absolutthet. Da vil også vanskelighetene opphøre.»

«Det forunderer deg altså slett ikke,» innvendte jeg, «at et elektron en gang opptrer som partikkel, en annen gang som bølge. Du føler det bare som en utvidelse av den tidligere fysikk, om enn på en noe uventet måte.»

«Jo, det forunderer meg saktens. Men jeg ser jo hva som foregår i naturen, og det må jeg avfinne meg med. Om det finnes fremoninger som i det ene øyeblikk ser ut som en bølge, i det neste som en partikkel, så må man åpenbart skape nye begreper. Kanskje burde vi kalte dem 'bølgikkels', og kvantemekanikken blir da en matematisk beskrivelse av denne 'bølgikkels' adferd.»

«Nei, dette svaret blir dog for enkelt for meg. Det dreier seg jo ikke om en spesiell egenskap ved elektronene, men om en egen-skap som kjennetegner all materie og all stråling. Om du nå tar for deg elektroner eller lysvanter eller benzol-molekyler eller stener, alltid vil begge trekk være der, de partikelaktige eller de bølgeaktige; derfor kan vi også prinsipielt merke naturlovenes statistiske karakter overalt. Det er bare at de kvantemekaniske trekk blir meget mer påfallende ved atomære strukturer enn når det gjelder ting fra dagliglivet.»

«Nåvel, så har dere altså nettopp endret litt på Newtons og Maxwells lover. Og endringene viser seg for iakttageren av de atomære fenomener; i det daglige livs verden kan de knapt sees. Men i alle tilfeller gjelder det mer eller mindre virksomme forbedringer, og kvantemekanikken vil sikkert også forbedres enn ytterligere i fremtiden for å kunne gi en riktig beskrivelse av andre fenomener, som man ennå ikke kjenner så godt. Foreløpig viser kvantemekanikken seg brukbar som handlingsforskrift for alle eksperimenter innen atomområdet; den har bestått sin prøve med glans.»

Hele Bartons resonnement forekom meg alt annet enn klart. Men jeg merket at jeg måtte gjøre mine formuleringer mer presise for å

bli forstått. Derfor svarte jeg litt poengert: «Jeg tror at man overhodet ikke kan forbedre Newtons mekanikk. Og med det mener jeg følgende: Forsåvidt man kan beskrive noensomhelst fenomener med begrepene fra den newtoniske fysikk, nemlig med sted, hastighet, akselerasjon, masse, kraft osv., så gjelder Newtons lover i strengeste forstand. Og intet ved det vil komme til å rokkes i de kommende hundre tusen år. Mer presist skulle jeg kanskje si: De newtoniske lover gjelder med samme grad av nøyaktighet som fenomenene lar seg beskrive med newtoniske begreper. At denne nøyaktighetsgrad er begrenset, det visste man selvsagt også i den tidligere fysikk. For ingen har noensinne kunnet måle så nøyaktig som han ville. At det er satt en prinsipiell grense for målenøyaktigheten, slik det formuleres i ubestemthetsrelasjonen, det er riktignok en ny erfaring, som man først har gjort innenfor atomområdet. Men vi behøver ikke komme inn på det her. Det er tilstrekkelig å fastslå at forsåvidt som det er mulig å gjøre denslags nøyaktige målinger, gjelder virkelig Newtons mekanikk, og den vil fortsatt gjelde i fremtiden.»

«Det forstår jeg ikke,» svarte Barton. «Er da ikke relativiteteoriens mekanikk en forbedring i forhold til den newtoniske mekanikk? Og der er det jo slett ikke snakk om noen ubestemthetsrelasjon.»

«Nei, ikke om ubestemthetsrelasjoner,» forsøkte jeg å forklare videre, «men om en annen tid-rum-struktur, særlig om en relasjon mellom tid og rum. Sålenge vi kan tale om en tilsynelatende absolutt tid som er uavhengig av betrakterens sted og bevegelsestilstand, sålenge vi har å gjøre med faste eller så godt som stive legemer med en viss utstrekning, gjelder også Newtons lover. Men når det dreier seg om prosesser med meget nøyne hastigheter, og vi så måler meget nøyaktig, da merker vi at begrepene fra den newtoniske mekanikk ikke lenger stemmer helt med erfaringen. At altså f.eks. uret til en beveget iakttager synes å gå langsommere enn en hvilendes osv., og da må vi gå over til den relativistiske mekanikk.»

«Hvorfor er du da ikke rede til å betegne den relativistiske mekanikk som en forbedring av den newtoniske?»

«Jeg var imot ordet 'forbedring' ved denne anledning bare for å forhindre en misforståelse. Når denne risiko er fjernet, kan man også trygt tale om forbedring. Den misforståelse jeg tenker på, gjelder nettopp din sammenligning med de forbedringer en ingeniør må foreta ved sine praktiske anvendelser av fysikken. Det ville være fullstendig feilaktig å sidestille de prinsipielle forandringer i forbin-

delse med overgangen fra den newtonske mekanikk til den relativistiske eller til kvantemekanikken med ingeniørens forbedringer. For ingeniøren kan jo gjøre forbedringer uten å røre ved sine tidlige begreper. Alle ord beholder den betydning de hadde fra før; formulene blir bare forsynt med visse korrekturer i overensstemmelse med faktorer man tidligere ikke var oppmerksom på. Men slike endringer ville ikke ha hatt noen hensikt i den newtonske mekanikk. Det finnes ingen eksperimenter som går i den retning. Nettopp derfor har Newtons fysikk stadig krav på absolutt gyldighet, fordi den ikke innenfor sitt anvendelsesområde kan forbedres ved små endringer, fordi den her for lengst har funnet sin endelige form. Men vi har erfaringsområder hvor vi ikke lenger kan klare oss med begrepssystemet fra den newtonske mekanikk. Til disse erfaringsområder trengs det helt nye begreps-strukturer, og slike får vi gjennom relativitetsteorien og kvantemekanikken. Det avgjørende for meg er at Newtons fysikk besidder en grad av sluttethet som ingeniørens fysikalske utstyr aldri får. Dette sluttede system gir ikke mulighet for små forbedringer. Men overgangen til et helt nytt begrepssystem kan være mulig, hvorved det gamle system må inngå i det nye som et grensetilfelle.»

«Hvordan kan man da vite,» spurte Barton tilbake, «at et område innen fysikken er sluttet på den måten du nettopp beskrev i forbindelse med Newtons mekanikk? Hva skiller de lukkede områder fra dem som fremdeles er åpne, og hvilke i denne forstand lukkede områder mener du det finnes i den tradisjonelle fysikk?»

«Det viktigste kriterium for et sluttet område er vel tilstedeværelsen av et presist formulert, motsigelsesfritt aksiom-sett, som fastlegger både begrepene og de lovmessige forhold innenfor systemet. Hvorvidt et slikt aksiom-system passer på virkeligheten, kan selvsagt alltid bare avgjøres empirisk; og om en teori vil man bare kunne tale når store erfaringsområder beskrives gjennom den.

Hvis vi holder dette kriterium for gyldig, ville jeg skjelne mellom fire sluttede områder i den tradisjonelle fysikk: den newtonske mekanikk, den statistiske varmeteori, den spesielle relativitetsteori sammen med den marxwellske elektrodynamikk og endelig den nyoppduggede kvantemekanikk. For hvert av disse områder finnes det et presist formulert system av begreper og aksiomer, hvis utsagn åpenbart er strengt gyldige så lenge vi holder oss innen de områder som kan beskrives med disse begreper. Den almene relativitetsteori kan vel ennu ikke regnes til de sluttede områder, da dens aksiomsett frem-

deles er uklart og dens anvendelse på kosmologiske spørsmål fremdeles synes å åpne for mange løsninger. Man vil altså foreløbig måtte regne den til de åpne teorier, hvor det stadig hersker mange slags ubesvarte spørsmål.»

Barton slo seg noenlunde til ro med dette svar, men han ville vite enda mer om motivene for denne lære om de sluttede systemer. «Hvorfor legger du egentlig så stor vekt på det faktum at overgangen fra ett område til et annet, f.eks. fra den newtonske fysikk til kvanteteorien, ikke følger kontinuerlig, men til en viss grad ustadig? Du har selvsagt rett i at nye begreper innføres, og problemstillingene tar seg annerledes ut innenfor nye områder. Men hvorfor er det så viktig? Når alt kommer til alt, er det vitenskapens fremskritt det kommer an på, om vi fatter stadig større områder av naturen. Men hva enten dette fremskritt skjer kontinuerlig eller diskontinuerlig og trinnvis, det anser jeg for temmelig likegyldig.»

«Nei, det er slett ikke likegyldig. Din forestilling om det kontinuerlige ingeniør-fremskritt ville tappe vår vitenskap for all kraft, eller snarere for enhver marg. Og jeg vet sannelig ikke i hvilken forstand man da fremdeles kunne snakke om en eksakt vitenskap. Om vi var fysikere på denne rent pragmatiske måten, ville vi hver enkelt gang gripe til det del-område som nettopp da var eksperimentelt lett tilgjengelig, og så søke å fremstille fenomenene gjennom tilnærningsformer. Skulle fremstillingen bli unøyaktig, kunne man jo bare føye til noen korrekturer og dermed gjøre den mer nøyaktig. Men det ville da ikke lenger være noen grunn til å spørre etter de større forhold og sammenheng, og man ville neppe ha sjanse til å nærme seg de helt enkle forhold som – for å nevne et eksempel – setter Newtons mekanikk foran Ptolemeus' astronomi. Følgelig ville vår vitenskaps viktigste sannhetskriterium gå tapt, og vi ville gå glipp av den naturlovenes enkelhet som lyser opp til slutt. Du kan naturligvis etter si at det ligger et absolutthetskrav bak denne søken etter enkle forhold og sammenheng, som ikke har noen logisk begrunnelse. Hvorfor skal naturlovene være enkle, hvorfor skal store erfaringsområder kunne fremstilles enkelt? Da må jeg påberope meg fysikkens tidligere historie. Du må medgi at de fire sluttede områder jeg nevnte, i hvert enkelt tilfelle har et meget enkelt aksiomsett, og at ganske vidtrekkende forhold kan fremstilles gjennom dem. Først ved et slikt aksiom-sett er begrepet 'naturlov' virkelig berettiget, og hadde det ikke eksistert, ville vel fysikken aldri fått ord på seg for å være en eksakt vitenskap.

Denne enkelhet har dessuten en annen side, som angår vårt forhold til naturlovene. Men jeg vet ikke om jeg her klarer å uttrykke meg riktig og forståelig. Når man sammenfatter eksperimentenes resultater i formler, slik vi jo alltid er nødt til først av alt i den teoretiske fysikk, og så kommer til den fenomenologiske beskrivelse av prosessene, da føles det som om en selv har oppfunnet disse formlene, – med mer eller mindre tilfredsstillende resultat. Når man derimot støter på disse helt enkle, store sammenhenger, som tilslutt fikseres i aksiomsettet, da ser det ganske annerledes ut. Da fremtrer plutselig for vårt indre øye en sammenheng som alltid var der, – også uten oss, og som helt åpenbart ikke er skapt av mennesker. Slike forhold og sammenhenger er vel vår vitenskaps egentlige innhold. Bare når vi har tatt disse sammenhengers eksistens helt innover oss, kan vi virkelig forstå vår vitenskap.»

Barton ble taus og eftertenksom. Han kom ikke med innvendinger, men jeg hadde likevel inntrykk av at han følte seg noe fremmed for min tenkeform.

Heldigvis gikk ikke hele week-end-ferien med til så vidløftige samtaler. Den første natten hadde vi tilbragt i en hytte ved bredden av en ensom sjø. Vi var øyensynlig omgitt av endeløse skog- og sjøområder på alle kanter. Neste morgen lot vi en indianer ta oss med på en liten seiltur. Vi ville friske opp provianten med fangst fra sjøen. Og innen en time fikk vi sannelig åtte uvanlig store gjedder på det sted indianeren hadde ført oss til. Det ble rikelig aftensmat både for oss og for indianerens familie. Efter dette hell ville vi gjen- ta fisketoktet den følgende morgen, men nå uten indianerens hjelp. Vær og vind var omtrent som dagen før, og vi seilte også til samme fiskeplass. Men tross alle anstrengelser var det ikke napp å få hele dagen. Tilslutt kom Barton tilbake til vår siste samtale og mente: «Sannsynligvis er det med atomverdenen som med fiskene og sjøen her i ensomheten. Når man ikke har gjort seg like fortrolig med atomene, bevisst eller ubevisst, som disse indianerne med vind og vær og fiskenes vaner, da har man liten sjanse til å forstå noe av dem.»

Henimot slutten av mitt Amerika-opphold avtalte jeg med Paul Dirac at vi skulle reise hjem sammen, riktignok via store omveier. Vi skulle møtes i Yellowstone Park. Der ville vi ennu vandre litt omkring og så reise over Stillehavet til Japan og gjennom Asia tilbake til Europa. Møtested var hotellet foran den berømte geysir «Old Faithful». Selv ankom jeg til Yellowstone Park en dag for tid-

lig og drog derfra alene ut på en fjelltur. Først da jeg var midt opp i det, skjønte jeg at fjellene her, i motsetning til Alpene, er helt ensomme naturformasjoner, snaut nok betrådt av menneskefot. Det fantes hverken veier eller stier, hverken veiviser eller skilt, og skulle en komme i nød, kunne en ikke regne med noen slags hjelp. Under oppstigningen hadde jeg tapt meget tid på omveier, og under nedturen ble jeg så trett at jeg la meg i gresset ved første og beste anledning og straks sovnet. Jeg våknet ved at en bjørn slikket meg i ansiktet. Jeg ble jo litt forskrekket, og i det frembrytende mørke kom jeg meg bare med nød og neppe tilbake til hotellet.

I mitt brev til Paul hadde jeg nevnt at vi kanskje kunne ta ut til noen av geysirene i egnen, og da ville det selvsagt være en fordel om vi fikk se dem i virksomhet. Det var typisk for Pauls omhyggelige og systematiske vesen at han da vi møttes, allerede hadde utarbeidet en nøyaktig turplan over alle geysirer som kunne komme i betrakning. Og her var det ikke bare fortegnelse over virksomhets-tidene for disse naturlige kildene. Også en egen rute hadde han pånsket ut, som gjorde det mulig for oss å stadig ankomme til en ny geysir nettopp i det den skulle begynne sin virksomhet. På den måten fikk vi anledning til å beundre riktig mange av disse naturfenomenene i løpet av ettermiddagen.

Den lange sjøreisen fra San Francisco over Hawaii til Yokohama gav rikelig anledning til samtaler om vår vitenskap. Riktignok hadde jeg glede av å være med på slike spill som var vanlige ombord på den japanske damperen, bord-tennis eller shuffleboard. Men det ble likevel nok av tid til å benytte liggestolen. Der kunne man betrakte delfinene, som tumlet rundt skipet, eller man frydet seg over svermene med flyvefisk, som ble skremt opp av vår damper. Da Paul som oftest la beslag på liggestolen ved siden av meg, kunne vi snakke utførlig om våre erfaringer fra Amerika og om våre fremtidsplaner i atomfysikken. Paul var mindre forbausest enn jeg over hvor beredt de amerikanske fysikerne var til å godta selv de uansuelle trekk ved den nye atomfysikken. Også han følte vel vår vitenskapelige utvikling mer eller mindre som en kontinuerlig prosess, hvor det ikke gjaldt så meget om å spørre etter den begrepsmessige struktur som hadde dannet seg på angeldende utviklingsstadium, men da heller etter hvilken metode man skulle ta i bruk for å oppnå vitenskapelige fremskritt så sikkert og hurtig som mulig. For om man tar utgangspunkt i den pragmatiske tenkemåte, så forekommer jo det vitenskapelige fremskritt å være en jevnt frem-

adskridende prosess, som tilpasser vår tenkning til den stadig bredere eksperimentelle erfaring, og denne har ingen avslutning. Derfor må heller ikke den forbigående avsluttethet taes for prinsipielt, men dog selve tilpasningsmetoden. At det ved denne prosess tilslutt oppstår enkle naturlover eller, som jeg heller ville si, at de blir bragt frem i lyset, det var også Paul helt overbevist om. Men metodologisk sett var utgangspunktet den eneste vanskelighet for ham, ikke den større sammenheng. Når han beskrev sin metode, hadde jeg ofte inntrykk av at den fysikalske forskning fortonet seg for ham omtrent som en vanskelig tindebestigning for mange alpinister. Det gjelder bare om å mestre de nærmeste tre meter. Hvis dette stadig lykkes, så vil man til slutt nå toppen. Men det å ta inn i blikket hele klatreruten med alle dens vanskeligheter, det fører bare til motløshet. Dessuten innser man jo først de virkelige problemer, når man kommer til de vanskelige stedene. På meg ville en slik sammenligning absolutt ikke passet. Jeg kunne bare starte – for å bli i billedet – med en avgjørelse angående hele klatreruten. For jeg var overbevist om at man, når man bare hadde funnet den riktige rute, – og kun da –, ville overvinne de enkelte vanskeligheter. Skjevheten ved sammenligningen mente jeg bestod i at man jo aldri kan vite sikkert om et klippespir er slik at det kan bestiges. Men i naturvitenskapen trodde jeg fullt og fast på enkelheten bak alle grunnleggende forhold. Naturen er slik laget, det var jeg viss på, at den kan forstås. Eller kanhende ville det være bedre å si omvendt, at vår tenkeevne er slik laget, at den kan forstå naturen. Begrunnelsen for dette syn hadde vel allerede Robert gitt under vår samtale ved Starnberger See. Det er de samme ordnende krefter som har skapt naturen i alle dens former og som er ansvarlige for våre sjelers struktur, altså også for vår tenkeevne.

Paul og jeg talte meget om dette metodespørsmålet og om våre håp med hensyn til den fremtidige utvikling. Når vi skulle sette våre forskjellige synspunkter litt skarpt opp mot hverandre, kunne Paul si: «Man kan aldri løse mer enn en eneste vanskelighet om gangen.» Mens jeg sa nøyaktig det motsatte: «Man kan aldri løse bare én vanskelighet, man tvinges alltid til å løse flere på en gang.» Paul ville vel med sin formulering gi uttrykk for at det var formastelig å ville løse mange vanskeligheter på én gang. For han visste så altfor godt, hvor hårdt det måtte kjempes for hvert fremskritt innenfor et område så fjernt fra den daglige erfaring som atomfysikken. På den annen side ønsket jeg bare å peke på at en vanskelighets

sanne løsning vel alltid består i at man her har tangert de enkle, grunnleggende sammenhenger. Og da elimineres andre vanskeligheter av seg selv, som man til å begynne med ikke hadde regnet med i det hele tatt. Således inneholdt vel begge oppfatningene en god porsjon sannhet, og vi trøstet oss i vår tilsynelatende motsetning med en uttalelse vi hadde fra Niels Bohr. Niels pleide å si. «Det motsatte av en riktig påstand er en falsk påstand. Men det motsatte av en dyp sannhet kan igjen være en dyp sannhet.»