



Rosenfeld

MINDEORD

I

LÉON ROSENFELD

14. august 1904 – 23. marts 1974

Tale i Videnskabernes Selskabs møde den 18. oktober 1974

Af C. Møller

Almindeligvis bliver der ikke i Videnskabernes Selskab holdt mindetale over udenlandske medlemmer. Det er dog sket i enkelte tilfælde, hvor det drejede sig om en videnskabsmand med særlig tilknytning til og betydning for dansk videnskab. Et sådant tilfælde har vi ment forelå ved Léon Rosenfelds død.

Rosenfeld tilbragte en væsentlig del af sit liv her i landet som medarbejder ved Niels Bohr Institutet og NORDITA i København, og både ved sin videnskabelige indsats og som deltager i diskussionerne og vejleder af mange yngre nordiske forskere var han i høj grad med til at præge livet ved disse institutter. I en lang årrække var han Niels Bohrs nære og uundværlige medarbejder, og man kan vist roligt sige, at kun få fysikere har levet sig så dybt ind i Bohrs tanker om komplementariteten som Rosenfeld, og ingen anden har gjort så meget for at klargøre og udbrede kendskabet til disse ideer hos den yngre generation af fysikere og hos filosoferne.

Blandt de mange fremragende udenlandske fysikere, der i årenes løb har arbejdet ved institutterne i København, var Léon Rosenfeld utvivlsomt den mest vidtspændende. Han havde ikke blot et dybtgående kendskab til alle grene af fysikken; men hans enestående lærdom omfattede også især erkendelsesteori, moderne psykologi og videnskabens historie. Rosenfeldt flid og arbejdsevne var usædvanlig, hvilket listen over hans publikationer bevidner. Han efterlod sig over hundrede originalarbejder over fysiske problemer og mindst lige så mange over emner fra de andre lige nævnte grene af videnskaben, foruden et par monografier og adskillige oversigtsartikler. Léon beherskede mange sprog til fuldkommenhed. Hans afhandlinger på fransk, tysk og engelsk er skrevet i en mesterlig

stil, letløbende, klar og prægnant – en evne som dog ikke altid kom helt til sin ret, når han skrev eller talte dansk. Også hans kendskab til de klassiske sprog var usædvanligt for en naturvidenskabsmand, hvilket især var ham til nytte i hans videnskabshistoriske studier.

Rosenfeld opfattede videnskaben og den menneskelige erkendelse overhovedet som en helhed, hvorefter fysikken kun udgjorde en mindre omend meget betydningsfuld del. Han omfattede også almindelige samfundsproblemer med stor interesse. Især var han fængslet af den gensidige påvirkning af de videnskabelige ideer og de sociale kræfter, og han var overbevist om, at den videnskabelige metode i videste forstand, altså den rationelle analyse og beskrivelse af fænomenerne, i fremtiden i stadig større grad vil vise sig at være den sikreste rettesnor for al menneskelig virksomhed. Det turde være klart, at det i den tid, der traditionelt er afsat til mindetaler her i Selskabet, kun vil være muligt at skildre de vigtigste stadier i et så rigt og alsidigt livsforløb.

Léon Rosenfeld blev født den 14. august 1904 i Charleroi og døde i København den 23. marts 1974, altså knap 70 år gammel. Han var søn af en russisk ingeniør, der havde slået sig ned i Belgien. Han fik sin uddannelse ved gymnasiet i sin fødeby og ved universitetet i Liège. Allerede fra denne tidlige periode foreligger der ikke mindre end syv mindre afhandlinger fra hans hånd, mest over forskellige matematiske og historiske emner, såsom en kritisk gennemgang af de mange forskellige i litteraturen forefindende »løsninger« af cirkelns kvadratur samt om berømte paralogismer, altså fejlslutninger i matematikken fra oldtiden op til vore dage. Selv om disse afhandlinger fra årene 1922–24 vel ikke indeholder løsningen af konkrete matematiske og fysiske problemer, er de bemærkelsesværdige derved, at de demonstrerer en for en så ung student usædvanlig belæsthed og tænksomhed og evne til elegant fremstilling.

Efter afslutningen af sine studier i Liège i 1926 tilbragte han et år ved École Normale Supérieure i Paris, hvor han især beskæftigede sig med problemer i forbindelse med den netop af Louis de Broglie grundlagte bølgemekanik. I de følgende år fra 1928–29 var han i Göttingen som assistent hos Max Born. Her gjorde han sin første betydende indsats i fysikken. På grundlag af den netop udviklede kvantemekanik gav han en fuldstændig teoretisk behandling af den optiske aktivitet i væsker og luftarter samt af den såkaldte Faraday effekt. Begge disse optiske effekter hidrører fra vekselvirkningen mellem lyset og mediets molekyler og atomer, for den sidste effekts vedkommende under tilstedeværelse af et ydre konstant magnetfelt. I modsætning til tidligere mere kvalitative behand-

linger af disse effekter kunne Rosenfeld bringe den første exakte kvantitative beskrivelse. I 1929 blev Léon assistent hos Wolfgang Pauli i Zürich, hvor han deltog i fuldførelsen af den af Heisenberg og Pauli udarbejdede kvanteelektrodynamik, et område som han også i de følgende årtier gav væsentlige bidrag til. Det var da også ham, der først gennemskuede, at den af Dirac i 1932 foreslåede helt forskellige formulering af kvanteelektrodynamikken i sit fysiske indhold var identisk med Heisenberg og Paulis teori og derfor, imod Diracs forventning, var belemret med de samme karakteristiske divergensvanskeligheder.

Fra 1930–40 indtog Rosenfeld en lærestol i teoretisk fysik ved universitetet i Liège, først som lektor siden som professor; men samtidig blev han i 1930 Niels Bohrs personlige medarbejder og efter overenskomst med Liège universitet tilbragte han i denne periode halvdelen af tiden i København. Mødet med Niels Bohr, som Rosenfeld selv har beskrevet så charmerende og med sønlig hengivenhed ved flere lejligheder, blev af afgørende betydning for hans udvikling og for den indsats han blev i stand til at yde i de følgende mange år; men også for Niels Bohr var dette samarbejde utvivlsomt meget værdifuldt i den periode, hvor han udviklede og afsluttede sin komplementaritetsteori. Rosenfelds særlige temperament, hans tålmodighed og uforstyrrelige ro, såvel som hans fuldkomne beherskelse af de fysiske teories formalismer og hans fortrolighed med de relevante filosofiske ideer gjorde ham til en uvurderlig medarbejder. Således var da også hans i Zürich erhvervede og udviklede kendskab til den kvanteelektrodynamiske formalisme en væsentlig hjælp, da Bohr og Rosenfeld i 1933 gik i gang med at analysere det fra et erkendelsesteoretisk og fysisk synspunkt vigtige spørgsmål om de elektromagnetiske felters målelighed. Efter afslutningen af deres arbejde, der blev publiceret i Vid. Selsk. matem.-fysiske Medd. efter ikke mindre end otte korrekturer, gav Bohr selv udtryk for dette i indledningen til et kollokvium på instituttet, hvor han udtalte, at de under arbejdet med dette vanskelige problem havde gjort alle tænkelige fejltagelser, og at det ville have været umuligt at gennemføre det, hvis de ikke have haft formalismen at støtte sig til. Det forfatterne havde vist i deres afhandling var da også først og fremmest, at formalismen gav en modsigelsesfri beskrivelse af de elektromagnetiske fænomener i overensstemmelse med de af virkningskvantets existens betingede komplementære muligheder for iagttagelse af felterne.

I den samme periode indledte Rosenfeld også samarbejde med andre kolleger. Et af dem blev på et noget andet plan af særlig betyd-

ning for hans liv. Jeg tænker her på det arbejde over molekylers dissociation i stjerneatmosfærer, han i 1932 udførte sammen med Yvonne Cambresier, der året efter blev hans hustru. Det harmoniske samliv med Yvonne, der altid viste fuld forståelse for hans arbejdes betydning, bød ham netop de rette betingelser for fuld udnyttelse af hans enestående arbejdsevne. Henimod slutningen af trediverne havde også jeg den lykke at kunne samarbejde med Léon om en videreudvikling af den af Yukawa grundlagte teori for kernekræfterne, et samarbejde der fortsattes per korrespondance flere år efter, at Rosenfeld på grund af krigsudbruddet havde måttet forlade København. Disse første forsøg på en kvantitativ beskrivelse af kernekræfterne ved hjælp af intermediære mesonfelter må nu betragtes som forældede, idet problemet viste sig at være langt mere kompliceret, end man dengang kunne ane; men hovedideen i vore arbejder, at det er nødvendigt at antage existensen af flere typer af mesonfelter med forskellig symmetri, synes at skulle overleve.

I 1940 overtog Rosenfeld et professorat i teoretisk fysik og mekanik ved universitetet i Utrecht, en stilling han beholdt indtil han i 1947 modtog en kaldelse fra universitetet i Manchester. I denne periode var en stor del af hans tid optaget af forelæsninger for studenterne og af vejledning af unge fysikere, der fra mange lande kom til Manchester for at arbejde hos ham. Om hans betydning på dette område vidner det festskrift, der blev udgivet til hans 60-års dag, og som indeholder vægtige artikler af hans tidligere elever og medarbejdere, af hvilke mange nu indtager fremtrædende stillinger i deres hjemland. Fra den tid stammer også to store monografier. Den første, der udkom i Utrecht-tiden under titlen »Nuclear Forces«, indeholder en kritisk fremstilling af den tids eksperimentelle og teoretiske viden om kernekræfterne. På grund af den rivende udvikling indenfor kernefysikken efter krigen er den dog forlængst forældet. Derimod er monografien »Theory of Electrons« blevet en klassiker, der allerede er udkommet i flere udgaver. Denne bog er baseret på Rosenfelds forelæsninger i Manchester over materiens elektromagnetiske egenskaber med særligt henblik på den optiske dispersion. Endelig skal det nævnes, at Rosenfeld i 1956 grundlagde et nyt europæisk tidsskrift »Nuclear Physics«, der fra en meget beskednen begyndelse under hans omhyggelige og kritiske redaktion hurtigt udviklede sig til et af de førende internationale tidsskrifter.

I hele denne periode vedligeholdt Léon kontakten med instituttet i

København. Således udkom i 1950 et arbejde af Bohr og Rosenfeld om felt- og ladningsmålinger i kvanteelektrodynamikken, der danner en fortsættelse og afslutning af det tidligere omtalte arbejde fra 1933. Denne kontakt blev dog først fuldstændig genoprettet, efter at Rosenfeld i 1958 blev knyttet som professor til det nyoprettede Nordisk Institut for teoretisk Atomfysik (NORDITA) i København. Hans virksomhed dør blev af stor betydning for det unge institut og var i høj grad med til at give det en også efter international målestok høj standard.

Blandt hans rent fysiske arbejder fra denne sidste periode af hans liv skal især nævnes hans bidrag til teorien for kernereaktioner og kerneresonanser, samt hans undersøgelse over den komplementære relation mellem et meget stort kvantemekanisk systems reversible mikroskopiske dynamik og dets irreversible opførsel på det makroskopiske plan. Sideløbende publicerede han et stort antal afhandlinger over historiske og erkendelsesteoretiske emner. Igennem sine historiske studier søgte han at følge udviklingen af de fysiske principper fra det 17. århundrede op til vore dage samt den parallelt gående udvikling af de erkendelsesteoretiske ideer. Især interesserede han sig for Newtons stilling i den henseende, ligesom han søgte at gennemføre en analyse af strømningerne i det 19. og 20. århundredes tænkning. Allermest var han naturligt nok optaget af den omvæltning i erkendelsesteorien, som opdagelsen af de atomare lovmæssigheder førte med sig, og i utallige afhandlinger har han søgt at klarlægge og udbrede kendskabet til Bohrs komplementaritetstanke. I den forbindelse er det også på sin plads at henvise til hans mesterlige indledningsartikel til det første bind af »Niels Bohr. Collected Works«, hvis udgivelse Rosenfeld stod i spidsen for, og som også indeholder en hel del ikke tidligere publicerede afhandlinger og breve. Rosenfeld nåede ikke at se dette arbejde afsluttet; men hvis det lykkes at fortsætte det i hans ånd, vil det til sin tid fremtræde som et enestående historisk dokument.

Selv om det overvejende flertal af fysikere i dag accepterer »Københavnerskolens« interpretation af kvanteteorien, er der dog stadigvæk i hver ny generation enkelte unge forskere, endda måske blandt de mest tænkssomme, der ikke kan anerkende fuldstændigheden af den kvantemekaniske beskrivelse, for ikke at tale om filosoferne, der kun i ringe grad har kunnet følge Bohrs tankegang. Hvad kan årsagen være til dette forhold? Dette spørgsmål beskæftigede Rosenfeld meget i hans senere år. Han har sammenfattet sine tanker derom i afhandlingen »Erkendelsesteori på naturvidenskabeligt grundlag«, der var hans bidrag til

festskriftet i anledning af Harald Wergelands 60-årsdag i 1972. Denne afhandling er skrevet på et meget smukt og klart dansk og kan i flere henseender betragtes som hans videnskabelige testamente.

Forfatteren søger heri at besvare spørgsmålet om naturvidenskabens indhold og konsistens ved at diskutere den måde, hvorpå vore begreber dannes og benyttes, altså spørgsmålet om den rationelle tænkningens oprindelse og beskaffenhed. For at undgå at vilkårlige forudfattede filosofiske antagelser skal indsnævre synsfeltet, mener han, at man også ved studiet af de processer, der fører til begrebsdannelser og opstilling af teoretiske begrebsbygninger må benytte sig af den fra naturvidenskaben erhvervede videnskabelige metode, der hviler på erfaringen; disse processer er jo nemlig også naturfænomener, selv om de foregår i vor indre verden. Vi kan iagttage både dyrenes og menneskenes adfærd, vi kan endda ved egnede eksperimenter uddybe vor indsigt i tankeprocessernes udvikling og håbe fra disse erfaringer at danne os velfunderede forestillinger om erkendelsens lovmæssigheder.

Hvilke erfaringer har vi til rådighed? Først naturligvis dokumenterne fra naturvidenskabens historie, der kan oplyse os om den motivering og den tankegang, der har ført til frugtbar videnskabelig begrebsdannelse. For at illustrere dette fører forfatteren os i et hurtigt ridt gennem historien fra Newton over Locke, Hume, Condillac, Leibnitz, Euler til det 19. århundredes Fechner, Helmholtz og Mach. En sådan historisk analyse har dog kun en lignende betydning som iagttagelsen af forefindende fænomener i naturen, i modsætning til eksperimenter under kontrollerede betingelser. For at opnå mere detaljerede oplysninger om, hvorledes vore begreber dannes og udvikles, mener forfatteren, at det også her er nødvendigt at gribe til eksperimentet, og af nærliggende grunde er det bedst at benytte børn ved disse undersøgelser, da de danner det mest homogene forsøgsmateriale. Forfatteren henviser her til de forsøg, der nu over en længere årrække er udført med børn af forskellige udviklingstrin af den svejtsiske psykolog Piaget og hans skole i Genève. Disse forskere har »udviklet en sikker teknik, der tillader os at opnå pålidelige oplysninger om børnenes reaktioner, når man stiller dem over for visse problemer og udspørger dem, hvad de tænker sig i disse situationer. Metodens lodighed og konklusionernes objektivitet bestyrkes derved, at børn udsat for samme prøve reagerer på bestemte måder svarende til nogle få regulære udviklingstrin, som genfindes ved de mest forskellige prøver. Således opnår man et almengyldigt billede af den måde, hvorpå barnets tankeevne opstår og ud-

vikles, og de konklusioner, man kan bygge derpå, vinder derved for første gang i erkendelsesteoriens historie en virkelig naturvidenskabelig karakter. Piagets 'genetiske epistemologi' kan således med føje betegnes som begyndelsen af det videnskabelige stadium i studiet af den menneskelige erkendelse«.

Af de interessante konklusioner, forfatteren drager af disse undersøgelser, skal jeg kun nævne en enkelt. Når det drejer sig om spædbørn, der endnu ikke kan tale, »er man henvist til de metoder, der benyttes i dyrepryknologien: et studie, som først og fremmest tydeligt viser, at der er fuldstændig kontinuitet mellem dyr og menneske, og endelig afliver myten om menneskets privilegerede sjæl, udstyret med medfødt evne til rationel tænkning. Spædbarnet kommer til verden med nogle få indbyggede reflekser, uden hvilke det simpelthen ikke kunne overleve; men bortset fra disse er dets hjerne fuldstændig tom, som en computer uden program. Programmet udfyldes dog i fantastisk tempo: nogle sensorisk-motoriske skemaer udvikles allerede i de første timer efter fødslen, og i det hele taget er de atten første måneder i et menneskeliv den periode, hvor man med god samvittighed kan sige, at man virkelig har arbejdet«.

Den opfattelse, at det nyfødte barns hjerne kan sammenlignes med en tom computer, omend naturligvis af varierende kvalitet, som først bliver programmeret ved vekselvirkningen, for ikke at sige kampen med omgivelserne, udelukker åbenbart, at det kan have nogen mening at tale om *a priori* sandheder. Dette er i tydelig modstrid med Kants tankeverden, ifølge hvilken f. eks. den Euklidiske geometri og den klassiske deterministiske årsagssætning skulle være *a priori* gyldige. Det er jo netop sådanne fordomme, der i mange tilfælde har stået i vejen for en anerkendelse af både relativitetsteorien og kvanteteorien som modsigelsesfrie og fuldstændige fysiske teorier.

Det fremgår tydeligt af den nævnte afhandling, ligesom af alt hvad Rosenfeld skrev og sagde, at hans hele stræben gik ud på ved videnskabelige undersøgelser at nå frem til en rationel, objektiv beskrivelse af alle fænomener i tilværelsen. Han var en erklæret modstander af fordomme og af alle former for obskurantisme, der nu igen i vor tid i hvert fald midlertidigt synes at få tag i menneskene. For ham var det en selvfølge, at man i alle vigtige spørgsmål ganske objektivt skulle sige sin usmykkede mening lige ud, og det er ganske karakteristisk, at han under en af mine sidste samtaler med ham på hospitalet sagde: Jeg kan ikke forstå, at lægerne som videnskabsmænd kan komme her og sige, at det går fremad, når de dog véd, at det ikke er tilfældet.

Rosenfeld tilbragte en stor del af sit liv på rejser, idet han var en yndet foredragsholder ved institutter og internationale møder overalt i verden. Han var medlem af utallige videnskabelige komiteer og selskaber; men efter hans eget udsagn satte han ganske særlig pris på vort selskab, fordi vi her har bevaret enheden af naturvidenskab og humaniora, som han selv lagde så meget vægt på. Når han ikke var på rejse, forsømte han da heller aldrig at deltage i vore møder. Vi vil dybt savne ham ved vore fremtidige møder, og mindet om ham vil leve videre blandt hans mange venner herhjemme og ude omkring i verden.

Bibliografi

1922

Sur l'homogénéité d'une définition, Univ. de Liège, Bull. Scient. de l'Association des Elèves des Ecoles Spéciales (AEES) 20 (1922) 9.

Sur la trisection de l'angle, Univ. de Liège, Bull. Scient. de l'AEES 20 (1922) 86.

1923

De quelques « quadrateurs » du cercle, Univ. de Liège, Bull. Scient. de l'AEES 20 (1923) 129.

Problèmes de tracés continus, Univ. de Liège, Bull. Scient. de l'AEES 21 (1923) 37.

Notices Biographiques, Eugène Catalan, Univ. de Liège, Bull. Scient. de l'AEES 21 (1923) 65.

Questions à résoudre, Univ. de Liège, Bull. Scient. de l'AEES 21 (1923) 114.

1924

Sur quelques paralogismes mathématiques, Univ. de Liège, Bull. Scient. de l'AEES 21 (1924) 135.

La biréfringence électrique, Univ. de Liège, Bull. Scient. de l'AEES 22 (1924) 158.

1927

L'électron magnétique en mécanique ondulatoire, Bull. Acad. Roy. Belgique (5) 13 (1927) 326–328.

L'univers à cinq dimensions et la mécanique ondulatoire, Bull. Acad. Roy. de Belgique (5) 13 (1927) 304, 447, 573, 661.

L'électron magnétique et la mécanique ondulatoire, Compt. Rend. 184 (1927) 1540–1541.

La théorie des couleurs de Newton et ses adversaires, Isis 9 (1927) 44.

Le problème logique de la définition des nombres irrationnels, Isis 9 (1927) 345.

1928

(mit E. E. Witmer) Über die Hohlraumstrahlung und die Lichtquantenhypothese, Z. Phys. 47 (1928) 517–521.

(mit E. E. Witmer) Über die Beugung der de Broglieschen Wellen am Krystallgitter, Die Naturwissenschaften 16 (1928) 149.

(mit E. E. Witmer) Über die Beugung von de Broglieschen Wellen an Kristallgittern, Z. Phys. 48 (1928) 530.

Brechungsindex der Elektronen und Diamagnetismus, Die Naturwissenschaften 17 (1929) 49–50.

(mit E. E. Witmer) Über den Brechungsindex der Elektronenwellen, Z. Phys. 49 (1928) 534–540.

Quantenmechanische Theorie der natürlichen optischen Aktivität von Flüssigkeiten und Gasen, Z. Phys. 52 (1928) 161–174.

René-Francois de Sluse et le problème des tangentes, Isis 10 (1928) 416.

Le premier conflit entre la théorie ondulatoire et la théorie corpusculaire de la lumière, *Isis* 11 (1928) 111.

1929

Zur Theorie des Faradayeffekts, *Z. Phys.* 57 (1929) 835–854.

Über die longitudinalen Eigenlösungen der Heisenberg-Paulischen elektromagnetischen Gleichungen, *Z. Phys.* 58 (1929) 540–555.

Edmund Hoppe (1854–1928), *Isis* 13 (1929) 45–50.

1930

Bemerkung über die Invarianz der kanonischen Vertauschungsrelationen, *Z. Phys.* 63 (1930) 574–575.

Zur Quantelung der Wellenfelder, *Ann. der Phys.* (5) 5 (1930) 113–152.

Über die Gravitationswirkungen des Lichtes, *Z. Phys.* 65 (1930) 589.

1931

(avec J. Solomon) Sur la théorie quantique du rayonnement, *J. de Phys. et Rad.* (7) 2 (1931) 139–147.

(mit J. Solomon) Zur Theorie der Hohlraumstrahlung, *Die Naturwissenschaften* 19 (1931) 376.

Zur Kritik der Diracschen Strahlungstheorie, *Z. Phys.* 70 (1931) 454–462.

Zur korrespondenzmässigen Behandlung der Linienbreite, *Z. Phys.* 71 (1931) 273–278.

Bemerkung zur korrespondenzmässigen Behandlung des relativistischen Mehrkörperproblems, *Z. Phys.* 73 (1931) 253–259.

Über die quantentheoretische Behandlung der Strahlungsprobleme, *Estratto dagli »Atti del Convegno di Fisica Nucleare« della »Fondazione Alessandro Volta«* (1931).

1932

Über eine mögliche Fassung des Diracschen Programms zur Quantenelektrodynamik und deren formalen Zusammenhang mit der Heisenberg-Paulischen Theorie, *Z. Phys.* 76 (1932) 729–734.

La théorie quantique des champs, *Annales de l'Institut H. Poincaré* 2 (1932) 25–91.

Marcus Marcis Untersuchungen über das Prisma und ihr Verhältnis zu Newtons Farbentheorie, *Isis* 17 (1932) 325.

1933

(with Y. Cambresier) On the dissociation of molecules in the atmospheres of the stars of the main sequence, *Monthly Notices of the Roy. Astron. Soc.* 93 (1933) 710–723.

(mit N. Bohr) Zur Frage der Messbarkeit der elektromagnetischen Feldgrössen, *Mat.-Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk.* 12. no. 8 (1933).

The dissociation of molecules in the atmospheres of the carbon stars, *Monthly Notices of the Roy. Astron. Soc.* 93 (1933) 724–729.

1935

Kvanteteori og Feltfysik, *Fysisk Tidsskrift* 33 (1935) 109–121.

(with S. Chandrasekhar) Production of electron pairs and the theory of stellar structure, *Nature* 135 (1935) 999.

1936

Sur l'enseignement au Danemark, Bull. Assoc. Amis de l'Univ. de Liège 8 (1936) 135.

La première phase de l'évolution de la théorie des quanta, Osiris 2 (1936) 149.

1937

(with P. Swings) Considerations regarding interstellar molecules, Astrophys. J. 86 (1937) 483-486.

Le dualisme entre ondes et corpuscules, Archeion 19 (1937) 74.

1938

Remarques sur la question des précurseurs, Archeion 21 (1938) 74.

1939

(with C. Møller) Theory of mesons and nuclear forces, Nature 143 (1939) 241-242.

(with C. Møller) The electric quadrupole moment of the deuteron and the field theory of nuclear forces, Nature 144 (1939) 476-477.

(with C. Møller and S. Rozental) Connexion between the life-time of the meson and the beta-decay of light elements, Nature 144 (1939) 629.

1940

Über den Impuls-Energietensor, Mém. Acad. Roy. Belg. 18, no. 6 (1940) 3-30.

(with C. Møller) On the field theory of nuclear forces, Mat.-Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk. 17, no. 8 (1940).

Sur le tenseur d'impulsion-énergie, Mémoires Acad. Roy. de Belgique 8 (1940) no. 6.

1941

Wisselwerkingen tussen elementaire deeltjes, Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde 11 (1941) 124.

La genèse des principes de la thermodynamique, Bull. Soc. Roy. Sc. Liège 10 (1941) 199.

1942

Ontwikkeling van de causaliteitsidee, Inaugurale rede Univ. Utrecht, North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1942, p. 1-27.

Sur la définition du spin d'un champ de rayonnement, Bull. Acad. Roy. Belg. 27 (1942) 562.

Sur le comportement d'un ensemble canonique lors d'une transformation adiabatique, Amsterdam Proc. 45 (1942) 970.

(avec J. K. Lubanski) Sur la représentation des champs mésiques dans l'espace à cinq dimensions, Physica 11 (1942) 117-134.

Meson theories in five dimensions, Proc. of Nederl. Akad. van Wetenschappen 45 (1942) no. 2, 155-158.

L'évolution de l'idée de causalité, Mém. Soc. Sc. Liège 6 (1942) 59.

Über die Definition des Spins eines Strahlungsfeldes, Bull. Acad. Roy. Belg. (5) 28 (1942) 562-568.

1943

Polarisatieverschijnselen van electronenstralen, Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde 10 (1943) 53.

- (with C. Møller) Electromagnetic properties of nuclear systems on meson theory, *Mat.-Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk.* 20, no. 12 (1943) 1–66.
 Elementaire kernprocessen en energieproductie in sterren, *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde* 10 (1943) 365.
- 1944
 Utviklingen av Årsaksbegrepet, *Fra Fysikkens Verden* 49 (1944) 113.
 Wechselwirkungen zwischen elementare deeltjes, *Ned. T. Natuurk.* 11 (1944) 124.
- 1945
 (with J. K. Lubanski) On the disintegration of the deuteron by electron impact, *Experientia* 1, no. 6 (1945).
 Penetration of fast nucleons into heavy atomic nuclei, *Nature* 156 (1945) 141.
 Non-central coupling in the mixed meson theory of nuclear forces, *Mat.-Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk.* 23, no. 13 (1945).
 Niels Bohr, naar aanleiding van zijn 60e verjaardag, *De Vrije Katheder* 5, No. 28, 19 October 1945.
 Niels Bohr, an essay dedicated to him on his sixtieth birthday 1945, North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1945, sec. ed. 1961 (Nordita, No. 57).
- 1946
 Fysische verschijnselen in gasniveaus, *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde* 12 (1946) 156.
 De ontsluiting van de atoomkern, *De Arbeiderspers*, Amsterdam, 1946 (132 pp.).
- 1947
 The two-nucleon problem, *Phys. Soc. Cambridge Conf. Rep.* (1947) 133.
 On the method of history of science, *Archives Intern. d'Histoire des Sciences* 1 (1947).
- 1948
 Phenomenological description of nuclear forces and meson properties, *Research (supplem. vol. Colston papers)* (1948) 135.
 Nuclear forces, North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1948, XX-540 p.
 J. H. Lubanski (obituary), *Acta Phys. Pol.* 9 (1948) 63.
 Remarques sur l'organisation de la science. L'organisation de la recherche scientifique (Hommage national à Paul Langevin et Jean Perrin), Paris, 1948.
- 1949
 (with K. J. le Couteur) Canonical transformations of the Hamiltonian in meson field theory, *Phil. Mag.* (7) 11 (1949) 151.
 Some impressions of University life in Belgium and Holland, *Universities Quarterly* 3 (1949) 593.
- 1950
 (with N. Bohr) Field and charge measurements in quantum electrodynamics, *Phys. Rev.* 78 (1950) 794–798.
 Professor Einstein's dilemma, *The Listener* 44 (1950) 823.
 Stationary states of light nuclei, *Helv. Phys. Acta* 23 suppl. 3 (1950) 211–224.
 Meson fields and nuclear forces, *Progr. Theor. Phys.* 5 (1950) 519–522.

Early history of quantum mechanics, *Nature* 166 [1950] 883–884.

Problems of nuclear forces. »Les particules élémentaires«, Rapports et discussions du 8e conseil de physique Solvay (1950) 179.

1951

Outlook of the philosophy of science, Convocation address Patna University 1951.

Theory of electrons, North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1951 and Dover Publications Inc., New York, 1965.

Electromagnetic properties of nuclei and nuclear structure, *Physica* 17 (1951) 461.

The Joule Museum Salford, *Nature* 168 (1951) 721 (by J. Maddox).

1952

Joule's scientific outlook, *Bull. Brit. Soc. Hist. Sc.* 1 (1952) 169.

Prof. H. A. Kramers (obituary), *Nature* 170 (1952) 99–100.

L'exploration du noyau atomique, Paris, Hermann 1952.

The ghost of the »aether«, *Manchester Guardian* 19th Jan. 1952.

L'évidence de la complémentarité, in Louis de Broglie, physicien et penseur, Paris, Albin Michel, 1952.

1953

(avec N. Bohr) Mesure des champs et de la charge en électrodynamique quantique, Colloques Internationaux du CNRS (38, Particules Fondamentales et Noyaux, 1959) Paris 1953, p. 87.

The philosophy of atomic physics, *The Listener* 49 (1953) 215–216, 253–254, and *Kagaku* (in Japanese) 25 (1955) 285, 361.

Strife about complementarity, *Science Progress* 163 (1953) 393–410.

Collisions entre nucléons et propriétés nucléaires, *Coll. Int. du Centre Nat. de la Rech. Scient.* 38 (1953) 117.

Problems of interpretation of quantum electrodynamics, *Physica* 19 (1953) 859.

Introduction to »Essays on the Social History of Science«, *Centaurus* 3, No. 1–2, 1953, pp. 7–11.

Problèmes d'interprétations en électrodynamique quantique, *J. de Phys. Radium* 14 (1953) No. 12, 66 p.

1954

Causalité statistique et ordre en physique et en biologie, *Sep. Anais da Acad. Brasileira de Ciencias*, 26 (1954) 47–50.

A filosofia da física atomica, *Ciencia e Cultura* 6 (1954) 67–72.

La responsabilité sociale de l'homme de science, *Comprendre* no. 12 (1954).

Rationalism in antiquity, *Bulletin British Soc.: Hist. of Sc.*, Vol. 1, No. 10, 1954.

Social conditions and the development of science, *Nature* 173 (1954) 1102.

Marie Curie celebrations in Warsaw, *Nature* 174 (1954) 959–960.

1955

On the foundations of statistical thermodynamics, *Acta Phys. Polon.* 14 (1955) fasc. 1–2.

On quantum electrodynamics, in Niels Bohr and the development of Physics, Pergamon Press, London, 1955, pp. 70–95.

J. Podolanski (obituary), *Nature* 175 (1955) 795.

1956

Conclusions, Amsterdam Nuclear Reactions Conference, *Physica* 22 (1956) 1115–1123.

Remarks on the charge distribution in nuclei, *Nucl. Phys.* 2 (1956) 450.

O rasseyanii bystrykh chastits yadrami (On the scattering of fast particles by nuclei), *Usp. Fiz. Nauk* 60 (1956) 565.

(with A. P. Hatton) An analysis of Joule's experiments on the expansion of air, *Centaurus* 4 (1956) 311.

The velocity of light and the evolution of electrodynamics, *Suppl. Nuovo Cim.* 4 (1956) 1630.

Review of J. D. Bernal's *Science in History*, *Centaurus* 4 (1956) 285.

1957

Misunderstandings concerning the principles of quantum theory, *Colston Papers*, vol. 9 (Butterworths Scientific Publications, London 1957).

Komplementarnose, *Kosmos B* 3 (1957) 257.

Rozkład ładunku w jadrach (Charge distribution in nuclei), *Postepy Fizyki (Warsaw)* 8 (1957) 407.

1958

Nuclear orientation, *Physica* 24 (1958) Suppl. 63.

Complementarity and Statistics, I-II, *Det Kgl. Norske Vid. Selsk. Forh.* 31, nos. 9–10 (1958) 9 pp. (Nordita No. 2).

1959

Interactions nucléaires aux basses énergies et structure des noyaux – Conclusions, *Comptes Rendus du Congrès International de Physique Nucléaire, Paris 1958* (Dunod, Paris, 1959) 319–332 (Nordita No. 22).

Max Planck et la définition statistique de l'entropie, *Max-Planck-Festschrift* (1958) 203–211, *VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1959* (Nordita No. 25).

Jacques Solomon, in «A la mémoire de 15 savants français assassinés par les Allemands 1940–1945» (Comité à la mémoire des savants français victimes de la barbarie allemande 1940–1945, Paris 1959) p. 25.

The statistical character of atomic processes, *Current Science* 28 (1959) 227.

1960

Introductory considerations on elementary constituents and their interactions, *Rendiconti della Scuola Intern. di Fisica, corso 11, Varenna, 1959* (Zanichelli, Bologna, 1960) 1–8 (Nordita No. 44).

Oriented nuclei, *Rendiconti della Scuola Intern. di Fisica, corso 11, Varenna, 1959* (Zanichelli, Bologna, 1960) 197–250 (Nordita No. 45).

The correspondence of Isaac Newton, vol. 1: 1661–1675, ed. by H. W. Turnbull (book review), *Nature* 187 (1960) 537–538 (Nordita No. 39).

Hasard et nécessité dans la nature, *Bull. de l'Institut Français de Copenhague* 76 (1960) 109–112.

Heisenberg, *Physics and Philosophy*, Review of »The Revolution in modern science«, *Nature* 186 (1960) 830.

1961

- Marginalia to Newton's correspondence, *Isis* 52 (1961) 117–119 (Nordita No. 56).
 On the isolated and adiabatic susceptibilities, *Physica* 27 (1961) 67–78 (Nordita No. 55).
 The correspondence of Isaac Newton, vol. 2: 1676–1687, ed. by H. W. Turnbull (book review), *Nature* 189 (1961) 171–172 (Nordita No. 49).
 (with J. Humblet) Theory of nuclear reactions (I). Resonant states and collision matrix, *Nucl. Phys.* 26 (1961) 529–578 (Nordita No. 62).
 Theory of nuclear reactions (II). The foundation of the optical model, *Nucl. Phys.* 26 (1961) 579–593 (Nordita No. 63).
 Ryosiron no Kiso to Sohosei, *Nippon Buturigakkai Si* (J. Phys. Soc. Japan) 16 (1961) 218–226 (Nordita No. 58).
 Foundations of Quantum Theory and Complementarity, *Nature* 190 (1961) 384–388 (Nordita No. 59).
 Atomforskeren, Om atomfysikerens opgaver, mål og arbejdsmetoder, *Perspektiv* 8 (1961) 31.

1962

- Phénoménologie des forces nucléaires. Colloque sur la physique nucléaire des basses énergies, Institut Interuniversitaire des Sciences Nucléaires, Bruxelles (1962) 355–375 (Nordita No. 95).
 The correspondence of Isaac Newton, vol. 3: 1688–1694, ed. by H. W. Turnbull (book review), *Nature* 195 (1962) 414–416 (Nordita No. 82).
 Questions of irreversibility and ergodicity, *Rendiconti della Scuola Intern. di Fisica, corso 14, Varenna 1960* (Zanichelli, Bologna, 1962) 1–20 (Nordita No. 69).
 Nogle minder om Niels Bohr, *Fysisk Tidsskrift* 60 (1962) 65–75 (Nordita No. 105).
 Niels Bohr 7. oktober 1885–18. november 1962, Niels Bohrs indsats i epistemologi, *Overs. Dan. Vid. Selsk.* (1962–1963) 90–97 (Nordita No. 109).
 Einstein i razvitiye fiziko-matematicheskoi mysli (Einstein and the development of physical-mathematical thought) (sbornik statei) *Izd. Akad. Nauk, Moscow* (1962) 89–93.
 Miss Margrethe Have (in memoriam), *Nucl. Phys.* 31 (1962) 689.
 Complementarity, *ICSU Review* 4 (1962) 42–47 (Nordita No. 66).
 Le Conflit Epistémologique entre Einstein et Bohr, *Revue de Métaphysique et de Morale* 67 (1962) 147–151 (Nordita No. 92).
 The foundation of the optical model. Proc. of the Conference on direct interactions and nuclear reaction mechanisms, Padua 1962 (Gordon and Breach, New York, 1963) 69–79 (Nordita No. 112).

1963

- Niels Bohr, On the constitution of atoms and molecules, Reprint of 1913 papers with an Introduction by L. Rosenfeld, Munksgaard Ltd., Copenhagen, 1963. XI–LIII.
 Niels Bohr, 7 October 1885–18 November 1962, *Nucl. Phys.* 41 (1963) 1–16 (Nordita No. 100).

- Matter and force after fifty years of quantum theory, ed. by S.K. Runcorn (book review), *Physics in the sixties* ch. II, 9–30 (Oliver and Boyd, London, 1963) (Nordita No. 120).
- On quantization of fields, *Nucl. Phys.* 40 (1963) 353–356 (Nordita No. 97).
- The epistemological conflict between Einstein and Bohr, *Z. Phys.* 171 (1963) 242–245 (Nordita No. 91).
- Niels Bohr (7 October 1885–18 Novembre 1962), *Bulletin de la Société Belge de Physique*, Sér. III, No. 4 (1963) 252–256 (Nordita No. 110).
- Niels Bohr's contribution to epistemology, *Physics Today* 16, no. 10 (1963) 47–52 & 54 (Nordita No. 121).
- Nogle minder om Niels Bohr, *Fysisk Tidsskrift* 60 (1963) 65–75 (Nordita No. 105).
- 1964
- Isaac Newton, *Historian*, F. E. Manuel (book review: Newton as a historian), *Nature* 202 (1964) 43 (Nordita No. 125).
- Niels Bohr, *Voprosy Istorii Estestvoznaniia i Tekhniki*, no. 17, 1964.
- 1965
- Niels Bohr et sa contribution à l'épistémologie, *Nucleus* 6 (1965) 167–172 (Nordita No. 185).
- The measuring process in quantum mechanics. *Suppl. Prog. Theor. Phys.*, Commemoration Issue for the 30th anniversary of the meson theory by Dr. H. Yukawa (1965) 222–231 (Nordita No. 186).
- Newton and the law of gravitation, *Arch. Hist. Exact Sc.* 2 (1965) 365–386 (Nordita No. 173).
- Theory of nuclear reactions (VIII). Time evolution of the scattering process, *Nucl. Phys.* 70 (1965) 1–27 (Nordita No. 167).
- On the foundations of the theory of nuclear reactions, *Proc. Int. Conf. on Elementary Particles*, Kyoto, 1965 (Kyoto, 1966) 182–205.
- 1966
- Quantentheorie und Gravitation, *Einstein-Symposium vom 2. bis 5. November 1965 in Berlin*, Akademie-Verlag, Berlin (1966) 185–197 (Nordita No. 200).
- Tale ved Universitetets Minnehøjtidelighed for Professor Niels Bohr torsdag den 7. oktober 1965, *Fra Fysikkens Verden* 28 (1966) 70–72 (Nordita No. 221).
- 1967
- Descartes i Uppsala, *Striderna om »nya filosofien« 1663–1689*, Rolf Lindborg (book review), *Isis* 58 (1967) 136 (Nordita No. 243).
- The mathematical paper of Isaac Newton, vol. 1: 1664–1666, ed. by D. T. Whiteside (book review), *Nature* 216 (1967) 305 (Nordita No. 248).
- 1968
- Questions of method in the consistency problem of quantum mechanics, *Nucl. Phys. A* 108 (1968) 241–244 (Nordita No. 254).
- The method of physics (Unesco Report, 1968).
- The mathematical papers of Isaac Newton, vol. 2, ed. by D. T. Whiteside (book review: For scientists and historians), *Nature* 218 (1968) 989–990 (Nordita No. 269).

- The correspondence of Isaac Newton, vol. 4: 1694–1709, ed. by J. F. Scott (book review), *Nature* 217 (1968) 485 (Nordita No. 255).
- The conception of the meson field: Some reminiscences and epistemological comments, *Suppl. Progr. Theor. Phys.* 41 (1968) C1–C7 (Nordita No. 298).
- Prospects of the theory of nuclear structure and nuclear reactions. Proc. of the Int. Conf. on nuclear structure, Tokyo 1967, *Suppl. J. Phys. Soc. Jap.*, 24 (1968) 9–13 (Nordita No. 264).
- Dynamical theory of nuclear resonances, in *Spectroscopic and group theoretical methods in physics*, Racah memorial volume (North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1968) 203–230 (Nordita No. 278).
- Coupling between compound and single-particle resonances, Addendum to »Dynamical theory of nuclear resonances«, in: *Spectroscopic and group theoretical methods in physics*, Racah memorial volume (North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1968) 203–230 (Nordita No. 278).
- The structure of quantum theory, Lecture given at 12^e Congrès Int. d'Histoire des Sciences, Paris, 1968, *Revue de Synthèse*, 3, nos. 49–52 (1968) 257–267 (Nordita No. 307).

1969

- Celestial and terrestrial physics in historical perspective, in: *The application of modern physics to the earth and planetary interiors*, ed. by S. K. Runcorn, Wiley-Interscience, London, 1969, p. 1–6 (Nordita No. 304).
- The mathematical papers of Isaac Newton, vol. 3, ed. by D. T. Whiteside (book review: Newton's thinking), *Nature* 224 (1969) 89 (Nordita No. 312).
- Newton's views on aether and gravitation, *Arch. Hist. Exact. Sc.* 6 (1969) 29–37 (Nordita No. 313).
- Summary talk. Int. Conf. on clustering phenomena in nuclei, Bochum, 1969 (IAEA, Vienna, 1969) 197–201 (Nordita No. 339).
- Flicker in the darkness, Nicole Oresme and the medieval geometry of qualities and motions, ed. by Marshall Clagett (book review), *Nature* 222 (1969) 197 (Nordita No. 377).
- Atombegrebets forvandlinger gennem tiderne, *Fysisk Tidsskrift* 2–3 (1967) 78–91 (Nordita No. 314).

1970

- Natural law and the structure of matter, W. Heisenberg (book review: Berkeley redivivus), *Nature* 228 (1970) 479 (Nordita No. 372).
- Aspects techniques et sociaux du développement des organismes européens de recherche scientifique, *Le Monde Scientifique* 14 (1970) 13–15.
- Technical and Social Aspects of the Development of the European Scientific Research Organizations, *Scientific World* 14 (1970) 9–10.
- Unitarity of the collision matrix and interdependence of resonance parameters. *Acta Physica Pol.* (Niewodniczanski Festschrift) A 38 (1970) 603–619 (Nordita No. 380).
- L'évolution des conceptions scientifiques d'Ørsted, 1970. *Overs. Dan. Vid. Selsk.* 1970–71 (1971) 138–154.

1971

Sociale og individuelle aspekter af naturvidenskabens udvikling, *Fysisk Tidsskrift* 4-5 (1971) 97-106 (Nordita No. 412).

Men and ideas in the history of atomic theory, *Arch. Hist. Exact Sc.* 7 (1971) 69-90 (Nordita No. 382).

Quantum theory in 1929, *Recollections from the first Copenhagen conference* (Rhodos, Copenhagen, 1971) 15 pp. (Nordita No.387).

Quelques réflexions sur la connaissance, *Volume Jubilaire Louis d'Or, Mémoires de la Soc. Roy. Sc. Liège, 6^e série, tome I, fasc. 2* (1971) 187-190 (Nordita No. 400).

Erkendelsesteori på naturvidenskabeligt grundlag, *Physica Norvegica* 5 (1971) 319-326 (Nordita No. 424).

Unphilosophical considerations on causality in physics, *in Perspectives in quantum theory, essays in Honor of Alfred Landé* (ed. Yourgrau and van der Merve) (The MIT Press, 1971) 219-35 (Nordita No. 434).

1972

(with C. George and I. Prigogine) The macroscopic level of quantum mechanics. *Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk.* 38, no. 12 (1972) 1-44 (Nordita No. 466).

Nuclear reminiscences, in *Cosmology, fusion & other matters, George Gamow memorial volume*, ed. Frederick Reines (Colorado Associated University Press, 1972) 289-299 (Nordita No. 469).

General introduction to irreversibility, in *Irreversibility in the many-body problem*, ed. by J. Biel and J. Rae, Plenum Publishing Corp., 1972 (Nordita No. 527).

Introduction to Niels Bohr. *Collected works. Vol. 1*, North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1972.

(with C. George and I. Prigogine) The macroscopic level of quantum mechanics, *Nature* 240 (1972) 25-27 (Nordita No. 477).

Condillac's influence on French scientific thought, ed. by P. Fritz & D. Williams. *The Triumph of culture: 18th century perspectives* (A. M. Hakkert Ltd., Toronto 1972) 157-168 (Nordita No. 497).

1973

(with I. Prigogine, C. George and F. Henin) A unified formulation of dynamics and thermodynamics. *Chemica Scripta* 4 (1973) 5-32 (Nordita No. 504).

The wave-particle dilemma, *in The physicist's conception of nature*, ed. by J. Mehra, 251-263, D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, 1973 (Nordita No. 528).

1974

Irreversibility - a Lay Sermon, 1974.