

14B
62

ANDRÉASCH CHEMISCH LABORATORIUM
LEIDEN

24

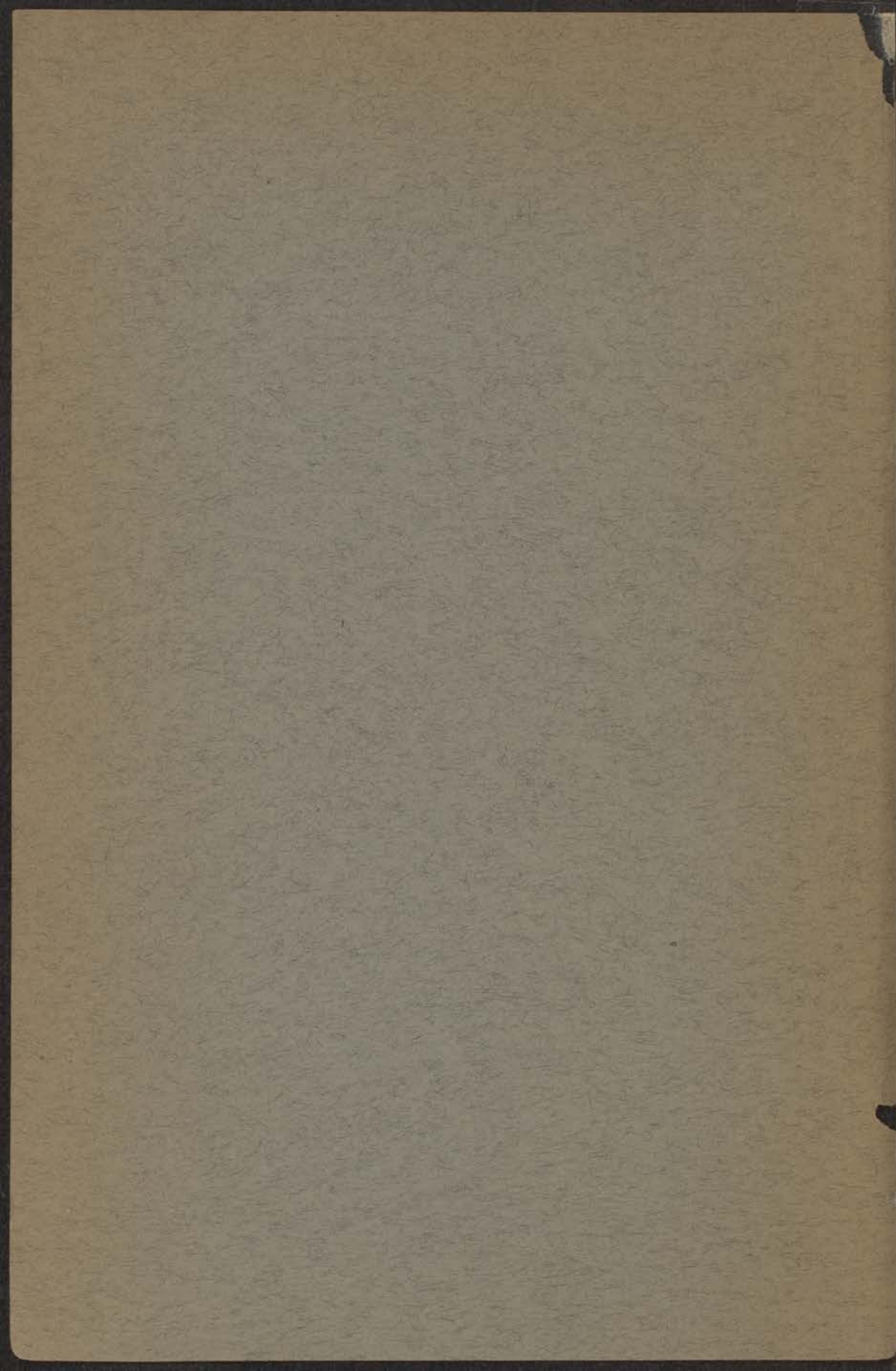
A
113

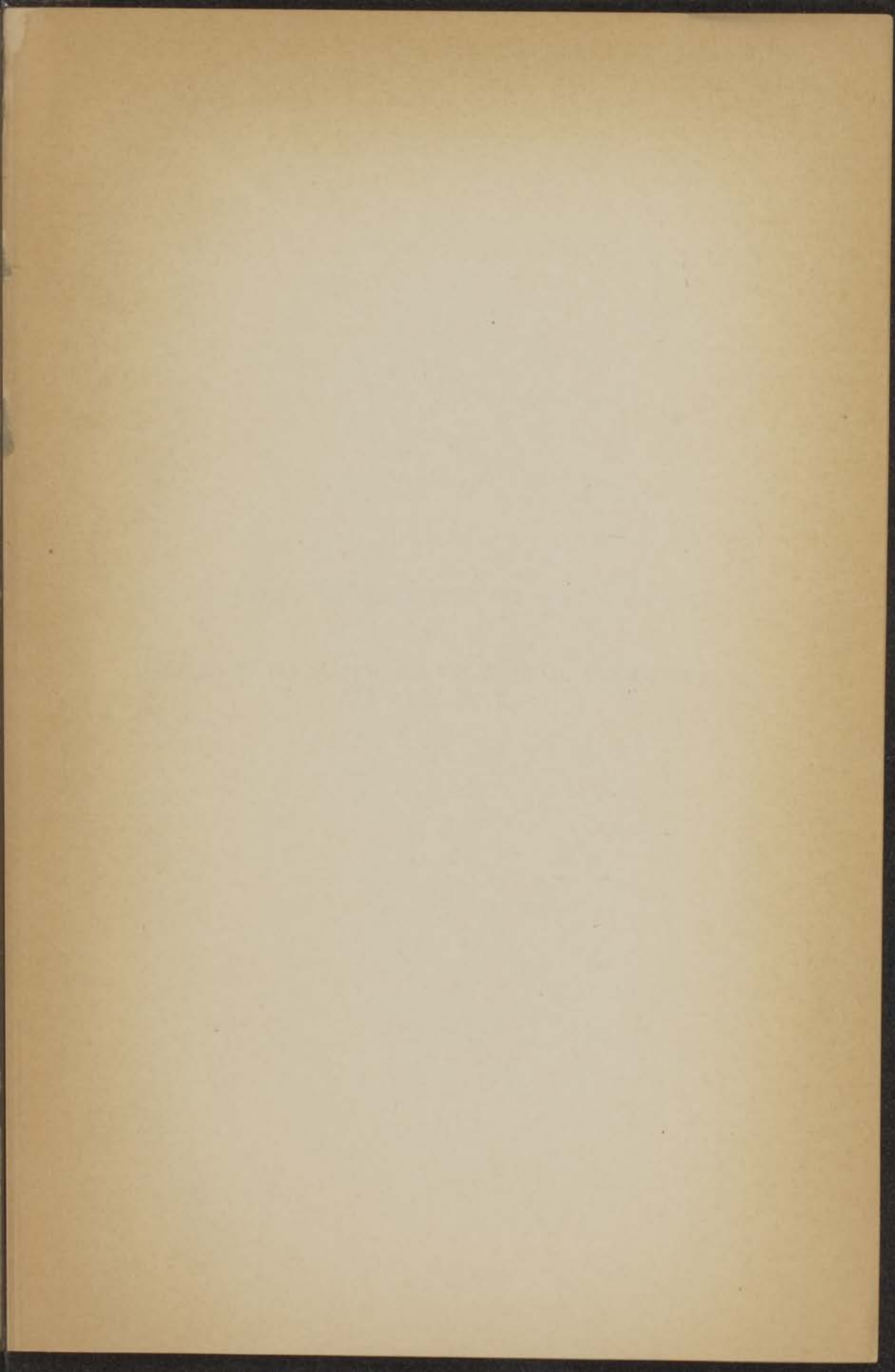
van helium bij temperaturen van $+20^{\circ}\text{C}$. tot -270°C .

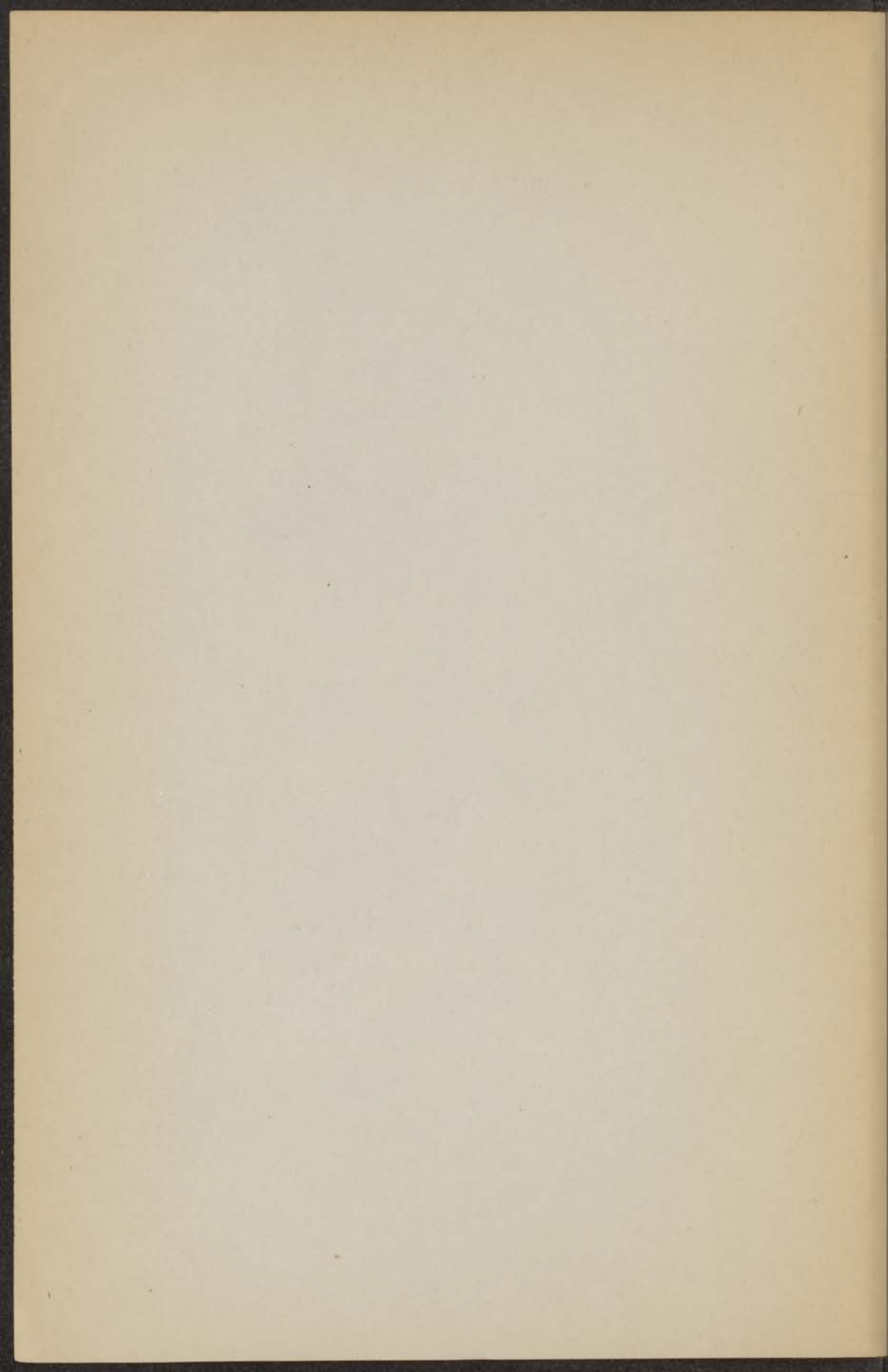
EN

met bepaling van de dichtheid van vloeibaar helium tussen 4°.2 K . en 1°.2 K .

J. D. A. BOKS.







ISOTHERMEN VAN HELIUM BIJ TEMPERATUREN VAN $+20^{\circ}$ C. TOT -270° C

EN

VERANDERING VAN DE DICHTHEID VAN VLOEIBAAR HELIUM TUSSEN
 4° .2 K. EN 1° .2 K.

BOEK- EN STEENDRUKKERIJ EDUARD IJDO. — LEIDEN.

Isothermen van helium bij temperaturen van $+20^{\circ}$ C. tot -270° C.

EN

Verandering van de dichtheid van vloeibaar helium tusschen 4° .2 K. en 1° .2 K.

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN

Doctor in de Wis- en Natuurkunde

AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE LEIDEN,

OP GEZAG VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS

MR. H. KRABBE,

HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER RECHTSGELEERDHEID,

VOOR DE FACULTEIT DER WIS- EN NATUURKUNDE
TE VERDEDIGEN

OP

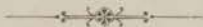
Donderdag 10 Juli 1924, des namiddags te 3 uur,

DOOR

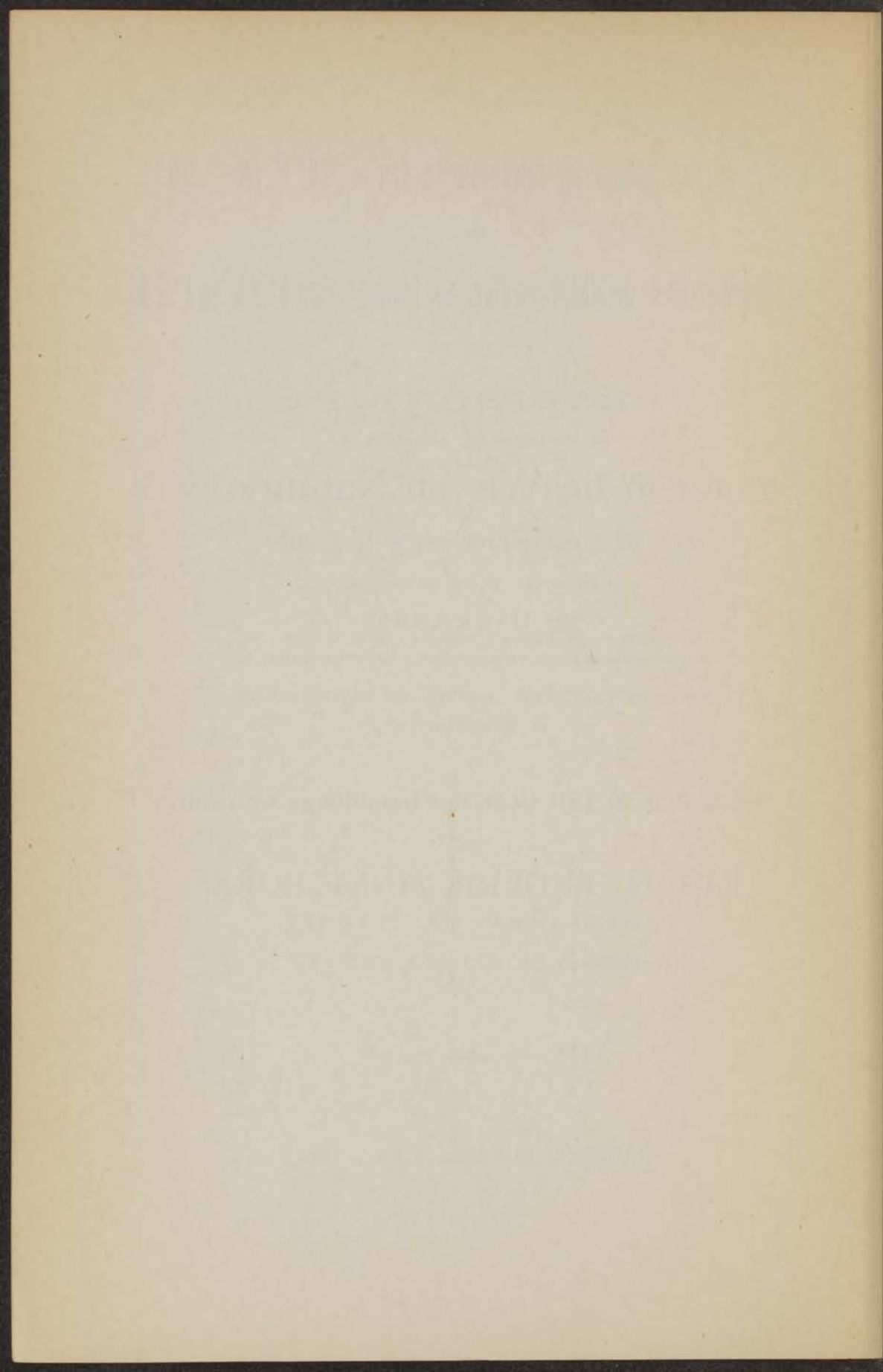
JOHAN DIEDERIK ANNE BOKS,

LEERAAR AAN DE G. H. B. S. TE LEIDEN.

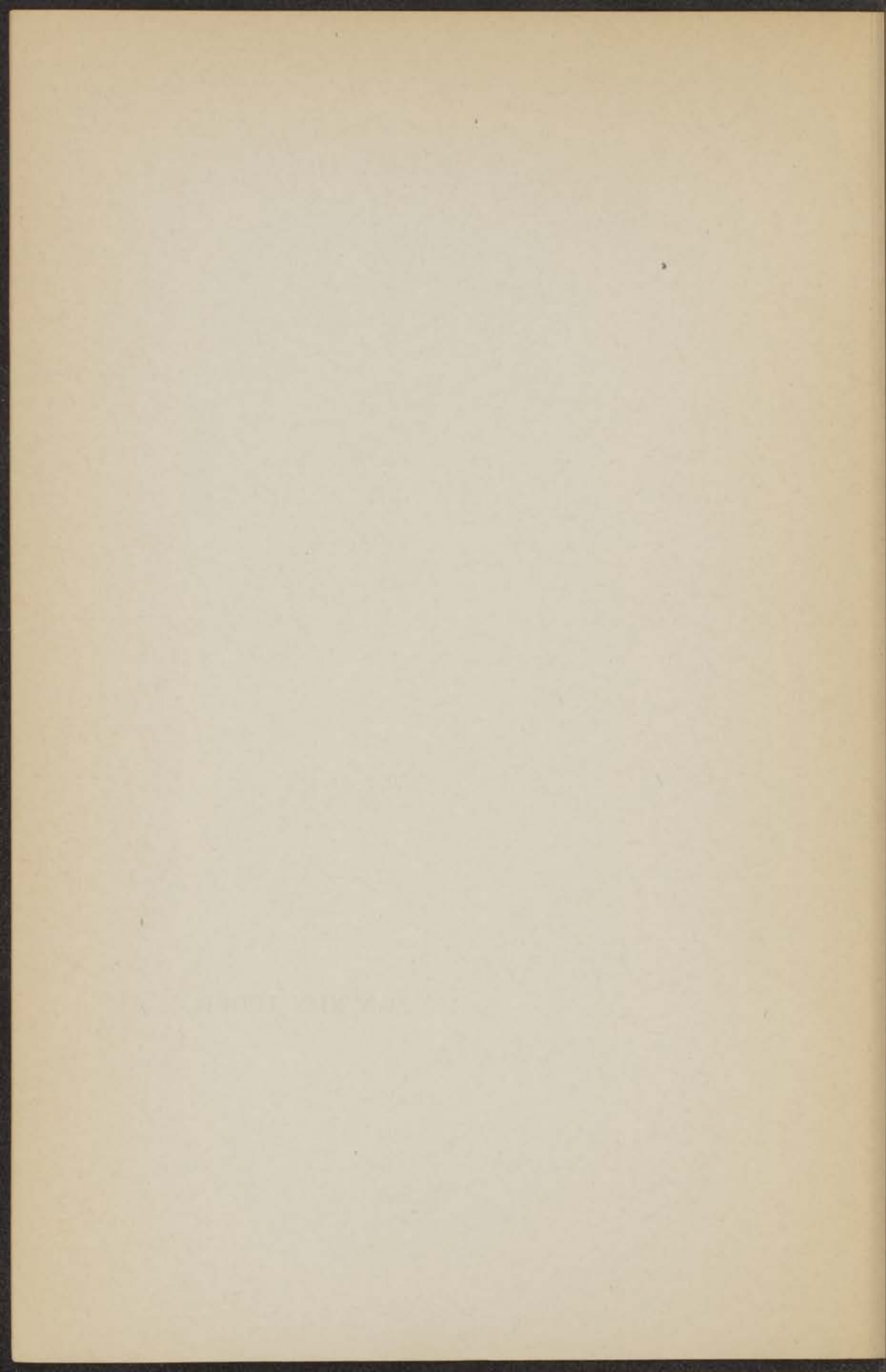
GEBOREN TE ELST, GEM. RHENEN.



LEIDEN — EDUARD IJDO — 1924.



AAN MIJN VROUW.



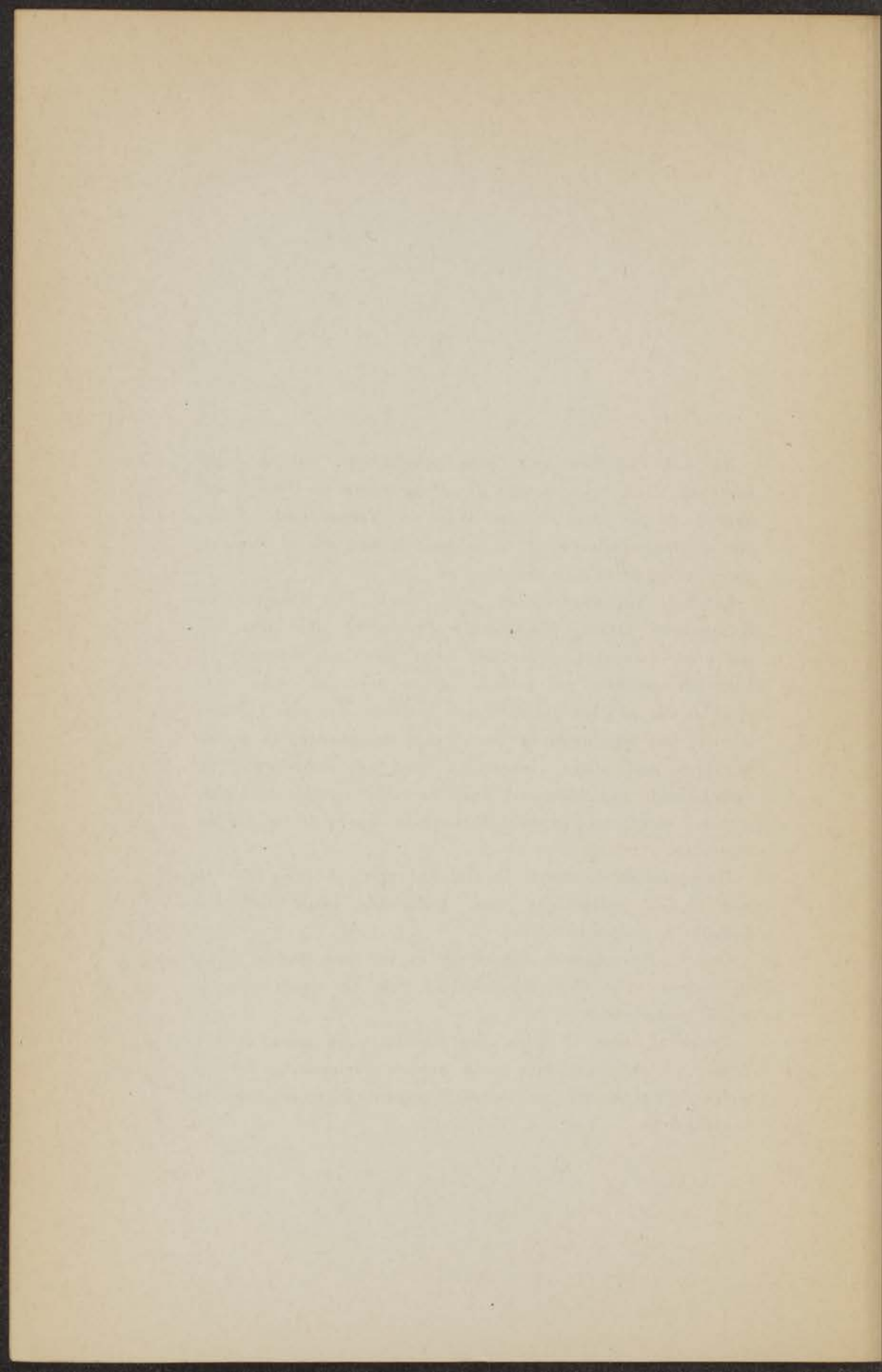
Bij het voltooien van mijn proefschrift wil ik mijn hartelike dank brengen aan U, Hoogleraren en Oud-Hoogleraren in de fakulteit der Wis- en Natuurkunde, zowel van de Rijks-Universiteit te Leiden als van die te Utrecht, wier onderwijs ik heb genoten.

In het bijzonder geldt mijn dank U, Hooggeleerde KAMERLINGH ONNES, hooggeachte Promotor! Het was mij een groot voorrecht, gedurende enige jaren als assistent op Uw laboratorium te hebben mogen werken, onder Uw opwekkende en zeer gewaardeerde leiding. Het was U nooit te veel, om mij, ondanks Uw drukke bezigheden, te woord te staan niet alleen, maar ook, om mij voortdurend in verschillende opzichten met raad en daad terzijde te staan, wat mij steeds met grote dankbaarheid jegens U zal blijven vervullen.

Hooggeleerde LORENTZ, ik stel het zeer op prijs, dat ik nog in de gelegenheid was, gedurende enige tijd Uw kolleges te volgen.

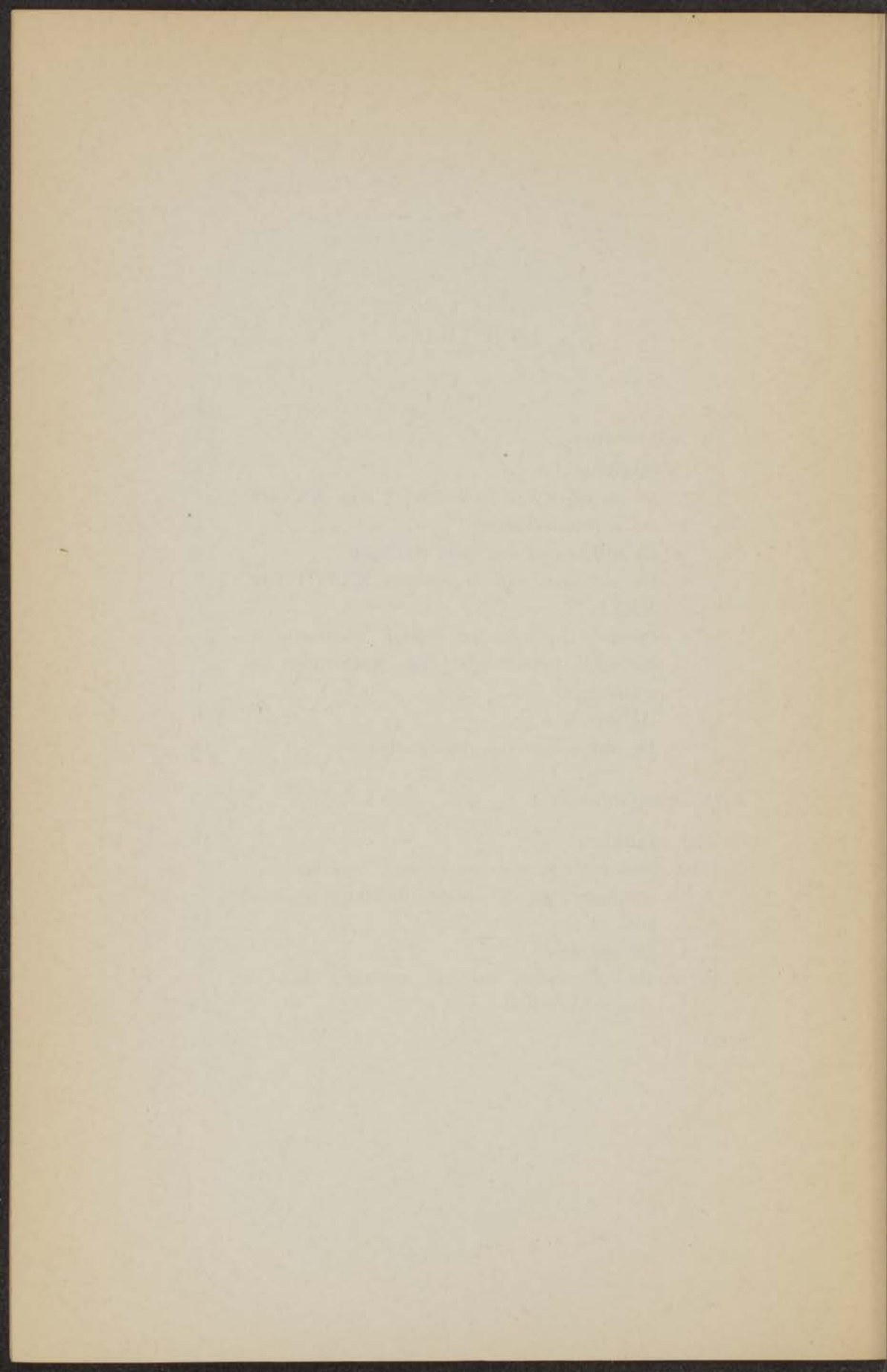
Ook U, Hooggeleerde EHRENFEST en VAN DER WOUDE, dank ik gaarne voor de welwillendheid, die ik steeds van U mocht ondervinden.

Tenslotte wens ik allen, die mij bij mijn werk in het Leidse laboratorium hun hulp hebben verleend, zowel op wetenschappelijk als op technies gebied, hiervoor hartelik te danken.



INHOUD.

	Blz.
A. De isothermen	1
§ 1. Inleiding	1
§ 2. De metingen van de reeksen I t/m. XXVII	1
§ 3. De normaalvolumina	4
§ 4. De uitkomsten van deze metingen.	6
§ 5. De metingen van de reeksen XXVIII t/m. XXXI.	9
§ 6. Beschrijving van het toestel, waarmede de metingen betreffende deze isothermen geschied zijn	9
§ 7. De metingen	9
§ 8. De uitkomsten van deze metingen.	14
B. De vloeistofdichtheid	15
§ 9. Inleiding	15
§ 10. Beschrijving van het toestel, waarmede de metingen van de vloeistofdichtheid geschied zijn	15
§ 11. De metingen	18
§ 12. De uitkomsten van de metingen van de vloeistofdichtheid	19
STELLINGEN	21



A. DE ISOTHERMEN ¹⁾.§ 1. *Inleiding.*

Daar met helium tot nu toe nog slechts weinig metingen verricht zijn, en deze ook niet regelmatig zijn verdeeld, is het zeer gewenst, dit materiaal aan te vullen met meerdere metingen, over verschillende temperaturen gelijkmatig verdeeld. De metingen, waarover wij tans beschikken, zijn van KAMERLINGH ONNES ²⁾, PENNING en KAMERLINGH ONNES ³⁾, HOLBORN en OTTO ⁴⁾, en HOLBORN en SCHULTZE ⁵⁾.

Ik meende dat het het beste was, aanvullende isothermen te bepalen over het gehele temperatuurgebied bij verschillende dichtheden.

§ 2. *De metingen van de reeksen I t/m. XXVII.*

Deze metingen zijn op de gewone wijze geschied. Er werden piëzometers van verschillende afmetingen gebruikt. Dit zou bij het uitgestrekte gebied van gereduceerde temperatuur, dat bij helium te bereiken is, toch niet anders kunnen door de grote verandering van de dichtheid van

1) Hierin is opgenomen de mededeling 5b VII (blz. 91) van „Fourth internat. congr. of refrigeration, London, June 1924”.

2) Leiden Comm. N^o. 102a, θ van 100° tot -217° C., d_A van 25—55; Comm. N^o. 102c, θ = -253° en -259° C., d_A van 600—800; Comm. N^o. 119, θ van -268°.8 tot -271°.6 C., d_A van 700—800 en d_A = 69.

3) Comm. N^o. 165e, θ van -205° tot -217° C., d_A van 163—185 en θ = -252°.7 en -258°.3 C., d_A van 165—191.

4) Zs. f. Phys., 10 (1922) blz. 367; θ = 0°, 50° en 100° C., d_A van 40—100.

5) Ann. d. Phys. (4) 47 (1915) blz. 1089; θ = 0°, 50° en 100° C., d_A van 15—50.

het gas, maar het is toch ook zeer gewenst, om met verschillende toestellen eenzelfde isotherm te meten, daar dan de kontrôle veel beter is, dan wanneer men met één en hetzelfde toestel een isotherm tweemaal bepaalt. Er is, bij dergelijke bepalingen met verschillende toestellen, een belangrijk verschil opgemerkt, waarvoor geen andere verklaring mogelijk was, dan aan te nemen, dat er bij het koppelstuk, waar dat op het glas is gesoldeerd, een schadelijke ruimte tussen glas en koppelstuk was overgebleven¹⁾. Bij de volgende metingen (reeksen IX t/m. XV, die alle met eenzelfde piëzometer gemeten zijn) is ook zo'n schadelijke ruimte voorgekomen, waarvan de grootte door vergelijking met vroegere bepalingen werd gevonden; deze bedroeg 20 mm³.

De reeksen I en II zijn gemeten met een precisie-piëzometer van KAMERLINGH ONNES voor gewone temperatuur²⁾, zonder staalkapillair, dus geheel van glas (met dit model bepaalde ook SCHALKWYK de isotherm van waterstof bij 20° C.³⁾). Bij de andere reeksen is steeds gebruik gemaakt van een piëzometer van veranderlik volumen voor lage temperaturen; het grote reservoir was door een staalkapillair met een klein reservoir verbonden, in elkaar geschroefd met fiberpakking, later met loodpakking⁴⁾.

De piëzometer werd gevuld uit een busje met gekompri-meerd zuiver helium, dat door verdamping van vloeibaar helium verkregen was. Het helium werd met geringe snelheid geleid door een spiraal, die in vloeibare lucht stond, om waterdamp, die misschien door de pakking in het busje zou hebben kunnen binnendringen, tegen te houden; de

1) Vergel. Comm. N^o. 165a, § 4; Comm. N^o. 166, blz. 13.

2) Comm. N^o. 50.

3) Comm. N^o. 70.

4) Vergel. Comm. N^o. 166, § 4.

vulling geschiedde, na eerst de leeggepompte piëzometer enige malen met helium te hebben gespoeld.

Bij reeks II (0° C.) werd gebruik gemaakt van een toestel, afgebeeld in fig. 1. Door een zinken trechter *Z* werd de watermantel *W* om de steel *S* van de piëzometer met geschaafd ijs gevuld. Met twee, aan koperen stangetjes *R* bevestigde, doorboorde plaatjes *P* (vgl. fig. 1*b*) kon het ijs in de watermantel voldoende worden aangedrukt. Vervolgens werd de watermantel ook boven de plaatjes *P* met ijs gevuld, waarna er nog water van 0° werd bijgegoten, zodat de gehele steel op een temperatuur van 0° C. was, terwijl zich tussen de beide plaatjes *P* alleen water bevond, zodat door een venstertje *O* de meniskus en de merkstrepen op de steel konden worden gezien. Voor ieder punt moest dit weer opnieuw worden ingesteld.

De inrichting der verdere

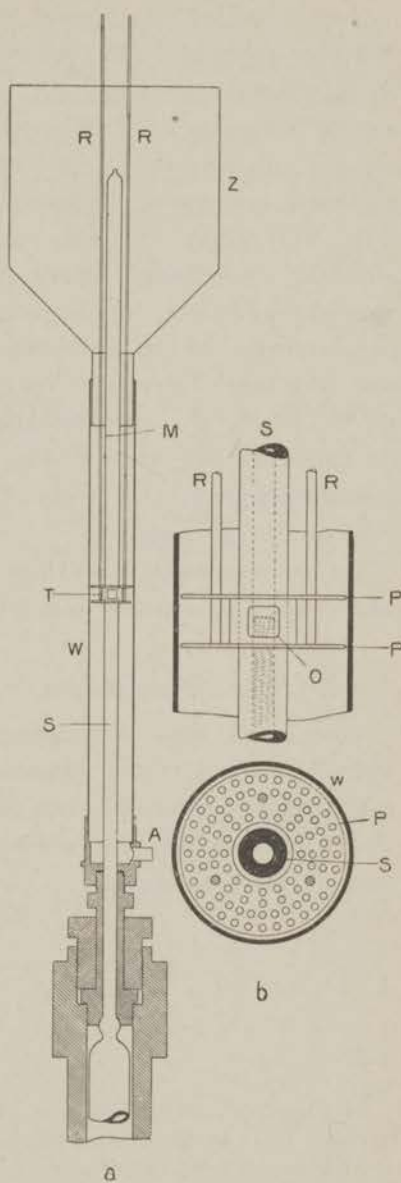


Fig. 1.

metingen had op de gewone manier plaats. De toestellen, hiervoor gebruikt, zijn op verschillende andere plaatsen reeds uitvoerig beschreven¹⁾, zodat het niet nodig is, dit hier te herhalen. Bij drukkingen, kleiner dan 20 atmosferen, die niet op de gesloten waterstofmanometer kunnen worden afgelezen, is de open manometer²⁾ gebruikt. Bij de reeksen VII, VIII, XIV en XV was de kryostaat gevuld met vloeibaar chloormethyl, bij de reeksen V, VI, X en XI met vloeibaar aethyleen, bij de reeksen XII en XIII met vloeibare zuurstof en bij de reeksen XXV, XXVI en XXVII met vloeibare waterstof. Voor de reeksen XXII, XXIII en XXIV is de waterstofdampkryostaat gebruikt, waarin de konstante temperatuur door gasvormige waterstof wordt teweeggebracht³⁾. Bij reeks IV (0° C.) was het kleine reservoir in ijs gezet.

Tot en met reeks XXVII is steeds gebruik gemaakt van een gewone piëzometer (met of zonder staalkapillair).

§ 3. *De normaalvolumina.*

Voor en na ieder stel metingen van de reeksen I tot en met XXVII, dat met eenzelfde vulling geschiedde, werd het normaalvolumen van het gas, waarmede de meting verricht was, bepaald. De uitkomsten daarvan zijn in onderstaande tabel vereenigd.

1) Comm. N°. 69, 78, 97, enz. Proefschriften van Dr. C. BRAAK (Leiden, 1908) en Dr. C. A. CROMMELIN (Leiden, 1910).

2) Comm. N°. 44, 70, enz.

3) Uitvoerig beschreven in Comm. N°. 151a en 154c.

N ^o .	Bij reeks.	Vóór of na.	Vol. in cm ³ .	Gemiddeld.
1	I	voor	299.28	299.30
2		voor	299.31	
3		na	299.31	
4	II	voor	296.55	296.54
5		na	296.53	
6	III t/m. VIII	voor	545.27	545.22
7		na	545.17	
8	IX t/m. XV	voor	543.57	543.61
9		voor	543.71	
10		na	543.56	
11	XVI t/m. XXVII	voor	1474.20	1474.43
12		na	1474.67	

§ 4. De uitkomsten van deze metingen.

Reeks.	punt.	θ	$p^1)$	d_A	pv_A	
III	1	+ 20°.00	27.428	25.214	1.0878	
	2		32.215	29.553	1.0901	
IX	1		33.124	30.365	1.0908	
I	6		33.387	30.640	1.0896	
	5		33.446	30.687	1.0899	
IX	2		36.373	33.282	1.0929	
I	7		38.533	35.269	1.0926	
	4		38.552	35.291	1.0924	
III	3		38.777	35.473	1.0932	
I	3		42.199	38.562	1.0943	
	8	42.217	38.576	1.0944		
III	4	48.545	44.209	1.0981		
I	9	48.641	44.335	1.0971		
	2	48.730	44.407	1.0973		
IX	3b	51.306	46.651	1.0998		
	3a	51.347	46.690	1.0997		
III	5	55.518	50.398	1.1016		
I	10	57.331	52.022	1.1020		
	1	57.833	52.473	1.1021		
	11	63.413	57.389	1.1050		
IV	1	0.00	26.664	26.282	1.0146	
II	6		30.863	30.380	1.0159	
IV	2		31.155	30.644	1.0167	
II	5		35.639	34.999	1.0183	
IV	3		37.311	36.585	1.0198	
II	4		38.945	38.196	1.0196	
	3		44.852	43.886	1.0220	
IV	4		46.212	45.109	1.0244	
	5		52.487	51.102	1.0271	
II	2		53.016	51.646	1.0265	
	1		58.585	56.913	1.0294	
VII	1		— 37.40	24.464	27.932	0.87584
	2a			26.874	30.629	0.87741
	2b			26.882	30.650	0.87698
XV	3		30.239	34.399	0.87908	
VII	3	31.346	35.637	0.87956		

1) in intern. atm.

Reeks.	punt.	θ	p	d_A	pv_A
XV	2a		37.431	42.337	0.88417
	2b		37.437	42.381	0.88344
VII	4		37.548	42.504	0.88335
	5		46.551	52.455	0.88745
VIII	1	— 70.32	22.816	30.257	0.75411
	2		24.891	32.942	0.75559
	3		28.767	37.932	0.75838
XIV	1		28.781	37.949	0.75843
VIII	4		33.918	44.577	0.76092
XIV	2		35.288	46.253	0.76293
VIII	5		41.134	53.804	0.76452
XIV	3		43.394	56.594	0.76674
	4		56.269	72.781	0.77314
V	1a	— 103.64	21.342	33.762	0.63206
	1b		21.540	34.084	0.63196
	2		24.126	38.069	0.63374
	3		27.661	43.478	0.63617
XI	1		27.693	43.524	0.63602
V	4		32.403	50.720	0.63883
XI	2		32.620	51.041	0.63883
V	5		35.306	55.142	0.64027
XI	3		39.519	61.516	0.64216
	4		49.961	77.083	0.64792
VI	1	— 142.01	20.538	41.822	0.49108
	2		24.583	49.848	0.49316
X	1a		24.878	50.416	0.49325
	1b		24.885	50.418	0.49334
VI	3		28.203	56.928	0.49541
X	2a		28.755	57.989	0.49568
	2b		28.773	58.012	0.49580
	3		34.063	68.247	0.49885
	4		41.524	82.563	0.50272
	5		53.065	104.253	0.50878
XII	1	— 183.32	20.611	60.788	0.33905
	2a		23.209	68.119	0.34072
	2b		23.225	68.163	0.34073

Reeks.	punt.	θ	p	d_A	pv_A
	3		26.541	77.465	0.34257
	4		30.967	89.733	0.34506
	5		37.015	106.277	0.34825
XIII	1	— 201.51	20.105	74.022	0.27158
	2		29.692	107.219	0.27693
XXIII	3b	— 225.01	43.444	222.61	0.19516
	3a		43.469	222.77	0.19513
	2		48.580	245.84	0.19761
	1		55.064	274.16	0.20084
XXII	1	— 235.91	36.680	244.85	0.14982
	2		40.323	266.20	0.15148
	4b		50.340	322.32	0.15618
	4a		50.348	322.45	0.15614
	5		55.164	347.95	0.15854
XXIV	5	— 249.87	25.274	281.74	0.08958
	4b		26.932	298.54	0.09017
	4a		26.950	298.52	0.09020
	3		28.844	317.20	0.09093
	2		31.116	338.88	0.09184
	1		32.843	355.07	0.09250
XXVI	5	— 252.63	22.531	291.51	0.07729
	4		23.842	306.83	0.07770
	3		25.312	323.72	0.07818
	2		26.974	342.47	0.07880
	1		28.257	356.80	0.07924
XXVII	5	— 256.04	18.735	303.60	0.06171
	4		19.610	316.86	0.06189
	3		20.631	331.88	0.06217
	2		21.702	347.42	0.06247
	1		22.497	359.03	0.06270
XXV	5	— 258.78	15.427	314.76	0.04901
	4		16.010	326.27	0.04907
	3		16.653	338.46	0.04920
	2		17.298	351.27	0.04931
	1		17.783	360.65	0.04938

§ 5. *De metingen van de reeksen XXVIII t/m. XXXI¹⁾.*

Deze metingen zijn verricht bij temperaturen, die met vloeibaar helium verkregen worden; het hierbij gebruikte toestel wordt in de volgende paragraaf beschreven.

§ 6. *Beschrijving van het toestel, waarmede de metingen betreffende deze isothermen geschied zijn.*

Het toestel, afgebeeld in fig. 2, komt voor een groot deel overeen met dat, waarmee de vloeistofdichtheden gemeten zijn. Hetzelfde dilatometertje *D*, waarvan een uitvoerige beschrijving gegeven wordt in § 10, is hiervoor gebruikt. Voor de meting van het normaalvolumen van het gas deed dienst de volumemeter *V*. Deze bestaat uit zes bolvormige gedeelten; van elk is het volumen bepaald, terwijl ook de diameters van de verschillende verbindingsstukken gemeten zijn; het totale volumen bedraagt ongeveer 1260 cm³.; de bovenste bol is ongeveer 26 cm³., de andere bollen hebben ieder een inhoud van ongeveer 250 cm³. Het geheel is door een watermantel met venstertjes omgeven; het water wordt door een pomp *P* steeds in circulatie gehouden, en kan ook nog geroerd worden. Aan de volumemeter bevindt zich een luchtledig gezogen manometerbuis voor de aflezing van de drukken. Met dit toestel kan steeds het normaalvolumen van het overblijvende gas gemeten worden.

§ 7. *De metingen.*

Deze geschieden als volgt: Eerst werd het dilatometertje bij de bepaalde temperatuur en druk gevuld. Nadat het evenwicht tot stand was gekomen, werd de druk gemeten in een gesloten luchtledig gemaakte manometerbuis *M*. Vervolgens werd de kraan *K* gesloten, en al het gas met de

¹⁾ Hierin is opgenomen de mededeling 11 v, A (blz. 215) van „Fourth internat. Congr. of refrigeration, London, June 1924”.

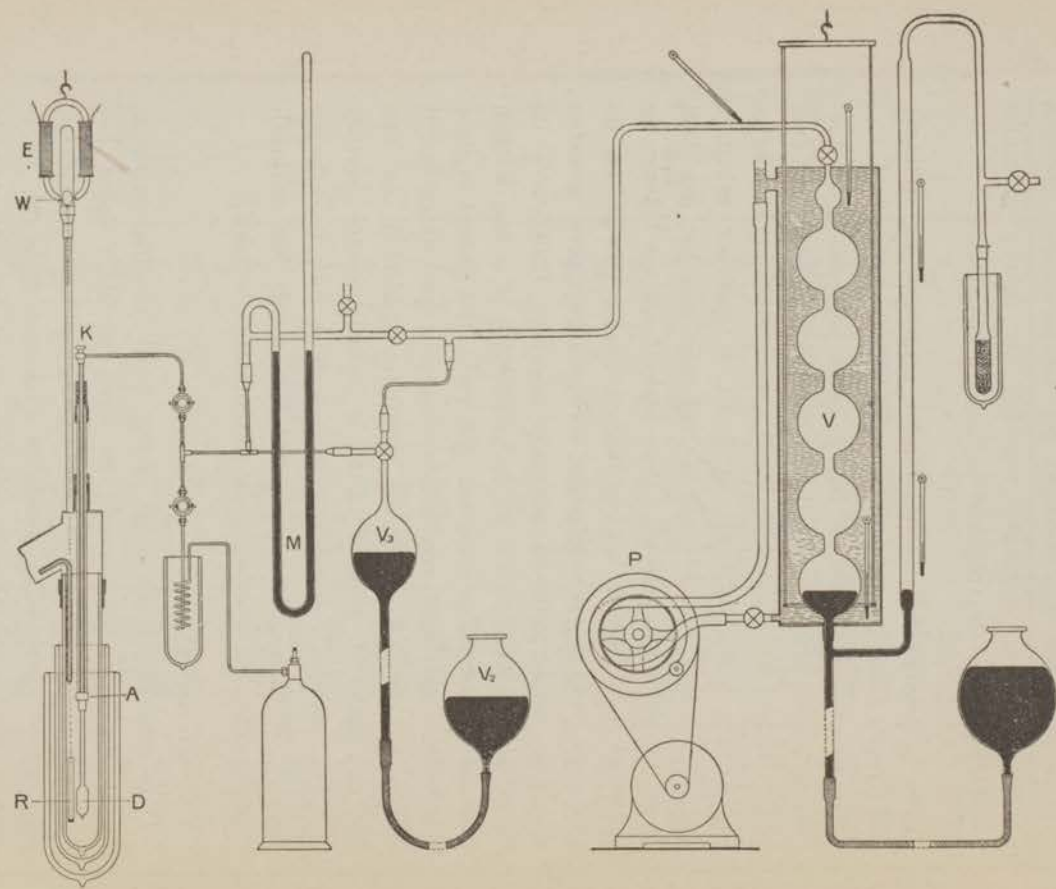


Fig. 2.

pomppipet V_3 in de volumenometer V gepompt, waar het normaalvolumen van het overblijvende gas gemeten werd. Het volgende punt werd daarna ingesteld, door de kraan K weer te openen, en de gewenste druk te regelen met de stand van de bol V_2 . Na de drukmeting werd de kraan K weer gesloten; al het gas werd vervolgens door de pomppipet V_3 weer in de volumenometer V verzameld, waar dan het normaalvolumen bepaald werd, enz.

Bij de volgende punten kwam er nu eens meer gas in V , dan weer minder. De hoeveelheid gas, die zich bij ieder punt in het dilatometertje bevond, moest steeds berekend worden als verschil van gemeten normaalvolumina.

De temperatuur bij deze metingen is, evenals bij de metingen van de vloeistofdichtheid, bepaald door de dampdruk boven het heliumbad, en berekend met behulp van de formule op blz. 33 van Comm. N^o. 147b, en voor zeer lage drukken met de formule van VERSCHAFFELT¹⁾.

In 1922 werden de reeksen XXVIII t/m. XXX gemeten met het toestel, dat voor de dichtheidsbepaling van vloeibaar helium ingericht was (fig. 3), en dat voor deze metingen dus eigenlijk minder geschikt was.

In plaats van de volumenometer was er toen slechts een enkele meetbol V_1 . Een moeilijkheid hierbij was, dat van te voren moest worden berekend, hoe de punten bij de verschillende temperaturen gekozen moesten worden, om steeds zulke normaalvolumina over te houden, dat die met een voldoende nauwkeurigheid in de meetbol gemeten konden worden, daar deze alleen onder en boven het bolvormige gedeelte deelstrepen bezit, en het volumen van het te meten gas dus kan zijn ongeveer 615 cm³., (als het kwik onder V_1 staat), of ongeveer 10 tot 25 cm³., (als het kwik tot boven

1) Comm. N^o. 159, blz. 35.

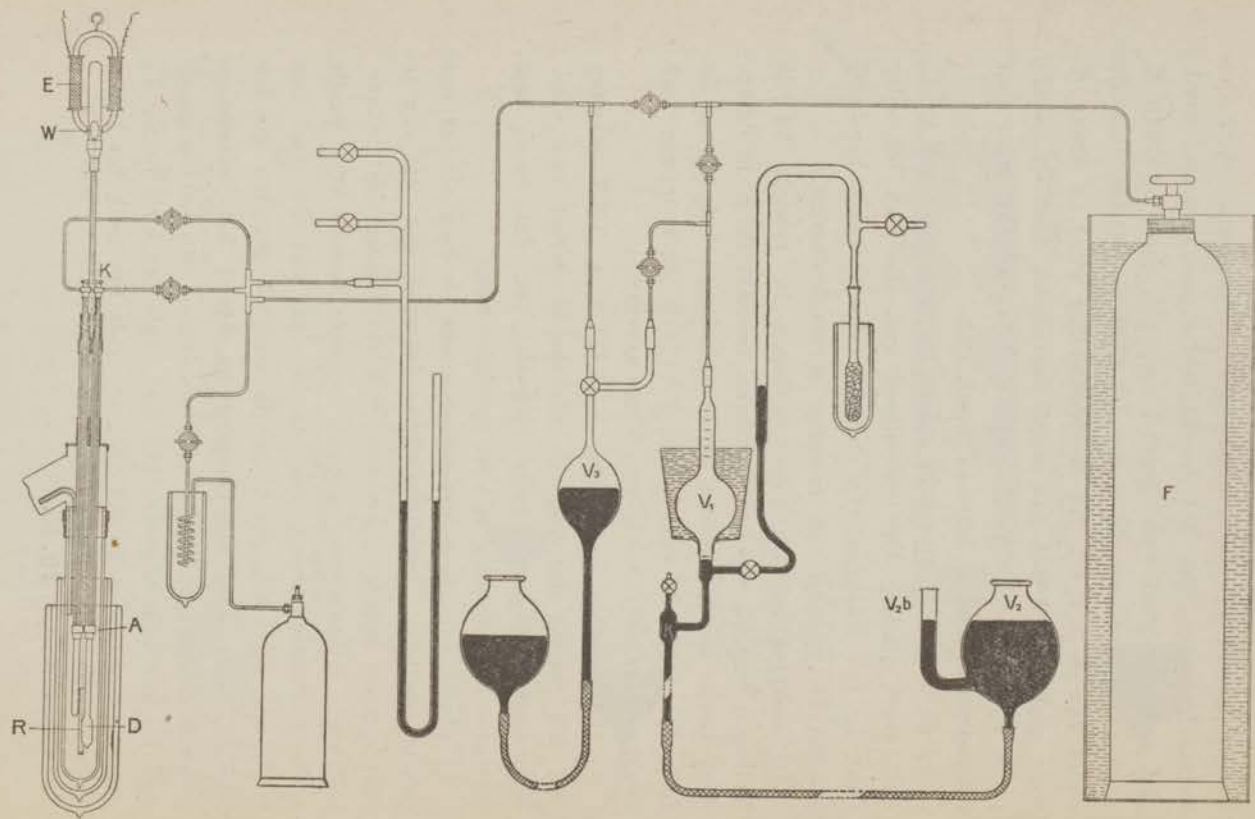


Fig. 3.

de meetbol is gestegen). De bol V_1 was omgeven door water, waarin geroerd kon worden.

De drukmeting geschiedde toen eerst, door met een kathetometer de vertikale afstand van de meniskus bij V_1 tot die in de buis V_2 af te lezen, en dit verschil van de gekorrigeerde aflezing van een aneroïdebarometer af te trekken. Vooral bij kleine drukken (zelfs drukken van minder dan 10 cm. zijn hier eerst nog mede gemeten) is dit zeer onnauwkeurig en daarom is toen aan de zijtak onder V_1 nog een manometerbuis aangebracht, door een koolbuis luchtledig gezogen, waardoor de nauwkeurigheid van de metingen van de drukken zeer werd verhoogd.

Er zijn een paar sterk afwijkende bepalingen bij ongeveer $2^{\circ}.5$ K., met het voor dit doel gebrekkige toestel verricht, maar deze zijn verworpen na de bepalingen met het verbeterde toestel, ofschoon weliswaar geen a priori bekende omstandigheid daartoe recht gaf. Ze zijn verdacht geworden, doordat de uitkomsten geheel niet zouden passen in het overigens bevredigend sluitend geheel van bepalingen betreffende thermiese grootheden en latente verdampingswarmte¹⁾. De latere bepalingen komen hiermede beter overeen.

¹⁾ H. KAMERLINGH ONNES, Rec. Trav. Chim. Pays-Bas (4) 3 (1923), blz. 535.

§ 8. De uitkomsten van deze metingen.

Reeks.	punt.	θ	$p^1)$	d_A	pv_A
XXVIII	5	- 268.°88	0.2709	18.64	0.01453
	4	(4°.21 K.)	0.3551	25.30	0.01404
	3		0.3800	27.10	0.01402
	2		0.6624	52.21	0.01269
	1		0.9928	92.62	0.01072
XXIX	7	- 269.37	0.1550	11.98	0.01294
	6	(3.72 K.)	0.1616	12.53	0.01290
	5		0.2493	19.97	0.01248
	3		0.2748	22.39	0.01228
	4		0.2757	22.38	0.01232
	2		0.4322	37.52	0.01152
XXX	1		0.5703	53.22	0.01072
	3	- 269.69	0.2323	20.63	0.01126
	2	(3.40 K.)	0.2608	23.65	0.01103
	1		0.3531	33.92	0.01041
XXXI ²⁾	3	- 270.52	0.03081	3.381	0.00911
	2	(2.57 K.)	0.04857	5.547	0.00875
	1		0.06491	7.555	0.00858

1) p. in intern. atm.

2) De waarden, bij reeks XXXI opgegeven voor d_A en pv_A verschillen van die, welke vermeld zijn in de mededeling 11 v (blz. 220) van „Fourth internat. congr. of refrigeration, London, June 1924”, daar later gebleken is, dat er zich 3 % lucht in het gebruikte helium bevonden had. Deze reeks is daarvoor gekorrigeerd; de nauwkeurigheid blijft echter groot genoeg, om de verwerping van vroegere bepalingen (vgl. § 7, slot), waarvoor deze meting voornamelijk diende, te rechtvaardigen.

B. DE VLOEISTOFDICHTHEID ¹⁾.

§ 9. *Inleiding.*

In Comm. N^o. 119 werd de opvallende uitkomst verkregen, dat vloeibaar helium, niettegenstaande zijn eenvoudige chemiese aard, een maximum van dichtheid vertoont. Het was van groot belang, dit verschijnsel nader vast te stellen, en nauwkeuriger gegevens over het ook verder merkwaardig verloop van de dichtheid bij dalende temperatuur te verkrijgen. De vraag is, wat betreft het verkrijgen van temperaturen in de buurt van 2^o.3 K., van belang, omdat dan bij het afkoelen door verdampen van de vloeistof de koude laag boven blijft drijven; ook voor de verklaring van de zonderlinge verdampingsverschijnselen in Comm. N^o. 159, § 12 beschreven, is de kennis van de dichtheid in verband met de temperatuur zeer gewenst.

§ 10. *Beschrijving van het toestel, waarmede de metingen van de vloeistofdichtheid geschied zijn.*

Het dilatometertje, dat hiervoor gebruikt is, is afzonderlijk afgebeeld in fig. 4. Het volumen van het reservoir *D* is ongeveer 12 cm³. Het kan bij *A* door een kraan (die zich onder het helium in het bad bevindt) afgesloten worden ²⁾. De steel van het dilatometertje is vlak boven het reservoir

¹⁾ Hierin is opgenomen de mededeling 11 v, B (blz. 221) van „Fourth internat. congr. of refrigeration, London, June 1924”.

²⁾ Deze kraan kan van buiten af geregeld worden; zie hiervoor fig. 3 bij K. De kraan is afzonderlijk afgebeeld in fig. 5.

bij *B* vernauwd¹⁾). De diameter van het bovenste stuk is 0.195 cm^2 , die bij *B* is 0.049 cm^2 . Hierdoor zal een verandering van de dichtheid van het vloeibare helium nauwkeurig kunnen worden bepaald, wanneer het dilatometertje tot *B* gevuld is. Als de kraan bij *A* gesloten is, en de

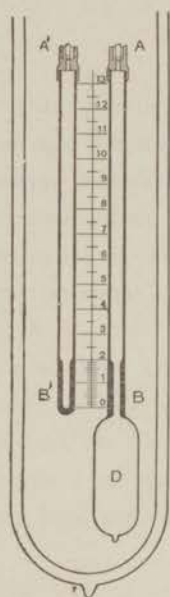


Fig. 4.

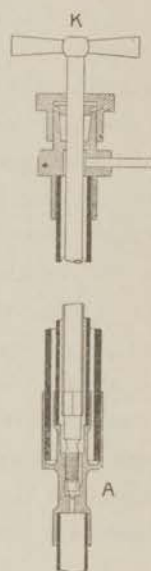


Fig. 5.

temperatuur van het bad wordt veranderd, dan zal de meniskus van het helium in 't dilatometertje van stand veranderen, door het veranderen van de dichtheid van de vloeistof, maar ook door het veranderen van de dichtheid van de damp boven de vloeistof, m. a. w., door condensatie of verdamping. Dit laatste zou ongeveer berekend kunnen worden, echter niet precies, daar de dichtheden van verzadigde damp

1) Tussen streep 1.5 en 2.0 zijn door een vergissing slechts drie deelstrepen aangebracht op de schaalverdeling van het dilatometertje (zie fig. 4).

niet nauwkeurig bekend zijn. Er is daarom naast het dilatometertje een kontrôlebuisje aangebracht, dat zoveel mogelijk met het dilatometertje overeen komt, maar waaraan geen reservoir is. Het kan bij A' door een kraan worden afgesloten, en heeft bij B' een vernauwing. De diameter van het bovenste stuk is 0.199 cm^2 , die bij B' is 0.048 cm^2 . (zie fig. 4). Wanneer nu de meniskus van het helium in B staat, en zich in het kontrôlebuisje ook vloeistof bevindt tot dezelfde hoogte, dan kan de verandering van de stand van de meniskus in B , voorzover die het gevolg is van condensatie of verdamping, afgelezen worden in B' , waardoor dus een grotere nauwkeurigheid verkregen wordt. De verandering van de dichtheid van de vloeistof in het kontrôlebuisje kan buiten beschouwing blijven. In het bad bevindt zich de roerder E (zie fig. 3), die bewogen kan worden door een op en neer gaande elektromagneet E , door middel van het stukje weekijzer W (binnen een glazen buis). Het normaalvolumen van het vloeibare helium werd gemeten in de grote ijzeren bus F , waarvan het volumen (ongeveer 12 L.) volumenometries bepaald was. Deze bus stond in water, dat wel geroerd werd, maar waardoor toch een grote onnauwkeurigheid in de temperatuur, en dientengevolge ook in het normaalvolumen overbleef, zodat de *absolute* waarden van de bepaalde vloeistofdichtheden, ook door de niet zeer grote nauwkeurigheid, waarmee het volumen van de bus bepaald is, niet geheel juist zijn. Door het aanbrengen van de kraantjes bij A en A' (zie fig. 4), waardoor het dilatometertje en het kontrôlebuisje kunnen worden afgesloten, is het grote bezwaar opgeheven, dat nog bestond bij het toestel, dat in Comm. N^o. 119 vermeld is, n.l. dat langs een groot deel van de kapillair, waarin zich ook helium bevond, de temperatuur zo onzeker was.

§ 11. *De metingen.*

Deze hadden op de volgende wijze plaats. Het dilatometertje werd bij een temperatuur van ongeveer $4^{\circ}.2$ K. tot streep 12 gevuld, waarna de kraan *K* gesloten werd. Bij het verlagen van de temperatuur daalde de meniskus van het helium in de steel, tenslotte beneden de schaalverdeling in *D* en kwam daarna weer te voorschijn. Er is toen bijgevoeld, om de laagste stand nog in het nauwe gedeelte *B* te houden. Vervolgens werd de temperatuur langzaam verlaagd, waarbij de meniskus langzaam daalde, en in het gedeelte *B* bleef. Nu werd ook het kontrôlebuisje in *B'* met vloeistof gevuld, ongeveer tot dezelfde hoogte als in *B*. Door nu telkens steeds langzamer de temperatuur te verlagen en te verhogen, kon nauwkeurig de laagste stand gemeten worden. De verandering van de meniskus in *B'* gaf de verandering, die alleen het gevolg was van condensatie of verdamping. Door het kontrôlebuisje is de nauwkeurigheid in *relatieve* zin volkomen bevredigend; de *absolute* waarde van de opgegeven getallen is echter slechts nauwkeurig tot op $\frac{1}{350}$ ongeveer, daar het normaalvolumen van het helium, waarmede de meting verricht was, niet nauwkeuriger kon worden bepaald, zooals in § 10 reeds is aangeduid. Uit de relatieve waarden blijkt een bevestiging van het in Comm. N^o. 119, § 5 gevonden bestaan van een maximum van dichtheid bij vloeibaar helium. Dit maximum blijkt te liggen bij $2^{\circ}.29$ K. Beneden deze temperatuur schijnt de dichtheid weer tot een konstante waarde te naderen; een aanduiding hiervan was ook reeds in Comm. N^o. 119 gevonden. De verandering van de dichtheid beneden $2^{\circ}.29$ K. is ongeveer 1:140.

§ 12. De uitkomsten van de metingen van de vloeistof-dichtheid¹⁾.

T	d ²⁾	ρ ³⁾	Datum.	punt.
4.22 K.	698.7	0.1249	5 Mei 1922	1
3.90	730.4	0.1305		2
3.30	776.6	0.1388		3
2.56	811.4	0.1450	10 Febr. 1922	10
2.56	811.7	0.1451		7
2.37	816.7	0.1459		8
2.30	818.1	0.1462		2
2.30	818.1	0.1462		3
2.29	818.2	0.1462		1
2.29	818.2	0.1462	2 Febr. 1922	4
2.29	818.2	0.1462		5
2.21	816.6	0.1459	10 Febr. 1922	4
2.10	815.7	0.1458	2 Febr. 1922	6
2.10	815.4	0.1457	10 Febr. 1922	5
1.93	814.1	0.1455		6
1.92	814.4	0.1455	2 Febr. 1922	7
1.59	813.0	0.1453	10 Febr. 1922	9
1.59	813.0	0.1453		11
1.28	812.4	0.1452		12
1.20	812.4	0.1452		13

1) Grafies voorgesteld in fig. 6.

2) De getallen in deze kolom zijn gelijk $\frac{V_N}{V_{\text{liq}}}$, waarin V_N het volumen is onder normale omstandigheden, van het helium, waarmede gemeten was, en V_{liq} het volumen, dat het helium bij de verschillende temperaturen in de vloeistofoestand innam.

3) Deze waarden voor ρ_{liq} zijn verkregen, door de waarden voor d uit de vorige kolom te vermenigvuldigen met 0.0001787, welk getal in Comm. N°. 119 wordt opgegeven voor $t_{0^\circ\text{C.}}$, 760 mm.

Met eenzelfde vulling zijn gemeten:

1. de punten 1, 2, 3 van 5 Mei 1922,
2. „ „ 4, 5, 6 en 7 „ 2 Febr. 1922,
3. „ „ 1 t/m. 10 „ 10 Febr. 1922,
4. „ „ 11, 12, 13 „ 10 Febr. 1922.

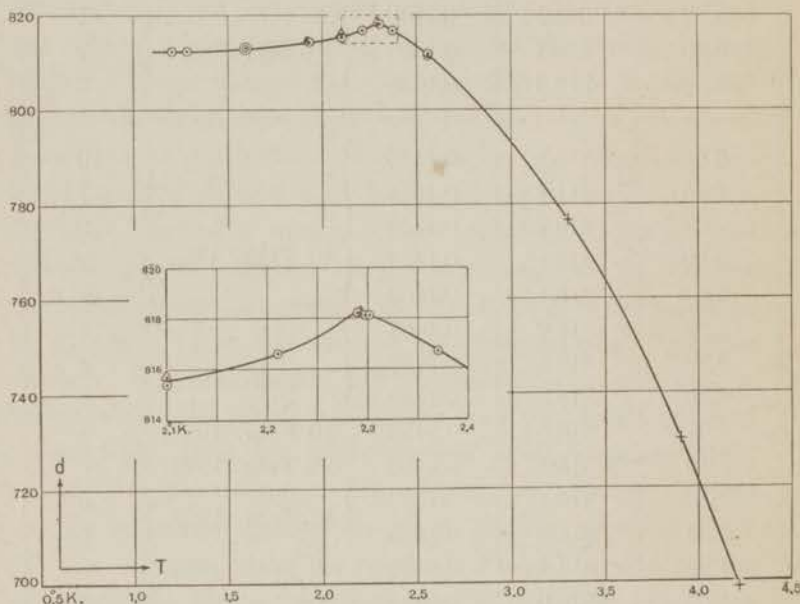
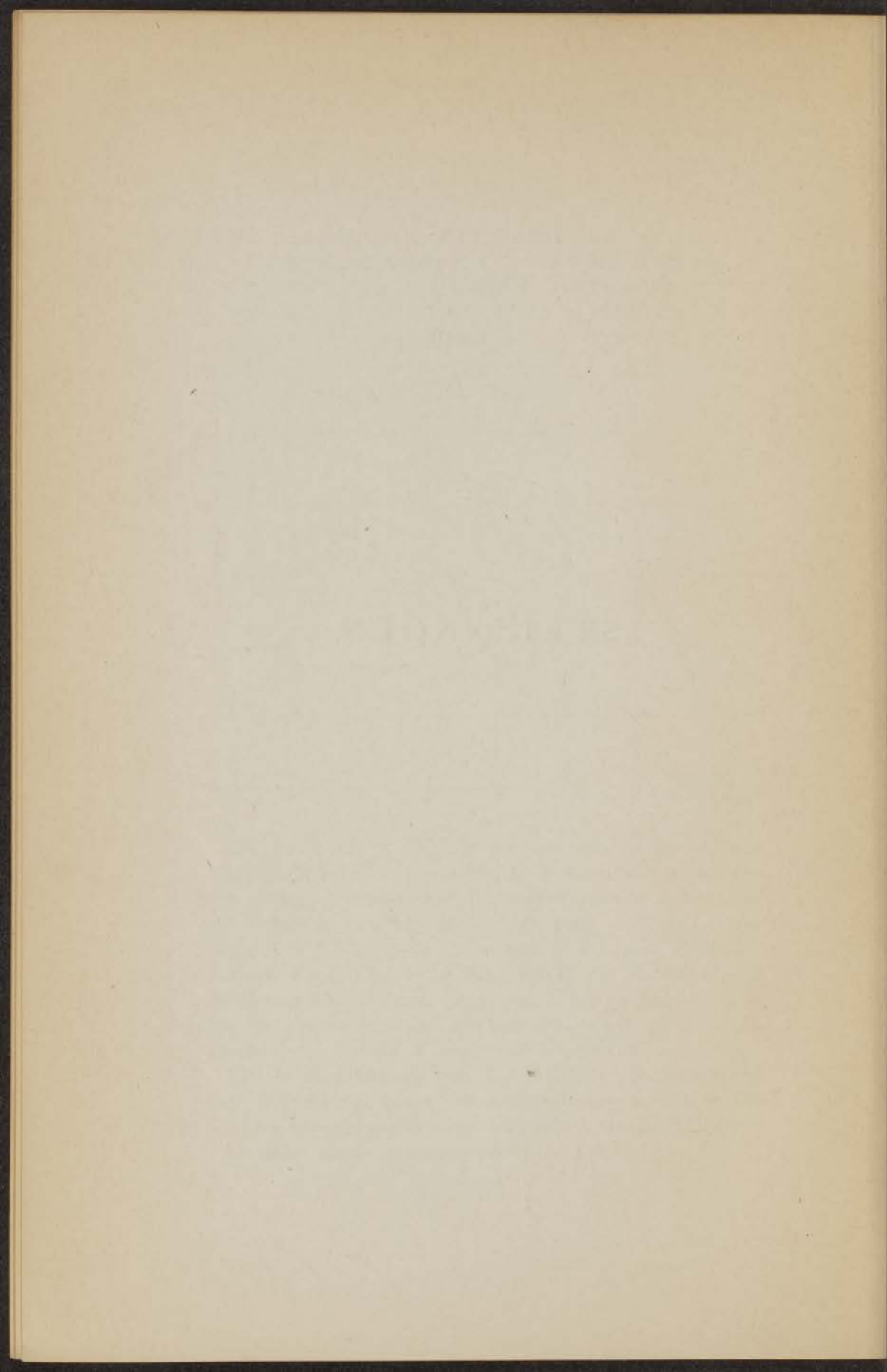


Fig. 6.

De punten van 5 Mei zijn met een afzonderlijk normaalvolumen berekend. De punten 4, 5, 6 en 7 van 2 Febr. zijn direkt vergeleken met de punten van 10 Febr., door de dichtheid van het helium bij punt 4 van 2 Febr. ($T=2^{\circ}.29$ K.) gelijk te stellen aan de dichtheid bij punt 1 van 10 Febr. ($T=2^{\circ}.29$ K.), terwijl de punten 11, 12 en 13 van 10 Febr. met de punten 1 t/m. 10 van dezelfde dag in overeenstemming zijn gebracht, door bij punt 11 dezelfde temperatuur te nemen als bij punt 9.

Uit de détailtekening van fig. 6 springt de asymmetrie van de lijn in de buurt van het maximum duidelijk in het oog; het verdient aanbeveling, het verloop van de lijn aldaar door meer punten nauwkeuriger te bepalen.

STELLINGEN.



STELLINGEN.

I.

De getallen, die HOLBORN en OTTO opgeven voor uitzettings- en spanningscoëfficiënt van stikstof, zuurstof en helium (Zs. f. Phys., 10, 1922, blz. 374 en 375) zijn afgeleid uit gemiddelde waarden voor pv en daarna nog weer als *lineaire* funktie van p gemiddeld. Dit is niet aangegeven. Een *kwadratische* formule is beter met de berekeningen in overeenstemming te brengen.

II.

Wanneer in het toestel van DUBOSCQ, bij gekruiste nikols, achter een eenassig plaatje, loodrecht op de as gesneden, een mikaplaatje van $\frac{1}{4}$ golflengte geplaatst wordt, zodanig, dat de elasticiteitsassen van het mikaplaatje de hoeken tussen de trillingsrichtingen van polarisator en analysator middendoor delen, ontstaan twee zwarte stippen in tegenover elkaar staande kwadranten. In „MÜLLER—POUILLET's Lehrbuch der Physik und Meteorologie" is de verklaring van het ontstaan van deze stippen onjuist.

III.

De isothermen van waterstof, bepaald door C. A. CROMMELIN en J. C. SWALLOW (zie „Fourth internat. Congr. of refrigeration, London, June 1924”, 5a, blz. 33) zijn in de buurt van het kritiese punt niet in overeenstemming te brengen met de dampspanningslijn, gegeven door CATH en KAMERLINGH ONNES (Leiden, Comm. N°. 152a). Waarschijnlijk ligt de kritiese temperatuur lager dan $-239^{\circ}.91$ C., welke waarde in Comm. N°. 151e wordt opgegeven. Een hernieuwd onderzoek is zeer gewenst.

IV.

De bij enige stoffen geldende betrekking $T_e + T_f = T_c$ tussen kookpunt, vriespunt en kritiese temperatuur is slechts toevallig en kan niet met de naam van regel (drie-temperaturenregel) worden bestempeld. (Prud'homme, La règle des trois températures, Journ. de Chim. phys., 18, 1920, blz. 359).

V.

Dat SIMON en LANGE uit hun berekeningen een maximum van verdampingswarmte voor waterstof vinden, is te verklaren door het feit, dat zij van andere formules zijn uitgegaan, dan die, welke voor de Leidse berekeningen dienden. (Zs. f. Phys., 15, 1923, blz. 312; vergelijk ook de noot op blz. 9 van Comm. N°. 162a).

VI.

De gedachtengang, die MOREUX in zijn boek „Les Confins de la Science et de la Foi” op blz. 258 volgt, is onjuist. („Si l'entropie, à un moment quelconque, a été infiniment petite, ce qui inclut un passé infini, le monde dure depuis une infinité de temps; alors, comment expliquer que l'entropie n'est pas déjà parvenue à son maximum?”).

VII.

Volumenbepalingen door middel van wegingen van hoeveelheden kwik (of een andere vloeistof) geeft milliliters, geen cm^3 .

