

OM OPRINDELSEN
TIL DEN AF HR. ALF. SINDING-LARSEN PAAVISTE
LAGDELING I OPLØSNINGER

AF

C. CHRISTIANSEN.

I Drudes Annalen Bd. 9., S. 1186—1197 1902 beskriver SINDING-LARSEN en mærkelig Iagttagelse, som han har gjort. Han havde Klornatrium i fast Form i Bunden af et Reagensglas, ovenpaa dette stod noget Vand, ved Opvarmning vil man da ved Bunden af Glasset faa en næsten koncentreret Opløsning, medens der i den øverste Del af Glasset findes næsten rent Vand. I det han nu satte Reagensglasset ned i en større Beholder med koldt Vand, saa han til sin Forbavselse, at Vædsken delte sig i en Række horizontale Lag, der vare skarpt adskilte. Fænomenet forsvinder, naar Temperatur-differenserne udjævnes, men kan fremkaldes igen ved gentagen Opvarmning og Afkøling. Har man et Reagensglas med en saadan Opløsning med variabel Koncentration kan man ogsaa faa skraat stillede Lag. Dette sker naar Glassets ene Side opvarmes, medens den modsatte Side afkøles. Laget er da højest ved den varme Side. Forfatteren er tilbøjelig til at mene, at de forskellige Lag have forskellig Koncentration og sætter det i Forbindelse med Læren om Hydraterne. Han omtaler endvidere, at Temperaturen varierer stærkt, naar man gaar gennem Grændsefladen, som adskiller to Lag, og han beskriver nøjere den Cirkulation, som finder Sted i hvert enkelt Lag.

Jeg tvivler ikke om, at lignende Iagttagelser ere gjorte af andre; for flere Aar siden viste nu afdøde Cand. mag. N. RUNOLFSSON mig saadanne i en Saltopløsning, som holdtes varm foroven, kold forneden. Da Forklaringen heraf skulde synes at ligge i lignende Forhold som af Hr. SINDING-LARSEN antydet, tænkte jeg dengang ikke videre derover; men da Sagen nu paany er fremdraget, og jeg i Aar har holdt en Forelæsning over Haarrørvirkning, laa det nær for mig at gentage Forsøgene, saaledes som SINDING-LARSEN har fremstillet dem, for at se, om Fænomenet har noget med Overfladespænding at gøre.

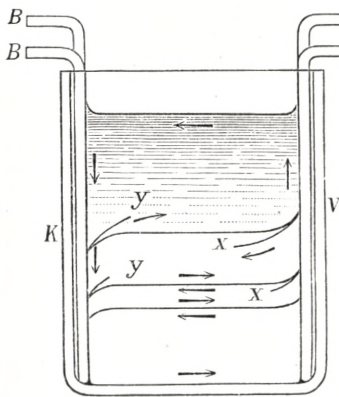


Fig. 1.

Ved at tænke over Sagen syntes det mig, at saadanne Lag maa kunne dannes paa følgende Maade. Antage vi, at der i en Del af en Opløsning, som vi kalde *A*, altsaa i et vist Rum, er ustadig Ligevægt, medens den øvrige Masse, *B*, er i stadig Ligevægt, saa vil en ringe Anledning bevirke, at der opstaar en Cirkulation i *A*, hvorved de enkelte Dele af den blandes med hinanden. Selv om de oprindelig vare af forskellig Koncentration, vil der snart dannes en homogen Masse, som vil have en skarpt begrændset Overflade, idet Temperatur og Koncentration vil være en anden i *A* end i de tilgrændsende Dele. Ved Diffusion vil denne Grændse dog efterhaanden udviskes, med mindre der er saadanne Forhold tilstede ved enkelte Dele af *A*'s Overflade, at den ikke kan komme i Ligevægt. I saa Tilfælde vil Cirkulationen bevirke, at *A* stadig holder sig adskilt og fremtræder som en næsten homogen Masse. Ved Diffusion og Medrivning paa Grund af Gnidning kan den vel undergaa Forandringer,

men den vil dog blive ved at bestaa som en fra det øvrige skarpt adskilt Masse.

For at prøve denne Anskuelse gjordes følgende Forsøg. *KV* Fig. 1 er et Glaskar, indvendig 15 cm. højt, 9 cm. bredt og 4½ cm. vidt. *AA* og *BB* ere to Blyrør, 8 mm. i udvendig Diameter, som ere bøjede saaledes, at en Strøm, som gaar gennem dem, gaar to Gange ned, to Gange op. Gennem *AA* sendes en Dampstrøm, gennem *BB* en Strøm af koldt Vand, hvis Varmegrad var omtrent 8° C.

Dette Kar blev først fyldt med destilleret Vand. Idet dette

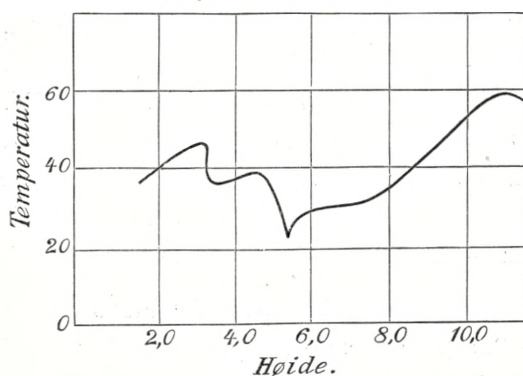


Fig. 2.

Vand opvarmedes ved *V* og afkøledes ved *K*, kom det i Strømning; efter kort Tids Forløb var Tilstanden bleven stationær. Til at maale Temperaturen i Vandet benyttedes et Termoelement af Kobber- og Nysølvtraad. Vandet stod omtrent 11 cm. højt i Karret. Først maales Temperaturen i forskellige Punkter i samme vandrette Linie, lige under Overfladen, midt i Karret og ved Bunden. Derved fandtes følgende Temperaturer:

Afstand fra <i>V</i>	Afstand fra <i>K</i>	Ved Overfladen	Midt i Karret	Ved Bunden
0,2 cm.	6 cm.	84,2°C	56,0	26,3
1,2 —	5 —	81,8 -	55,3	25,8
3 —	3,2 —	79,5 -	55,2	25,5
5 —	1,2 —	78,3 -	55,0	25,6
6 —	0,2 —	78,3 -	55,0	24,7

Man ser heraf, at Temperaturen midt i Karret er næsten konstant, kun tæt op ved den varme Begrænsning er Vandet lidt varmere. Ved Bunden og ved Overfladen er Temperaturen mere variabel, hvilket staar i Forbindelse med, at der foroven gaar en Strøm fra den varme til den kolde Side, medens der ved Bunden gaar en Strøm i den modsatte Retning.

En anden Forsøgsrække viser det samme:

Højde over Bunden	Temperatur		
	Ved V	I Midten	Ved K
11 cm.	85,2	80,8	80,1
10 —	83,2	82,2	82,1
8 —	69,7	69,9	69,0
6 —	57,8	58,0	57,2
4 —	48,3	48,3	47,6
2 —	41,0	40,7	39,9
1 —	34,5	34,7	34,0
0,2 —	30,1	29,2	28,8

Nu fyldtes Karret halvt med Vand, halvt med Toluol (Vægtfylde 0,886). Følgende Maalinger foretoges i forskellige Højder midt i Karret.

Termoelementet bevægedes fra Toluolens Overflade nedad.

Højde over Bunden	
10 cm.	86,3° C
9 —	79,8 -
8 —	64,3 -
7 —	54,8 -
6 —	50,8 -
5,5 —	46,2 -
5,0 —	66,7 -
4,5 —	65,4 -
4 —	64,7 -
3 —	52,7 -
2 —	46,7 -
1 —	35,7 -
0,2 —	20,1 -

} i Toluol

} i Vand

Dernæst maalttes Temperaturen igen, idet Termoelementet førtes nedenfra opad:

Højde over Bunden		
9 cm.	77,8° C	} i Toluol
8 —	67,2 -	
7 —	55,3 -	
6 —	50,5 -	
5,5 —	47,8 -	
5,4 —	45,6 -	
5,3 —	44,5 -	
5,2 —	53,9 -	
5,05 —	65,2 -	} i Vand
4 —	61,9 -	
3 —	54,5 -	
2 —	46,0 -	
1 —	35,5 -	
0,2 —	20,0 -	

En Del af Toluolen var nu dampet bort. Man ser af begge Forsøgsrækker, at der i Nærheden af den fælles Grændseflade, Mellemfladen ville vi kalde den, er en temmelig pludselig Variation i Temperatur paa omtrent 20° C. Den sidste Forsøgsrække synes at vise, at Minimumstemperaturen findes lidt over Mellemfladen.

Der fyldtes nu 100 gr. Chlornatrium i Karret og derpaa 300 gr. Vand. Efter kort Tids Forløb dannedes der en Mellemflade 2,5 cm. over Bunden; den sank efterhaanden, fordi den store Vandmasse over denne Flade stadig stryger hen over den og optager Salt og Vand fra den. Efter Omrøring dannedes 4 Mellemflader, som kaldes *a*, *b*, *c*, *d*, idet *a* er den nederste. Temperaturmaalingen gav:

Højde over Bunden	° C	
2,13 cm.	43,4	under <i>a</i>
2,40 —	31,0	mellem <i>a</i> og <i>b</i>
2,50 —	36,5	mellem <i>b</i> og <i>c</i>
3,17 —	33,0	lige over <i>c</i>
3,46 —	29,5	lige under <i>d</i>
3,23 —	32,5	lige over <i>d</i>

Efter ny Omrøring dannedes 3 Mellemlager *a*, *b*, *c*.

Højde over Bunden	° C	
2,30 cm.	57,7	under <i>a</i>
2,46 —	51,0	over <i>a</i>
2,90 —	53,9	under <i>b</i>
3,29 —	32,0	over <i>b</i>
4,05 —	40,5	under <i>c</i>
4,45 —	29,7	over <i>c</i>
5 —	34,5	
10 —	40,5	
11 —	49,5	
12 —	60,0	
13,22 —	70,4	ved Overfladen

Endelig anføres nogle Maalinger med 3 Mellemlager dannet ved at bringe tvekrømsurt Kali paa Bunden af Karret og hælde Vand derpaa. Efter Omrøring beholdtes 3 Mellemlager.

Højde over Bunden	° C	Højde over Bunden	° C
1,4 cm.	34,0	5,0	33,0 under <i>b</i>
2,0 —	39,5	5,27	23,5 over <i>b</i>
2,5 —	42,2	5,50	26,1
3,0 —	44,6	6	28,7
3,1 —	43,7 under <i>a</i>	8	36,5
3,4 —	37,5 over <i>a</i>	10	52,0
3,9 —	37,6	11	58,9
4,5 —	38,9	11,21	58,0

Ved Grændsen mellem to Lag er der altsaa et forholdsvis stærkt Spring i Temperatur. At ogsaa Vægtfylden varierer stærkt, naar man gaar gennem en Mellemlager, ses lettest ved at betragte en Opløsning af et farvet Salt som f. Eks. Kobbervitriol eller tvekrømsurt Kali; man ser da en meget iøjnefaldende Forskel i Farven paa modsatte Sider af Mellemlageren.

Inde i de enkelte Lag, i hvilken Vædsken deler sig, bevæger Delene sig som Hr. SINDING-LARSEN har vist, paa den i Fig. 1 antydede Maade. Man ser dette tydeligt paa Bevægelsen af Støvkorn i Vædsken, men ogsaa paa andre Tegn. Langs med V stiger et Lag af mere koncentreret men varm Opløsning op. Naar den kommer til en Højde, hvor Vædsken iforvejen omtrent har samme Vægtfylde, men lavere Temperatur og mindre Koncentration, vil den begynde at vandre ind i Laget. Derved afkøles den, dens Vægtfylde forøges og den vil synke lidt ned i Laget. Derved fremkommer de „Haler“, som ere antydede i xx i Figur 1; de varme Vædske dele findes paa Undersiden af x , medens de koldere Dele findes lige over den. Paa lignende Maade forklares Dannelsen af „Halerne“ yy paa den kolde Side. Ogsaa langs med Mellemlagerne selv ser man ofte Vædske dele bevæge sig til modsatte Sider over og under Fladen, kendelige ved en ringe Forskel i Brydningsforhold.

Efter at jeg ved disse Iagttagelser var kommen til den Overbevisning, at Fænomenet maa forklares paa denne Maade, søgte jeg at støtte Forklaringen ved andre Forsøg. At Temperaturdifferenserne fremkalde Lagdeling, ligger alene i, at de fremkalde en cirkulerende Bevægelse i Vædsken. Fremkaldes en lignende Cirkulation paa andre Maader, maa der ogsaa vise sig Lagdeling, naar Vædsken fra først af har ulige Vægtfylde i forskellige Højder over Bunden.

Anbringes to smaa Skovlhjul A og B i Vædsken, det ene over det andet, vil den øverste Del af Vædsken rotere med A , den nederste med B . Gaa Hjulene rundt i samme Retning, vil Vædskedelene ligeledes rotere i samme Retning.

Den øverste Del af den vil danne en homogen Masse, den nederste ligeledes, men da den nederste var den vægtfyldigere fra først af, vil den vedblive med at være det. De to Vædske-masser ville støde sammen i en Mellemlager; da Vægtfylden er forskellig paa dennes to Sider, vil den virke som en spej-

lende Flade, og Vædskedelene paa modsatte Sider af Mellemlagen ville bevæge sig i modsatte Retninger.

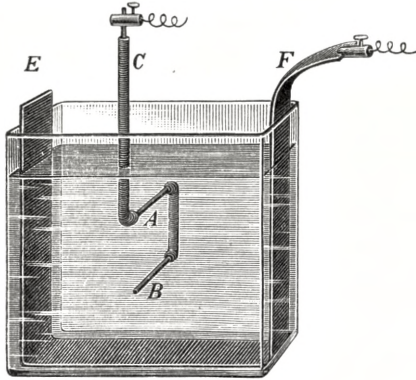


Fig. 3.

Glaskarrets smalle Sider og Bunden. Karret fyldes først halvt med meget fortyndet Svovlsyre ($\frac{1}{40}$), derpaa hældes gennem en Tragt stærkere Svovlsyre ($\frac{1}{10}$) i Karret; denne sidste vil da væsentlig fylde den nederste Halvdel af Karret. Overgangen fra den stærkere til den svagere Syre vil da findes omtrent midt i Karret, men Overgangen er jævn, saa Karret

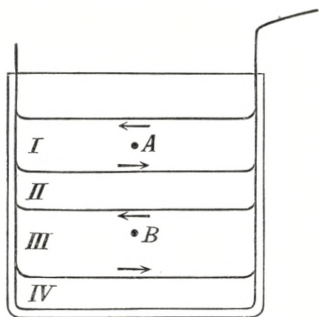


Fig. 4.

ser ud, som om det var fyldt med en Opløsning af konstant Koncentration. Sættes Karret nu imellem en Elektromagnets Poler, og sendes en elektrisk Strøm gennem Vædsken, vil man se, at den deler sig i to Dele, der rotere til samme Side, og der fremkommer en skarp Grændse, som dog vil være bølgende, saalænge Strømmen gaar gennem Vædsken.

Men afbrydes Strømmen, fremkommer en plan og meget skarp Grændseflade. Vi have nu faaet Vædsken delt i to homogene Dele.

Vædsken kan dog ogsaa dele sig i flere Lag, f. Eks. i 4,

som vist i Fig. 4. I de Dele af Vædsken, som omgive *A* og *B*, finder der en kraftig Rotation Sted. Imellem dem kan der findes et Lag *II* af mellemliggende Koncentration, som kun er i svag Cirkulation. Under *III* kan der endelig dannes et Lag *IV*, som syntes at være i Hvile, og som er endnu vægtfyldigere end *III*.

At man saaledes uden at anvende Temperaturdifferenser kan fremkalde Lagdeling, er for mig et afgørende Bevis for, at Hydratdannelse ikke finder Sted ved de Forsøg, fra hvilke vi gik ud.

Grændsefladen mellem Lag af ulige Koncentration holder sig kun skarp, saalænge der er Bevægelse i Vædsken; ophører Bevægelsen, diffunderer de ind i hinanden. Men ogsaa under Bevægelsen findes Diffusion og formodentlig ogsaa Medrivning Sted. Denne sidste hidrører fra, at Gnidningen mellem Lag med forskellig Hastighed frembringer Hvirvler, der blander Vædskerne. Ligger det ene Lag stille som Lag *IV* (Fig. 4), vil dette Lag efterhaanden fortæres, idet Laget *III* stadig river noget af *IV* med sig; det medrevne blandes da med det øvrige, og Koncentrationen i *III* vokser da stadig. Er begge Lagene i Bevægelse, vil Mellemladen kunne holde sig uforandret, men Forskellen mellem deres Koncentration formindskes stadig. Er denne Forskel kun lille, ser man ofte Bølger løbe langs med Mellemladen, baade over og under denne. Saadanne eksistere vistnok ogsaa, naar Koncentrationerne ere mere ulige, men de kunne da af velbekendte Grunde ikke blive saa høje.