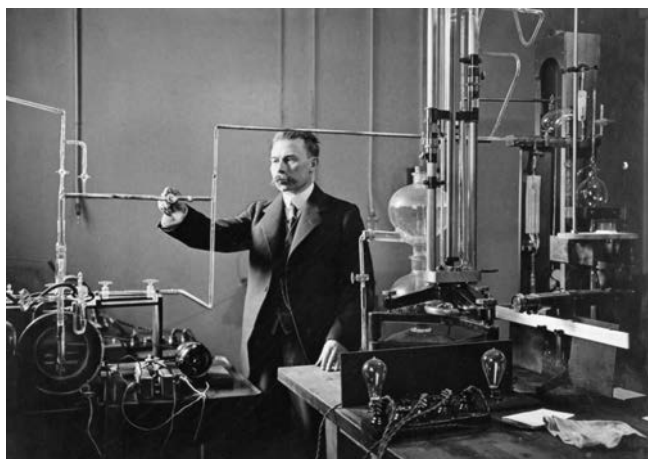


150-årsjubilæum for fysikeren Martin Knudsen

Bjarne Fredberg Knudsen, EMPAS Consulting, Broby

Martin Knudsen (1871–1949) havde 150-årsfødselsdagsjubilæum den 15. februar 2021. Han var, som adskillige andre af datidens fysikere, én, der havde stået på skuldrene af H.C. Ørsted. Det var også Knudsens fortjeneste, at Ørsted i starten af 1900-tallet blev “revitaliseret”, og således blev hyldet i 100-året for opdagelsen af elektromagnetismen, som vi netop har fejret 200-året for i 2020. Men hvad med Knudsens forskning – er den stadig tidssvarende og brugbar i vor tid? Han forskede i to vidt forskellige områder – havforskning og molekylærfysikken, først og fremmest luftarternes fysik. Er der så nogle af hans forskningsresultater, der stadig bruges? Ja, efter 120 år gælder fortsat hans principper inden for havforskningen med at bestemme havstrømme ud fra havvandets saltholdighed, temperatur og vægtfylde ved overflader og ned i dybhavet. Ud fra de mange elegante eksperimenter Knudsen foretog for at bekræfte den kinetiske teori for luftarter (gas), har man i nyere tid benyttet sig af hans udregninger og formler til bestemmelse af tryk og strømninger i nanobobler [1]. Knudsen anses også for at være pioner for vakuumforskningen, hvor det først og fremmest er fordampning og Knudsencellen, der har betydning. Desuden bruges Knudsens cosinusfordeling indirekte ved al tyndfilmsdeponering .

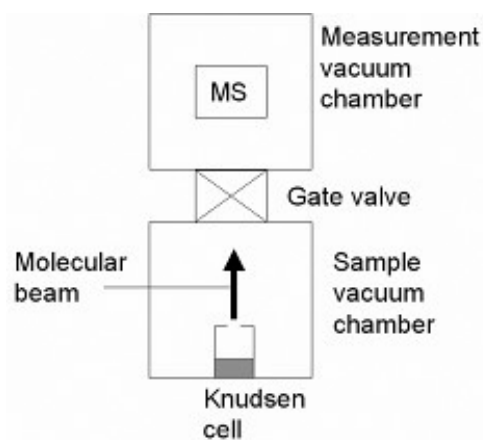


Figur 1. Martin Knudsen fotograferet i perioden 1907–17 med sit apparatur til undersøgelse af luftarters egenskaber ved lave tryk. Foto: DTU.

Først lang tid efter Otto von Guericke's (1602-1686) opfindelse af stempelpumpen og eksperimenter kom der forbedringer af luftpumpeteknikken. I 1857 opfandt Geisler kviksølvluftpumpen, som udvikledes til mange typer bl.a. af K. Prytz; men det var først i 1905, at der kom rigtig gang i udviklingen med tyskeren Gaede's opfindelser, der opnåede meget lave tryk ved at benytte pumper i række, hvorved han konstruerede tre højvakuumpumper: den roterende kviksølvpumpe (1905), molekylærpumpen (1913) og kviksølvdiffusionspumpen (1915). Den unge Martin Knudsen indså straks, at med den forbedrede teknik var muligheden skabt for at kunne arbejde ved så lave lufttryk, at man omtrent kunne undgå de gensidige molekylesammenstød, som ved normalt tryk gør de gaskinetiske fænomener meget udviklede. I en række imponerende arbejder, der regnes blandt den klassiske fysiks allersmukkeste, gennemførte han både de teoretiske beregninger af disse tanker og deres eksperimentelle verifikationer.

I et af de første arbejder afprøvedes gyldigheden af teoriens udtryk for den samlede masse af molekyler, som per sekund rammer en fladeenhed af en beholders væg. Samtidig udførtes en undersøgelse af strømning

gennem snævre rør, hvorved den af Knudsen opstillede *Cosinuslov for molekylers tilbagekastning fra en væg* blev prøvet og bekræftet. Hermed var *lovene for den molekylære effusion og strømning* fundet, og Knudsen udførte straks en smuk anvendelse af effusionen til måling af kviksølvs damptryk ved lave temperaturer. Det blev Knudsens formel for strømningsmodstanden i rør, der blev afsæt for udviklingen af vakuumteknik siden 1950'erne [2,3]. Moderne anvendelser er skitseret i figur 2 og 3.

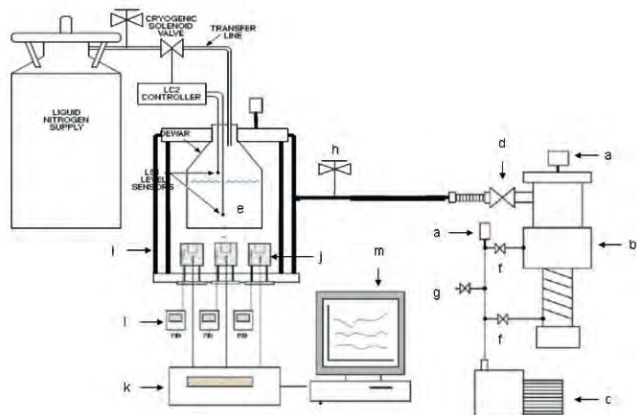


Figur 2. Diagram over Knudsencellen anvendt i “Knudsen Effusion Mass Spectrometry” (KEMS), som måler tryk fra 10^1 – 10^{-8} Pa (fra Booth m.fl.).

Den næste opgave, Knudsen tog fat på, var spørgsmålet om, hvorledes en luftart ville opføre sig ved lave tryk i en beholder, hvor der ikke var samme temperatur overalt. Han viste, at ligevægtsbetingelsen ved lave tryk er anderledes end ved høje tryk, så trykket bliver størst, hvor temperaturen er højest. En direkte anvendelse af dette resultat gav en eksakt teori for radiometerkræfter ved lave tryk, og den blev bekræftet ved omhyggeligt gennemførte eksperimenter [4,5].

Arbejdet hermed gav anledning til opfindelsen af det “*absolutte manometer*” eller – som det i reglen nu kaldes – *Knudsen gauge* (Knudsen-manometret), se figur 4. Dette manometer var i mange år det fineste

måleinstrument til måling af lave tryk. Foruden Knudsen selv, har mange andre forskere senere arbejdet med det og angivet forskellige former for dets udførelse. Det blev siden 1950'erne kommercielt fremstillet af det amerikanske firma Bausch & Lomb, men en såkaldt *McLeod gauge* blev dog anvendt mere, fordi den var lettere at aflæse [4,5].



Figur 3. Skema over et moderne Knudsen-effusionsapparat (fra Risto I. Korpinen, Natural Resources Institute Finland).

Senere undersøgte Knudsen også det termiske molekyletryk, som fremkaldes af temperaturforskelle i snævre rør og porøse legemer. Han diskuterede de korrektioner, som de kan give anledning til ved brugen af lufttermometer især ved lave temperaturer, og udførte fine demonstrationsforsøg [4,5].

Fysikere havde i lang tid ved arbejder med luftarternes varmeledningsevne ikke kunnet opnå overensstemmelse mellem teori og eksperimentelle fund, hvor de målte værdier som regel var mindre end de beregnede. Knudsen gik så i gang med at undersøge varmeledningen ved så lave tryk, at molekylerne ville bevæge sig uden indbyrdes sammenstød – frem og tilbage fx mellem to plader med forskellig temperatur. Herved blev der overført varme i temperaturfaldets retning. Den kinetiske teori for denne molekylære varmeledning var ret simpel og kunne udføres eksakt, se figur 4.

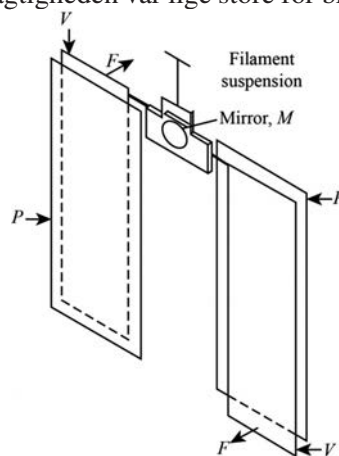
Knudsen viste, at de beregnede værdier altid var større end de observerede, og forklarede dette ved at antage, at luftmolekyler ved stød mod en fast flade i almindelighed ikke vil tilbagekastes med en midelhastighed svarende til fladens temperatur, men at energiudvekslingen er ufuldkommen.

Til kvantitativ beskrivelse heraf indførte han begrebet *akkommodationskoefficient* som forholdet mellem den temperaturændring, en molekylgruppe får ved stød mod en flade, og den temperaturdifferens, der var mellem molekylgruppen og fladen før stødet; og han påviste, at denne størrelse er karakteristisk for luftarten og fladen, men dog som regel afhængig af temperaturen. Hermed opnåedes en forklaring på den molekylære varmeledning; men samtidig opstod det problem, hvorledes en ufuldkommen energiakkommodation kunne forenes med en fuldkommen retningsakkommodation, som molekylestrømningsforsøgene syntes at vise (*cosinuslovens gyldighed for tilbagekastningens retning*) [4,5].

Dette problem optog Knudsen stærkt og blev første gang nærmere uddybet, dels ved en teoretisk og dels

ved en eksperimentel undersøgelse af den modstand, som en plade, der svinger i luft af lavt tryk, vil møde. I nær sammenhæng hermed står Knudsens noget avancerede metode til måling af molekylvægten for en meget lille luft- og dampmængde, som beror på måling af luftmodstanden mod et omdrejningslegeme – i virkeligheden en kugle – der svinger om sin akse [4,5].

Problemet med den forskellige akkommodation for energi og hastighed (bevægelsesmængde = impuls) var hovedtemaet i Knudsens sidste større arbejde. Her var han i stand til at bestemme akkommodationskoefficienterne for båndets to sider på to af hinanden uafhængige måder. Det gjorde han ved samtidig at måle både den molekylære varmeafgivelse fra hver af de to sider af et ensidigt sværet platinbånd og den på båndet virkende radiometerkraft. Ved desuden at udføre de nævnte målinger både med en enatomig luftart, helium (He), og en toatomig, brint (H₂), var det muligt at skelne mellem akkommodation for translations- og rotationsenergi, og det blev påvist, at akkommodationskoefficienterne inden for målenøjagtigheden var lige store for brint og helium [4,5].



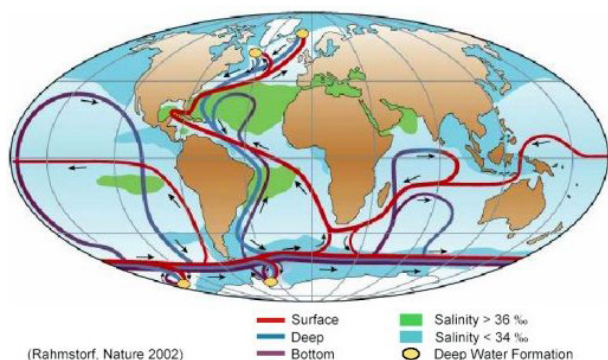
Figur 4. Skitse af Knudsen-gauge med to parallelle plader med forskellige temperaturer, der påvirkes af luften imellem og uden om dem på en meget simpel måde, hvor den mekaniske kraft er afhængig af lufttrykket, pladernes størrelse og temperatur, forudsat at pladernes afstand er forsvindende lille i sammenligning med luftmolekylernes middelvejlængde. (Illust. Jack Holman).

Arbejdet med luftarternes varmeledning førte Knudsen ind på flere andre hermed beslægtede undersøgelser bl.a. af varmetrædsmanometrets virkemåde og af lovene for fordampning og kondensation. Bedømt af samtidens eksperter [4] var et af de smukkeste og mest betydningsfulde resultater af det sidstnævnte arbejde hans påvisning af, at den maksimale fordampningshastighed fra en væske, som den kinetiske teori giver et simpelt udtryk for, også undertiden kan realiseres som fx fra ren overflade af kviksølv [4,5].

Af sine 38 originale fysiske arbejder offentliggjorde Knudsen de fleste i Videnskabernes Selskabs Forhandlinger (KDVS) og i det tyske tidsskrift *Annalen der Physik*; men det blev også til letlæselige oversigtsartikler i bl.a. *Fysisk Tidsskrift* (forgængeren til *Kvant*). På baggrund af sine forelæsninger ved universitetet i London i 1933 samlede Knudsen hele sin forskning i bogform med titlen "*The Kinetic Theory of Gases. Some Modern Aspects*" [4].

Knudsens betydning for havforskningen

I dag ved vi, at Golfstrømmen er Europas kraftværk. Hvert sekund flytter den 55 millioner m³ lunt vand, som hver dag opvarmer Europas vestkyster med en energi, der svarer til energien fra verdens kulkraftværker i 10 år. Havde vi ikke Golfstrømmen, ville vi opleve hårde vintre som i Rusland og Canada. Golfstrømmen fortsætter hele vejen op langs Norges kyst og sikrer, at havnene ikke fryser til om vinteren. Her kunne man jo tro, at det varme vand ville smelte al isen ved Nordpolen, men det sker ikke pga. et termodynamisk princip, kaldet *termohalin cirkulation*, som første gang blev formuleret i 1798 af Grev von Rumford.



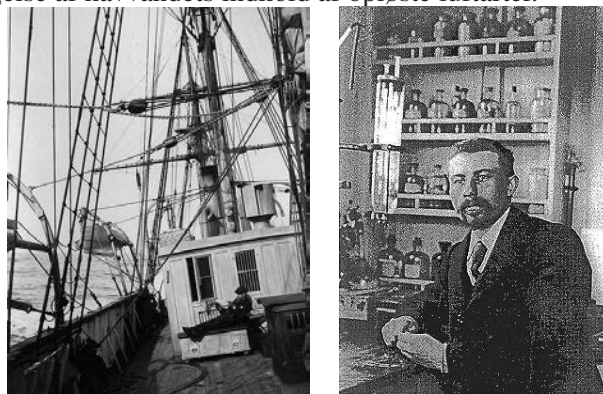
Figur 5. Termohalin cirkulation.

Rumford var en gudsbenådet videnskabsmand, der blev anerkendt som datidens autoritet inden for termodynamik. I hans mange opdagelser indgår den konstatering, at salt havvand opfører sig fundamentalt forskelligt fra ferskt søvand – modsat ferskvand fortsætter havvand med at trække sig sammen, når det afkøles. Jo koldere havvand bliver, des tættere og mere kompakt er det, og Rumford mente, at når varmt vand som Golfstrømmen afgiver varme til luften, må vandet synke:

“Vandet vil tvinge varmere partikler op... det vil nå bunden og straks begynde at sprede sig mod ækvator og dette må nødvendigvis skabe en overfladestrøm i modsatgående retning,” forudsagde han om mekanismen bag dybe havstrømme. Der var nu ikke mange i hans samtid, som accepterede idéen – stort set alle mente, at vinden skabte strømmene, og at vandet måtte være helt stillestående, når man kom ned under de første få hundrede favne; men det var især Knudsens hydrografiske og oceanografiske forskning, der blev det overbevisende. Han blev introduceret til hydrografen (dvs. fysisk oceanografi), da han som ganske ung fysiker blev ansat til i somrene 1895 og 96 at udføre fysiske og kemiske undersøgelser under den danske “Ingolf”-ekspedition i havene rundt om Island og det vestlige Grønland. Denne forskning førte til 56 videnskabelige artikler [5–9], og Knudsen er af andre havforskere citeret i langt over 100 publikationer fra hele verden.

Havstrømmene er således “hjerterumpen” for hele klodens klima, og de drives af forskelle i saltholdighed og temperatur. Godt nok er havene forbundet, men som mange har oplevet, er der stor forskel på, hvor salt vandet i Middelhavet og Øresund smager. Med vandprøver fra alle verdenshavene var det lykkedes danskeren Georg Forchhammer i midten af 1840’erne

at bestemme, at sammensætningen af salte faktisk er stort set ens i alle verdens have. Han havde således sandsynliggjort, at man alene ud fra forskelle i saltholdigheden kunne fastlægge grænserne for de store havstrømme. Så ung og uerfaren Knudsen end var dengang, lykkedes det ham at indføre mange forbedringer af observationsteknikken. Dette gælder først og fremmest bestemmelserne af havvandets klorindhold ved titrering efter Mohrs metode, hvor han konstruerede en pipette til hurtig og nøjagtig afmåling af et bestemt volumen af havvand. Den anvendtes stadig under betegnelsen *Knudsenpipetten* gennem det meste af det følgende århundrede. Et andet stort fremskridt var hans indførelse af *normalvand* (*Standard Seawater*), til kontrol af den ved klortitreringerne anvendte sølvnitratopløsningskoncentration. Desuden konstruerede han et forbedret vendetermometer og et luftanalyseapparat til undersøgelse af havvandets indhold af opløste luftarter.



Figur 6. Laboratoriet på skrueskonnerten Ingolf. Foto: 1895.

Det var derfor helt naturligt, at den unge Knudsen blev den ene af Danmarks delegerede ved de første internationale havforskningskonferencer, som fandt sted i Stockholm 1899, Kristiania 1901 og København 1902 til planlægning af internationale havundersøgelser, og det skyldtes i væsentlig grad hans indflydelse, at centralledelsen af undersøgelserne efter oprettelsen af *The International Council for Exploration of the Sea* (*Det Internationale Havforskningsråd*) ICES/CIEM fik hovedsæde i København fra 1902, hvor det i øvrigt fortsat ligger efter næsten 120 år.

Ved den første af de nævnte konferencer fremsatte Knudsen forslag om en international institution til fremstilling af normalvand og påviste, at man ved anvendelse af dette kunne opnå, at alle klortitreringer, der udførtes på forskellige ekspeditioner og havinspektionsskibe, selv om der anvendtes ganske simple målemetoder, ville være sammenlignelige med den høje grad af nøjagtighed, som er nødvendig. Erfaringen viste nemlig, at variationerne i havvandets indhold af opløste salte er ganske små, men ikke desto mindre af stor biologisk betydning på grund af deres indflydelse på havstrømmene. Derfor krævedes der stor nøjagtighed i målingerne.

Ved den lejlighed blev han medlem af en kommission, der skulle revidere de hidtil anvendte hydrografiske tabeller (tabeller over vægtfyldens afhængighed af temperatur og klorindhold). Arbejdet med denne revision blev overdraget Knudsen, som dels selvstændigt,

dels sammen med et team af gode medarbejdere: S.P.L. Sørensen, J.P. Jacobsen og andre, gennemførte det store antal analyser og beregninger, der kom til at ligge til grund for *Knudsens Hydrografiske Tabeller*. Dette resulterede igen i, at Knudsen og hans assistent J.P. Jacobsen udviklede de såkaldte *T-S-diagrammer*, der sammen med de hydrografiske tabeller blev internationale standarder til bestemmelse af en havvandsprøves karakteristiske størrelser på grundlag af Mohr-titrering under anvendelse af normalvand, som siden er blevet anvendt overalt i verden i størstedelen af det 20. århundrede.



Figur 7. Knudsens vendetermometer og ampul med “Standard Seawater”.

Fremstillingen af *normalvand*, som i tilmeldte ampuller blev sendt ud til alle hydrologiske laboratorier verden over, blev – efter at den i en kort årrække havde været henlagt til “Council Centrallaboratorium i Kristiania (Oslo)” under ledelse af polarforskeren Fridtjof Nansen – overdraget Knudsen, som personligt forestod fremstillingen fra 1908 til 1948.



Figur 8. Ampulfremstilling af “Standard Seawater” (normalvand). Foto fra 1960’erne.

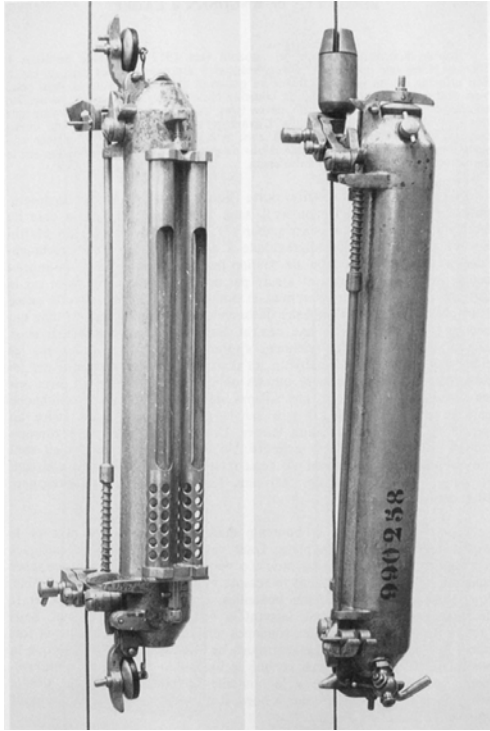
Vandet blev pumpet op fra Atlanterhavet og bragt til tanke på land. *Normalvandet* blev tappet på meget elegante, aflange 150 ml glasampuller, pakket i kasser og

sendt til laboratorier verden over. Herved blev det muligt internationalt at sammenligne saltkoncentrationer og beregne de bevægelser, der er fra overfladevand og ned i dybhavet. Indtil 1970’erne har mange studerende og yngre medarbejdere tjent en ekstraskilling ved dette arbejde – i begyndelsen på Københavns Universitet, men fra 1936 på Charlottenlund Slot og senere på Mariendalsvej på Frederiksberg. I dag er *Standard Sea Water*-laboratoriet en del af en international koncern. Normalvand anvendes fortsat over hele verden i forbindelse med kalibrering af måleinstrumenter i relation til saltholdighedsmålinger.



Figur 9. Instrumentmager og konservator Hans Jørgen Nielsen fremstiller en Knudsen-isolerende vandhenter. Foto fra ca. 1920.

Det stillede imidlertid også særlige krav til ekspeditionernes og havinspektionsskibenes instrumenteringer. Så en lang række udmærkede apparatkonstruktioner – især forskellige typer af vandhenter og bundprøvehenter – har været ekstra udfordringer til Knudsens opfindsomhed og til instrumentmagerens tekniske håndlag. Han designede også andre nye instrumenter fx buretter, pipetter og et spektrofotometer til måling af lysets nedtrængning i havet. Disse instrumenter og adskillige andre skyldtes Knudsens samarbejde med instrumentmager og konservator Hans Jørgen Nielsen, et samarbejde, der i mange år foregik i deres fælles selskab *Laboratoire Hydrographique*. Knudsen blev også kendt for at have forfinet konstruktionen af præcisions-termometeret, der tillod aflæsning af temperaturer med 0,01°C nøjagtighed på store dybder. Han udviklede også apparatur til nøjagtig bestemmelse af havvandets indhold af ilt, kvælstof og kuldioxid. Jacobsen, Nielsen og Knudsen udgjorde også et effektivt team igennem 1920’erne med bl.a. udviklingen af specialudstyr til B&W’s bygning i 1931 af havforskningsskibet “Atlantis” til den amerikanske oceanografiske institution Woods Hole, som blev oprettet i 1930.



Figur 10. “Bouteille de Knudsen à renversement”. Til venstre: åbne ventiler. Til højre: et faldlod har lukket ventilerne og vendt vandhenteren samt termometret. Foto: Y. Berard, NOAA (2014).

Uanset havenes urgamle betydning var man fortsat kun lige begyndt at forstå dem. Det var derfor først fra omkring år 1900, hvor Knudsen fik tabellagt klorindholdet og lavet en nem titreringsmetode, at der kom fremdrift i forskningen. Derved blev Knudsen en pioner inden for vandkemi og havvandets bevægelser og skabte sig verdensberømmelse inden for den disciplin, han anses som opfinder og grundlægger af: den fysiske oceanografi.

Foruden hans rent videnskabelige indsats har Knudsens administrative virksomhed været af uvurderlig betydning for de internationale havundersøgelers trivsel. Han har således hovedæren for de særdeles repræsentative adresser. Først var det på to fine adresser i København; men fra 1924 flyttede man ind i herskabsvillaen Villa Eltham ved Tuborg havn og i 1936 blev det til indflytning på Charlottenlund Slot, hvor også Kommissionen for Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser (DFH) fik til huse.

Knudsen var tilknyttet ICES' hovedkvarter 1902-1948 i forskellige ledende stillinger: hydrografisk assistent, redaktør for *Bulletin Hydrographique*, som udkom hvert kvartal, hydrografisk konsulent og “Chef du Service Hydrographique”. Han var endvidere den danske delegerede ved “the Council” – bestyrelsen for ICES, hvor han var vicepræsident i perioden 1933-1947, og formand for *Hydrography Committee* fra den blev dannet i 1925 til 1947.

Derudover spillede Knudsen den centrale rolle sammen med en svensk ven og kollega, kemikeren Sven Otto Pettersson, i ICES lige fra etableringen i 1902. Under vicepræsidentperioden for ICES fra 1933-1947 fik Knudsen på grund af 2. verdenskrig god anledning til at oplære sin efterfølger mag.scient. Jens Smed, som

afløste J.P. Jacobsen i 1939, til at koordinere ICES i den internationale rådgivning på fiskeriområdet, specielt i de europæiske farvande.

Knudsen-relationerne er et ligningssæt til bestemmelse af vandføringer i marine områder. De er en udvidelse af den såkaldte bevarelsessætning, der udtrykker, at det vand, der strømmer ind i et givet bassin er lig med transporten ud af bassinet + det, der evt. opmagasineres i bassinet. Dette kan (lidt populært) skrives: $Ind = Ud + Opmagasiner$. Hvis bevarelsessætningen opstilles for både vandvolumen og for vandmasse, kan formlerne kombineres og benyttes til at udregne vandføringer. Princippet bag relationerne er ret simpelt, men skal det anvendes på større komplicerede systemer, er det ikke uproblematisk, da det er svært at holde styr på transport af volumen og masse i naturlige systemer. Ved mere komplicerede systemer anvendes således typisk dynamiske modeller til beregning af vandføringer [10].



Figur 11. ICES' hovedkontor i Dessaufamiliens Villa Eltham ved Tuborg havn i Hellerup. Foto fra ca. 1930.

Knudsens initiativ og medvirken var af afgørende betydning for oprettelsen af *Danmarks Fiskerihøjskole* og *Danmarks Akvarium*, som det i 1939 lykkedes at få rigmanden og ingeniør Knud Højgård til at finansiere, hvor så sønnen Mogens Højgård blev direktør. Akvariet blev opført ved strandvejsindgangen til Charlottenlund og har alle årene lagt megen vægt på formidling og forskning, hvilket positionerede det internationalt. I akvariet fandtes over 3.000 fisk og vanddyr fordelt på 70 akvarier med over 80.000 liter vand.

For sin videnskabelige og administrative indsats modtog Knudsen havforskerens fornemste pris, Agassiz-medaljen, i 1935;

Med ansættelsen i 1963 af svenskeren Nils G. Jerlov (1909-90) blev fysisk oceanografi omsider et universitetsfag. Her videreførte Jerlov sine grundlæggende studier af havvandets optiske egenskaber, bl.a. på et togt med *Dana III* til Sargassohavet i 1966 og på en skandinavisk, optisk-oceanografisk ekspedition i Middelhavet

i 1971. Sammen med geofysik og astronomi blev fysisk oceanografi i omkring 1990 indlemmet på Niels Bohr Institutet.



Figur 12. Indvielsen den 21. april 1939 af Danmarks Akvarium. Statsminister Stauning sidder, mens ingeniør Knud Højgård holder talen. Foto fra Berlingske Tidende.

ICES-organisationen har i dag et sekretariat med en generalsekretær. Det faglige arbejde foregår i arbejdsgrupper, fx sildearbejdsgruppen. Medlemmerne af disse er forskere fra lande med interesser i det pågældende fiskeri. I dag sendes arbejdsgruppens anbefalinger via ICES til EU-Kommissionen, der tager de politiske beslutninger om eventuelle reguleringer af fiskeriet. Alle hos ICES har naturligvis været under ekstra pres under de sidste fire års forhandlinger om fiskeriaftalerne i forbindelse med Brexit og Englands udtræden af EU fra 1. januar 2021.



Figur 13. Niels Bohr og Martin Knudsen med bl.a. Georg de Hevesy og Valdemar Poulsen ved afskedsreception på NBI den 4. februar 1943.

Selskabet for Naturlærers Udbredelse

På Knudsens 70-årsdag udgav SNU en bog til hans ære, og bestyrelsen skrev i forordet til bogen [11]:

“Selskabet for Naturlærers Udbredelse ønsker på Deres 70-aars-dag at bringe Dem en hjertelig lykønsning i erkendelse af den dybe gæld, hvori Selskabets medlemmer står til Dem for Deres næsten 40-aarige ledelse af Selskabets virksomhed. Da De i aaret 1900 valgtes til formand for direktionen, indledtes en ny epoke for Selskabet for Naturlærers Udbredelse, i hvilken det lykkedes dem ikke alene på smukkeste måde at videreføre Selskabets gamle traditioner, men også at udvide rammerne for dets virksomhed til at omfatte sådanne nye betydningsfulde opgaver som udgivelsen

af “Fysisk Tidsskrift”, oprettelsen af H.C. Ørstedes 100-aars fond og uddelingen af H.C. Ørsted-medaljen. Næst efter Selskabets stifter har ingen som De bidraget til vort gamle Selskabs trivsel, og som et udtryk for den taknemmelighed, som hele Selskabet skylder Dem, ønsker dette for fremtiden at måtte betragte Dem som Selskabets æresmedlem. For at Selskabets årsberetning i dagens anledning kan fremtræde i en så festlig skikkelse som muligt, er denne i år blevet udvidet med et antal artikler af yngre og ældre videnskabsmænd, udarbejdet på grundlag af foredrag, der alle har været holdt i Selskabet for Naturlærers Udbredelse i løbet af de sidste år, og som vi håber vil give et indtryk af Selskabets levende virksomhed, som De har bidraget så meget til at skabe.

På direktionens vegne: Niels Bohr, Niels Bjerrum, P.O. Pedersen, Valdemar Poulsen og Ebbe Rasmussen.”

Litteratur

- [1] J.R.T. Seddon, H.J.W. Zandvliet og D. Lohse (2011) Knudsen gas provides nanobubble stability, *Phys.Rev.Lett.*, bind **107**, side 116101.
- [2] W. Steckelmacher (1951) Knudsen gauges, *Vacuum*, bind **1**, side 266.
- [3] P.A. Redhead (red.) (1994): *Vacuum science and technology*, Springer Verlag. Bogen har et kapitel om Martin Knudsen side 75–78 forfattet af H. Adam og W. Steckelmacher.
- [4] M. Knudsen (1934) *The Kinetic Theory of Gases – Some modern aspects*, Methuen’s Monographs on Physical Subjects, Methuen & Co. Ltd., London (1934).
- [5] R.E.H. Rasmussen (1949) Mindeord over Martin Knudsen, *Meddelelser fra ATV*, nr. 1, side 9–24.
- [6] M. Knudsen (1899) *Hydrography, The Danish Ingolf-expedition*, Report nr. 1, side 23–161.
- [7] M. Knudsen og J.P. Jacobsen (1940) *Urnormal 1937 or primary standard sea-water 1937*, *Internat. Assn. Phys. Oceanogr.*, Pub.sci. 7, Liverpool.
- [8] H. Thomsen (1954) *Instructions pratique sur la determination de la salinité de l’eau de mer par méthode de titrage Mohr-Knudsen*, *Bulletin de l’Institut Océanographique de Monaco*, bind **51**, side 1–20.
- [9] J. Smed (2002) Martin Knudsen – the oceanographer, *ICES Marine Science Symposia*, nr. 215, side 124–131.
- [10] M. Knudsen (1900) *Ein Hydrographischer Lehrsatze*, *Hydrogr. Mar. Meteorol.*, bind **28**, side 316–320.
- [11] N. Bohr, N. Bjerrum, P.O. Pedersen, V. Poulsen og E. Rasmussen (1941) *Martin Knudsen*, 15. febr. 1941, *Festskrift af Selskabet For Naturlærers Udbredelse*.



Bjarne Fredberg Knudsen har i mere end 50 år været dokumentarist i farmaindustrien og bl.a. CEO for ALK-medicinalvirksomheden.