

Lars Onsager

Eivind Hiis Hauge

Biografi på Høytidsdagen

26. februar 2003



NTH-studenten som ble en av det 20de århundres største vitenskapsmenn

I år er det 100 år siden norsk-amerikaneren Lars Onsager ble født. For folk flest er han fullstendig ukjent. For fagfolk innen fysikalsk kjemi eller statistisk fysikk derimot, er han en størrelse av mytiske dimensjoner. I 1968 ble han tildelt Nobelprisen i kjemi for å ha etablert «resiprositetsrelasjonene» i irreversibel termodynamikk. Som en innledning til et portrett av vitenskapsmannen Lars Onsager, la meg skissere hva dette dreier seg om.

Irreversibel termodynamikk er studiet av strømmer som oppstår som følge av forskjellige slags drivkrefter. Kjente eksempler er: Elektrisk strøm som følge av elektrisk spenning (eller potensialforskjell), varmestrøm som følge av temperaturforskjell, partikkelstrøm som følge av konsentrasjonsforskjell. Men i tillegg til at en elektrisk spenning forårsaker sin «egen» strøm, den elektriske, kan den også drive en varmestrøm. Og omvendt: En temperaturdifferens kan drive en elektrisk strøm. Slike kryss effekter oppviser symmetrier: Når transportligningene skrives på en bestemt måte, blir de to krysskoeffisientene i et par like store. Det vil si at dersom et potensial av typen A forårsaker en viss strøm av typen B, vil et like stort potensial av typen B forårsake den samme strømstyrken av typen A. Eksempler på dette var kjent allerede fra slutten av 1800-tallet. Symmetriene var påvist i en rekke laboratorieeksperimenter. Problemet var å forstå dem. Hvorfor i all verden er krysskoeffisientene like store, hvor kommer likheten fra?

Berømte fysikere, som lord Kelvin, hadde forsøkt å forklare symmetriene i spesielle tilfelle, men forklaringene var haltende. Den 26 år gamle Lars Onsager, derimot, så lyset. Han hadde allerede utviklet evnen til å gripe den enkle kjernen i et tilsynelatende komplisert problem. I dette tilfellet så han en uventet sammenheng mellom makroverdenen, den verden vi er omgitt av til daglig, og mikroverdenen, atomenes og molekylenes verden. Han viste at symmetriene i slike makroskopiske transportfenomener gjenspeiler symmetrien mellom fortid og fremtid i molekylenes underlig-

gende mekanikk. I vår daglige, makroskopiske, virkelighet er vi vant til at utvikling forover i tid ikke kan vendes om. Familiefilmen som kjøres baklengs ler vi av, det den viser er i direkte strid med all hverdags erfaring. Vi har ingen problemer med å avgjøre om familiefilmen kjøres forlengs eller baklengs. Men hadde vi en tilsvarende film av atomer og molekyler som beveger seg, dunker mot hverandre og beveger seg videre, ville vi ikke vært i stand til å avgjøre om filmen ble kjørt forlengs eller baklengs. På mikronivå er det full symmetri mellom fortid og fremtid (i alle fall uten magnetfelt til stede). Med et så grunnleggende faktum som forklaringens kjerne, blir også resultatet av teorien allmenngyldig: Alle kryseffekter i lineær transport viser Onsager-symmetri.

Dette kunne vært innledningen til en presentasjon av en «helt alminnelig Nobelprisvinner», i den grad «alminnelig» er et ord som kan brukes i en slik sammenheng. Men Lars Onsager skiller seg ut i den grad at han antar mytiske proporsjoner. Han hadde utdannelse som kjemiingeniør fra NTH, var professor i kjemi, og fikk Nobelprisen i kjemi. Men vi fysikere ergrer oss en smule over at det ikke var i fysikk han fikk Nobelprisen. Med en helt annen og minst like god begrunnelse var Onsager foreslått til Nobelprisen i fysikk samtidig med at han fikk den i kjemi. Men på 60-tallet var vel fysikkkomiteen fortsatt så fokusert på partikkel- og kjernefysikk, at den lot sjansene løpe fra seg til å belønne Onsager for den eksakte løsningen av Ising-modellen. Den modellen kommer vi tilbake til.

Han var i stjerneklassen som kjemiker og som fysiker, men også som virtuos anvendt matematiker hørte Onsager til de få utvalgte. Lars Onsager var rett og slett en av de største vitenskapsmenn i det 20de århundre.

La oss raskt rekapitulere levnetløpet.

Den 27.11.1903 ble Lars Onsager født i Kristiania, og vokste opp i en solid middelklassefamilie med mangesidige interesser. Etter å ha hoppet over en klasse på skolen, startet han på kjemiingeniør-studiet ved NTH høsten 1920, snautt 17 år gammel. Allerede i studietiden viste han sin uavhengighet ved på egen hånd å skaffe seg omfattende og dyptgående matematikk-kunnskaper, og ved som student å være oppdatert på det gjennombruddet i elektrolytt-teori som Pieter Debye og hans assistent Hückel publiserte i et internasjonalt tidsskrift i 1923. (En elektrolytt er en oppløsning av ioniserte molekyler, og kan lede elektrisk strøm.) Onsager fant også en feil i den delen av teorien som omhandler elektrolytters ledningsevne, og etter å ha fullført utdannelsen ved NTH, reiser han i 1925 til Zürich for å oppsøke Debye. Den ukjente 22-åringen fra Norge tropper opp på den berømte

vitenskapsmannens kontor og uttaler: «God morgen, herr professor, Deres ledningsteori for elektrolytter er ikke riktig!» Men berømmheten kaster ikke ut frekkasen. Tvert imot, i den etterfølgende diskusjon blir Debye så imponert over den unge nordmannen at han ansetter ham som assistent for to år.

I 1928 emigrerte Onsager til USA og ble «Associate in Chemistry» ved Johns Hopkins universitetet. Der gjorde de den feilen at de satte ham til å undervise grunnkurset i kjemi. Å kommunisere fag med alminnelige dødelige var definitivt ikke Onsagers styrke, og etter kort tid fikk han rett og slett sparken. Heldigvis åpnet det seg en mulighet ved Brown University, der lederen for kjemiavdelingen så Onsagers potensial som vitenskapsmann. Han ble ved Brown i 5 år, og i den perioden gjorde han bl.a. det arbeidet han senere fikk Nobelprisen for.

Under et besøk hjemme hos en kollega i Østerrike møter Lars kollegas unge svigerinne, Margrethe Arledter. Lars og Gretl gifter seg kort tid etter, og i årenes løp får de fire barn sammen.

I 1934 blir Onsager ansatt som «Assistant Professor» ved kjemiavdelingen ved Yale-universitetet. Onsagers ry som fysikalsk kjemiker er jevnt voksende, og løsningen av Ising-modellen 1942-44 etablerer hans stjerne-status innen teoretisk fysikk. Han foreslås til Nobelprisen både i kjemi og i fysikk og tildeles prisen i kjemi i 1968. Ved Yale tilbringer han storparten av sitt profesjonelle liv, til han pensjoneres i 1972. Mens ledelsen er bortreist, pukker en lokal byråkrat på regelen som sier at en emeritus, Nobelprisvinner eller ei, ikke kan inneha rollen som ansvarlig prosjektleder. Dette ergrer rimeligvis Onsager og han flytter til Coral Gables, Miami, der han blir mottatt med åpne armer. Han er fortsatt aktiv til han en dag i 1976 plutselig dør etter morgenens faste svømmetur, 73 år gammel.

Onsagers første vitenskapelige interesse var teorien for elektrolytter, og dette feltet vendte han stadig tilbake til. Han var ingen abstrakt teoretiker i den forstand at han bare fokuserte på grunnleggende problemstillinger. Han hadde også omfattende kunnskaper om en mangfoldig eksperimentell virkelighet, og var opptatt av å nærme seg forståelsen av den ved hjelp av konkrete modeller og forenkling til nærmelser. Forbedringene av Debye og Hückels ledningsteori ga Onsager tidlig et navn blant ekspertene på elektrolytter. Det var med utgangspunkt i disse forbedringene at tankegangen bak resiprositetsrelasjonene vokste frem. Men responsen på resultatet som nå går under navnet «Onsager-relasjonene» glimret til å begynne med ved sitt fravær. Det var først etter annen verdenskrig at deres grunnleggende

betydning ble åpenbar for fagfolk flest, med den nederlandske fysikeren Casimir som effektiv formidler.

Men om ikke den jevne kjemiker eller fysiker forstod å verdsette Onsager-relasjonene, var Onsager selv fullt klar over deres betydning. Da han i 1932 ba sin alma mater, NTH, om å bli bedømt for den tekniske doktorgrad, sendte han simpelthen særtrykk av de to slanke artiklene i *Physical Review*, på til sammen 37 sider. Slikt var uhørt den gangen. Onsager var selvsagt klar over det, og hans følgeskriv dirrer av ambivalens. Vi siterer:

«Dersom Høiskolen foretrekker at vente på en detaljert utarbeidelse av det foreliggende problem, turde 1 aars videre utsættelse være tilstrekkelig. Det er mulig at jeg derved maatte la mer aktuelle problemer vente, og det sier seg selv at jeg helst vilde staa fritt i saa maate. Den innsendte avhandling er imidlertid, saavidt jeg selv kan bedømme, mit beste arbeide.»

Kjemiavdelingen ved NTH vurderte saken slik at det faglige innholdet utvilsomt var verdig å forsvares for den tekniske doktorgrad, men når det gjaldt formalitetene, rådet kjemikerne NTHs professorutvalg til å ta Onsager på ordet. Det gjorde professorutvalget, og ba Onsager om en «mer avsluttet og detaljert fremstilling». Onsager ble nok skuffet, men høflig som alltid svarte han at han skulle forsøke å finne en anledning til å fullføre arbeidet. Rimeligvis var Onsager opptatt av viktigere problemer, og noen slik «fullføring» ble det aldri noe av. Vi får være glade for at Nobelkomiteen i kjemi ikke var bundet av den slags konvensjoner. Den lot seg ikke avskrekke av at Onsagers dype innsikter var nedskrevet på skarve 37 sider.

Men historien om Onsager og doktorgraden har to kapitler. Som nevnt blir han ansatt som professor ved Yale i 1934. Stor er forskrekkelsen når det lokale byråkrati oppdager at han ikke har doktorgrad. Men kan han ikke levere inn noen av sine nylig fullførte arbeider for bedømmelse? Nei, Onsager synes nok det blir for lettvent, og etter en tid legger han i stedet frem en omfattende avhandling om en klasse matematiske funksjoner, de såkalte Mathieu-funksjonene. Kjemikerne blir brydd, de har ikke kompetanse til å bedømme dette, ikke har fysikerne det heller. Heldigvis finnes det en matematiker ved Yale med bakgrunn på feltet. Han leser avhandlingen med stor interesse, og tilbyr seg at matematikkavdelingen kan gi Onsager graden. *Det* blir likevel for mye for kjemikerne, og historien ender i 1935 med at Onsager får doktorgraden i kjemi, med Mathieu-funksjoner som tema.

Fra fokus på elektrolytter på 1930-tallet dreide Onsagers interesse seg, via egenskapene til is, til ferromagnetisme og faseoverganger. Som navnet antyder, ferromagnetisme står for magnetiske egenskaper slik vi kjenner dem fra jern, i leketøy og kompassnåler. Ferromagnetisme er en *kollektiv* effekt, og kan ikke forklares ved bare å se på det enkelte atoms egenskaper. Det er *samspillet* mellom mange atomer som gir nøkkelen til forståelse av ferromagnetisme. Når vi fokuserer på samspillet, spiller de detaljerte magnetiske egenskapene til det enkelte atom en underordnet rolle, og det naturtro, detaljorienterte portrett av det magnetiske atom kan med fordel erstattes med en veltruffet karikatur.

Ising-modellen er nettopp en slik karikatur. Navnet har ingenting med is å gjøre, modellen er simpelthen oppkalt etter herr Ising, en østerriksk student som av veilederen fikk i oppgave å studere modellen, i aller enkleste versjon. Ising-modellen har vist seg å være svært fruktbar for å forstå kollektive effekter. I Ising-modellen erstattes hvert atom av et «spinn», en ørliten magnetnål med nordpol og sydpol. Spinnene kan ikke peke i hvilken som helst retning, det tillates bare å være i en av to tilstander, med nordpolen opp, eller med nordpolen ned. Men spinnene er ikke uavhengige: To nærmeste nabospinn vekselvirker med hverandre. Dersom de peker motsatt vei, koster dette energi. Dersom de to naboene blir enige om å peke samme vei (begge opp, eller begge ned), blir en tilsvarende energimengde frigitt.

Ved høye temperaturer er det ingen mangel på energi. Derved er det heller ingen grunn til å spare, og nabospinn kan like gjerne peke motsatt som samme vei. Uorden er resultatet, og nettomagnetiseringen blir null. Ved lave temperaturer, derimot, er lite energi tilgjengelig. Derved søker systemet mot laveste energitilstand, nabospinnene innretter seg etter hverandre og peker samme vei, ikke bare lokalt, men overalt. Lave temperaturer favoriserer orden, og vårt stykke ferromagnetisk materiale er blitt magnetisk, ikke bare på atomær, men også på vår hverdags makroskala. Dersom temperaturen heves, blir denne spontane magnetiseringen gradvis svakere. Fra en viss temperatur av forsvinner den helt. Faseovergangen fra den ordnete lavtemperaturfasen, med spontan magnetisering, til den uordnete høytemperaturfasen, uten magnetisering på makroskala, er *kontinuerlig* i dette tilfellet. (I parentes bemerket: Fra hverdagslivet er vi mer fortrolige med diskontinuerlige, eller sprangvise, faseoverganger, som den mellom is og vann, eller mellom vann og vanndamp.) Men tilbake til den kontinuerlige overgangen: Temperaturen der denne overgangen skjer, kalles det kritiske punkt. Når temperaturen heves gjennom dette kritiske punktet, forsvinner

den siste rest av spontan magnetisering, den siste rest av orden på makronivå. Mikrotilstandene ved det kritiske punkt, ved den spontane magnetiseringens siste krampetrekninger så å si, er helt spesielle, og er fortsatt et fascinerende forskningsfelt.

Da Onsager trådte inn på de kontinuerlige faseovergangers arena, var situasjonen forvirrende. En enkel makroteori med forførreriske resultater var formulert av den berømte russeren Landau (som senere fikk Nobelprisen for andre innsatser). Men var Landaus resultater til å stole på? Svaret burde gis av *statistisk mekanikk*, som var og er standardredskapet for å forstå stoffers makroegenskaper ut fra egenskapene til de mikropartiklene stoffene består av. Men mange tvilte på om faseoverganger og deres singulariteter overhode *kunne* forstås på dette grunnlaget. Faseoverganger er subtile saker. De er, som antydnet, resultatet av samspillet mellom svært mange (i prinsipp «uendelig mange») atomære enheter, det er ikke nok å forstå samspillet mellom to eller tre eller ti.

For å fokusere på dette subtile samspillet, bør modellen være den enklest mulige, med Ising-modellen som en åpenbar kandidat. Egenskapene til den én-dimensjonale versjonen av denne modellen (spinn på en linje) var velkjente, beregnet av diplomstudent Ising, og uten faseovergang. Men hva med den to-dimensjonale, spinn på et rutenett, på det kvadratiske gitteret? I to dimensjoner har hvert spinn fire, ikke to, nærmeste naboer. Det i seg selv styrker samspilleffektene. Men fra et kollektivt synspunkt er det i tillegg en *kvalitativ* forskjell mellom én dimensjon og to (eller høyere) dimensjoner. I én dimensjon kan to spinn et stykke fra hverandre bare kommunisere langs en enkelt rekke av mellomliggende nabopar. I to eller flere dimensjoner er det alltid *mange* kommunikasjons-veier, dannet av de forskjelligste kjeder av nabopar. Kommunikasjonen blir derved kvalitativt mer robust.

På begynnelsen av 40-tallet gikk Onsager løs på den to-dimensjonale Ising-modellen, rustet med sitt formidable intellekt, sin enestående konsentrasjonsevne og sitt omfattende repertoar av matematiske ferdigheter. Etter å annonsert dem foreløpig i 1942, ble resultatene publisert i sin endelige form i 1944. Løsningen viste presis hvordan Ising-modellens termodynamiske energi avhenger av temperaturen, og ga samtidig klare svar på grunnleggende spørsmål: *Jo*, statistisk mekanikk gir en orden-uorden faseovergang, og ved den temperaturen foreløpige teorier hadde antydnet. *Jo*, faseovergangen gir en varmekapasitet som divergerer, dvs. som vokser hemningsløst, ved kritisk temperatur.

Selv om de færreste var i stand til å følge Onsagers matematiske reson-

nementer, gjorde resultatene umiddelbart dypt inntrykk. Ut over de konkrete modell-resultatene viste Onsagers arbeid på den ene side at de kvantitative prediksjonene fra Landaus makro-teori ikke er pålitelige, men på den annen side at statistisk mekanikk *gir* grunnlaget for å forstå faseoverganger generelt. Alt senere arbeid med kollektive effekter hviler på grunnlaget som derved var lagt. Ett eksempel på hvordan Onsagers bragd ble mottatt: I 1945 klager Casimir over at i nederlandsk isolasjon under krigen hadde fem års hektisk USA-aktivitet i fysikk gått ham hus forbi. Til dette bemerker den sveitsiske Nobelprisvinner Pauli tørt at den eneste nyhet av betydning på disse fem årene er Onsagers løsning av Ising-modellen.

I samarbeid med Bruria Kaufmann forenklet Onsager løsningen og fant et nytt, sensasjonelt resultat. Når temperaturen nærmer seg den kritiske nedenfra, var den konvensjonelle visdom, basert på Landaus makro-argumenter, at den spontane magnetiseringen går mot null med kvadratroten av temperaturdifferansen. Onsager og Kaufmann fant en helt annerledes oppførsel: Magnetiseringen forsvinner med *åttende* rot av temperaturforskjellen. Onsager var ikke den som hadde det travelt med å publisere, og det er typisk at dette oppsiktsvekkende resultatet aldri ble publisert på vanlig vis. Ved konferanser 1948-49 dukker det opp på tavler som diskusjonsinnlegg etter andre foredrag. Forsamlingen av fagfolk får hakeslepp, og Onsagers ansikt sprekker entusiastisk i hans karakteristiske smil.

En ting er at dette senere er verifisert eksperimentelt, men kan forskjellen mellom en halv og en åttedel være mer enn en underordnet kvantitativ detalj? I dette tilfellet, definitivt ja. Forskjellen signaliserer at forholdene nær det kritiske punkt er dramatisk forskjellige fra vanlige tilstander, og Onsagers resultater åpnet derved for intens vitenskapelig aktivitet på et fruktbart forskningsfelt. Først i løpet av 1970-årene har utviklingen gitt en avklaring, symbolisert ved Ken Wilsons Nobelpris i 1983. Det har også vist seg at det er en direkte forbindelse mellom kritiske tilstander og fraktaler. Fraktaler er geometriske objekter karakterisert ved at de kvalitativt ser likedan ut på helt forskjellige lengdeskalaer. Med andre ord, fraktaler er *skalinvariante*. Ved kritisk temperatur viser det seg at også de geometriske mønstrene som dannes av for eksempel spinnene i Ising-modellen er av fraktal karakter. Her nøyer vi oss med denne raske henvisningen til en dyptliggende sammenheng.

Så kan en spørre: Kan alt dette brukes til noe, eller er det bare til glede for universitetsforskerne i elfenbenstårnet? Den *direkte* matnytten glimrer sant nok ved sitt fravær, ingen patentrettigheter å spore her. Men Onsagers

gjennombrudd, og hele det feltet som derved ble åpnet, har skapt en plattform for grunnleggende forståelse av vekselvirkende systemer. På denne plattformen jobbes det i dag med de forskjelligste problemer, fra de mest teoretiske til konkret dimensjonering av kjølesystemer. Onsagers eksempel demonstrerer igjen at et karakteristisk trekk ved gjennombrudd i grunnforskning er at resultatene er svært anvendelige, og i *mange* sammenhenger. Her frister spissformuleringer over evne: Forskjellen mellom høykvalitets grunnforskning og anvendt forskning er at den første er mer anvendelig enn den siste.

Etter å ha åpnet en gullgruve slik Onsager gjorde da han greide å beregne Ising-modellens termodynamiske egenskaper, ville den alminnelige vitenskapsmann konsentrert seg om å utnytte sitt forsprang og utvinne stadig mer av det lokale skattkammer. Men Onsager var ingen alminnelig vitenskapsmann. Da han hadde forstått det viktigste, vendte han seg mot andre problemer. Og mens løsningen av Ising-modellen var en oppvisning i matematisk virtuositet, trengtes bare matematikk av enkleste slag for neste storverk, forklaringen på de Haas-van Alphen effekten. Ved svært lave temperaturer viser magnetiseringen i metaller, som funksjon av magnetfeltet, merkelige svingninger, karakteristiske for hvert metall. Med sin dype innsikt gikk Onsager direkte til problemets kjerne, forklarte svingningene som et resultat av Fermi-flatens geometri, og la derved et viktig grunnlag for senere materialvitenskap.

Et typisk Onsager-sitat: «Det er mange i vår bransje, noen av dem ganske talentfulle, som utrunder seg med snedige metoder og deretter går på jakt etter sårbare problemer. Men å akseptere et problem på dets egne premisser, og så smi våpen for anledningen – det viser virkelig klasse!» Den klassen viste definitivt Onsager selv, som snautt noen annen.

Her har vi bare hatt tid til å berøre noen av høydepunktene blant Onsagers vitenskapelige oppdagelser. Listen kunne gjøres atskillig lenger, med stikkord som for eksempel rekombinasjon av ioner, nematiske krystaller, virvelkvantisering, fluktuasjonsteori. Anerkjennelsen kom også i form av en rekke æresdoktorater (Harvard var først ute, med NTH som en brukbar nr. 2), og en liste med priser som kulminerer med Nobelprisen i 1968.

På mange måter levde Onsager opp til myten om den verdensfjerne professor. Som foreleser var han håpløs, som korrespondent umulig. Ved Yale hadde sekretæren stående orde om å sortere posten slik at i alle fall sjekkene ikke havnet i papirkurven. Men samtidig var Onsager en praktisk mann. Hagen var hans hobby nr. 1, og han likte å være altmuligmann hjemme,

snekret og mekket elektronikk til ungene. Og bildet av professoren som har problemer med å kommunisere fag både med mindre innsiktsfulle kolleger og med alminnelig dødelige, må i alle fall avveies mot følgende historie, fortalt av en annen Nobelprisvinner, Phil Anderson:

Ved den første betydelige fysikk-konferansen i Japan etter krigen, i 1953, er vertene ivrige etter å vise frem Japans severdigheter. Pr. buss går ferden langs gjørmete etterkrigsveier, og langt fra nærmeste tettsted går det ikke bedre enn at bussen havner utenfor veien. Oppgitte sjåfører, vitenskapsfolk og bønder beskuer traurighetene og kommenterer hjelpeløst på et sammensurium av språk. Da tar Onsager ledelsen, utpeker et arbeidslag, demonterer en tømmerklopp over en lokal grøft, og med tømmerstokker, peking, grynt og oppmuntringer får han organisert anstrengelsene slik at bussen manøvreres opp igjen på veien.

Stoffet til dette foredraget er i alt vesentlig hentet fra boka «The Collected Works of Lars Onsager (with Commentary)», utgitt på World Scientific og redigert av Per Hemmer, Helge Holden og Signe Kjelstrup. Boka inneholder ikke bare Onsagers samlede vitenskapelige verker, den upubliserte doktoravhandlingen inkludert, men også vitenskapelige og personlige kommentarer av sentrale fagfolk som sto Onsager og Onsagers verk nær. Boka anbefales på det varmeste! Vi er redaktørene stor takk skyldig for den grundige og samvittighetsfulle jobben de har gjort.

Til slutt: Onsager fikk Nobelprisen i kjemi, fortjente utvilsomt en tilsvarende pris i fysikk, og var en virtuos anvendt matematiker. Han var, kort sagt, en av det 20de århundres største vitenskapmenn. Han var også et menneske med sterke kvaliteter og gjorde et dypt inntrykk på alle som kom i kontakt med ham. Selv om han virket mesteparten av sitt profesjonelle liv i USA, har vi nordmenn, og spesielt vi på NTNU, all grunn til å være stolte over at Lars Onsager i utgangspunktet var en av oss.