



## Minnetale over professor Jon Gjønnes

Holdt på møte  
10. februar 2022

A handwritten signature in black ink that reads "Jon Gjønnes". The signature is written in a cursive, slightly slanted style.

Av Vidar Hansen og Johan Taftø

Jon Kjell Gjønnes, født 26. Januar 1931, vokste opp i Brevik med to eldre brødre, mor og far. Hjemmet var preget av bøker og samfunnsengasjement med en mor som jobbet på biblioteket og en far som var lærer og ordfører i Brevik etter krigen. Det var en kunnskapshungrig familie hvor kunnskap var sett på som viktig. De tre sønnene i familien tok alle universitetsutdannelse. Med arven fra hjemmet har Jon bidratt sterkt til fellesskapet med et utrettelig engasjement for forskning, undervisning og politikk. Hans overordnede syn på forskningens rolle var at den skulle gjøre en forskjell, en forskjell som direkte eller indirekte kom samfunnet til gode. Jon Gjønnes var gift med Joy Suzanne Marry Gjønnes. De fikk døtrene Kjersti og Liv. Familien betydde mye for Jon, og han hadde stor omsorg for dem. Sorgen var stor da Joy gikk bort i 2004. I bunn for hans akademiske karriere lå gradene cand. real. og dr. philos. som ble avlagt ved Universitetet i Oslo (UiO) i årene 1957 og 1967. I tiårsperioden 57–67 arbeidet Jon et par år ved Senter for Industriforskning (SI), i dag SINTEF; var flere år i Australia, Melbourne, og noen år ved UiO.

Når familien reiser til Melbourne på slutten av 50-tallet, som passasjerer på et lasteskip, er det for å jobbe i det sterkeste miljøet innen elektrondiffraksjon. En gruppe unge talenter jobber her under ledelse av den legendariske John Cowley, som utvikler mangestråle dynamisk teori for beregninger av elektron-diffraksjon, så vel som avbildning med atomær romlig oppløsning.

Tiden i Melbourne la grunnlaget for fem teoretisk tunge artikler, som samles under tittelen «On the Treatment of Weak and Diffuse Beams in Electron Diffraction» i hans doktoravhandling.

Med sterk teoretisk bakgrunn, og ansettelse ved Fysisk institutt ved UiO i 1965, anskaffer han universitetets første transmisjonselektronmikroskop i 1968. Med sitt sterke engasjement, store arbeidskraft, dype innsikt i faget og politisk teft, bygger han opp et sterkt miljø innen elektronmikroskopi og diffraksjon på 70-tallet, samtidig som han har administrative plikter som instituttleder, er politisk aktiv i Bærum, og er småbarnsfar. Etter at han i 1979–1981 har hatt permisjon for å være politisk rådgiver i Kommunaldepartementet, blir han i 1982 oppnevnt til professor i statsråd.

På slutten av 80-tallet etablerer han en egen forskningsgruppe ved Fysisk institutt: Strukturphysikkgruppen. Forskningsgruppen flytter til Forskningsparken rundt 1990, sammen med en gruppe kjemikere og etablerer Senter for Materialforskning. Senterets første leder var kjemikeren Per Kofstad. Strukturphysikkgruppen har vokst etter flytting til Forskningsparken, og har i dag blant de mest avanserte transmisjonselektronmikroskop. Nærmere 150 mastergrader og 50 doktorgrader er avlagt i årenes løp, mange av disse har vært veiledet av Jon Gjønnes. Jon representerer i starten av sin akademiske karriere fremfor alt den kreative *viten-skaperen* med vekt på grunnforskning. Senere blir han mer *viten-brukeren*, der anvendt forskning står i fokus.

Student- og stipendiatårene falt sammen med tiden da kvantemekanikken fikk innpass i studier av materialer. Og faststoff-fysikken med metallurgi som en integrert del, ble etter hvert en selvstendig disiplin. Et felt i tillegg til kvantemekanikken for å forstå materialer, særlig å kartlegge materialers oppbygging på nanometerskala, ja på subnanometer- og atomær skala, er krystallografien basert på røntgendiffraksjon, nøytrondiffraksjon og i økende grad elektrondiffraksjon. Faseproblemet, «the phase problem in crystallography», var i fokus. Faseproblemet er en følge av at vi bare kan detektere intensiteten ved observasjon, ikke amplituden med tilhørende fase. Dette tapet av informasjon «forklares» ved at den kvantemekaniske bølgefunksjonen kollapser i deteksjonsøyeblikket.

Et gjennombrudd var den såkalte «direkte metoden». Den er basert på å anvende statistiske metoder på intensitetsdata og matematiske føringer (constraints), som for eksempel det at elektrontettheten ikke kan være negativ i et stoff. Hvor direkte den direkte metoden er, avhenger av hva man legger i ordet direkte. Den er ikke basert på måling av faser og fasevinkler.

På denne tiden hadde også lasere og holografi med synlig lys sitt gjennombrudd. I holografi interfererer en lysbølge fra objektet med en koherent referansebølge, og man oppnår en tredimensjonal rekonstruksjon av motivet.

Jon ble nok inspirert av både faseproblemet og holografien: Faseproblemet signaliserer utfordringen og holografien signaliserer muligheten.

På samme måten som i holografi, så Jon nytten av å la diffraksjonsstråler, kalt Bragg-stråler, interferere i forbindelse med spredning av elektroner i krystaller. Dette åpner nye muligheter da elektroner akselerert med noen få hundre kilovolt vekselvirker sterkt med atomene i krystallen. Selv i krystaller tynnere enn 10 nanometer dannes mange Bragg-stråler som interfererer. Krystallen i elektrondiffraksjon får da funksjon tilsvarende stråle-deleren i holografi som splitter laserstrålen i objektbølge og referansebølge. Enkelt sagt kan man se på én av Bragg-strålene som referansebølgen.

Den sterke vekselvirkningen mellom elektroner og stoff kan også være en ulempe ved at Bragg-reflekser som ifølge krystallens symmetri (romgruppen) ikke skal eksistere grunnet skruerakser eller glideplan, kan oppstå, selv i tynne krystaller, ved to eller flere gangers spredning.

I noen av sine første publikasjoner behandler Jon elektrondiffraksjon fra krystaller hvor mange stråler interferer i krystallen. Et av de teoretiske arbeidene, «Extinction conditions in the Dynamic Theory of Electron Diffraction», kommer til å knytte Jon og medforfatteren, australieren Alex Moodie, sine navn til elektrondiffraksjonen [1]. Dette arbeidet ble en klassiker innen krystallstudier med elektroner (i dag referert til som elektronkrystallografi). Her viste de at man eksperimentelt kan finne ut om observerte reflekser skyldes multipel spredning.

Vi er nå i midten av 1960-årene, og Jon er blitt fast ansatt ved Fysisk institutt, UiO. Han fikk ganske umiddelbart muligheten til å bygge opp og lede elektronmikroskoplaboratoriet. Ute i verden sto Bloch-bølger allerede sentralt i beregningen av elektronstrukturen til krystaller. Jon satset på Bloch-bølger i forbindelse med spredning av raske elektroner, og sammen med dyktige og motiverte studenter ble det satset på EDB (med CDC3300- og Cyber-maskinen som Blindern-miljøet hadde tilgang til) for kvantitative beregninger innen elektrondiffraksjon. Med Bloch-bølgene fulgte dispersjonsflata som et nyttig begrep for Jon. Dispersjonsflata gikk imidlertid over hodet på noen av oss studenter. Med kjappe Fourier-transformasjoner på tavla, eller på en serviett i Blindernkjelleren, ble studentene ført fra det rommet vi er oppvokst i, til det resiproke rommet på et blunk, og så like fort tilbake til vante egner – fra inverse Ångstrøm og inverse mikrometer, tilbake

til Ångström og mikrometer. Det var ikke alltid like lett å holde styr på hvilket rom man var i!

Jon var genuint interessert i resultatene som kom ut av Blochbølge-beregningene til studentene. Like interessert var han i observasjonene som de mer eksperimentelt orienterte studentene gjorde med elektronmikroskopet. Han var innom det belgmørke mikroskoprommet mange ganger i løpet dagen. Der satt tidlig og sent en eller annen av studentene ved elektronmikroskopet. Turen innom mikroskopet ble gjerne kombinert med et besøk i Blindernkjelleren for en kortere eller lengre kaffeprat med kolleger og studenter om fag og politikk.

I de senere år blir datamaskinberegninger av mange sett på som den tredje grunnpilaren innen vitenskap. De to andre grunnpilarene, eksperiment og teori, har vært her lenge, i alle fall siden Galilei sine dager. Disse tre grunnpilarene var på plass i Jon sitt team allerede i slutten av 1960-årene. Teorien var der takket være Jon sine evner til å mestre avansert matematikk og abstrakt tenkning. Samspillet mellom de tre grunnpilarene bidro til mange idéer og publikasjoner som handlet om Kikuchi-linjer og strukturfaktorer. Kikuchi-linjer oppstår ved at diffust spredte elektroner blir Bragg-spredd inne i krystallen. Nå ble dispersjonsflata litt mer jordnær ved at et gap på denne viser seg i diffraktogrammet ved et tilsvarende gap der Kikuchi-linjer krysser hverandre.

Elektronstrålen kan fokuseres, og krystallvolum så små som  $(10 \text{ nm})^3$  kan studeres. Dette er mange størrelsesordener mindre volum enn det som kan studeres med røntgenstråler, som igjen er mange størrelsesordener mindre enn volumet som trenges ved nøytrondiffraksjon. Jon høstet fordel av dette og hans grunnforskning innen elektronspredning har bidratt til utvikling av metoder til å studere nanokrystaller. En av teknikkene som er blitt lagt ekstra merke til internasjonalt er basert på teoretisk behandling av variasjonen i den elektroninduserte grunnstoffkarakteristiske røntgenemisjonen som følge av interferens mellom Braggreflekser inne i krystallen, referert til som channeling. Disse tankene [2] er blitt videreutviklet slik at dopeelementer av konsentrasjon langt mindre enn 1 atom-% kan bli lokalisert innenfor krystallens enhetscelle. I tradisjonell krystallografi basert på måling av intensiteten til Bragg-reflekser, er den ultimate informasjon den romlige fordeling av en kvalitet, og dette forutsetter at refleksenes fase er kjent. Denne kvaliteten er krystallens elektronfordeling ved røntgendiffraksjon, og ved elektrondiffraksjon er det variasjonen av Coulomb-potensialet over krystallens enhetscelle. Fra Jons første arbeid omkring channeling går det ei direkte linje frem til en artikkel fra Jon sine disipler i

Stavanger og Oslo 50 år seinere, hvor denne metoden blir brukt til å kaste lys over en krystalls symmetri [3]. Denne metoden til å lokalisere dopelementer og studere krystallers symmetri er basert på faseinformasjon ut over den konvensjonelle. Metoden er svært godt egnet når krystallen inneholder mange grunnstoffer, gjerne i små konsentrasjoner. Her observeres fasen med hvilken de forskjellige grunnstoffene sprer til en refleks. En analogi er svart-hvitt-bildet med en kvalitet (gråskalaen) sammenliknet med fargebildet med mange kvaliteter (farger) [4].

På begynnelsen av 80-tallet, med Alexander Kielland-ulykken som bakteppe, ble materialteknologi et satsningsområde for den nye oljenasjonen Norge. Opprettelsen av et teknologisk orientert studium ved Fysisk og Kjemisk institutt var Universitets svar på de politiske signaler. Jon beveger seg nå i retning fra *viten-skaperen* til *viten-brukeren*. Materialteknologi appellerte nok til Jon på flere måter. Med en oppvekst i det tungt industrialiserte Grenlandsområdet, med jobberfaring fra sementfabrikken i Brevik og Senter for Industriforskning (SI), samt med sterke bånd og lojalitet til arbeiderbevegelsen, er forskningen innen materialteknologi i tråd med hans bakgrunn og ideologiske syn om at forskning skal gjøre en forskjell. Følgelig ble hans forskning fra denne tiden mer og mer fokusert mot teknologisk orienterte problemstillinger, hovedsakelig rettet mot prosessindustrien. Nå skal det nevnes at forskningsprosjekter innen fysikalsk metallurgi, i størst grad problemstillinger knyttet til aluminium legeret med magnesium og sink, de såkalte 7xxx-legeringene, hadde Jon og Jons studenter arbeidet med siden sent på 60-tallet [5]. Legeringene er sterkt knyttet til Nils Ryums [6] navn, og brukes blant annet til støtfangere produsert på Toten for en rekke europeiske bilmerker. Legeringen oppnår meget høy styrke basert på metastabile nanometer-store utfellinginger, ideelle objekter for transmisjonselektronmikroskopi, både diffraksjon og avbildning.

En av flere genuine interesser Jon hadde, var studier av krystallers atomære oppbygging med elektroner. Materialene skulle helst være fra kommersielle legeringer; slik var materialteknologiperspektivet ivaretatt! Elektrondiffraksjonsdata var tidligere sett på som mangelfulle for bestemmelse av krystallstrukturer. Enten kunne man samle store mengder data beheftet med sterke dynamiske vekselvirkninger, eller man kunne samle en håndfull kvalitetsdata. I realiteten fantes ingen generell prosedyre til å bestemme atomposisjoner for middels til kompliserte krystaller med elektrondiffraksjon. Entusiasmen var derfor stor da to nye teknikker innen elektrondiffraksjon ble utviklet. De gjorde det mulig å samle en stor mengde intensitetsdata

hvor effekten av den dynamiske spredningen var sterkt redusert. Teknikkene var presesjonsteknikken som ble utviklet i Bristol tidlig på 90-tallet [7] og rotasjonsteknikken [8] som ble utviklet i Stockholm noe senere. Navnene er adoptert fra tidligere tiders én-krystallkameraer/-teknikker innen røtgendiffraksjon. Prinsippene for de to teknikkene, med noe ulik geometri, går i korthet ut på at intensitetsdata samles utenfor soneaksene. Vipping av krystallen eller alternativt elektronstrålen inngår for begge teknikker slik at refleksene går gjennom Braggbetingelsen ved datainnsamlingen. Presesjonsopptak er knyttet til retninger der mange refleks er eksitert, og dataene en leser ut er alltid integrerte intensiteter. Ved rotasjonsteknikken vippes krystallen om en vilkårlig akse og intensitetene samles fra mange opptak. Uansett refleks, så vil den da være i Bragg i ett av bildene.

Bestemmelse av atomposisjonene til  $Al_mFe$ , en fase som felles ut blant annet i kommersiell renaluminium, er pionerarbeidet for ab initio strukturbestemmelse med Vincent-Midgley presesjonsteknikken [9]. Jon var senere med i strukturbestemmelsen av metastabile nano-meter store herdepartikler innesluttet i aluminiumskorn. Patterson-beregninger, som var grunnlag for strukturbestemmelsen, ble gjort med diffraksjonsdata fra både elektroner og synkrotrongenerert røtgenstråling. Patterson-kartene viste de samme hovedtrekkene for begge teknikker, noe som stadfestet at elektrondiffraksjons-dataene hadde tilstrekkelig kvalitet til å utlede hovedtrekkene i strukturen til herdefasen [10]. Med de nye teknikkene, presesjon og rotasjon, i krystallografiske studier på mikrometer- og nanometer-skala, samles store mengder intensitetsdata, og statistiske metoder blir brukt på disse. De store datamengdene sammenlignet med én-krystall-røtgendiffraksjon veier opp en god del for svakhetene i datasettet på grunn av dynamiske vekselvirkninger.

De siste forskningsarbeidene som Jon deltok i, lenge etter at han ble pensjonist, var knyttet til rotasjonsmetoden for elektrondiffraksjon [11]. Aktiviteten var i hovedsak rettet mot prosedyrer for å integrere intensitetsdata. For å integrere intensiteten til en refleks, samlet med rotasjonsteknikken, må avviket fra Braggbetingelsen for refleksen i de diffraksjonsopptakene hvor refleksen har intensitet bestemmes. Dette gjøres via eksakt bestemmelse av diffraksjonsbetingelsen for hvert enkelt opptak. De eksperimentelle betingelsene, rotasjonsakse og krystallografisk orientering av prøven, er føringene for hvordan diffraksjonsbetingelsen endres fra opptak til opptak i en serie. Helt opp til en alder av 85 år bidro Jon betydelig med blant annet oppsett av matematiske ligninger til bruk for å regne ut diffraksjonsbetingelsen, avviket fra Braggbetingelsen for en refleks [12].

Goethe sier: «In der Beschränkung zeigt sich erst der Meister», og kanskje er de enkleste løsninger de mest geniale. Ved å ta utgangspunkt i en soneakse, til tross for at diffraksjonsdataene ikke samles i en soneakse, kunne han sette opp enkle geometriske og matematiske likninger for å regne ut avviket (eksitasjonsfeilen) til refleksjonen i suksessive opptak. Fra denne type beregninger faller også eksitasjonsfeilen til de andre refleksjoner som kan vekselvirke med refleksjonen i opptakene. Dette er viktig for å kunne gjøre dynamiske beregninger som er avgjørende for raffinering av atomposisjoner.

En av Jons fremtidsvyer var at krystallografi med elektroner skulle kunne ta opp konkurransen med røntgendiffraksjon. Med utviklingen fra analoge til digitale opptak av diffraksjonsdata, kombinert med stadig raskere datamaskiner med større lagringskapasitet, lå forutsetningene nå til rette, mente han. For å realiseres dette, var Jon av den klare mening at en burde satse på integrerte intensiteter og utvikling av prosedyrer for å korrigere for dynamiske vekselvirkninger samt videreutvikling av en automatisering av prosessen.

I tråd med Jon sin etiske og politiske grunnholdning ble alle i gruppen behandlet likt: stipendiater, teknisk ansatte, studenter og vitenskapelige ansatte. Jon var flink til å skaffe til veie midler. Medlemmene i gruppa fikk rikelig med muligheter til å reise rundt i verden på krystallografi- og elektronmikroskopi-konferanser samt anledning til å gjøre eksperimenter og få impulser ved kortere eller lengre opphold ved verdensledende universiteter og institutter. Som gjesteprofessor hentet Jon også selv flere ganger nye impulser fra verdensledende universiteter, blant annet ved Tohoku University, Japan og Arizona State University, USA.

Elektronmikroskopmiljø over hele verden har hørt om Jon, noe følgende vitner om: I 2008 opprettet The International Union of Crystallography en pris i elektronkrystallografi som utdeles hvert tredje år. Prisen heter «Gjønnes Medal in Electron Crystallography».

[1] Gjønnes, J. and Moodie, A.F., *Extinction Conditions in the Dynamic Theory of Electron Diffraction*, Acta Cryst., 1965, **19**, 65–67

[2] Gjønnes, J. and Høier, R. 1971, *Structure Information from Anomalous Absorption Effects in Diffuse Scattering of Electrons*, Acta Cryst., 1971, **A27**, 166–174

[3] Hansen, V., Kosinskiy, A. and Taftø, J., Distinguishing space groups by



electron channelling: centrosymmetric full-Heusler or non-centrosymmetric half-Heusler?, *Acta Cryst.* 2020, **A76**, 211–213

[4] Taftø, J., *Electron Channeling, structure factor phases, polarity and atom site determination in crystals*, *Micron*, 2003, **34**, 157–166

[5] Gjønnes, J. and Simensen Chr. J., *An electron microscope investigation of the microstructure in an aluminium-zinc-magnesium alloy*, *Acta Metall.*, 1970, **18**, 881–890

[6] Ryum, N., *Precipitation Kinetics in an Al-Zn-Mg-Alloy*, *Z. Metallkd.*, 1975, **66**, 338–344

[7] Vincent, R. and Midgley, P. A., *Double conical beam-rocking system for measurement of integrated electron diffraction intensities*, *Ultramicroscopy*, 1994, **53**, 271–282

[8] Zhang, D., Oleynikov P., Hovmöller, S. and Zou, X., *Collecting 3D electron diffraction data by the rotation method*, *Z. Kristallogr.*, 2010, **225**, 94–102

[9] Gjønnes, J., *et.al.*, *Structure Model for the Phase Al<sub>3</sub>Fe Derived from Three-Dimensional Electron Diffraction Intensity Data Collected by a Precession Technique. Comparison with Convergent-Beam Diffraction*, *Acta Cryst.*, 1998, **A54**, 306–319

[10] Kverneland, A., *et.al.*, *Transformations and structures in the Al–Zn–Mg alloy system: A diffraction study using synchrotron radiation and electron precession*, *Materials Science and Engineering*, 2011, **A528**, 880–887

[11] Buxhuku, M., Hansen, V. and Gjønnes, J., *The measurement of intensities in the Rotation Electron Diffraction Technique*, *Micron*, 2017, **101**, 103–107

[12] Delimitis, A., Hansen, V. and Gjønnes J., *Geometry determination and refinement in the rotation electron diffraction technique*, *Ultramicroscopy*, 2019, **201**, 68–76