

# PRZYCZYNEK

do poznania kształtu

linii prężności wody nasyconej

napisał

**Dr. Oskar Fabian**

c. k. profesor wszechnicy lwowskiej.

---

Celem doświadczeń, których wyniki w rozprawie niniejszej podaję, było uzupełnienie znajomości związku, jaki zachodzi pomiędzy ciśnieniem, a ciepłotą marznięcia wody.

Związek ten wyrażony graficznie daje się przedstawić za pomocą linii, której profesor ZEUNER nadał nazwę linii prężności wody nasyconej (*Spannungscurve des gesättigten Wassers*). Powodem téj nazwy jest analogija zachodząca pomiędzy marznięciem cieczy, a skraplaniem się pary.

Wiadomo, że para nasycona posiada pewną oznaczoną prężność przy danej ciepłocie, w skutek czego ze zmianą ciśnienia, zmienia się ilość pary: część jój skrapla się, lub do niej nowa ilość przybywa z ulatniającej się cieczy, z której para powstała i z którą pozostaje w zetknięciu. Linija, dająca zwią-

zek pomiędzy ciśnieniem, a ciepłotą pary nasyconej, nazywa się linią prężności téj pary. Ztąd ZEUNER nazwawszy ciecz zostającą w zetknięciu z ciałem, z którego topnienia powstaje, cieczą nasyconą, zastosował téż i nazwę linii prężności do przypadku krzepnięcia cieczy.

Dla wody podaje ZEUNER kształt téj linii, odpowiadający ciśnieniom wyższym od jednéj atmosfery, na podstawie rachunku i doświadczeń THOMSONA; dla ciśnień zaś niższych niż jedna atmosfera, już tylko kształt przypuszczalny, z któregooby wynikało, że pod ciśnieniem blizkiém zera, a więc w próżni prawie zupełnej, marznie woda już przy  $+1^{\circ}C$ . O ciśnieniach odjemnych nie ma mowy. Otóż doświadczenia moje przekonują, że ciepłota marznięcia  $+1^{\circ}C$  odpowiadać może dopiéro bardzo znacznemu odjemnemu ciśnieniu, czyli ciągnieniu i że pod pompą pneumatyczną woda marznie w ciepłocie  $0.0465 C$ , że przeto pod ciśnieniem zero ciepłota marznięcia wody leży pomiędzy  $0.0465$ , a  $1^{\circ}C$ .

## I.

JAMES THOMSON <sup>1)</sup>, a następnie profesor CLAU-SIUS <sup>2)</sup> wykazali, jak wiadomo, teoretycznie zależność ciepłoty topliwosci od ciśnienia, pod jakim topniejące ciało zostaje.

<sup>1)</sup> *Transactions of the Royal Soc. of Edinburgh*. Vol. XVI. *Cambridge and Dublin Mathematical Journal* 1850.

<sup>2)</sup> *Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie*. I. Abth. p. 91.



Zupełna analogija, zachodząca pomiędzy zjawiskiem krzepnięcia cieczy, a zjawiskiem skraplania się pary, pozwala w obu przypadkach stósować wzory otrzymane dla jednego z nich. Tym to sposobem dochodzi CLAUSIUS <sup>1)</sup> do równania:

$$-r = A(a + t)(s - \sigma) \frac{dp}{dt}. \quad \text{I.}$$

W równaniu tém oznacza:

$a$  ciepłotę bezwzględną punktu zerowego na cieplomierzu 100-stopniowym = 273 ° C.

$r$  ciepło krzepnięcia (tak zwane ciepło utajone),

$p$  ciśnienie,

$t$  ciepłotę krzepnięcia w stopniach CELSIUSZA,

$\sigma$  objętość jednostki ciężaru ciała w stanie ciekłym,

$s$  objętość jednostki ciężaru tegoż ciała w stanie stałym,

$A$  równoważnik jednostki pracy mechanicznej, wyrażony w jednostkach ciepła =  $\frac{1}{423.55}$

Znak odjemny, stojący przy  $r$  służy do wskazania téj okoliczności, że przy krzepnięciu ciepło się wydziela, a nie utaja: (czyli wyrażając się zgodnie z zasadami mechanicznej teoryi ciepła, że przy krzepnięciu pewna ilość ruchu zużywa się na podniesienie ciepłoty otoczenia).

Z powyższego równania wynika:

$$\frac{dt}{dp} = - \frac{A(a + t)(s - \sigma)}{r}. \quad \text{II.}$$

Okazuje się przeto, że ciała, dla których jest  $\sigma > s$ , t. j. które przy krzepnięciu stają się gatunkowo

<sup>1)</sup> Tamże p. 92.

cięższe, krzepną w ciepłocie tém wyższej, im wyższe mu podlegają ciśnieniu; przeciwnie zaś ciała, dla których jest  $s > \sigma$ , t. j. które przy krzepnięciu stają się gatunkowo lżejsze, krzepną w ciepłocie tém wyższej, im niższemu podlegają ciśnieniu.

Wzór II zastosowany do mieszaniny wody i lodu pozostającej pod ciśnieniem jednej atmosfery, daje:

$$\frac{dt}{dp} = - \frac{273 \times 0.000087}{423.55 \times 79.035} \quad \text{III.}$$

gdyż w tym razie jest  $t = 0$ ,  $s = 0.001087$ ,  $\sigma = 0.001$  (Metr i kilogram przyjęte tu są za jednostki).

Chcąc ciśnienie  $p$  wyrazić w atmosferach, a nie w kilogramach przypadających na jeden metr kwadratowy powierzchni, należy powyższe wyrażenie pomnożyć przez 10334. Będzie wtedy:

$$\frac{dt}{dp} = - \frac{273 \times 0.000087 \times 10334}{423.55 \times 79.035} = - 0.0073344 \quad \text{IV.}$$

CLAUSIUS podaje wartość  $\frac{dt}{dp}$  na  $- 0.00733$ ,

ZEUNER <sup>1)</sup> zaś na  $- 0.007324$ , co ztąd pochodzi, że CLAUSIUS przyjmuje  $r = 79$ , a zgodnie z doświadczeniami JOULE'A <sup>2)</sup>  $A = \frac{1}{423.55}$ ; ZEUNER zaś kładzie  $r = 79.035$ , jako wartość średnią między liczbą 79.01, którą podał DE LA PROVOSTAYE i liczbą 79.06 podaną przez REGNAULTA; ale za to przyjmuje  $A = \frac{1}{424}$ .

<sup>1)</sup> *Grundzüge der mechanischen Wärmetheorie*. 2te Auflage p. 565.

<sup>2)</sup> *Phil. Transactions of the Royal Soc, of London for the year 1850*.



JAMES THOMSON oblicza wartość  $\frac{dt}{dp}$  na  $-0.0075$ .

Wyniki te otrzymane na drodze teoretycznej, należało następnie sprawdzić doświadczeniami. W kilku też przypadkach zdołano to istotnie uskutecznić.

I tak znalazł przedewszystkiém WILLIAM THOMSON <sup>1)</sup> brat JAMESA, że pod ciśnieniem 8.1 atmosfer marznie woda przy  $-0.059^{\circ} C$ , a pod ciśnieniem 16.8 atmosfer przy  $-0.129^{\circ} C$ . Do oznaczenia ciepłoty używał on bardzo czułego ciepłomierza różnicowego. Z liczb tych wypada obniżenie ciepłoty marznięcia wody o  $0.00727^{\circ} C$  lub  $0.00767^{\circ} C$  na każde podniesienie ciśnienia o jedną atmosferę.

W roku 1858 przekonał się MOUSSON <sup>2)</sup>, że pod ciśnieniem kilku tysięcy atmosfer woda jeszcze i przy  $-20^{\circ} C$  pozostaje ciekłą.

Doświadczenia te nie pozwalają jeszcze ustawić ogólnego prawa wzajemnej zależności ciśnienia i ciepłoty topliwości; równania zaś II zcałkować nie można, albowiem ilości  $s$  i  $\sigma$ , a nawet i  $r$  są funkcjami zmiennych  $p$  i  $t$ , i to jeszcze funkcjami niewiadomego kształtu. Podobnie też, pomimo bardzo licznych doświadczeń nad ciepłotą lotności cieczy przy rozmaitych ciśnieniach, nie zdołano dotąd wykryć odnośnego prawa ogólnego.

O prawdziwości wzoru II dla wosku, siarki, olbrotu, parafiny i stearyny przekonali się BUNSEN, HOPKINS i FAIRBAIRN, podwyższając nieraz ciepłotę topliwości o  $10^{\circ}$  i więcej za podniesieniem stósowném ciśnienia zewnętrznego.

<sup>1)</sup> *Proceedings of the Royal Soc. of Edinburgh*, Februario 1850.

<sup>2)</sup> *Poggendorffs Annalen* Bd. CV. p. 161.

Brakuje nam wszakże doświadczeń, któreby wzór II sprawdzały dla ciśnień niższych od jednej atmosfery. Wprawdzie profesor ZEUNER <sup>1)</sup> powiada, że pod dzwonem pompy pneumatycznej zaczyna woda marznąć jeszcze w ciepłocie nieco wyższej od zera, co by się objawić powinno wzrostem ciepłoty w mieszaninie lodu z wodą, umieszczonej pod dzwonem. Ale dodaje on zarazem, że ten wzrost ciepłoty musi być niezmiernie słaby, nawet w przestrzeni prawie zupełnie próżnej, i chyba stosem termoelektrycznym wykryćby go można.

Ta uwaga ZEUNERA skłoniła mnie do podjęcia odpowiednich doświadczeń, których wyniki tutaj podaję.

## II.

W dno małej szklanej fiaszeczki *A* (Tabl. IV fig. 1.) (około 0.15 litra objętości), został szczelnie wkitowany stos termoelektryczny *T*. Górna powierzchnia stosu tworzyła wraz z wystającymi brzegami jego oprawy miseczkę *m*. Za pomocą cienkiego lówarka wkrapiano do téj miseczki trochę wody i to w tak małej ilości, aby zaledwie swobodną górną powierzchnię stosu pokryła. Ciepłotę téj wody oznaczało się wprzód, o ile można dokładnie, za pomocą rtęciowego ciepłomierza.

Nalawszy do małej próbki *p* nieco stężonego kwasu siarkowego, zawieszało się ją za pomocą zgiętego drutu we wnętrzu fiaszeczki *A*, której szyjkę zamykał szczelnie korek kauczukowy, wraz z przetkniętą przezeń rurką szklaną *r*.

---

<sup>1)</sup> *Grundzüge d. Mech. Wärmetheorie* p. 566.



Flaszkę  $A$  zawieszano następnie w inne szklane naczynie  $B$ , w którym się znajdowała mieszanina wody z lodem; a to tak, ażeby dolna swobodna powierzchnia stosu, stykała się bezpośrednio z kawałkiem topniejącego lodu. Szklaną rurkę  $r$  łączono z pompą pneumatyczną za pomocą krótkiej rurki kauczukowej o małym kalibrze, ale bardzo grubych ścianach, a druty idące od biegunów stosu przeprowadzano do zwierciadłowego galwanometru WIEDEMANA; poczem wywołane zboczenie zwierciadła odczytywano lunetą.

Wyciągając następnie z flaszeczki  $A$  powietrze tak długo, aż woda w miseczce  $m$  poczyniała marznąć, odczytywano ponownie zboczenie zwierciadła.

Odległość skali od zwierciadła wynosiła  $1.44 m$ . Skala podzielona była na milimetry; można było przeto jeszcze odstęp wynoszący  $\frac{1}{2}$  mm. ocenić. Sto odstępów na skali odpowiadało przy téj odległości od zwierciadła zboczeniu  $\alpha = 1^{\circ} 59' 10.25''$ .

Jest tu bowiem:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{100}{1440} = \operatorname{tg} 3^{\circ} 58' 20.5''$$

Ponieważ zaś odczytywane zboczenia najwyżej 120 odstępów skali dawały, przeto można było śmiało natężenie prądu przyjąć za proporcjonalne do stycznój podwójnego zboczenia, a dalej i różnice ciepłoty obu końcowych powierzchni stosu termoelektrycznego, uważać jako proporcjonalne do natężeń prądu, a więc jako proporcjonalne do liczb wprost przy odczytywaniu lunetą otrzymanych

Niech  $T$  oznacza ciepłotę wody w miseczce  $m$ ,  $n$  odpowiadającą jój liczbę odczytaną na skali,  $t$  ciepłotę lodu utworzonego w  $m$  w czasie rozrzedzenia

powietrza,  $n'$  odpowiednią liczbę odczytaną, a zaś  $N$  liczbę skali stanowiącą jej punkt początkowy, t. j. wskazaną przez lunetę przed zamknięciem łącznika.

Przy tych oznaczeniach wyrazi się powyższa proporcjonalność wzorem:

$$\frac{t}{T} = \frac{n' - N}{n - N},$$

czyli:

$$t = \frac{T}{n - N} (n' - N). \quad \text{V.}$$

Liczba  $n' - N$  wskazała przy trzech doświadczeniach 3 odstępy skali, przy dwóch doświadczeniach nieco więcej niż 3, ale w każdym razie nie więcej, niż  $3\frac{1}{2}$  odstępów, przy czterech doświadczeniach nieco mniej niż 3, ale więcej niż  $2\frac{1}{2}$ , a przy dwóch doświadczeniach 4 odstępy, Można przeto jako średnią wartość dla  $n' - N$  z tych 11 doświadczeń otrzymaną przyjąć liczbę 3.

Za to okazało się dla  $T = 1.6^\circ \text{C}$ .

$n - N = 104; 103.5; 106; 104.5;$

dla  $T = 1.9^\circ \text{C}$ .

$n - N = 116; 117.5; 120.5; 118;$

dla  $T = 0.9^\circ \text{C}$ .

$n - N = 60.5; 62; 59.$

Rozmaitość wartości  $n - N$  dla téj saméj wartości  $T$ , tłumaczy się tém, że  $T$  oznaczało się za pomocą rtęciowego ciepłomierza, podzielonego na dziesiąte części stopni Celsjusza, że przeto mniejszych różnic ciepłoty nie można było oznaczyć, a więc téż za bezwzględną tożsamość wartości  $T$  w trzech lub czterech doświadczeniach ręczyć nie można.



Wedle dat powyższych wypada:

$T$	$n - N$	$\frac{T}{n - N}$
1·6	104	0·0154
1·6	103·5	0·0155
1·6	106	0·0151
1·6	104·5	0·0153
1·9	116	0·0164
1·9	117·5	0·0162
1·9	120·5	0·0158
1·9	118	0·0161
0·9	60·5	0·0149
0·9	62	0·0145
0·9	59	0·0153

Średnia wartość stósunku  $\frac{T}{n - N}$  wypada z tych jedenastu doświadczeń 0·0155, a to podstawione we wzór V, daje:

$$t = 0·0465.$$

### III.

Co do podniesienia ciepłoty mieszaniny lodu z wodą, umieszczonej pod dzwonem pompy pneumatycznej, można wykonać doświadczenie następujące:

Napełniwszy mieszaniną lodu z wodą małe szklane naczynie  $A$  (tabl. IV fig. 2.), do pewnej wysokości, wstawia się je w drugie naczynie  $B$ , również do pewnej wysokości wodą z lodem napełnione. W bocznej ścianie naczynia  $A$  znajduje się otwór, w którym szczelnie wkitowany jest stos termoelektryczny. Zamknąwszy  $A$  pokrywką  $C$ , również szczelnie przylegającą, łączy się przechodzącą przez  $C$  rurkę  $R$ , z pompą powie-

trzną, i wyciąga powietrze w  $A$  zawarte, przy czém bieguny stosu połączone są z galwanometrem.

Z powodu zmniejszenia ciśnienia powinna w mieszaniu wzrosnąć ilość lodu, a zmniejszyć się ilość wody; wydzielające się zaś ciepło marznięcia powinno podnieść ciepłotę mieszaniny, a więc téż i wewnętrznój powierzchni stosu i spowodować zboczenie zwierciadła galwanometru.

Przypuśćmy, że mieszanina zawiera  $m$  jednostek ciężaru wody, a  $n$  jednostek ciężaru lodu, i że z każdej jednostki ciężaru wody zamarza w czasie doświadczenia  $x$  jednostek; wtedy wydzielająca się ilość ciepła wynosić będzie:

$$r m x,$$

gdzie  $r$  jest ciepłem marznięcia wody. Oznaczmy nadto ciepło właściwe mieszaniny przez  $c$ , wzrost ciepłoty przez  $t$ , a otrzymamy:

$$c(m+n)t = r m x,$$

czyli:

$$t = \frac{r m x}{c(m+n)} = 79 \frac{m x}{m+n} < 79 x;$$

gdyż  $r = 79$ , a  $c$  można przyjąć za równe ciepłu właściwemu wody t. j.  $= 1$ .

Gdyby  $t$  miało wynosić  $0.0155$  °C, co przy stosie i galwanometrze, jakie miałem do dyspozycyi, wywoływałyby dopiero zboczenie o jeden odstęp podziałki; to  $x$  musiałoby być większe, niż  $\frac{0.0155}{79}$ , czyli około

$$\frac{1}{5000} \text{ } ^1).$$

<sup>1)</sup> Parująca woda zabiera oczywiście także znaczną ilość ciepła.



Otóż obserwacja pokazała, że nawet przy największym możliwym rozrzedzeniu powietrza w  $A$ , zбочenie zwierciadła było tak małe, iż prawie wcale dostrzedz się nie dawało.

Ilość przeto wody marznącej w skutek rozrzedzenia powietrza nie wynosi nawet  $\frac{1}{5000}$  jej masy.

Ztąd też łatwo pojąć, dlaczego pod dzwonem pompy powietrznej nie można wody zamrozić bez obecności ciała, pochłaniającego chciwie parę wodną.

#### IV.

Chcąc graficznie przedstawić związek pomiędzy  $t$  i  $p$ , t. j. pomiędzy ciepłotą topliwości, a ciśnieniem, można należące do siebie  $t$  i  $p$  przyjąć za współrzędne punktu w układzie prostokątnym i tym sposobem otrzymać linię krzywą  $p = f(t)$ , którą to linię ZEUNER <sup>1)</sup> nazywa linią prężności wody nasyconej (*Spannungscurve des gesättigten Wassers*).

O kształcie jej ZEUNER przypuszcza, iż możnaby go przedstawić tak, jak na tabl. IV fig. 3.

Dla  $t = 0$  jest  $p = 1$  atmosferze, a zaś:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{1}{0.007324} = \operatorname{tg} \lambda,$$

jeżeli przez  $\lambda$  rozumiemy kąt zawarty między osią  $t$ , a styczną do danej krzywej w punkcie  $(t, p)$ .

Liniya ta przeto w punkcie  $M$  ma styczną, zlewającą się prawie z osią  $p$ ; gdyż  $\lambda = 90^{\circ} 25' 25''$ . Dla  $p$  mało co większego niż zero, przypuszcza ZEUNER  $t = +1$ , dla  $t = -1$  jest  $p = 136$  (atmosfer). Znaczy-

<sup>1)</sup> l. c. pag. 567.

łoby to, że wzrost temperatury topliwości lodu, za obniżeniem ciśnienia popod jedną atmosferą odbywa się daleko szybciej, niż malenie téj ciepłoty za podwyższeniem ciśnienia ponad jedną atmosferę.

Wynik  $t = 0.0465$  dla wody marznącej pod dzwo-  
nem pompy przy ciśnieniu wynoszącém około  $5\text{ mm.}$ ,  
wskazuje daleko mniejszą niejednostajność i upoważ-  
nia do przypuszczenia, że  $t = + 1^\circ \text{ C}$  odpowiada ra-  
czej bardzo znacznej odjemnej wartości  $p$ , t. j. odje-  
mnemu ciśnieniu, czyli ciągnieniu, aniżeli małemu  
ciśnieniu dodatnemu.

## V.

Wiadomo, że lód można stopić za pomocą ścis-  
kania bez doprowadzenia mu ciepła, jak to np. po-  
kazał TYNDALL <sup>1)</sup> przepuszczając na wskrós słupek  
lodu ściskanego w prasie hydraulicznej wiązkę pro-  
mieni światła elektrycznego. pozbawioną wprzód pro-  
mieni grzejących. W słupku tym okazywały się smugi  
ciemne, prostopadłe do kierunku ucisku, a powodem  
ich pojawienia się była woda, powstała we wnętrzu  
saméj masy lodu.

Wiązka promieni światła elektrycznego, padająca  
wprost na swobodnie stojący słupek lodowy, nie pod-  
dany żadnemu uciskowi, topiła go w skutek zawartych  
w niéj promieni grzejących. Ale we wnętrzu tego  
słupka, tworzyły się regularne, sześciopromieniowe  
gwiazdki. a środek każdéj z nich zajmowała ciemna  
plama, o którój się TYNDALL przekonał, że była zu-

<sup>1)</sup> TYNDALL. Ciepło uważane jako rodzaj ruchu. Wy-  
kład IV.



pełną próżnią. Zanurzając bowiem lód w ciepłą wodę tak długo, aż wszystka w okół jednej gwiazdki będąca masa stopniała, widział, iż plamka środkowa znikala nie wysyłając żadnej bańki powietrznej.

Próżnie takie w lodzie topniejącym powstawać muszą, gdyż jest on gatunkowo lżejszy od wody, a więc, przy téj saméj masie, musi większą zajmować przestrzeń przed stopnieniem, aniżeli po stopnieniu.

Skoro zaś tak jest, to wszelka przyczyna, utrudniająca ściąganie się lodu, musi téż utrudniać jego topnienie; a więc podnosi jego ciepłotę topliwości. Przyczyną taką może być np. znaczne ciągnięcie.

## VI.

Chcąc lód poddać ciągnienu, należy przedewszystkiém oznaczyć granicę jego wytrzymałości.

W tym celu nadałem lodowi kształt, którego przekrój podłużny uwidoczniiony jest na tabl. IV, fig. 4, t. j. kształt walca *A* (o wysokości 300 mm., a średnicy 54 mm) zakończoného dwiema również walcowemi płytami *B* i *B'* (każda o wysokości 30 mm., a średnicy 80 mm). Końce walca objęte były drewnianými pierścieniami *pp* i *p'p'*, złożonými każdy z dwóch połówek, ściągniętych drutem wchodzącym w rowek *aa*, wyżłobiony na zewnętrznym ich obwodzie. Pierścienie te przytwierdzały się śrubami *s* do walcowatych nasad drewnianych *N* i *N'*, zaopatrzonych w mocne żelazne haczyki *h* i *h'*. Nadto w dolnej nasadzie znajdował się otwór *b*, przebijający ją na wskrós.

Zawiesiwszy tak przyrządzony lód na haczyku *h*, obciążałem go stopniowo coraz bardziej ciężarami kładzionými na talérzyk *t*.

Słupek lodu wytrzymał w ciepłocie  $1^{\circ} C$  ciężar wynoszący 55 kilogramów, zrywając się dopiero za obciążeniem wynoszącém 55·5 kilogr.

Wedle wzoru:

$$f = \frac{P}{\pi r^2},$$

w którym  $P$  oznacza ciężar przywieszony,  $r$  promień podstawy walca,  $f$  granicę wytrzymałości, obliczoną na jednostkę kwadratową powierzchni przecięcia, otrzymuje się:

$$f = \frac{55 \cdot 5}{\pi \cdot 2 \cdot 7^2} = \frac{55 \cdot 5}{22 \cdot 9} = 2 \cdot 425.$$

Pręt więc lodowy o przecięciu równém jednemu centymetrowi kwadratowemu, może w ciepłocie  $1^{\circ} C$  udźwignąć 2·425 kilogramów.

Rezultaty bardzo do tego zbliżone otrzymałem dla prętów, mających 3 *cm.* i 4 *cm.* średnicy.

## VII.

Następnie wziąłem trzy pręty lodowe o kształcie i rozmiarach takich, jak powyżej podane, (ważyły one po 925 gramów); a obciążwszy jeden 50 kilogramami, drugi 25 kilogramami, a trzeci zawiesiwszy zupełnie swobodnie bez obciążenia, pozostawiłem je przez godzinę w miejscu, którego ciepłota wynosiła  $0 \cdot 9^{\circ} C$ .

Woda, która się przez ten czas w skutek topnienia lodu tworzyła, ściekała przez otwór *b*, zrobiony w dolnej nasadzie i spadała na talérzyk wagi, wprost popod tym otworem umieszczony. Po upływie godziny, zlawszy jeszcze i tę małą ilość wody, która się na dolnej nasadzie zebrała, przekonałem się, iż



z pręta nieobciążonego utworzyło się 20 gramów, z pręta obciążonego 25 kilogramami 17·5 gr., a z pręta obciążonego 50 kilogramami tylko 13 gr. wody.

Doświadczenie to przekonywa, że pod ciśnieniem odjemnym, chociaż tylko w jednym kierunku wywieranem, istotnie lód trudniej się topi, niż pod zwykłym ciśnieniem atmosferycznym; ale że ciepota jego topliwości niedochodzi bynajmniej  $1^{\circ} C$ , nawet pod ciśnieniem wynoszącym — 1·3 atmosfery.

Ciężar bowiem 50 kilogramów rozdzielony na 22·9 cm kwadratowych przecięcia daje 2·3 kilogramów na jeden centymetr kwadratowy, od czego jeszcze odjąć należy ciśnienie jednej atmosfery, czyli 1 kilogram (właściwie 1·0334 kilogr.)

Do wykręślenia linii prężności wody nasyconej, mamy przeto daty następujące:

Dla  $t = -0·059$  jest  $p = 8·1$ , dla  $t = -0·129$ ,  $p = 16·8$ , dla  $t = 0$ ,  $p = 1$ , oraz  $\frac{dp}{dt} = -\frac{1}{136·93}$ , dla

$t = 0·0465$  wynosi  $p$  około  $\frac{4}{760} = \frac{1}{190}$ , nadto już dla  $t < 1$  jest  $p$  odjemne.

Linija więc nasza przecina oś  $t$ , w punkcie leżącym między  $t = 0$  i  $t = 1$ , bardzo blizkim punktu danego przez  $t = 0·0465$ ; może ona przeto mieć kształt podobny do przedstawionego na tabl. IV, fig. 5.

Ostateczny wynik, do którego doświadczenia powyżej opisane doprowadziły, streszcza się w następującem twierdzeniu: pod dzwonem pompy pneumatycznej zamarza woda, w obecności ciała pochłaniającego chciwie parę wodną, w ciepło-

cie wynoszącéj  $0.0465$  C; w bezwzględnej próżni leży ciepłota topliwości lodu pomiędzy  $0.0465$  C, a  $1^{\circ}$  C.

Kończąc tę pracę, czuję się w obowiązku złożenia najserdeczniejszego podziękowania Szanownemu profesorowi, Drowi STRZELECKIEMU za prawdziwie przyjacielską uprzejmość, z jaką mi pozwolił korzystać z potrzebnych mi delikatnych aparatów, znajdujących się w jego gabinecie.





