

1 Historien om professor Martin Knudsen's forskning – Hasmark, Enebærødde og Fredberg slægten i Østrup



Af Bjarne Fredberg Knudsen

Selvom en del af de ældre i Hasmark stadig ved noget om Martin Knudsen – professoren der havde en større feriebolig i Hasmark - så er det næsten ukendt hvad han stod for. I nutiden er han helt gået i glemmebogen til trods for at han i sin tid som professor i fysik også var pionér indenfor fysik og hydrografi. Inden for fysik var han sammen med Niels Bohr og Albert Einstein blandt verdens førende og med til grundlæggelsen af **Kvantemekanikken** (eller **kvantefysikken**), som er en gren af fysikken der beskæftiger sig med stofs egenskaber på atom niveau og endnu mindre (subatom) (meget lille skala).

Hvad var baggrunden? Ud over sin anvendelse inden for fysik og kemi har kvantemekanikken også haft stor betydning for filosofiske emner. Kvantemekanikken baserer sig på brug af bølgefunktioner til at beskrive partikler. En bølgefunktion er en matematisk konstruktion, der ikke har nogen direkte fysisk betydning i sig selv. I år 1900 foreslog Max Planck at energi kan være kvantiseret. Denne ide opstod i et forsøg på at beskrive den observerede frekvensfordeling af energi udsendt fra sortlegemer. Einstein forklarede i 1905 den fotoelektriske effekt ved på tilsvarende vis at postulere at lysets energi er kvantiseret. I 1913 forklarede Martin Knudsen's ven og kollega Niels Bohr brintatoms spektrallinjer ved at antage kvantiserede energitilstande.



2 Historien om professor Martin Knudsen's forskning – Hasmark, Enebærodde og Fredberg slægten i Østrup

Solvay konferencen 1911 hvor kvantefysikken blev grundigt endevendt. Martin Knudsen er stående som nummer 7 fra venstre.

Endeligt i 1924 fremførte Louis de Broglie sin teori for stoffets bølgenatur. Trods deres succes var disse teorier rent fænomenologiske: der var intet fundamentalt argument for kvantisering. Disse teorier kaldes overordnet for den *gamle kvantemekanik*. Den *moderne kvantemekanik* opstod i 1925 hvor Heisenberg udviklede matrixbeskrivelsen, og hvor Schrödinger udviklede bølgebeskrivelsen og opstillede Schrödingers ligning. Schrödinger viste efterfølgende at de to tilgange er ækvivalente.

Werner Heisenberg postulerede sit usikkerhedsprincip i 1927. Kvantemekanikken udvikler sig til det der kendes som "*København-fortolkningen*".



Solvay konferencen 1927 hvor kvantemekanikken blev forenet med relativitetsteorien. Martin Knudsen siddende nummer 3 fra venstre.

I 1927 bliver kvantemekanikken også forenet med den specielle relativitetsteori gennem Paul Diracs arbejde. Paul Dirac udviklede ligeledes brugen af operator-teori i kvantemekanikken - specielt den indflydelsesrige bra-ket notation. I 1932 formulerede John von Neumann en streng matematisk basis for kvantemekanik formuleret som operator-teori.

Martin Knudsen fra Hasmark på Nordfyn var en virkelig berømt indendør den mest avancerede forskning i fysik! Ved Solvay konferencen i

3 **Historien om professor Martin Knudsen's forskning – Hasmark, Enebærodde og Fredberg slægten i Østrup**

1927 var der 29 deltagende forskere af dem blev 17 senere Nobelpris vindere – Martin Knudsen var indstillet; men fik den ikke. Udviklingen indenfor hydrografi eller dybhavs forskning tog først fart langt senere end kvantefysikken. Derfor var Martin Knudsen nok forud for sin tid, og han ville utvivlsomt have vundet en Nobelpris hvis han havde levet væsentligt længere. Til gengæld blev han professor og rektor for Københavns Universitet og æres doktor "*Doctor honoris causa*". Det er f.eks. interessant at Martin Knudsen omtales og citeres for sine forsknings resultater i helt moderne videnskabelige lærebøger ²³⁻⁴¹.

Ved hans død blev der fra flere sider udtrykt sorg over tabet af ham. Akademiet for de tekniske Videnskaber's første meddelelse (nr.1) i 1949 drejede sig om at dansk videnskab havde mistet en af sine allerstørste personligheder, hvis arbejde var kendt og beundret verden over, ved professor Martin Knudsens død 27.maj 1949 ²¹.

Martin Knudsens evner for eksperimental fysik blev første gang dokumenteret, da han i 1895, 24 år gammel, vandt universitetets guldmedalje for en prisopgave om "*Elektriske gnisters evne til at rive stof med sig dels fra elektroderne dels fra det medium de slår over i*" og året efter tog embedseksamen ved Københavns universitet.

Han blev ansat ved Polyteknisk læreanstalt som assistent, og et par år senere ved Københavns universitets medico-fysiske øvelser, som han udarbejdede vejledning til. De eksisterede stadig da jeg læste medicin og havde medico-fysikøvelser i 1965!

I 1901 fik han det nyoprettede docentur i fysik – en særlig ærefyldt og betroet stilling, hvorunder de medicinske studenter's fysikundervisning lå og i 1912 blev han udnævnt til professor i fysik ved Københavns universitet, samt til bestyrer af Polyteknisk Læreanstalts fysiske samling, en stilling han bestred indtil 1941.

Martin Knudsens videnskabelige forskningsarbejde omfattede to vidt forskellige felter; hydrografien og molekylærfysikken. Han blev berømt for sine studier af molekylerne i luft strømme og udviklingen af "*Knudsen cellen*", som er en primær komponent af molekyle strålers "*epitaxi*" systemer. Knudsen var også vidende og kendt for sine arbejder med kinetisk-molekylære teorier og hvad der sker med luftarter under lave tryk. Knudsen var også aktiv i den fysiske

oceanografi især med udviklingen af metoder til at definere egenskaberne i og af havvand.

Han deltog som sagt også i de to legendariske Internationale Solvay konferencer med en lille flok af verdens førende videnskabsmænd i 1911 og 1927 hvor også Niels Bohr, Albert Einstein, Marie Curie m.fl. deltog -

Martin Knudsen var også medlem af Videnskabernes Selskab, æresmedlem af det Kongelige Danske Geografiske Selskab, rektor ved Københavns universitet, medlem af Akademiet for de tekniske Videnskaber, samt flere udenlandske videnskabelige selskaber. Han var derudover Kommandør af Dannebrog 1. grad.

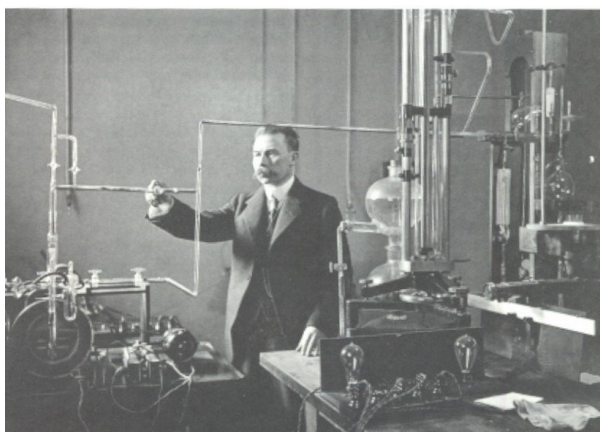
Martin Knudsen (15.2.1871-27.5.1949) var dansk fysiker, professor ved Københavns Universitet 1912-41. Martin Knudsen's forældre Maren Kirstine Hansdatter Fredberg kaldet "Stine" og Jørgen Knudsen var nu ved sønnens dåb 2.4.1871 i Norup Kirke blevet gårdbestyrer på Martinegård på Enebærodde under Hofmansgave i Hasmark; tidligere var faderen kusk og tjener for hofjægermester N.E. Hofman-Bang, og før dette, fårehyrde. Den 1.maj 1870 kom Jørgen Knudsen og hans hustru "Stine" til Martinegården på Hals, som de havde fået i forpagtning af etatsråden med en årlig afgift af 5 tønder kartofler. Her fødtes sønnen Martin Knudsen deres eneste barn 15.2.1871. Fadder ved sønnens dåb var Frøken Malling (enkefrue Charlotte Malling, som boede 72 år på Hofmansgave og døde 1879) på Hofmansgave og Etatsråd Hofmans-Bang på Hofmansgave. På Martinegården oplevedes stormfloden 13.nov. 1872 da der kun var 7 alen (ca 4,5 meter) mellem Kattegat og Odense Fjord på det smalle Dræ og sprøjtet skyllede ned ad vinduerne. Spurve ænder og andre fugle blæste ned.

Folkesnakken i Hasmark siger at det ikke er Jørgen Knudsen der er faderen; men en af dem fra Hofmansgave. Medlemmer af lokalhistorisk forening i Otterup, beskriver noget i den retning; men det er jo tit at der kører diverse vandrehistorier i lokalområderne. Imidlertid findes der en lokalhistorisk forskergruppe bestående af bl.a. tidligere vismand professor Ebbe Yndgård og hans hustru Else, ingeniør Carl Pedersen samt bibliotekar Margit Egdal, som er i familie med Martin Knudsen's far - Jørgen Knudsen som var bror til Margit Egdal's farfar's farmor, og hun nævner, efter nøje at have studeret og sammenlignet ungdoms foto's at man i familien aldrig har været i tvivl om andet end at det var en af dem på Hofmansgave som var faderen til Martin – den ene af dem var 67år og den anden 26år og Maren Kirstine 32år.



Martin Knudsen ved konfirmationen? 1885? Privatfoto Margit Egdal

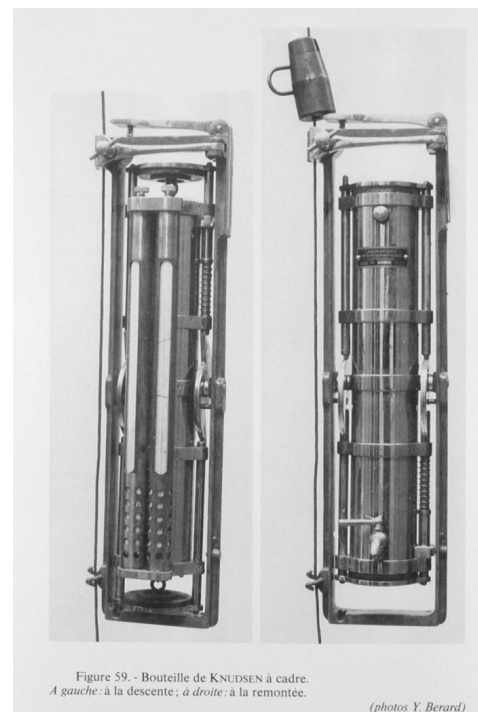
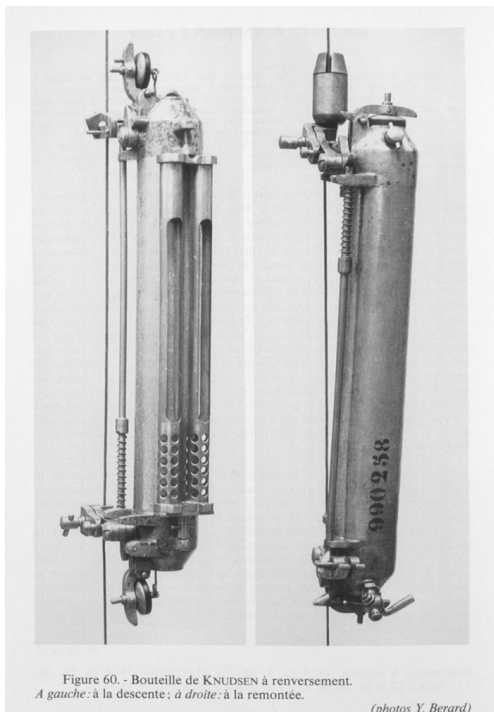
Martin Knudsen gik ind til sit 13. år i almueskolen og var vogterdreng om sommeren før han kom på latinskolen i Odense. Han blev student i 1890. Som student arbejdede han i C. Christiansens Laboratorium og hans mekaniske snilde og ypperlige håndelag gjorde det muligt for ham at tjene til føden ved at udføre mekaniker-, snedker- og glasblæserarbejde. I 1895 fik han universitetets guldmedalje for sin besvarelse af en prisopgave om elektriske gnisters evne til at rive stof med sig. Han blev cand.mag. i fysik i 1896 og samme år blev han undervisningsassistent på polyteknisk læreanstalt. Han deltog i 1895-96 i Ingolf ekspeditionen med et dansk havforskningssskib og blev derved en internationalt kendt hydrograf. Hans store tekniske dygtighed gav sig udslag i konstruktionen af nye måleapparater, og hans organisatoriske evner bragte ham frem til ledende stillinger. Martin Knudsen har endvidere vundet et højt anset navn som fysiker gennem sine banebrydende arbejder på den kinetiske luftteoris område. Ved forsøgene, der begyndte i 1907, undersøgte han i modsætning til andre forskere forholdene ved overordentlig lave tryk (ca 1 milliontedel atmosfæres tryk) hvor luftmolekylerne kan gå lange veje uden indbyrdes sammenstød.



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

Ved konstruktionen af et "absolut manometer" blev han i stand til at måle disse lave tryk, og han kunne både bekræfte teorien langt mere eksakt end det før var

muligt, afsløre nye egenskaber ved luftarterne og yde betydelige bidrag til opklaring af forholdene ved fordampning. Han har bl.a. udviklet en metode til bestemmelse af havvands saltholdighed og beregning af vandtransporten til og fra lukkede havområder, de såkaldte *Knudsen-relationer*. Hans specialkonstruerede pipette blev internationalt standardudstyr, og hans "normalvand" fremstillet i København blev distribueret til havforsknings-laboratorier verden over. Gennem Kommissionen for Havundersøgelser var han med til at danne Det Internationale Havundersøgelsesråd (*ICES*) i 1902 samt at sikre, at dette råd fik sit hovedsæde i København. I 1899 blev han assistent ved de medico-fysiske øvelser og i 1901 docent. I 1912 blev han professor i fysik ved Københavns universitet.



Knudsen flasker eller pipetter opfundet 1921

I perioden 1907-17 forskede Knudsen i gassers opførsel ved meget lave tryk. Han opfandt et absolut manometer og formulerede en cosinus-lov for molekylers vekselvirkning med væggene i en beholder. Han udledte også en lov for strømning ved lave tryk og bekræftede den ved nøjagtige eksperimenter. Hans resultater var en afgørende bekræftelse af den kinetiske gasteori og blev vigtige for vakuumteknikkens udvikling.

Knudsen gjorde en stor indsats for såvel fysikundervisningen ved universitetet og Polyteknisk Lærestalt som for formidling af naturvidenskaben til en

7 Historien om professor Martin Knudsen's forskning – Hasmark, Enebærodde og Fredberg slægten i Østrup

breder offentlig. Han var formand for Selskabet for Naturlærers Udbredelse 1900-39.



Middag hos Martin Knudsen 14.oktober 1926. Siddende fra venstre Madame Roswadowska, Minister Hermite, Madame Curie, Minister Roswadowska og Fru Martin Knudsen (Ellen Ursin). Bagved set fra venstre **Professor Martin Knudsen**, Prof. P. O. Pedersen, Direktør Ove Munck, Prof. S.P.L. Sørensen, Fru Ove Munck, Fru Niels Bohr, Fru Ellinger, Madame Hermite, Professor Niels Bohr, Fru P.O. Petersen, Fru S.P.L. Sørensen, Prof. Prytz og Prof. Ellinger. I forgrunden ses husets ungdom-Else tv 21år, Inger Margrethe 19år og to af de i alt 3 drenge Jørgen, Poul og Helge. Foto DTU

Kort fortalt om Martin Knudsen's karriere:

- 1890 Student fra Odense
- 1895 Universitetes guldmedalje
- 1896 Embedseksamen cand. mag.
- 1896 Assistent ved Polyteknisk Lærestanstalt fysisk samling
- 1899 Assistent ved Universitetets medico-fysiske Laboratorium (senere Bestyrer af samme);
- 1900-1939 Formand i Selskabet for Naturlærers Udbredelse
- 1901- 1912 Docent i fysik ved universitetet

8 **Historien om professor Martin Knudsen's forskning – Hasmark, Enebærodde og Fredberg slægten i Østrup**

- 1902- ??? Leder af de danske hydrografiske Undersøgelser
- 1902-1948 Danmarks Delegerede ved de internationale Havundersøgelser (ICES)
- 1909-1948 Medlem af "Det kongelige Danske Videnskabernes Selskab"
- 1911 deltog i det første internationale Solvay konference om kvantefysik
- 1911-1937 Vicepræsident i Danmarks Naturvidenskabelige Samfund
- 1912- 1941 Professor i fysik ved universitetet Bestyrer af fysisk samling ved Polyteknisk Lærestanstalt
- 1912 Medlem af Société Géographique de la Finlande
- 1916 HC Ørsted Medaljen - Guld
- 1917-1945 Sekretær for Videnskabernes Selskab
- 1918 Dr. Phil. H.c. ved Lunds universitet
- 1918 Medlem af Kungl. Fysiografiska Sällskapet, Lund
- 1919 Medlem af Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen
- 1919 Ridder af Dannebrog
- 1921 Medlem af Preussische Akademie der Wissenschaften
- 1922 Medlem af Finska Vetenskaps-Societeten
- 1922 Medlem af Royal Institution of Great Britain
- 1926 Æresmedlem af det Kgl. danske Geografiske Selskab
- 1927 deltog i den anden internationale Solvay konference om kvantefysik og relativitetsteorien.
- 1927- 1928 Rektor magnificus på Københavns universitet
- 1928-1936 Efor for Valkendorfs Kollegium
- 1928 Medlem af Kungl. Vetenskaps Societeten i Upsala
- 1931-1943 Medlem af Bestyrelsen for Hagemanns Kollegium
- 1930-1934 Formand for Odenseaner-Samfundet
- 1930-1936 Præsident i den internationale Association for fysisk Oceanografi
- 1930 Medlem af Det norske Videnskaps-Akademi
- 1933-1943 Vicepræsident for de internationale Havundersøgelser (ICES)
- 1934 Medlem af Russian Geographical Society
- 1935 Agassiz Medaljen (Awarded for an original contribution in the science of oceanography. Established by Sir John Murray in honor of his friend, Alexander Agassiz);
- 1936-1948 Formand i Bestyrelsen for Danmarks Akvarium

9 Historien om professor Martin Knudsen's forskning – Hasmark, Enebærodde og Fredberg slægten i Østrup

- 1937 Medlem af Akademiet for de tekniske Videnskaber
- 1939 Doctor of Science h.c. ved universitetet i Liverpool
- 1941 Æresmedlem i Selskabet for Naturlærens Udbredelse
- Kommandør af Dannebrog 1. grad.

Hvad var det så for noget forskning Martin Knudsen bedrev?:

Om Salinitet:

salinitet, (afledn. af lat. *sal* 'salt'), *saltholdighed*, mængden af opløst stof, målt i gram, der er indeholdt i et kilo havvand. Hovedparten af havvand (ca. 96,5%) er rent vand, mens de resterende ca. 3,5% består af opløste stoffer i ion- eller molekyleform.

Danske forskere har spillet en fremtrædende rolle i udviklingen af metoder til bestemmelse af havvandets salinitet. J.G. Forchhammer var en af de første til at undersøge spørgsmålet om havvandets bestanddele og publicerede i 1859 resultatet af grundige undersøgelser af vandprøver indsamlet under *Galatheas* jordomsejling 1845-47. Analyserne viste, at de indbyrdes forhold mellem de dominerende opløste stoffer i havvand fra åbne havområder er konstante. Med baggrund i Forchhammers analyser blev den første definition på salinitet (S), på forslag af professor Martin Knudsen, vedtaget i 1901: $S = 0,030 + 1805 \times \text{kloriniteten}$, hvor kloriniteten er et mål for mængden af klor-, brom-, jod- og fluorioner. Salinitet blev udtrykt i promille. I dag bestemmes salinitet ved måling af havvandets ledningsevne, og saliniteten udtrykkes ved **psu**(practical salinity unit).

Om Hav (Havforskning - Kemisk oceanografi):

beskriver havvandets opløste stoffer, de kemiske kredsløb, næringsalte og diverse vekselvirkninger mellem atmosfære, land, havbund og havvand. Stoffer, der findes på landjorden, ender før eller siden i havet. Såvel naturligt forekommende stoffer som de fleste menneskeskabte kan derfor isoleres fra havvand, men pga. klodens umådelige mængder af havvand er de fleste stoffer kun til stede i spormængder, inklusive fosfat, nitrat og øvrige næringsalte. Ti stoffer udgør således 99,9% af de salte, som findes opløst i havvand, heraf er almindeligt salt, natriumklorid, helt dominerende.

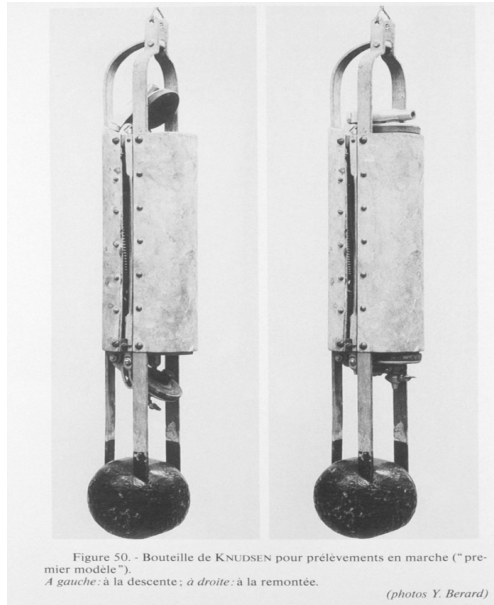
Allerede i 1857 havde den danske geolog J.G. Forchhammer konstateret, at havvandets indhold af opløste salte findes i næsten konstante forhold. I 1901 kunne fysikeren Martin Knudsen derfor redigere en samling hydrografiske tabeller, hvorefter man kunne beregne havvandets massefylde og den totale saltholdighed ud fra mængden af klorid bestemt ved titrering med sølvnitrat. Disse tabeller anvendes stadig. Oceanisk vand indeholder 19,3 g klorid pr. kg vand. Det svarer til en total mængde salt på 35‰. Vandets saltholdighed kan også måles ud fra ledningsevnen eller ud fra frysepunktssænkningen i forhold til destilleret vand, evt. som osmotisk tryk. Alle disse mål kan efterfølgende omregnes til ‰ salt, men resultatet bliver ikke nødvendigvis sammenfaldende med saltholdighed bestemt ud fra mængden af klorid. Det skyldes, at der er mindre variationer i vandets ionsammensætning, alt efter om man måler på kystnært eller oceanisk vand.



Ved indvielsen d. 21. april 1939 af Danmarks Akvarium modtages Kong Christian X og Dronning Alexandrine af fiskeridirektør C. Trolle Thomsen, professor Martin Knudsen og ingeniør Knud Højgård. Delvis skjult bag kongen ses Mogens Højgård. Foto Danmarks Akvarium

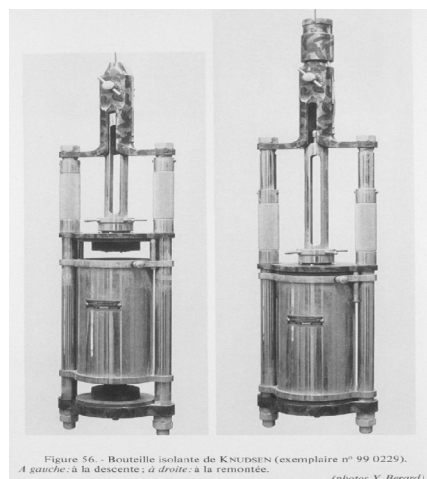
Om Hav (Havforskning - Fysisk oceanografi)

Omfatter studier af bl.a. lysets gennemtrængning, temperatur, bølger, tidevand, cirkulation i oceaner og kystnære områder, marine fronter samt blandingsprocesser såsom opvældning (*upwelling*) af næringsrigt vand fra dybere dele af oceanerne. Opvældning af dybvand har stor betydning for havets produktionsforhold. Fænomenet er særlig udtalt på kontinenternes vestside på den sydlige halvkugle.



Første Knudsen flaske fra 1908 til opsamling af dybvands prøver fra 250m i Nordsøen mellem Aberdeen og Stavanger

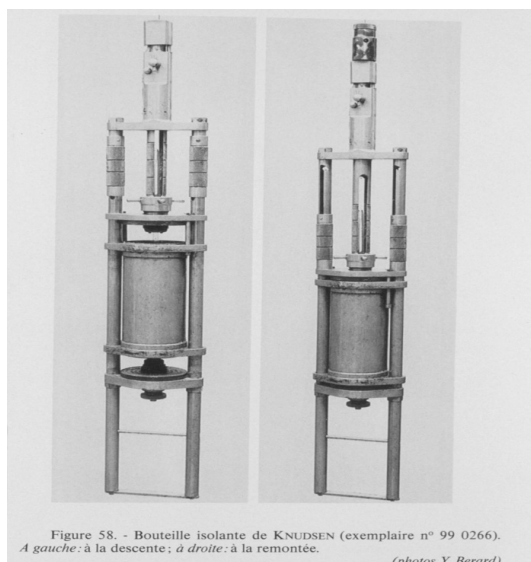
Martin Knudsen anses for en af den fysiske oceanografis grundlæggere. Ud over de hydrografiske tabeller blev han bl.a. kendt for at have forfinet konstruktionen af præcisionstermometeret, der tillod aflæsning af temperaturer med 0,01 °C nøjagtighed på store dybder. Han udviklede også apparatur til nøjagtig bestemmelse af havvandets indhold af ilt, kvælstof og kuldioxid. Derudover spillede han en central rolle i Det Internationale Havundersøgelsesråd (ICES), som blev etableret i 1902 og har hovedsæde i København.



Knudsen flasken fra 1921

Forchhammer havde vist, at man ud fra saltholdigheden kunne fastlægge grænserne for de store havstrømme. På grundlag heraf udviklede J.P. Jacobsen

(1877-1946) de såkaldte T-S-diagrammer, som han ved analyse af temperatur og saltindhold benyttede til undersøgelser af Nordatlantens vandmasser; desuden beskæftigede han sig indgående med de danske farvandes hydrografi, specielt strømforholdene.



Knudsen flaske fra 1921

Med ansættelsen af svenskeren Nils G. Jerlov (1909-90) og oprettelsen af et nyt institut i 1963 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.



Knudsen termometer opfundet i 1896

Martin Knudsen's opvækst på Enebær odde på Nordfyn har givet ham mulighed for at studere vandmasserne strømmende ind og ud af det smalle løb ved Gabet. Gabet er den lille passage der er fra Fjorden ud til Kattegat. *Da ca 1/3 af Fyn afvandes via Odense å og dermed Odense Fjord er der stor strøm i Fjorden. Dertil kommer at tidevandet skal passere hver 6. time – Fjorden er ca 60km², og tidevandet stiger ca ½ meter, hvilket betyder at der skal passere betydelige vandmasser - 30 millioner m³ vand- 4 gange i døgnet.*

Ved hård nordlig eller sydøstlig vind er søen i Gabet temmelig voldsom når vind og strøm går mod hinanden. Der er et "strømhjul" på 16 meters dybde, svarende til det halve af Rundetårns højde! midt i Gabet hvor de enorme vandmængder ind og ud af Fjorden passerer med en voldsom kraft især ved kombinationen af ebbe, kraftig regn og en nordlig storm så bliver de øverste vandmasser et frådende inferno, og de nederste vandmasser, som strømmer indad i Fjorden vil også være voldsomme selvom dette ikke kan ses. Ved stormflodsannelser især ved nordlige vindretninger har der været fare for og i visse tilfælde dæmningsbrud. Tilsvarende vil en sydøstlig storm i kombination med opbyggende flod have samme, men modsatrettede effekt hvor den største drivende kraft af vandmasserne er i det øverste lag. Det er ikke underligt, at ved drukneulykker ved Gabet finder man ofte de omkomne langt fra ulykkesstedet.

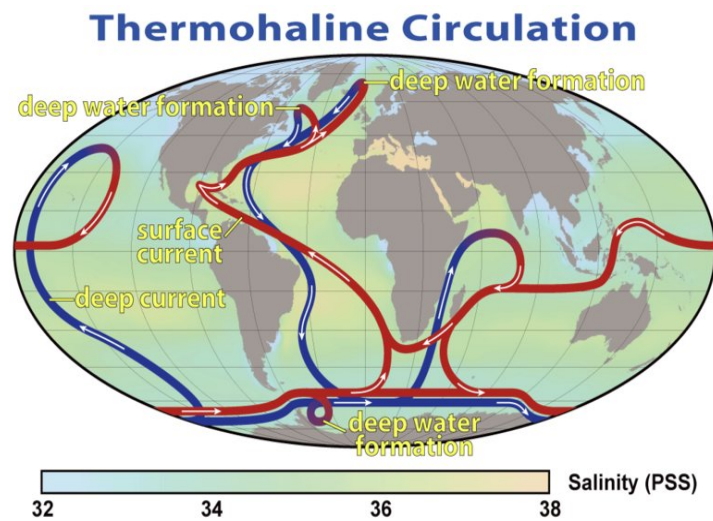
*Udgangspunktet for livet i Fjordens vand og det nære Kattegat er planternes produktion af organisk stof. Denne produktion er også afhængig af de fysiske forhold i vandsøjlen. Pga forskelle i vandets massefylde opstår der ofte en skilleflade i vandsøjlen. Dette såkaldte springlag (**saltspringlag, haloklin**) adskiller vandsøjlen i et øvre og et nedre lag som strømmer hver sin retning, og hvor det lettere og mindre saltholdige vand ligger øverst. Lagdelingen af vandet har afgørende betydning for produktionsforholdene. Springlaget hæmmer opblandingen af de to vandmasser og begrænser dermed effektivt udvekslingen af næringsstoffer mellem vandlagene. Derfor er der tit stor forskel i indhold på indholdet af ilt og næringsstoffer i de to vandlag. Lagdelingen påvirker ikke i samme grad nedfaldet af partikler (organisk stof) fra de øvre vandlag til bunden.*

*Springlaget er placeret i vandsøjlen netop der, hvor ændringen i vandets massefylde er størst med dybden. Springlaget er naturligvis tykkest ved Gabet. Gennem sommeren hæver solens indstråling vandets temperatur i overfladelaget. Herved falder vandets massefylde yderligere, og temperaturforskellen mellem overfladelaget og bundlaget forstærker således lagdelingen. Et springlag der er betinget af temperaturforskelle, kaldes et temperaturspringlag (**termoklin**). Med den store ferskvandsafvanding med lavt saltindhold og mødet med havvandet fra Kattegat, samt især om sommeren stor forskel i temperatur, er der et betydeligt springlag ved Gabet, som gør det overordentlig farligt at bade, og kæntningsulykker har ofte fået fatale følger. Kombineret med kraftig blæst fra nord eller sydøst gør det overordentlig farligt at sejle rundt ved Gabet i mindre både, f.eks. de fladbundede pramme man anvender inde i Fjordens lavvandede områder.*

I kort version var dette grundlag for noget af **fysikeren professor Martin Knudsen's** forskning – med hans opvækst tæt på Gabet er det vel sandsynligt at det er her han er blevet inspireret?

En fortsættelse af Martin Knudsen's arbejder foregår fortsat f.eks. fra det danske forskningsskib Dana hvor oceanograf Andy Visser fra DTU Aqua er leder af det nystartede Dansk Center for Havforskning. Andy Visser har for nylig analyseret målinger fra både Norskehaver og Irmingerhavet. Her er bl.a. saltindhold i vandet, temperaturen og trykket i vandet blevet målt. Han har indsamlet data fra vandsøjler fra udvalgte positioner i Nordatlanten for at opnå større viden om det store pumpesystem, der som en kæmpemæssig cirkulationspumpe sender Polarhavets vand ud på en rejse til de fjerneste afkroge af verdenshavene. Disse undersøgelser er med til at få mere viden om den store rolle pumpen spiller for både klimaet på Jorden og for oceanernes store organiske kredsløb. Populært sagt er det varmere overfladevand fra Golfstrømmen Erik den Røde for godt 1000 år siden satte årene i, da han og hans folk

stævne ud fra Islands kyst med kurs mod Grønland praktisk taget det samme overfladevand Andy Visser tager prøver af nu. I mellemtiden har vandet været ude på en "jordomsejling" både under og over havet. I Polarhavet fryser vandet til is i løbet af den arktiske vinter. Når havvandet fryser til is, vil saltet blive udskilt dvs at det vand der ikke fryser til is vil få en højere saltkoncentration og derved blive tungere. Om foråret når isen smelter løber der fersk gletchervand ud i havet. Det vil så lægge sig som endnu et lag oven i den smeltende havis. De stigende saltkoncentrationer vil derfor langsomt presse vandet nedad. På den måde opstår der lagdeling i vandet. Det meget salte og meget kolde havvand synker længere og længere ned i vandsøjlen. Og på et tidspunkt vil det synke helt til bunds hvor det bevæges rundt på Jordens havbund hvor det stille og roligt fylder alle havenes forskellige bassiner op med dette tunge og tæt koncentrerede saltvand nordfra. Når et bassin er fyldt op, flyder det over og videre hen over havbunden til det næste bassin. Der hvor forskningsskibet netop nu ligger stille for at analysere vandprøver i Danmarksstrædet mellem Grønland og Island finder man sådan et dybt bassin. Efter at have bevæget sig ud fra Polarhavet flyder den kolde havstrøm dybt nede gennem Vestatlanten, ned langs Brasiliens kyst, tværs gennem Sydhavet, op langs den chilenske kyst, for så at dukke op til overfladen ved Peru's kyst. Herfra begynder en ny rejse for vandet; men i denne omgang vil det tage godt og vel 10 år, før vandet igen når Polarhavet. Det gør det fordi overfladevandet ligger et lag, som kun er ca 100m, mens det kolde dybhavsvand er flere kilometer. Fra Peru's kyst strømmer vandet som overfladevand hen over Stillehavet, hvor det presser sig igennem det Indonesiske Ørige. Her fortsætter rejsen videre til det Indiske Ocean, ned mod Madagaskar, rundt om Kap Det Gode Håb i Sydafrika, over til den brasilianske kyst. Herfra strømmer vandet videre op til den Mexicanske Golf, hvor det fortsætter videre mod nord som det vi kender som Golfstrømmen. Denne strøm er varmt vand, der løber op mod Grønland og Island, spiller en altafgørende rolle for klimaet på hele den nordvestlige halvkugle. Oppe i Nordatlanten bliver vandet presset gennem to mindre stræder. Den ene vej er gennem Danmarksstrædet mellem Grønland og Island hvor der er forholdsvis smalt. Den anden vej op nordpå går øst om Island og op i Norskehavet. Endestationen er under alle omstændigheder Polarhavet, hvor vandet afkøles blander sig med smeltevandet og synker til bunds hvor en ny 1000år lang rejse kan atter tage sin begyndelse.



Det lagdelte ocean med Golfstrømmen øverst og den afsmeltede polaris nederst, som bevæger sig hver sin vej, fungerer som et kæmpemæssigt transportbånd, der ender i de to flaskehalse på hver sin side af Island. For at forstå hvordan den udveksling mellem koldt og varmt vand finder sted mellem dybhavsbassinerne og de mindre dybe områder i havet har Andy Visser valgt at sænke måleinstrumenterne ned i Irmingerhavet ud for Grønlands østkyst. For ikke nok med at det kolde havvand meget langsomt bevæger sig ud på sin jordomsejling, det kræver også energi at transportere det dybe polarvand op til overfladen ved den peruvianske kyst. Et mål med det nuværende togt er at undersøge dette energiregnskab. Tidevandet leverer omkring 60% af energien til denne store vandmasseelevator. Men de resterende 40% er fortsat et videnskabeligt mysterium. Nogle forskere mener at den resterende energi stammer fra vandlopper, der, når de bevæger sig op gennem vandsøjlen, får vandet til at bevæge sig. Andy Visser tilbageviser denne hypotese ud fra de fysiske love for selvom der er tale om enorme mængder vandlopper, og de vitterlig sætter gang i en bevægelse vil hovedparten af energi blive omsat til varme. Vandlopperne vil simpelthen ikke kunne flytte disse monstrøse mængder vand. Visser tror mere på en anden hypotese der går ud på at den manglende energi stammer fra undersøiske bølger der ligger mellem forskellige lag i vandsøjlen. Det er andre bølger end de 2-

3m høje bølger ved vandoverfladen. De undersøiske bølger vandlagene imellem er mellem 20 og 30m høje, og de kan bevæge over tusinder af kilometer uden at miste deres energi. Med kontinuertlige målinger fra 5-6 strategisk placerede bøjer er det tanken at man vil kunne registrere de undersøiske bølger mellem de forskellige lag i vandsøjlen og på den måde enten forkaste eller bekræfte hypotesen om de undersøiske bølger. Og i så fald om sådanne undersøiske bølger vandlagene imellem kan producere tilstrækkelig energi til at skabe den opdrift, der trækker det kolde vand op ved den peruvianske kyst. De resterende 40% svarer til den energi, som 1000 store kraftværker kan producere. Så det er en ganske betydelig mængde energi, der søges forklaring på. Man kan komme lidt tættere på svaret ved at forstå dynamikken i de store dybvandsbassiner. Nordatlanten er flaskehalsen til dette enorme pumpesystem, det er hjertet af systemet selvom man skal være forsigtig med den analogi. For der er ikke tale om en kraftig pumpe. Der er tale om en langt blidere udveksling. Den seneste måling ned gennem vandsøjlen fra et meget dybt sted i Irmingerhavet kunne man iagttage en distinkt lagopdeling af vandsøjlen; men om en langt mere subtil transition fra et vandlag til et andet.

Fra Martin Knudsen's opdagelser – inspireret af vandtransporterne ud og ind af Gabet ved Odense Fjord tæt ved hans barndomshjem – rummer havet fortsat flere mysterier. For at kunne forudsige noget om det klima generationerne efter os vil komme til at leve i, er det nødvendigt, at vi til fulde forstår de mekanismer som styrer klimaet. Her er Golfstrømmen en meget vigtig spiller.

Om Åkandefamilien:

I de unge blade er porerne så små, at de kan holde på overtrykket, der udlignes, ved at luften strømmer gennem stænglerne ned til jordstænglen og videre op til de gamle, utætte blade. Trods overtrykket i de unge blade kan der diffundere luft ind fra det lavere tryk udenfor, et fænomen, der er undersøgt i begyndelsen af 1900-t. af Martin Knudsen; efter ham kaldes fænomenet **Knudsen-diffusion** (se også nedenfor om **Knudsen-strømning**). Denne *indre vind* i åkander blev dog først detaljeret beskrevet i 1981, og det har siden vist sig, at den også findes i forskellige sumpplanter, der har stængler nede i iltfrit mudder. Ventileringen har den allerstørste betydning for de økologiske omsætninger her, og den er en af de fysiologiske mekanismer i rodzoneanlæg. **Åkanders indre vind** Det har været en gåde, hvordan der kan komme tilstrækkelig med ilt gennem de meterlange stængler ned til åkandens store jordstængel i det iltfrie mudder; diffusion vil være alt for langsom. Det har vist sig, at ilten pumpes aktivt af sted, endog i så store mængder, at der kommer 20 gange mere, end der bruges. I en åkande kan der pumpes op til $1\frac{1}{2}$ l luft i timen, og luftstrømmens hastighed er op til $\frac{1}{2}$ m i minuttet. Transporten drives af varme. Bladene varmes op af Solen, og et overtryk, bl.a. fra vanddampen, bygges op inde i bladene. I de store blade udlignes det straks med atmosfæren, fordi luften strømmer ud gennem de store porer.



Foto DTU

Åkandefamilien's største repræsentant, kæmpeåkande, *Victoria amazonica* som kan bære en vægt på 45kg, vakte berettiget opsigt, da den første gang blev udstillet i europæiske væksthuse i midten af 1800-t. Den britiske gartner og arkitekt Joseph Paxton var blandt de første, der dyrkede planten, og på denne tegning fra *The Illustrated London News*, 1849 demonstrerer hans datter bladernes bæreevne. Åkandefamilien, Nymphaeaceae, familie af to-kimbladede vandplanter med ca. seks slægter og 60 arter, udbredt over hele verden. Det formodes at være en primitiv gruppe blandt de dækfrøede, og den kendetegnes bl.a. ved talrige skruetillede blomsterblade og støvblade; visse bygningstræk minder om de enkimbladedes. Åkandefamilien er nært beslægtet med Cabombaceae. Det er kraftige urter med veludviklet jordstængel og langstilkede blade med en stor, afrundet plade, der ligger på vandoverfladen. I Danmark forekommer slægterne åkande (*Nuphar*) med to arter, bl.a. gul åkande, *Nuphar lutea*, og nøkkerose (*Nymphaea*) med én art, hvid åkande, *Nymphaea alba*; begge er ret almindelige i stillestående eller langsomt strømmende ferskvand. Fra Amazonasområdet kommer kæmpeåkande, *Victoria regia* eller *V. amazonica*, der undertiden dyrkes i tropiske væksthuse. Den har flydeblade, der er op til 2 m i diameter og nemt kan bære vægten af fx vadefugle. Ifølge nye resultater er den blandt de basale dækfrøede familier, der ikke har kunnet placeres i en orden.

Om Knudsen-strømning:

En strømning af stærkt fortyndede gasser. Når en gas gennemstrømmer et rør, vil strømningsbilledet afhænge af, om gasmolekulernes fri middelvejlængde er lille eller stor i forhold til rørets diameter. Den fri middelvejlængde er et mål for, hvor langt et molekule kan bevæge sig uden at støde ind i andre molekuler. Da denne vejlængde er omvendt proportional med tætheden af gas molekuler, kan den blive meget lang i stærkt fortyndede gasser. Hvis den fri middelvejlængde, l , er lille i forhold til rørets diameter, d , er den mængde gas, der strømmer igennem røret i løbet af et bestemt tidsrum, omvendt proportional med l i overensstemmelse med hydrodynamikkens love. Er l derimod stor i forhold til d , bliver den gennemstrømmede gasmængde uafhængig af l . Det dimensionsløse tal l/d betegnes Knudsen-tallet, Knudsen-Strømning ved høje værdier af Knudsen-tallet har stor teknologisk interesse, blandt andet i forbindelse med fremstilling af heterostrukturer.



Martin Knudsen

Fysik (De store skridt - Fysikkens historie i Danmark)

Det første egentlige danske bidrag til fysikken skyldes Rasmus Bartholin, der i 1669 opdagede lysets dobbeltbrydning i calcit og derved kom til at præge optikkens udvikling mod en forståelse af lysets natur. Hans svigersøn, Ole Rømer, fik, selvom han først og fremmest må regnes for astronom, også en markant placering i fysikkens historie gennem sin opdagelse i 1675-76 af, at lyset udbreder sig med en endelig hastighed.

Den følgende tid frem til H.C. Ørsted frembød ikke væsentlige danske bidrag, selvom fysik eksisterede som universitetsfag, men Ørsteds opdagelse af elektromagnetismen i 1820 ændrede helt dette billede. Som fysiker og kemiker blev Ørsted verdenskendt, og hans indsats for fysikken i Danmark satte sig dybe spor igennem initiativet til oprettelsen af Den Polytekniske Læreanstalt i 1829.

Ud over Ørsteds indsats blev 1800-t. præget af adskillige væsentlige bidrag, der ikke i alle tilfælde blev internationalt kendte. Stadsingeniør L.A. Colding målte varmens mekaniske ækvivalent, mens L.V. Lorenz, der var lærer ved officers-skolen i København, opnåede verdensberømmelse ved at måle forholdet mellem termisk og elektrisk ledningsevne til at være proportionalt med den absolutte temperatur og ens for alle metaller.

I begyndelsen af 1900-t. udførte Martin Knudsen sådanne banebrydende undersøgelser af luftarters egenskaber ved lave tryk, en indsats, hvis plads i fysikkens historie er markeret med **Knudsen-tallet**, der angiver forholdet mellem en luftarts fri middelvejlængde og beholderens udstrækning. Julius Hartmann, der var professor ved Den Polytekniske Læreanstalt fra 1929, gav et vigtigt bidrag til magnetohydrodynamikken; *Hartmann-tallet* karakteriserer således en viskøs, elektrisk ledende væske i et magnetfelt.

Martin Knudsens evner for eksperimentel fysik og pædagogik stimulerede og var medvirkende til store forskningsmæssige landvinding indenfor flere forskningsgrene, hvilket var ret præcist angivet i instituttets navn – polyteknisk læreanstalt. Han har således været katalysator til flot dansk grundforskning – som alt sammen startede på Nordfyn ved Hasmark, Enebærodde og Hofmansgave!

Fysikkens udvikling i Danmark i 1900-t. ville have været dramatisk forskellig uden den epokegørende indsats, der skyldes Niels Bohr og den forskning, der fandt sted på Niels Bohr Institutet, som blev et internationalt centrum for kvantefysikken og dens anvendelser på atom-, kerne- og partikelfysik. Instituttets fornemme tradition inden for kernefysikken blev yderligere markeret med tildeling af nobelprisen i 1975 til Aage Bohr og Ben Mottelson. Christian Møller, der var professor ved instituttet, ydede væsentlige bidrag til spredningsteori og til den almene relativitetsteori.

Indtil 1950'erne var fysikken i Danmark centreret i København, men med oprettelsen af et naturvidenskabeligt fakultet ved Aarhus Universitet og udflytningen af Den Polytekniske Læreanstalt (det senere Danmarks Tekniske Universitet, DTU) til Lyngby skete der en betydelig vækst af forskningsmiljøerne. Opførelsen af H.C. Ørsted Institutet i 1962 betød, at også de faste stoffers fysik blev et centralt emne for forskningen ved Københavns Universitet, ligesom det samtidigt skete ved DTU. Jens Lindhard og hans medarbejdere opbyggede det fysiske institut i Aarhus med ladede partiklers gennemtrængning af stof som et hovedtema. Under navnet Institut for Fysik og Astronomi spiller det en førende international rolle på adskillige områder inden for atom- og faststoffysik. Nye fysiske institutter blev desuden oprettet i Odense (1966), Roskilde (1972) og Aalborg (1974).

Grundlæggelsen af Forsøgsanlæg Risø (nu Forskningscenter Risø) i 1956 med henblik på fredelig udnyttelse af kernekraft fik i de følgende årtier stor betydning for fysikken i Danmark, især hvad angår faste stoffers fysik og materialeforskning. Det hører også med i billedet, at en betydelig del af den danske indsats er henlagt til europæiske centre som CERN i Genève og synkrotronfaciliteterne i Hamburg og Grenoble.

Endelig har danske virksomheder igennem de seneste år i stigende grad bidraget til fysisk forskning inden for især optik og elektronik. Det er i stor udstrækning sket i samarbejde med universiteter og nye forskningscentre som Mikroelektronik Centret og Center for Kommunikation, Optik og Materialer (COM) med hjemsted på DTU.

Referencer og Udvalgte Udgivelser:

1. Knudsen M: *Lærebog i Fysik*, København 1923 (Bog)
2. Knudsen M: *Fysiske Opgaver vol. 1,2,3*, København 1920-1933 (Bog om medicofysiske opgaver)
3. Smed J: *Martin Knudsen (1871–1949) and the standard seawater*. In: *Historisch-meereskundliches Jahrbuch*. Band 11, 2005, S. 157–170
4. Knudsen M: *Elektrisk Strøm gennem Luften*, Fysisk Tidsskrift, 1904-05, s. 145-148 (Tidsskriftartikel)
5. Knudsen M: *Opbevaring af levende Fisk*, Dansk Fiskeriforenings Medlemsblad, 1898, nr. 16 & 17 (Tidsskriftartikel)
6. Knudsen M: *Havets Naturlære – Hydrografi*, 1905 (Tidsskriftartikel)
7. Knudsen M: *Fiskeriet i Danmark*, bd. 1, s. 37-78 (Tidsskriftartikel)
8. Knudsen M: *Selvbiografi* i "inbudning til Filosofie doktorspromotion vid Lunds Univeritets 250. årsfest", 1918
9. Knudsen M: Københavns Universitets årsberetning 1895-1896, s.204
10. Knudsen M: Københavns Universitets årsberetning 1897-1898, s.662
11. Knudsen M: Københavns Universitets årsberetning 1901-1902, s.37 ff.
12. Knudsen M: Københavns Universitets årsberetning 1911-1912, s.492
13. Politiken, artikel, 22.6.1912
14. Politiken, artikel, 15.2.1918
15. Politiken, artikel, 17.2.1918
16. Knudsen M: *Studerterne fra 1890*, 1915
17. Knudsen M: Fysisk Tidsskrift, 1915-1916, s.137 ff.
18. "Illustreret Tidende", 27.2.1916
19. Berlingske Tidende, 14.2.1921
20. Polyteknikeren, 4.3.1921
21. Rasmussen R E H: *"Mindeord over Martin Knudsen"*, København 1949.
22. Knudsen Martin: Bibliografier www.past.dk/biographies PAST: Portal to Artifacts of Science and Technologies
23. Redhead P A (ed.): *Vacuum science and technology*. Bog med kapitel om Martin Knudsen (1871-1949) s.75-78 forfattet af H. Adam and W. Steckelmacher. Springer Verlag(1994), s.1-229.

24. Leppäranta M, Myrberg K (eds): Physical Oceanography of the Baltic Sea. Bog om bl.a. Martin Knudsen's tidlige teoretiske overvejelser s.17 og 89. Springer Verlag. (2008), s.1-378.
25. Bohr N, Aaserup F: Popularization and people (1911-1962). Bog med afsnit om Martin Knudsen s.289-324. Elsevier (2007), s.1-610.
26. Reed C (ed): Marine Science: Decade by Decade. Bog med beskrivelse af Martin Knudsen s.19, 182, 483. Infobase Publishing (2009), s.1-298.
27. Kox A J: The Scientific Correspondence of H. A. Lorentz. Bog med beskrivelse af Martin Knudsen forfattet af Robert Goldschmidt s.367. Springer Verlag (2008), s.1-777.
28. Barr S, Leudecke C: The History of the International Polar Years (IPYs) . Bog hvor Martin Knudsen omtales som præsident for International Council for the Exploration of the Sea s.152. Springer Verlag (2010), s.1-319.
29. Wallace W J (ed): The development of the chlorinity/salinity concept in oceanography. Bog hvor følgende nævnes: "*The titration procedure to determine chlorine by the Mohr method has become known as the Knudsen titration*" s.182. Elsevier (1974), s.1-227.
30. Katz J (ed): Introductory Fluid Mechanics. Bog hvor Knudsen ligningen er anført og citeret s.5. Cambridge University Press (2010), s.1-456.
31. Helrich C S (ed): Modern thermodynamics with statistical mechanics . Bog om: "*Static expansion is a technique first proposed by the Danish physicist Martin Knudsen --. If an ideal gas, or a gas for which the thermal equation --*" s.104. Springer Verlag (2009), s.1-402.
32. Library of Congress. Copyright Office Catalog of Copyright Entries. New Series. Bog som nævner "*/ 8574 Knudsen, Martin Hans Christian, 1871- ... Lærebog i fysik. København, Forfatterens forlag, i kommission hos J. Gjellerup, 1923. 4 p. L. 786 p illus.*" s.984. Library of Congress. Copyright Office, United States. Dept. of the Treasury (April, 1923 - May, 1924), Part 1, Group 1, v. 20 : Nos. 1 - 125.
33. Vogel G H (ed): Process development. Bog som citerer gas i gas diffusions koefficienten: $DAB = 10^{-5} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ H₂/CH₄ 8.1 H₂O/CH₄ 2.9 CO₂/CH₄ 1.5 N₂/O₂ 2.3 3) defineret af Martin Knudsen s.37. Wiley-VCH (2005), s.1-478.

34. National Academy of Sciences (U.S.) Report of the National Academy of Sciences. Bog der nævner:”- Martin Knudsen was born on the island of Funen, Denmark. February 15, 1871: student, University of Copenhagen, IS!MM:+»: honorary doctor of philosophy –“ s.21. National Academies (1935), s.1-135.
35. Moureau M, Brace G (eds): Dictionnaire du pétrole et autres sources d'énergie. Bog der omtaler Martin Knudsen:”- *physicien et océanographe danois. Knudsen number: nombre de Knudsen, nombre caractéristique de la dynamique des* –“ s.301. Editions TECHNIP (2008), s.1-1175.
36. Moureau M, Brace G (eds): Dictionnaire du pétrole et autres sources d'énergie. Bog der omtaler Martin Knudsen:”- *physicien et océanographe danois. Knudsen number: nombre de Knudsen, nombre caractéristique de la relation emperique moyenne entre la salinité et la chlorinité de léau de mer* –“ s.271. Editions TECHNIP (2000), s.1-1096.
37. Shelak B J (ed): Shipwrecks of Lake Michigan . Bog der bl.a. omtaler:”- The keeper of the Pilot Island light, Martin Knudsen, attempted to aid the crew ... had its first brush with disaster during the Great Chicago Fire of 1871-“ . Trails Books (2003), s.1-220.
38. Hyde C K, Mahan A, Mahan J (eds): The northern lights - Lighthouses of the Upper Great Lakes. Bog hvor i Martin Knudsen nævnes:”- *The new tower, completed in 1871, is a conical brick structure 18 feet in diameter ... Later keepers such as Martin Knudsen (1881-1889) viewed South Manitou-*“ s.112. Wayne State University Press (1986), s.1-208.
39. Robert Byron Bird R B, Stewart W E, Lightfoot E N (eds): Transport phenomena. Bog der caterer:”- *Martin Hans Christian Knudsen (1871–1949), professor of physics at the University of Copenhagen, did key experiments on the behavior of very dilute gases –The Knudsen Flow or free molecule flow regime* –“s.52. John Wiley & Son (2007), s.1-905.
40. Kremer G M (ed): An Introduction to the Boltzmann Equation and Transport Processes in Gases. Bog hvor Knudsen formlen nævnes og Martin Knudsen omtales s.94. Springer Verlag (2010), s.1-303.
41. Butt H-J (ed): Surface and Interfacial Forces . Bog hvor Martin Knudsen citeres s.151. Wiley-VCH (2010), s.1-421.

