





Det Kongelige Norske  
Videnskabs Selskabs Skrifter  
(Kgl. Norske Vidensk. Selsk. Skr. 2011 (4), 93-102)

**Christian Møller**  
*The Concepts of Mass and Energy in the General  
Theory of Relativity I-II*  
DKNVS Forhandlinger 1958<sup>1</sup>

**Iver H. Brevik**

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Christian Møller (22.12 1904 – 14.1. 1980) var en fremtredende representant for dansk fysikk gjennom et halvt århundre, så vel innenfor forskning som innen undervisning i København på den teoretiske fysikks område. Og hans innflytelse strakte seg vidt utenfor Danmark – det er ikke få av de nåværende og tidligere vitenskapelige ansatte ved nordiske universiteter som minnes hans virke med takknemlighet. Dette på grunn av hans innsats som lærer, som vitenskapsmann, og som direktør for NORDITA, det nordiske institutt for teoretisk atomfysikk som ble lagt til København. Da dette instituttet ble opprettet i 1957 ble Møller dets naturlige leder, og han fungerte som direktør gjennom fjorten år fram til 1971. Dette var en meget fruktbar periode for det nordiske samarbeid innen teoretisk fysikk. I perioden 1959-1980 var han sekretær for det Kongelige Danske Videnskabs Selskab i København, og han var utenlandsk medlem av vårt DKNVS. Han påtok seg også verv innen det internasjon-



*C. Møller*

<sup>1</sup> DKNVS Forhandlinger Bd. 31, 1958, nr. 13: s. 80-84, nr. 14: s. 85-91.

nale vitenskapelige samarbeid, således var han i en lang årrekke medlem av CERNs Scientific Policy Committee. Christan Møllers innsats var alltid høyt verdsatt i internasjonale fora, ikke bare på grunn av hans store faglige innsikt, men også på grunn av hans store klokskap og evne til nøktern vurdering, uimponert og upåvirket som han var av flyktige stemningsbølger. En lykke for skandinavisk fysikk var det at han holdt fast ved sitt ærverdige alma mater, universitetet i København. Han ble dosent i matematisk fysikk (1940-43), e.o. professor (1943-74), dekanus (1947-48), upåvirket av at velkjente utenlandske universiteter (bl. a. Chicago 1949), søkte å knytte ham til seg.

Christian Møller var født på Als i Sønder-Jylland i 1904 som sønn av grosserer Jørgen og hustru Marie (f. Terkelsen) Møller. Han gikk på tysk skole, først på landsbyskole i Notmark, deretter i Sønderborg. Ved gjenforeningen kom han i dansk gymnasium og ble i 1923 student fra Sønderborg statskole. Som student i København fikk han universitetets gullmedalje for sin magisterkonferens (1929). Han ble gift med Kirsten Pedersen i 1931. Det gjestfrie hjem som de etablerte i Frøhlichs vei 42a, er noe som NORDITAs mange nordiske stipendiater så vel som andre gjester ser tilbake på med glede.

Møllers evner som foreleser var velkjent. Han foreleste i alle de klassiske grunndisipliner innen teoretisk fysikk: Analytisk mekanikk, elastisitetsteori, elektrodynamikk, statistisk mekanikk, kvantemekanikk og relativitetsteori. Med sin klare tanke og framstillingsevne kunne hans forelesninger være en opplevelse, og vil naturlig nok derfor bli husket av en hel generasjon av studenter på Niels Bohr instituttet. Faktisk er hans forelesningskunst blitt sammenlignet med musikk av de store utøvende mestere. Ikke så rart derfor, kanskje, at Møller selv var meget musikalsk og spilte fiolin, med forkjærlighet især for Mozart.

La oss se nærmere på Møllers vitenskapelige løpebane. Hans interesse for fysikken ble tidlig vakt; allerede i gymnasårene var han fengslet av den skjønnhet som ligger i relativitetsteoriens utvidelse av begrepene rom og tid. Hans studietid falt nettopp i den periode i 1920-årene hvor kvantemekanikken ble skapt, og han ble hurtig trukket inn i den livlige aktivitet på dette område ved Institut for Teoretisk Fysik (senere navn Niels Bohr Institutet). Problemene omkring utviklingen av relativistisk kvantemekanikk var på den tid kommet sterkt i forgrunnen, og det lyktes den unge Møller å yte et betydningsfylt bidrag til denne utviklingen gjennom sin behandling av støt mellom to relativistiske elektroner (1931- 32). Prosessen går nå under navn av *Møller-spredning*, og er et emne som behandles i grunnleggende kurs i kvanteelektrodynamikk som systematisk ledd i andre ordens perturbasjonsteori.

Møller fortsatte i de følgende årtier sitt virke i fronten av den relativistiske kvantemekanikk. Han leverte flere betydningsfulle bidrag i forbindelse med

Diracs positronteori, og også i forbindelse med Fermis teori for beta-spaltning. Da Yukawa fremsatte sin mesonteori for kjernekreftene tok Møller sterkt del i denne nye gren av kvantefeltteorien, og han kom i denne forbindelse i et fruktbart samarbeid med Léon Rosenfeld, senere professor ved NORDITA.

Et hovedproblem i utviklingen av kvantefeltteorien har vært de divergenser som en f. eks. finner knyttet til partiklers selvenergi. Disse spørsmålene beskjefte Møller gjennom mange år. I 1940-årene forsøkte Heisenberg med sin S-matriseteori å omgå divergensene ved å gi avkall på analytisk beskrivelse av partiklenes vekselvirkning over korte avstander og basere teorien i stedet på partiklenes observerbare begynnelses- og slutttilstander i en atomær prosess. Møller ga et betydningsfullt bidrag til den videre utforming av denne teori (1945-46). Hans analyse av spredningsmatrisens almene egenskaper, noe som følger av kvantemekanikkens prinsipper kombinert med relativistisk invarians, er blitt stående som et resultat av varig verdi selv om Heisenbergs opprinnelig program er forlatt.

Enkelte av Møllers vitenskapelige bidrag ble aldri publisert ut over forelesningene. Et slikt er det såkalte trykkensemblet i den statistiske mekanikk. Ifølge Harald Wergeland var Møller den første som presenterte trykkensemblet som en naturlig implikasjon av Gibbs' generelle prinsipper. Det ble gjenoppdaget ca 20 år senere av flere forfattere. Innenfor varmelæren rådet ennå i 1930-årene en eiendommelig uklarhet, især om begrepet temperatur. Det var Niels Bohr som først forklarte den egentlige sammenheng mellom de store klassiske systemer i statistisk fysikk (Clausius, Thomson, Maxwell, Boltzmann) og Gibbs' termodynamikk. Kortest kan dette sammenfattes i Bohrs identifisering: Energi og temperatur er komplementære begreper. Møller inkluderte denne innsikt i et matematisk språk, lettere å forstå for studenter enn de mer generelle betraktninger.

Møller hadde god kontakt med fysikkmiljøet i Norge, ikke minst på grunn av hans vennskap med Harald Wergeland, mangeårig preses av DKNVS. Og det var nettopp Wergeland som på Høytidsdagen 26.02.1958 fremla to av Møllers artikler, inneholdende en studie av masse- og energibegrepene i generell relativitetsteori (GR) [1]. Feltenergibegrepet i GR har i alle år vært problematisk, noe som skyldes at gravitasjonsfeltet er et åpent system på samme måte som det elektromagnetiske felt er det i spesiell relativitetsteori, i et kontinuerlig dielektrisk medium. Med hensyn til begrepet energi og energitetthet er det i GR så vel som i klassisk elektromagnetisk teori et visst spillerom for valg mellom flere alternativer. Allerede Einstein hadde utledet et uttrykk for den totale energi  $E$  i GR i form av et integral over det fysiske tredimensjonale volum. I dette uttrykk opptrer en størrelse  $h_t$  kalt total energitetthet, nemlig summen av materie-, energi og feltenergi. Der er imidlertid en vanskelighet med Einsteins teori: Tettheten  $h_t$

transformerer ikke som en skalar størrelse under romlige koordinattransformasjoner, slik som den burde gjøre. Og det er her Møllers alternative fremgangsmåte kommer inn: Han foreslo å benytte et annet uttrykk for energitettheten, kalt  $h$ , med den egenskap at den transformerer som en skalar under de nevnte romlige transformasjoner og likevel er forenlig med Einsteins uttrykk for  $E$  så lenge som en begrenser seg til såkalte kvasi-Galileiske koordinatsystemer.

De to nevnte (sammenhengende) artikler publisert i DKNVS' Forhandlinger er hovedsakelig av didaktisk interesse, som Møller selv bemerket i innledningskapitlet. Men de inneholder likevel essensen av den store avhandling som Møller like etterpå publiserer i *Annals of Physics* [2]. På det vis kan en si at vårt Selskab fikk gleden av å kunnngjøre et viktig resultat i GR, i en kortfattet preliminær form.

Generell relativitetsteori var i det hele tatt Møllers store pasjon. Til denne vendte han tilbake i 1950-årene, og var engasjert med dette emne de siste 25 årene av sitt liv. I 1952 kom hans lærebok «*The Theory of Relativity*» (både den spesielle og den generelle), basert på forelesningsserier holdt gjennom 20 år. Boken ble snart en klassiker på feltet; Møller ble i flere tiår anerkjent som kanskje den grundigste kjenner av relativitetsteorien. I 1972 kom en ny og sterkt utvidet utgave. I mellomtiden hadde det skjedd en rik utvikling som hadde ledet til en langt dypere forståelse av den matematiske struktur så vel som det fysiske innhold av den generelle relativitetsteori. Framskritt på den eksperimentelle side hadde samtidig ført til nye og mer nøyaktige tester av teorien, og åpnet veien for helt nye anvendelse i astrofysikk og kosmologi. I denne spennende utvikling deltok Møller meget aktivt, med tallrike avhandlinger og diskusjoner i forskjellige fora og kom dermed til å stå som en sentral skikkelse i det internasjonale samarbeid på den generelle relativitetsteoriens område.

Et begrep som skyldes Møller og som diskuteres i våre dagers fora er hans «energy-momentum complex». Igjen er den fysiske årsaken til dette begrepet at gravitasjonsfeltet er et åpent system. Etersom en er nødt til å benytte krumlinjekoordinater i GR, vil den konvensjonelle divergens kjent fra spesiell relativitetsteori byttes ut med den kovariante divergens. I sin tur fører dette til den valgfrihet for uttrykket for energitettheten som nevnt ovenfor. Møllers energy-momentum complex er ett av de mest aktuelle alternativer i denne sammenheng. Der er også andre forslag, især det som ble fremsatt av russerne Landau og Lifshitz.

Christian Møller var opptatt av vitenskapelige problemer så lenge han levde. Listen over hans vitenskapelige publikasjoner omfatter ca 120 arbeider. Han døde etter en kort lungebetennelse i januar 1980. Hans mange medarbeidere og venner, inkludert ikke få av hans tidligere studenter, vil med takknemlighet

bevare minnet om hans fornemme personlighed, hvori godlynt humor og fasthet ble kombinert på en harmonisk måte.

## Litteratur

- [1] C. Møller: «The Concepts of Mass and Energy in the General Theory of Relativity», I-II, DKNVS Forhandlingler **31**, nr. 13 og 14, 1958.
- [2] C. Møller: «On the Localization of the Energy of a Physical System in the General Theory of Relativity», Annals of Physics (N.Y.) **4**, 347, 1958.

## Summary

Christian Møller was a prominent representative of Danish theoretical physics during half a century, well known within research and also as a splendid lecturer. He worked for the whole of his scientific life at the University of Copenhagen. He was born in 1904 in Jylland. He became fascinated by the beauty of physics, especially by relativity theory, at an early age. He was associated with the Institute of Theoretical Physics already in the 1920's, and was there deeply influenced by his highly admired master Niels Bohr, and the stimulating atmosphere at this institute. This was the time when relativistic quantum mechanics was being developed. Møller succeeded in calculating the collision process between two relativistic electrons as early as 1930-31. Nowadays, calculations of this sort are made routinely in courses on QED as an example of second order perturbative theory, but in those days the systematic perturbative technique was not yet developed. Møller instead made use of an intricate argument, invented by himself, to derive the correct result. Electron-electron scattering is nowadays simply called *Møller-scattering*.

In the years to come, Møller continued to be deeply involved in quantum mechanical problems of current interest: Dirac's positron theory, the theory of beta decay, and Yukawa's meson theory. He also made significant contributions to the theory of the S matrix, based upon basic principles from quantum mechanics and relativity.

In the last 25 years of his life, Møller returned to the main passion of his scientific life, namely general relativity. His textbook «The Theory of Relativity» from 1952, containing both the special and the general relativity, became rapidly a classic in the field. The second and much expanded version the book was published in 1972. In the meantime, significant achievements had been made both on the theoretical and on the experimental side, and Møller became quite naturally a central figure in this lively scientific community.

When NORDITA was established in Copenhagen in 1957 Møller became its first director, and he had this position until 1971. He took also other administrative duties, in connection with CERN.

Møller remained scientifically active until the end of his life. He died in January 1980, after a brief period of illness. His many friends will remember him not only as a great scientist but also as a very kind man, possessing personal integrity and a good sense of humor.

