

# Kvantekontroversen mellem Léon Rosenfeld og David Bohm i 1950'erne

Af Anja Skaar Jacobsen, Ordrup Gymnasium

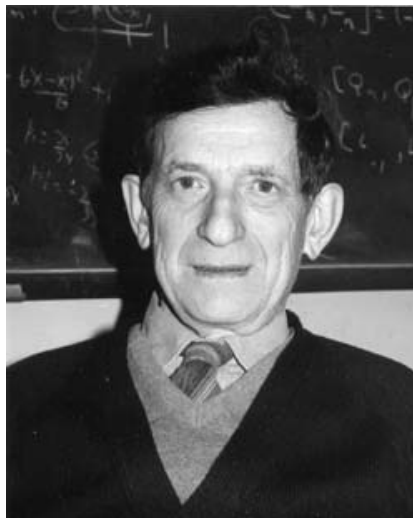
Artiklen belyser nogle af de videnskabsteoretiske og filosofiske argumenter, der blev fremført i kvantekontroversen mellem David Bohm og Léon Rosenfeld i 1950'erne. Kontroversen, der var foranlediget af Bohms nye skjult-variabel-fortolkning af kvantemekanikken fra 1952, ses i sammenhæng med den politisk-ideologiske ramme, der karakteriserede den tidlige kolde krig på den yderste venstrefløj.

I 1952 publicerede den amerikanske fysiker David Bohm (1917-1992) en såkaldt skjult-variabel-fortolkning af den ikke-relativistiske kvantemekanik i tidsskriftet *Physical Review* [1]. Wolfgang Pauli, der var en af kvantemekanikkens skabere, reagerede ved at forsvare den traditionelle fortolkning, som i samme periode fik tilnavnet Københavnerfortolkningen, og påpegede hvad han anså som svaghederne ved Bohms fortolkning [2]. Pauli kritiserede bl.a., at Bohm fortolkede Schrödingers bølgefunktion som en slags styrebølge for en partikel (se faktaboks) og henviste til, at Louis de Broglie havde fremsat en lignende fortolkning i midten af 1920'erne, som Pauli ligeledes havde kritiseret. Faktisk genoptog de Broglie sin gamle fortolkning efter at være blevet bekendt med Bohms publikation.

## Komplementaritetsprincippet.

Bohr introducerede komplementaritetsprincippet for bl.a. at redegøre for bølge-partikel-dualiteten i kvantemekanikken. Dvs. i modsætning til Schrödinger, der ønskede at reducere kvantemekanikken til bølgemekanik, og Bohm, der primært fokuserede på kvantemekanik som en partikelteori (se den anden faktaboks), var Bohr af den overbevisning, at begge aspekter af kvantefænomener er nødvendige for en fuldstændig beskrivelse af de atomare systemer. Også selvom de to aspekter er gensidigt udelukkende på samme tid, når der refereres til eksperimentelle opstillinger, der skal måle de pågældende egenskaber. Bohr introducerede derfor komplementaritet som en ny logik, der tillader en konsistent brug af begreber, der ellers synes modsætningsfyldte og med begrænset gyldighedsområde. Bohr belyste de komplementære træk ved kvanteteorien gennem analyser af tankeeksperimenter til måling af fysiske størrelser, der optræder som konjugerede i kvanteteorien, f.eks. en partikels position og impuls. Han forklarede de komplementære træk ved kvantefænomener med det såkaldte kvantepostulat, der siger, at vekselvirkninger i kvanteteorien, også vekselvirkninger mellem kvantesystemerne og et givet måleapparat, har mindst samme størrelsesorden som det universelle virkningskvant repræsenteret ved Plancks konstant. Ønsker man at fordybe sig yderligere i Bohrs kvantefilosofi, Bohr-Einstein-debatten og diskussionen af andre fortolkninger henvises til [3], [4].

Niels Bohr, hvis komplementaritetsprincip ligger til grund for Københavnerfortolkningen, indgik ikke i nogen direkte konfrontation med Bohm, sådan som man ellers havde set ham gøre med Albert Einstein og Erwin Schrödinger tidligere i århundredet. Til gengæld udviklede der sig en ophedet strid mellem Bohm og den belgiske fysiker Léon Rosenfeld (1904-1974), der var Bohrs nære medarbejder gennem en lang årrække og som var en stærk tilhænger af Bohrs kvantefilosofi. Bohm og Rosenfeld var begge marxister, dvs. de var tilhængere af elementer af den marxistiske tænkning, der bl.a. indbefatter dialektisk og historisk materialisme, politisk analyse samt økonomisk teori. Politisk tilsluttede de sig forskellige fragmenter af den yderste venstrefløj. Striden mellem dem drejede sig om filosofiske og politisk-ideologiske værdier i relation til kvantemekanikkens fortolkning og skal forstås i kontekst med den tidlige kolde krig og udviklingen på venstrefløj. Efter en kort introduktion af Bohm og Rosenfeld ønsker jeg at belyse nogle af de videnskabsteoretiske og filosofiske argumenter, der blev fremført i striden mellem de to fysikere, dvs. deres forskellige syn på videnskabens udvikling, metode og metafysik. Teksten bygger på et afsnit fra min bog, Léon Rosenfeld: *Physics, Philosophy, and Politics in the Twentieth Century*, som bliver publiceret af forlaget World Scientific [5].



Figur 1. David J. Bohm (1917-1992).

## Lidt om Bohm

Bohm arbejdede indtil 1951 som det der svarer til adjunkt ved Princeton University, hvor han bl.a. underviste et kursus i kvantemekanik. På den baggrund skrev han en i amerikansk sammenhæng usædvanlig lærebog, *Quantum Theory* (1951). Den giver nemlig en *historisk* fremstilling af kvantemekanikken, dvs. den indleder med at beskrive de mange eksperimenter som gav anledning til udviklingen af kvanteteorien. Amerikanske lærebøger præsenterer typisk kvantemekanikken mere aksiomatisk ved at tage udgangspunkt i den matematiske formalisme, i første omgang Schrödingerligningen. Bohm forklarede senere, at lærebogsprojektet var motiveret i et ønske om at forstå den traditionelle fortolkning af kvantemekanikken bedre, navnlig Bohrs komplementaritetsprincip (se faktaboks), men det lykkedes ham aldrig at opnå denne større forståelse, og han så sig sur på komplementaritetsprincippet. Undervejs diskuterede han kvantemekanikkens fortolkning med Einstein, som arbejdede ved Institute for Advanced Study i Princeton. Delvist motiveret af diskussionerne med Einstein udviklede Bohm sin nye fortolkning med skjulte variable, der dog aldrig faldt i Einsteins smag. Einstein kritiserede primært kvantepotentialets egenskaber såsom dets ikke-lokalitet, bl.a. fordi virkninger ifølge Einsteins relativitetsteori jo ikke kan udbrede sig momentant over store afstande.

### Bohms teori.

I meget korte træk gik Bohms teori ud på at omskrive Schrödingers komplekse bølgefunktion ved hjælp af to reelle funktioner  $R(x, t)$  og  $S(x, t)$ :  $\psi(x, t) = R \cdot \exp(iS/h)$ . På den måde kunne han udlede den dynamiske bevægelsesligning, så den fik samme form som Newtons anden lov  $dp/dt = -\nabla(V + U)$ , hvor  $p$  er impulsen,  $V$  den klassiske potentielle energi mens  $U$  er et nyt kvantepotential, der skal redegøre for de ikke-klassiske og ikke-lokale effekter i kvantemekanikken. På den måde opnåede Bohm at omfortolke kvantemekanikken til en partikelteori, dvs. han fik genindført banebegrebet, så elektroner fik tilknyttet præcist definerede og kontinuerligt varierende værdier af deres position og impuls, også selvom disse var at betragte som skjulte variable, der ikke kunne verificeres eksperimentelt.

I Bohms teori har bølgefunktionen  $\psi$  to funktioner. Dels, når partiklens begyndelsesbetingelser kendes, fortolkes  $\psi$  som en styrebølge der bestemmer partiklens bane i rummet. Dels, når de præcise begyndelsesbetingelser for partiklen *ikke* kendes, fortolkes bølgefunktionen som en sandsynlighedsbølge; i det sidste tilfælde angiver normkvadratet på  $\psi$  sandsynlighedstætheden for partiklens position.

Se også diskussionen om Bohms teori i [6]

Bohm var også motiveret i marxistisk tænkning. Han

havde været politisk aktiv med fagforeningsarbejde på venstrefløjens mens han arbejdede ved Berkeley Radiation Laboratory i 1930'erne og i 1942 meldte han sig ind i kommunistpartiet. I anden halvdel af 1940'erne var han ikke specielt politisk aktiv, men marxismens filosofi, den dialektiske materialisme,<sup>1</sup> og den russiske kritik af neo-positivismen inspirerede ham i hans arbejde og specielt i udarbejdelsen af hans fortolkning af kvantemekanikken. Under den hurtigt fremvoksende mccarthyisme kom Bohm imidlertid under stærkt pres på grund af sine venstreorienterede synspunkter, et pres der kun tog til, fordi han nægtede at vidne mod tidligere kolleger i en gammel spionsag ved Berkeley Radiation Laboratory under 2. verdenskrig. Som resultat heraf blev hans stilling ved Princeton University ikke forlænget, og han kunne ikke længere finde job som fysiker i USA. Derfor søgte han udenlands ligesom mange andre venstreorienterede videnskabsmænd i perioden. I 1951 forsøgte Bohm ved Einsteins hjælp at få arbejde ved det fysiske institut ved universitetet i Manchester, England, der på det tidspunkt blev ledet af eksperimentalfysikeren P.M.S. Blackett og Rosenfeld. Både Blackett og Rosenfeld var sympatisk indstillede overfor politiske ofre for mccarthyismen, men de havde ikke mulighed for at huse Bohm på instituttet på det pågældende tidspunkt, og han endte med at tage til takke med en stilling i Sao Paulo i Brasilien [2].

Bohms konkurrerende kvanteteori var begrundet i hans ønske om at opnå hvad han opfattede som en mere realistisk teori, dvs. en teori som ikke bare virker og forudsiger de rigtige måleresultater, men som beskriver hvordan atomare systemer opfører sig i sig selv og ikke kun når vi måler på dem. I samme ombæring ønskede han at genindføre de klassisk-fysiske dyder i form af kausalitet og determinisme i kvantemekanikken. Det var ønsker han også fandt belæg for i Marxisme-Leninismens udlægning af den dialektiske materialisme.<sup>2</sup> Hans publikation indeholdt en kritik af den traditionelle tolkning af kvantemekanikken, som han i tråd med ledende ideologer i det russiske kommunistparti anså for at bygge på idealistiske såvel som positivistiske synspunkter; positivistisk fordi Bohr og specielt Werner Heisenberg havde tillagt observable meget stor vægt i konstruktionen af matrixmekanikken; og idealistisk fordi bl.a. komplementaritetsprincippet blev anset som et løsrevet spekulativt princip, der blev tilskrevet en idealistisk borgerlig tænkeform. Komplementaritetsprincippet blev yderligere opfattet som et udtryk for, at atomare systemers opførsel afhang af den eksperimentelle kontekst og dermed ultimativt var afhængig af iagttageren, altså som om der blev givet afkald på objektivitet. Derfor, hvis komplementaritet

<sup>1</sup>Ifølge materialismen er det verden, både naturen og samfundet, der former den menneskelige bevidsthed. Den traditionelle modsætning til materialismen er idealismen, der dækker over en række erkendelsesteoretiske og metafysiske opfattelser, som alle lægger vægt på, at virkeligheden er bestemt og konstitueret af erkendelse og tænkning, dvs. virkeligheden er ikke uafhængig af menneskelig bevidsthed. Dialektikken havde Karl Marx og Friedrich Engels overtaget fra Friedrich Hegel. Ifølge den marxistiske dialektik foregår al udvikling, f.eks. af historien og bevidstheden, gennem modsætninger.

<sup>2</sup>Marxisme-Leninisme var den af Josef Stalin indførte officielle betegnelse for ideologien i Sovjetunionen og i den kommunistiske bevægelse, der ud over Marx og Engels også byggede på Vladimir Lenins skrifter. Sovjetmarxismen forkortede begrebet dialektisk materialisme til *diamat*.

blev nævnt af russiske fysikere, var det som regel kun som synonymt med Heisenbergs ubestemthedsrelation for konjugerede fysiske størrelser. Bohrs erkendelsesteoretiske fokus på målelighed og iagttagers rolle blev tilskrevet hans tilsyneladende positivistiske indstilling. Den ortodokse fortolkning blev også kritiseret for udsagn om, at bølgefunktionen er et udtryk for vores *information* om kvantesystemer og ikke en beskrivelse af kvantesystemernes faktiske opførsel i sig selv, så at sige, hvilket igen blev opfattet som en subjektiv og idealistisk tolkning. Det bør nævnes, at udover den ideologiske iklædning adskilte de sovjetiske fysikers kritik sig ikke nævneværdigt fra kritikken fremsat af Einstein, de Broglie og Schrödinger tidligere i århundredet.

Bohm havde forventet støtte til sin alternative realistiske og kausale fortolkning blandt de sovjetiske kritikere af Københavnerfortolkningen, men den udeblev. Kritikerne i Sovjetunionen foretrak den såkaldte ensemblefortolkning, ifølge hvilken bølgefunktionen kun refererer til systemer bestående af et stort antal partikler, og ikke til individuelle partiklers opførsel. I det hele taget var der ikke mange fysikere, der støttede Bohms nye fortolkning.



**Figur 2.** Léon Rosenfeld (1904-1974). Gengivet med venlig tilladelse fra Niels Bohr Arkivet.

### Lidt om Rosenfeld

I modsætning til Bohm havde den 13 år ældre Rosenfeld, der var en af pionererne indenfor den tidlige kvantefeltheori og kvanteelektrodynamik i 1920'erne og 1930'erne, fået en yderst grundig oplæring i Bohrs tankegang og komplementaritetsfortolkning af kvantemekanikken. I 1930 begyndte Rosenfeld et samarbejde med Bohr, der kulminerede med deres fælles artikel i 1933 om måleligheden af det elektromagnetiske felt. Bohr var optaget af hvordan det klassiske feltbegreb skulle fortolkes i kvanteteorien. Han og Rosenfeld udførte derfor et kompliceret og detaljeret studium af måleligheden af de elektromagnetiske feltkomponenter, der involverede raffineret matematisk analyse

såvel som et tankeeksperiment med ekceptionelt komplicerede måleanordninger, faktisk for kompliceret til at blive skitseret. På den baggrund viste de hvordan man skal fortolke feltbegrebet i kvanteteorien for at sikre logisk konsistens mellem teoriens forudsigelser om feltkomponenternes ubestemthed og hvad der kan måles idealiseret set. I 1950 publicerede de yderligere en artikel om måleligheden af de elektriske ladninger, der giver anledning til det elektromagnetiske felt.

Rosenfeld var ligesom Bohm Marxist, men han meldte sig aldrig ind i kommunistpartiet. Han forblev i stedet stærk tilhænger af folkefrontspolitikken, der var udbredt i 1930'erne. I efterkrigstiden blev folkefrontspolitikken imidlertid kvalt i den nye skarpe opdeling mellem øst og vest og kommunistpartiets delvise monopolisering af politikken på den yderste venstrefløj. Rosenfeld støttede kommunistiske organisationer som World Federation of Scientific Workers og Fredsbevægelsen, men tog samtidigt stærk afstand fra den ideologiske drejning det russiske kommunistparti tog på det kulturelle og videnskabelige område. Han fastholdt sin overbevisning om, at filosofi skal tilpasse sig moderne videnskabelige landvindinger og ikke omvendt og at videnskab bør drives af forskernes nysgerrighed, et synspunkt han fandt uforeneligt med det russiske kommunistpartis planøkonomiske styring af videnskaben.

### Kontroversen mellem Bohm og Rosenfeld

Bohms alternative kvanteteori kan ses som et eksempel på en mindst ligeså gammel videnskabsteoretisk ide, nemlig Karl Poppers om at nye videnskabelige gisninger eller hypoteser slet ikke behøver at opstå på baggrund af ny empirisk erfaring. Med andre ord, teorier vokser ikke nødvendigvis frem ved induktion; nye teorier kan, ifølge Popper, nærmere betragtes som opfindelser og kan komme hvor som helst fra; de kan bygge på metafysiske eller okkulte overvejelser, eller som i Bohms tilfælde, de kan være delvist motiveret i politisk ideologi.<sup>3</sup> Det der betød noget for Popper var, om en teori kan modstå de efterfølgende forsøg på at gendrive eller falsificere den, sådan som Poppers videnskabsteori foreskriver man skal. Nu forelå der ikke umiddelbart observationer, der kunne bruges til at teste den ene kvanteteori mod den anden; Bohms teori ledte til samme resultater som den traditionelle ikke-relativistiske kvantemekanik. Der var med andre ord tale om, at den sædvanlige kvantemekanik med tilhørende Københavnerfortolkning og Bohms teori med skjulte variable var underbestemte i forhold til de forhåndenværende eksperimentelle resultater. Denne empiriske underbestemthed er faktisk et dilemma for realisten, fordi det at der findes to teorier, der redegør ligegodt for de forhåndenværende empiriske resultater, ikke udpeger hvilken der er mest realistisk [7].

Rosenfeld var tilsyneladende sympatisk indstillet overfor Bohm som politisk offer for mccarthyismen, men han optrådte nådesløs i sin kritik af Bohms nye

<sup>3</sup>Poppers artikel "Gisninger og Gendrivelseser" var oprindeligt en forelæsning han gav i 1953 [6].

fortolkning af kvantemekanikken. Han opfattede helt klart Bohms fortolkning som opstået i forlængelse af den ideologiske udvikling i Sovjetunionen. Bohm havde indsendt en artikel til tidsskriftet *Nature* nogenlunde samtidig med den til *Physical Review*, men *Nature* benyttede Rosenfeld som referee, og selvom Rosenfeld intet havde at udsætte på Bohms teori rent formelt, fik han straks bremset den pågældende publikation. Efterfølgende kommenterede Rosenfeld i skarpe vendinger Bohms teori både i sine private brevvekslinger med Bohm og andre fysikere og offentligt i diverse boganmeldelser og polemiske skrifter.<sup>4</sup> Et par gange i løbet af 1950'erne havde Bohm og Rosenfeld også anledning til at mødes ansigt til ansigt for at diskutere deres uenigheder.

Bohm var af den overbevisning, at den videnskabelige udvikling følger en uafbrudt dialektisk proces, dvs. at teorier ligesom alt andet er i konstant forandring. Det ledte ham til den relativistiske opfattelse, at der til hvert synspunkt altid hører et modsat, der lige så godt kunne have været fremført. Han argumenterede på den baggrund for, at den traditionelle kvantemekanik, inklusiv Bohrs komplementaritetsfortolkning, var fremkommet på kontingent, dvs. tilfældig, måde. Der lå således ikke nogen *nødvendig* historisk udvikling bag skabelsen af den traditionelle kvantemekanik, ifølge Bohm, i modsætning til hvordan den historie ofte fortælles. Det kunne lige så godt have været de Broglies teori, der var blevet den toneangivende i 1920'erne, mente Bohm, havde det ikke været for Paulis kritik, som majoriteten af fysikerne i 1920'erne, inklusiv de Broglie, accepterede.

Rosenfeld var for så vidt enig med Bohm i, at videnskaben fortløbende gennemgår en dialektisk proces, men for Rosenfeld handlede den proces om det dialektiske forhold mellem empirisk erfaring og forfinelsen af de fysiske teorier og videnskabelige begreber; det var det som han anså som videnskabens uophørlige progressive drivkraft. For Rosenfeld, der således fastholdt en traditionel empiristisk position, var udviklingen af videnskabelige teorier bundet op på eksperimentel erfaring. Rosenfeld plæderede godt nok for, ligesom Popper og andre empirister, at videnskabsmænd skal være åbensindede overfor det faktum, at de nuværende videnskabelige teorier ikke nødvendigvis er endegyldige sandheder, men vil blive erstattet af bedre mere omfattende teorier i fremtiden. Som videnskabsmand skal man altså være omstillingsparat! Men for Rosenfeld var det af yderste vigtighed, at fremsættelsen af nye teorier var empirisk begrundede. Og Rosenfeld var ikke tilhænger af naiv falsifikation og radikal bortkastelse af teorier. På baggrund af ideen om en dialektisk udvikling af videnskaben ville han i stedet sige, at teorierne bliver gradvist forfinede. I forlængelse heraf var Rosenfeld også rygende uenig med Bohm i, at videnskabelige teorier er historisk kontingente. Efter

<sup>4</sup>Den vigtigste af Rosenfelds polemiske artikler var hans bidrag, "L'évidence de la complémentarité," til et festskrift for Louis de Broglie i forbindelse med dennes 60 års fødselsdag i 1952, der også udkom på engelsk, "Strife about complementarity," i tidsskriftet *Science Progress*. Rosenfelds meget omfattende korrespondance findes på Niels Bohr Arkivet.

Rosenfelds overbevisning var kvantemekanikken og dens traditionelle fortolkning fremkommet på baggrund af en *nødvendig* udvikling med udgangspunkt i og i samspil med de eksperimentelle erfaringer. Han skrev kategorisk til Bohm i maj 1952: "Fysikerens rolle er at tilpasse sin tænkning til naturen, uanset om den proces er simpel eller ej. Hovedsagen er, at man ikke accepterer nogen anden guide end naturen selv" [7]. Specielt argumenterede Rosenfeld for, at Bohr var nået frem til sit komplementaritetsprincip ad netop denne vej, gennem møje anstrengelser for at tilpasse teorien til den nye eksperimentelle situation, som foreligger i atomfysikken. Derfor mente Rosenfeld også, at komplementaritetsfortolkningen var materialistisk og dermed i overensstemmelse med marxistisk tænkning. Rosenfelds traditionelle empiristiske synsvinkel betød, at han ikke mente Bohm kunne retfærdiggøre fremsættelsen af en ny teori på det pågældende tidspunkt, når der ikke forelå nye empiriske erfaringer der kunne motivere en ny teori. Rosenfeld var altså imod forandring bare for forandringens egen skyld og han antydede, at Bohm var drevet af ideologiske motiver.

Rosenfeld havde således i modsætning til i Marxisme-Leninismen en pragmatisk holdning til den dialektiske materialisme, som han mente fint kunne kombineres med Bohrs komplementaritetsfortolkning af kvantemekanikken. Han mente ikke, at den dialektiske materialisme og komplementaritetstanken kunne indfanges i strenge definitioner, men opfattede begge som anti-reduktionistiske, erkendelsesteoretiske redskaber, dvs. metoder eller logikker, og ikke som fastlåste metafysiske systemer der partout skulle gøre det ud for virkeligheden. Komplementaritet og dialektisk materialisme skulle, ifølge Rosenfeld, nærmere opfattes som sprog, der gjorde det muligt at *tale* om virkeligheden på det atomare niveau, endda med anvendelsen af gensidigt udelukkende modeller.

## Efterskrift

Rosenfeld og Bohm blev aldrig enige om hvordan kvantemekanikken skal fortolkes og heller ikke om Bohrs synspunkter var i overensstemmelse med den dialektiske materialisme eller ej. Bohm brød med kommunismen og Marxisme-Leninismen i 1956, da Nikita Khrusjtjov sendte Den Røde Hær mod folkets opstand i Ungarn. Senere lod Bohm sig inspirere af indisk mystik i sin fysik. Stalins død i 1953 skabte et intellektuelt tøbrud i Sovjetunionen, der førte til en langsom nedtoning af de ideologiske krav til socialistisk videnskab, litteratur og kunst. Fra starten af 1960'erne var ny kritik af Københavnerfortolkningen ikke længere motiveret i marxistisk tænkning, hverken i øst eller vest. Det betød dog ikke, at tilslutningen til ideen om skjulte variable i fortolkningen af kvantemekanikken samtidigt forstummede, nærmest tværtimod. I 1960'erne blev den irske CERN-fysiker John Stewart Bell inspireret af Bohms

teori til et studium af mulighederne for skjulte variable i kvantemekanikken. Han udledte en berømt ulighed, der forudsiger en begrænsning af korrelationen mellem forskellige koordinater af konjugerede variable – f.eks. positions- og impulskoordinater eller de forskellige spinkomponenter – for partikler der har vekselvirket i fortiden, når de måles i EPR-lignende eksperimenter.<sup>5</sup> Med Bells ulighed blev det dermed muligt at teste den traditionelle kvantemekanik mod lokalrealistiske teorier med skjulte variable, som Einstein var fortalere for, fordi teorierne giver forskellige forudsigelser i forhold til Bells ulighed. Allerede fra starten af 1970'erne begyndte man at teste uligheden eksperimentelt, men det var først med den franske fysiker Alain Aspect's forsøg i 1982, at man fik et entydigt resultat til fordel for den traditionelle kvantemekanik. Bohms teori opererede imidlertid med *ikke*-lokale skjulte variable og blev dermed ikke afvist med Aspect's forsøg. Bohms teori har tilsyneladende kun opnået flere tilhængere med tiden. En forklaring herpå melder denne historie intet om.

Hvad Bohr mente om Rosenfelds kobling mellem komplementaritetsfortolkningen og den dialektiske materialisme står hen i det uvisse, men Bohr var ligesom Rosenfeld af den overbevisning, at filosofi skal tilpasse sig moderne videnskabelige landvindinger og ikke omvendt. Bohr sørgede for, at Rosenfeld blev professor ved det nyoprettede Nordisk Institut for Teoretisk Atomfysik (NORDITA) i København i 1958, så han må i en eller anden grad have sat pris på Rosenfelds engagement til fordel for komplementaritetsfortolkningen. Rosenfeld blev i København til sin død i 1974, og han vedblev ihærdigt at forsvare Bohrs komplementaritetsfortolkning resten af sine dage mod de stadige angreb mod den fra bl.a. fortalere for skjulte variable, mange verdener og hvad har vi. Han bibeholdt ligeledes sine marxistiske synspunkter.

#### Litteratur

- [1] Bohm, D. (1952). A suggested Interpretation of Quantum Mechanics in Terms of "Hidden Variables". I and II, *Physical Review*, **85**(2), 166-193.
- [2] Freire Jr., O. (2005). Science and exile: David Bohm, the cold war, and a new interpretation of quantum mechanics, *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, **36**(1), 1-34.
- [3] Faye, J. (2010) Kvantefilosofi – ved erkendelsens grænser? (Aarhus Universitetsforlag, Århus).
- [4] Mølmer, K. (2010) Kvantemekanik – Atomernes vilde verden (Aarhus Universitetsforlag, Århus).
- [5] Jacobsen, A. S. (2011 eller 2012). Léon Rosenfeld: Physics, Philosophy, and Politics in the Twentieth Century, World Scientific, Singapore.
- [6] Erland Brun Hansen (2007), Bohms teori bryder med princippet om impulsbevarelse!, KVANT nr. 3, sept. 2007.
- [7] Popper, K. (1973). Videnskaben: Gisninger og gendrivelsler, i K. Popper, *Kritisk Rationalisme* (Nyt Nordisk Forlag, København), s. 40-68.

- [8] Cushing, J. T. (1998) *Philosophical Concepts in Physics: The Historical Relation Between Philosophy and Scientific Theories* (Cambridge University Press, Cambridge), s. 348-351.
- [9] Rosenfeld, L. (1953). L'évidence de la complémentarité, i A. George (red.), *Louis de Broglie: Physicien et penseur* (Paris), s. 43-65. Den engelske version, "Strife about Complementarity," findes genoptrykt i R. S. Cohen og J. J. Stachel (red.), *Selected Papers of Léon Rosenfeld*, Boston Studies in the Philosophy of Science, bd. 21 (Reidel, Dordrecht), s. 465-483.
- [10] Léon Rosenfeld til David Bohm, 30. maj 1952. Bohm Papers, Birkbeck College, Library, London.



Anja Skaar Jacobsens forskning kredser om krydsfeltet mellem naturvidenskab, filosofi og samfundskulturelle og politiske strømninger i Romantikken og i det tyvende århundrede. Hun har bl.a. skrevet om H.C. Ørsted's kemi og fysik, metafysik og erkendelsesteori, samt hans syn på matematik; frenologien og Romantikken; og senest om Léon Rosenfeld, hans forhold til Niels Bohr, kvantefilosofiens udvikling, marxistisk ideologi og udviklingen på venstrefløjen i det tyvende århundrede.

**PFEIFFER VACUUM**

## Turbopumpe HiPace™

**Ring for yderligere information**

Tlf. 4352 3800    Fax 4352 3850  
[efa@pfeiffer-vacuum.dk](mailto:efa@pfeiffer-vacuum.dk)

<sup>5</sup>EPR refererer til Einstein, Boris Podolsky og Nathan Rosen som i en artikel i 1935 skitserede et tankeeksperiment, hvor to partikler, der har vekselvirket i fortiden, adskilles over vilkårlig stor afstand hvorefter der foretages en måling af den ene partikels impuls f.eks. På grund af de to partiklers kvantekorrelation vil man med en sådan måling kunne forudsige den anden partikels impuls uden at have foretaget en måling af den. Det kan synes paradoksalt. Ikke desto mindre er denne form for kvantekorrelation et faktum, der i dag søges udnyttet i nye computerteknologier.