O ROZCIĄGALNOŚCI I SPRĘŻYSTOŚCI LODU

napisał

Dr. Oskar Fabian

c. k. Profesor w Uniwersytecie lwowskim.

(Tablica IV).

W rozprawie mojéj „Przyczynek do poznania kształtu linii prężności wody nasyconéj“ [1]) wykazałem, iż lód poddany ciśnieniu odjemnemu, czyli ciągnieniu, chociażby w jednym tylko kierunku, topi się trudniéj, niż pod zwykłém ciśnieniem atmosferyczném. Opierając się na mechanicznych poglądach na istotę ciepła, trzeba ztąd wyprowadzić wniosek, iż rozmiary téj saméj masy lodu ulegają w skutek ciągnienia zmianie, że mianowicie lód daje się wyciągać. Skoro bowiem lód topniejąc zmniejsza swoją objętość; przeto ciągnienie, stając na przeszkodzie temu zmniejszaniu się objętości, czyli działając w kierunku wprost przeciwnym, sprawia wyciąganie się lodu.

---

[1]) Sprawozdania Wydz. mat.-przyr. Akad. Umiej. w Krakowie T. III. str. 68, r. 1876.

Rozprawę moją pisałem w zimie zeszłego roku. Przedstawiono ją Akademii Umiejętności na posiedzeniu z dnia 20go lutego. W kilka miesięcy potém dowiedziałem się o pracy p. Bianconiego [1]), w któréj badacz ten zwraca uwagę na to, iż lód posiada istotnie giętkość w pewnym, aczkolwiek małym tylko stopniu.

Już poprzednie doświadczenia p. Bianconiego [2]) wykazały, iż lód daje się nieco zginać i skręcać Wszelako profesor Tyndall w swéj znakomitéj teoryi lodników alpejskich [3]) stanowczo przeczy, jakoby lód był giętki, tłumacząc zmiany jego kształtu jedynie na podstawie tak zwanego zmrażania (używam tu wyrazu wprowadzonego przez prof. Jurkiewicza na oznaczenie tego, co Anglicy nazywają *regelation*) i odrzucając tym sposobem dawniejsze teoryje lodników, podane przez Agassiza i Forbesa, którzy lodowi pewien stopień giętkości a nawet lépkości przypisywali.

Pan Bianconi poddawał w ostatnich swych doświadczeniach lód powolnemu ściskaniu. Umieszczał on kawałki granitu na powierzchni lodu i przygniatał je zapomocą stałego cztéry do dziesięciu godzin trwającego ciśnienia w ciepłocie od $+1$ do $+5^0$R. Odcisk kawałka granitu był mniéj lub więcéj głęboki, ale otoczony wystającym brzegiem, w około którego ciągnęło się znowu lekkie zagłębienie.

---

1) Comptes rendus de l'acad. des sciences. T. LXXXII. Nr. 22 (22 Mai 1876) p. 1193.

2) Pamiętniki Akad. w Bolonii 1871. Vol. I. Ser. 3. str. 155

3) Woda, jéj kształty i przeobrażenia przez Tyndalla, przekład profesora Karola Jurkiewicza. Warsz. 1874.

Zagłębienie środkowe spowodowane było w części silném ciśnieniem wywartém na granit, w części zaś stopieniem się lodu pod wpływem ciepła. Zewnętrzne zagłębienie pochodziło również od ciepła granitu; znikało ono bowiem prawie zupełnie, jeżeli kamień poprzednio już zanurzono w lód, a więc dostatecznie oziębiono.

W razie kiedy ciśnienie kamienia wywierano ukośnie na jakiś punkt powierzchni lodu, powstawała wyniosłość w punkcie przeciwległym.

P. Bianconi przekonał się wreszcie, że lód ustępując uciskowi wznosił się w kształcie grzbietu otaczającego brzegi ciała cisnącego. Przez ciąg ośmiu godzin przyciskał silnie do wygładzonéj powierzchni lodu płytkę żelazną na 3mm. grubą, mającą w środku mały otwór kwadratowy i zauważył znaczne nabrzmienie przy brzegach otworu; utworzyła się wyniosłość dosięgająca kilku milimetrów i spadająca na metalowe brzegi. Wnioskuje on tedy ostatecznie, iż lód posiada ściśliwość, albo plastyczność wyraźną, chociaż powolną i bardzo ograniczoną.

Profesor Tyndall przeczący temu stanowczo, tłómaczy nawet między innemi powstawanie rozpadlin brzeżnych w lodnikach w sposób następujący.

Zauważył on, że środek lodnika postępuje nieco prędzéj niż jego brzegi, że więc poprzeczny pasek, jak $ABCD$ (fig 1), posuwając się w kierunku strzałki, zmienia swój kształt na $A'B'C'D'$, jeżeli AD' i BC' przedstawiają brzegi lodnika. Kwadracik $BCmn$, będący przy samym brzegu, wyciągnąłby się więc w kształt podobny do $B'C'm'n'$, w figurę ukośną, przyczém przekątnia Bn musiałaby się wydłużyć w $B'n'$; a że według Tyndalla lód najmniejszéj rozciągalności nie posiada i żadnego napięcia nie znosi, przeto przekątnia *B'n'* musi się zrywać, czyli lód musi pękać w kierunku prestopadłym do *B'n'*, a więc prawie pod kątem *45°* do kierunku brzegu.

Zdaje mi się wszelako, iż tłómaczenie tego kierunku brzeżnych rozpadlin wcale nie wymaga zupełnego braku rozciągalności lodu; owszem przyjmując, że lód znosi napięcie wynoszące mniéj niż 2·425 kilgr. na 1 cm. kwadratowy [1]), dodamy tylko do słów Tyndalla, iż kwadrat *BCmn* tak długo będzie się wyciągał, dopóki napięcie w kierunku jego przekątni nie dojdzie do powyższéj granicy, a wtedy nastąpi zerwanie. Zobaczymy późniéj, że niezmiernie małe wydłużenie już takiemu napięciu odpowiada.

Pragnąc kwestyję tę ostatecznie rozstrzygnąć i do pewnych liczbowych dojść rezultatów, przedsięwziąłem wykonać w ciągu bieżącéj zimy szereg doświadczeń, któreby pozwoliły bezpośrednio poznać sposób, w jaki lód poddaje się działaniom zewnętrznym i wyznaczyć granice, w jakich się te działania zamykają.

Wróciłem przeto do wyciągania słupków lodu za pomocą stósownego ich obciążania. Już w roku zeszłym znalazłem, że w ciepłocie $+1^{0}C.$ granica obciążenia, przy któréj lód się zrywa, wynosi *2·425* kilgr. na jeden centymetr kwadratowy przecięcia.

Pozostawało więc dowiedzieć się, czy długość pręta lodowego zmienia się przy stopniowém obciąża-

---

[1]) Rozprawa moja powyż przytoczona.

niu powoli, czy téż pozostaje wciąż jednakową, aż pręt przy obciążeniu granicznem nagle się zrywa.

Chcąc zbadać zmiany długości pręta lodowego poddanego ciągnieniu, trzeba przedewszystkiém rozporządzać narzędziami, któreby jak najmniéjsze odległości oceniać pozwalały. Używane do podobnych pomiarów katetometry dozwalają w najlepszym razie oceniać długość $\frac{1}{20}$*mm.*, lub nieco mniéjszą, a to w naszym przypadku nie wystarcza. Dlatego téż urządziłem umyślnie w tym celu przyrząd mikrometryczny, mogący z łatwością podać nawet $\frac{1}{300}$*mm.* a w razie potrzeby wykazać jeszcze mniéjsze odległości.

Przyrząd ten składa się z dźwigni mosiężnéj *AB* (fig. 2), któréj ramiona *AC* i *CB* mają nieco więcéj niż 3 centymetry długości, a 1 centymetr szerokości. Dźwignia ta nosi na sobie dwa zwierciadła szklane, sklejone ze sobą stronami amalgamowanemi, tak, iż ich płaszczyzny odbijające zlewają się w jedną *ZC*, która stoi prostopadle na kierunku długości dźwigni *AB*, przechodząc przez jéj oś obrotu *C* i zastępując niejako ku górze zwrócony języczek wagi, w sposób podobny jak w dźwigni zwierciadłowéj p. Cornu [1]).

Na ramionach *AC* i *BC* znajdują się w odstępach równych *1cm.* poprzeczne kréski *1*, *2*, *3*, *1'*, *2'*, *3'*, równoległe do osi obrotu *C*. Odległość piérwszéj z nich od téj osi wynosi również *1 cm.*

Najmniéjsze pochylenie dźwigni *AB* sprawia obrót odpowiedni zwierciadeł około osi *C*, którego wielkość ocenia się za pomocą lunety skierowanéj na

---

[1]) Carl's Repertorium für Experimentalphysik, physikalische Technik etc. Bd. 11, p. 173.

środek zwierciadła i za pomocą pionowéj podziałki milimetrowéj, umieszczonéj w pewnéj znanéj odległości od C. Tym sposobem łatwo można wyznaczyć obniżenie lub podniesienie każdéj z krések 1, 2, 3 lub $1'$, $2'$, $3'$. Zwierciadełko podwójne dozwala od razu sprawdzić, czy ramiona dźwigni są prostopadłe do płaszczyzny ZC i czyni obie strony dźwigni zarówno przydatnemi do odczytywania nachyleń. Ażeby zaś środek ciężkości sprowadzić pod oś C, przyczepia się do dźwigni krótki pręcik w przedłużeniu kierunku ZC unoszący stósowny ciężarek G.

Niech dźwignia AB (fig. 3) obróci się o mały kąt φ, wtedy punkt M obniży się do P.

Połóżmy:

$$MP=x\,,\quad MC=a\,,\quad KC=k\,,\quad KN=d\,,$$

gdzie K jest środkiem wysokości zwierciadła ZC, a więc k wyniesieniem tego środka ponad oś C, KN zaś odległością podziałki od zwierciadła. Obrót zwierciadła sprawia, że oś lunety, skierowana początkowo na jego środek, nie spotyka go już w K, ale w R. Promień światła idący od liczby N' na podziałce, a czyniący z normalną RW kąt φ, wpada po odbiciu się od zwierciadła w kierunek osi lunety.

Kładąc: $NN' = n$,

mamy:

$$x = a\operatorname{tg}\varphi,\quad RK = k\operatorname{tg}\varphi = k\,\frac{x}{a},\quad n = RN\operatorname{tg}2\varphi = (d + k\frac{x}{a})\operatorname{tg}2\varphi.$$

Z powodu małości kąta φ można położyć:

$$\operatorname{tg}2\varphi = 2\operatorname{tg}\varphi = 2\,\frac{x}{a}\,,$$

oraz:

$$d + k\frac{x}{a} = d,$$

jeżeli tylko k jest niezbyt wielką długością. W przyrządzie moim k wynosi *1 cm.*

Jest przeto:

$$n = \frac{2dx}{a}, \quad \text{czyli } x = \frac{a}{2d} n.$$

Jeżeli podziałka jest podzieloną na milimetry, wtedy odstępowi dwóch kolejnych jéj krések odpowiada długość $x = \frac{a}{2d}$ milimetrów.

W razie więc, kiedy podziałka od zwierciadła odległą jest na *150 cm.*, a punkt M leży na piérwszéj krésce ramienia dźwigni, mamy $x = \frac{1}{300}$ mm.; a nic nie przeszkadza wziąć odstęp d jeszcze większy, byleby luneta wyraźnie odczytywać podziałkę pozwalała.

W doświadczeniach moich poprzestawałem na $\frac{1}{100}$ do $\frac{1}{200}$ mm.

Mając taki przyrząd mikrometryczny, przygotowałem lód w podobny sposób, jak przy dawniejszych mych doświadczeniach; t. j. nadałem mu kształt walca MN (fig. 4) o średnicy *5cm.* a długości *50 cm.* zakończonego również walcowemi nasadami A i B o *5 cm.* wysokości, a *10 cm.* średnicy; a to za pomocą stósownéj formy blaszanéj, w któréj się woda zamrażała, a którą następnie rozebraną na dwie części od lodu oddzielałem.

W dnie formy znajdował się mały otwór, w który za pomocą wosku wprawiony był drucik CD, zakrzywiony raz wewnątrz formy, a drugi raz zewnątrz niéj, jak to figura wskazuje, a zaostrzony w końcu D. Drut ten po zamarznięciu wody był tym sposobem stale z lodem złączony, a punkt D służyć mógł daléj za stałą wskazówkę.

Lód tak zamrożony, przedstawia przekrój prostopadły do osi walca zupełnie przeźroczysty, bezbarwny przy obwodzie (fig. 5), w okół zaś osi biały i promienisty. Pochodzi to oczywiście ztąd, że powietrze zawarte w wodzie, nie mogąc się przedostać na zewnątrz przez powierzchnię, która nasamprzód zamarza, gromadzi się bliżéj osi, a w miarę, jak zamarzanie postępuje w głąb masy, musi to powietrze zamykać się w przestworach pozostających pomiędzy igiełkowatémi kryształkami lodu.

W pozornie bezpostaciowéj i bezbarwnéj masie lodu stanowiącéj zewnętrzną część walca, dostrzegamy jeszcze tu i owdzie małe banieczki powietrza, zawsze wydłużone i idące w kierunku promieni przekroju. Może to służyć za nowy dowód, że i masa zbitego i na pozór bezpostaciowego lodu jest przecież krystaliczną; gdyż każde ciało krystalizujące w postacie igiełkowate, układa te igiełki zawsze w kierunkach normalnych do granicznéj powierzchni, w któréj się krystalizacyja rozpoczyna; wszelkie więc wrostki obcych ciał (w naszym przypadku powietrze) leżąc w przestworach międzyigiełkowych, muszą również w tych kierunkach się wydłużać.

Jeżeli się wodę przed zamrożeniem przegotuje, wtedy téż owa nieprzeźroczysta środkowa masa znika prawie zupełnie.

Zauważyłem wszakże, iż tak pod względem wytrzymałości, jak i rozciągalności prawie żadnéj nie ma różnicy, czy lód jest na wskroś przeźroczysty, czy téż w środku ową białą nieprzeźroczystą część zawiera.

Co więcéj, pokazało się, że jeżeli ciepłota pokoju nie jest zbyt wysoką, np. nie dosięga $+ 10°C$, wytrzymałość i rozciągalność lodu pozostają jednakowe.

Tłómaczyć się to daje oczywiście tém, że lód w takim pokoju nie topnieje od razu w całéj masie, ale tylko na powierzchni; a będąc złym przewodnikiem ciepła, zachowuje w swém wnętrzu ciepłotę 0^0. Tylko, że im chłodniéjszą jest pracownia, tém dłużéj możemy w niéj badać ten sam słupek lodowy, bo tém powolniéj topić się on będzie.

Do zawieszenia słupka nie można już było teraz, jak przy dawniéjszych mych doświadczeniach nad wytrzymałością lodu, używać haczyka osadzonego w drewniánéj obrączce; gdyż punkt *M* (fig. 4) musiał teraz pozostawać wciąż na téj saméj wysokości. Otóż w tym celu użyłem żelaznego wieszadła. Gruba płyta *AB*, (fig. 6) przytwierdzona za pomocą kilku silnych śrub do ściany pionowéj, zgięta jest u góry pod kątem prostym w ramię *BH*, rozszerzone w poziomą obręcz *DHE*, mającą kształt półkoła o wewnętrznym promieniu wynoszącym *2·5 cm*. Drugie półkole téjże wielkości *CFG* przytwierdza się do piérwszego dwiema śrubami *s* i *s'*. Tak utworzony pierścień obejmuje górną część walca *MN*, który tym sposobem opiera się swą nasadą *A* o stałą podstawę. Żeby zaś uniknąć topienia się lodu w skutek zetknięcia z żelazem, pokrywa się pierścień *HF* kawałkiem papiéru, jako złym przewodnikiem ciepła; nadto należy pierścień bezpośrednio przed samém doświadczeniem dostatecznie oziębić, pokrywając go lodem lub śniegiem.

Przy dolnym końcu *N* (fig. 4) opasuje się walec *MN* grubym drutem, którego dwie lub trzy odnogi sięgają po pod nasadę *B* i tam tworzą pętlicę, u któréj się zawieszają ciężary. Drut opasujący wsunięty jest w rurkę kauczukową, aby i tu nie dopuścić zetknięcia lodu z metalem.

Zawiesiwszy lód w ten sposób, podsuwa się dźwignię ze zwierciadłem pod kolec *CD*, tak, aby koniec jego *D* przypadł na jednę z krések *1*, *2*, *3*, lub *1'*, *2'*, *3'* (fig. 2).

Dźwignia wraz ze swą podstawką musi stać na stoliku dającym się zwolna podnosić i obniżać, aby ją w stósownéj wysokości ustawić było można.

Odczytawszy następnie liczbę na podziałce przypadającą na oś lunety, obciąża się lód stopniowo, nie dochodząc oczywiście do granicy jego wytrzymałości, a za każdém obciążeniem powtarza się odczytywanie.

Tym to sposobem zwiększając i zmniejszając na przemian ciężary wyciągające, znalazłem następujące liczby :

I. Odległość $d=95$ *cm.*, kolec na kresce *1*, czyli $a=1$ *cm.*;

$$\frac{a}{2d} = 0{\cdot}00526.$$

Obciążenie w kilogramach	Liczba odczytana	Wydłużenie x w milimetrach.
0	120 . . .	0·
2	120·5 . . .	0·0026
5	121 . . .	0·0053
10	122·5 . . .	0·0131
5	121·5 . . .	0·0079
2	120·5 . . .	0·0026
0	120 . . .	0·
10	123 . . .	0·0159
12	123·5 . . .	0·0184
15	124 . . .	0·0210
20	125·5 . . .	0·0279
15	124·5 . . .	0·0237
12	124 . . .	0·0210
10	123·5 . . .	0·0184
0	122 . . .	0·0115
10	124 . . .	0·0210
20	126 . . .	0·0316
22	127 . . .	0·0368
25	128·5 . . .	0·0447
30	129 . . .	0·0473
25	129 . . .	0·0473
22	128·5 . . .	0·0447
20	128 . . .	0·0421
10	127 . . .	0·0368
0	126 . . .	0·0316

II. $d = 104$ *cm.*, kolec na krésce *1*, czyli $a = 1 cm.$;

$$\frac{a}{2d} = 0{\cdot}00481.$$

Obciążenie w kilogramach	Liczba odczytana	Wydłużenie x w milimetrach.
0 . . .	92 . . .	0
2 . . .	93 . . .	0·0048
5 . . .	93·5 . . .	0·0072
10 . . .	95 . . .	0·0144
5 . . .	94 . . .	0·0096
2 . . .	93 . . .	0·0048
0 . . .	92·5 . . .	0·0024
10 . . .	96 . . .	0·0152
12 . . .	97 . . .	0·0240
15 . . .	97·5 . . .	0·0265
20 . . .	98·5 . . .	0·0317
15 . . .	98 . . .	0·0289
12 . . .	98 . . .	0·0289
10 . . .	97 . . .	0·0241
0 . . .	95 . . .	0·0144
10 . . .	96·5 . . .	0·0180
20 . . .	99·5 . . .	0·0365
22 . . .	99·5 . . .	0·0365
25 . . .	102 . . .	0·0481
30 . . .	107 . . .	0·0722
25 . . .	104 . . .	0·0577
22 . . .	103 . . .	0·0529
20 . . .	102·5 . . .	0·0506
10 . . .	101 . . .	0·0433
0 . . .	99 . . .	0·0347

III. $d=96{\cdot}5\ cm.,\ a=1\ cm.,\ \frac{a}{2d}=0{\cdot}00518.$

Obciążenie w kilogramach	Liczba odczytana	Wydłużenie x w milimetrach.
0 . . .	38 . . .	0
2 . . .	39 . . .	0·0052
5 . . .	39·5 . . .	0·0078
10 . . .	40·5 . . .	0·0130
5 . . .	40 . . .	0·0103
2 . . .	39·5 . . .	0·0078
0 . . .	38·5 . . .	0·0026
10 . . .	41 . . .	0·0155
12 . . .	41·5 . . .	0·0183
15 . . .	42 . . .	0·0207
20 . . .	43·5 . . .	0·0285
15 . . .	42 5 . . .	0·0233
12 . . .	42 . . .	0·0207
10 . . .	41·5 . . .	0·0183
0 . . .	40 . . .	0 0104
10 . . .	42 . . .	0·0207
20 . . .	46 . . .	0·0414
22 . . .	47·5 . . .	0·0492
25 . . .	49 . . .	0·0570
30 . . .	50·5 . . .	0·0648
25 . . .	50 . . .	0·0622
22 . . .	49·5 . . .	0·0596
20 . . .	49 5 . . .	0 0596
10 . . .	46 . . .	0·0414
0 . . .	45 . . .	0·0366

IV. $d = 98\,cm.,\ a = 1\ cm.,\ \frac{a}{2d} = 0{\cdot}00510.$

Obciążenie w kilogramach	Liczba odczytana	Wydłużenie x w milimetrach.
0 . . .	65 . . .	0
2 . . .	65·5 . . .	0·0026
5 . . .	66·5 . . .	0·0077
10 . . .	67·5 . . .	0·0128
5 . . .	67 . . .	0·0102
2 . . .	66 . . .	0·0051
0 . . .	65·5 . . .	0·0026
10 . . .	68·5 . . .	0·0179
12 . . .	68·5 . . .	0·0179
15 . . .	70 . . .	0·0255
20 . . .	71·5 . . .	0·0332
15 . . .	71 . . .	0·0306
12 . . .	70·5 . . .	0·0281
10 . . .	70 . . .	0·0255
0 . . .	68·5 . . .	0·0179
10 . . .	70·5 . . .	0·0281
20 . . .	75·5 . . .	0·0536
22 . . .	76 . . .	0·0561
25 . . .	76·5 . . .	0·0587
30 . . .	80 . . .	0·0765
25 . . .	79 , . .	0·0714
22 . . .	78 . . .	0·0663
20 . . .	76·5 . . .	0.0587
10 . . .	74 . . .	0·0459
0 . . .	70 . . .	0·0255

V. $d = 90\ cm.,\ a = 1\ cm.,\ \frac{a}{2d} = 0{\cdot}00555.$

Obciążenie w kilogramach	Liczba odczytana	Wydłużenie x w milimetrach.
0 . . .	53 . . .	0
2 . . .	53·5 . . .	0·0028
5 . . .	54·5 . . .	0·0083
10 . . .	55 5 . . .	0·0139
5 . . .	54 . . .	0·0056
2 . . .	54 . . .	0·0056
0 . . .	53 . . .	0
10 . . .	55·5 . . .	0·0139
12 . . .	57·5 . . .	0·0250
15 . . .	58 . . .	0·0278
20 . . .	59 . . .	0·0333
15 . . .	57 . . .	0·0222
12 . . .	57 . . .	0·0222
10 . . .	56 . . .	0 0167
0 . . .	54·5 . . .	0·0083
10 . . .	56·5 . . .	0·0194
20 . . .	59 5 . . .	0·0361
22 . . .	61 . . .	0 0444
25 . . .	62·5 . . .	0·0527
30 . . .	63 . . .	0·0556
25 . . .	63 . . .	0·0556
22 . . .	61.5 . . .	0·0472
20 . . .	60 5 . . .	0·0416
10 . . .	59·5 . . .	0 0361
0 . . .	58·5 . . .	0·0305

W skutek obciążenia lodu obniża się wszakże i pierścień żelazny, albowiem ramię *BH* (fig. 6) nieco się zgina. Otóż utwierdziwszy pomiędzy obu połówkami pierścienia kolec druciany, opierający się na ramieniu dźwigni, obciążałem sam pierścień kolejno ciężarami wynoszącymi 2, 5, 10, 5, 2, 0, 10, 12, 15, 20, 15, 12, 10, 0, 10, 20, 22, 25, 30, 25, 22, 20, 10, 0 kilogramów i notowałem odpowiedni stan podziałki. Od liczby odczytywanéj przy każdém obciążeniu lodu odejmowałem odpowiednią liczbę odnoszącą się do obciążenia samego pierścienia. Druga kolumna tabliczek zawiera właśnie tak zredukowane liczby.

Tabliczki powyższe pokazują, że dopóki obciążenie lodu nie przechodzi *10 kilgr.*, co przy średnicy równéj *5 cm.*, czyli przy przekroju równym *19·635 cm.* kwadratowych, odpowiada *5 gr.* na *1 mm.* kwadratowy, dopóty za usunięciem wyciągającego ciężaru lód poznowu się kurczy i do piérwotnéj swéj długości powraca; mamy bowiem wydłużenia odpowiadające obciążeniu równemu *10 kilgr.*

0·0131mm ,0·0144mm.,0 0130mm.,0·0128mm.,0·0139mm.,

czyli w przecięciu *0·0135 mm.*, kiedy tymczasem po zdjęciu tego ciężaru wydłużenia wracają do wartości:

0, 0·0024 mm., 0·0026 mm., 0·0026 mm., o;

a więc stają się niezmiernie małemi, lub nawet zupełnie znikają.

Ponowne obciążenie 10 kilogramami wywołuje prawie zawsze nieco większe wydłużenie niż to, które takiemuż, piérwszy raz użytemu obciążeniu odpowiada; w jednéj bowiem tylko tabliczce V. powtarza się wydłużenie toż samo.

Widzimy nadto, że w granicach tych stosunek wydłużeń, który oczywiście jest równy stosunkowi nadwyżek liczb odczytanych nad tę, która odpowiada nieobciążonemu słupkowi, jest mniéj wiécéj równy stosunkowi odpowiednich ciężarów wyciągających. Mamy bowiem dla obciążeń wynoszących *2 kilgr.* i *10 kilgr.* a więc będących w stosunku *1 : 5* wydłużenia dające stosunki:

0·5 : 2·5; 1 : 3; 1 : 2·5; 0·5 : 2·5; 0·5 : 2·5.

Dla obciążeń zaś wynoszących *5 kilgr.* i *10 kilgr.*, a więc będących w stosunku *1 : 2* wydłużenia dają stosunki:

1 : 2·5; 1·5 : 3; 1·5 : 2·5; 1·5 : 2·5; 1·5 : 2·5;

bardzo blizkie stosunkowi *1 : 2.*

Daléj zaś widzimy, że jakkolwiek wzrastającemu obciążeniu odpowiada coraz większe wydłużanie, a każdorazowe zmniejszenie obciążenia wywołuje pewne skurczenie się lodu, to przecież tu już prawidłowość ustaje: nie ma już owéj chociażby przybliżonéj proporcyjonalności wydłużenia do wyciągającego ciężaru, ani téż powrotu do piérwotnéj długości.

Słupki, które w skutek obciążenia 30 kilgr. doznały wydłużeń wynoszących:

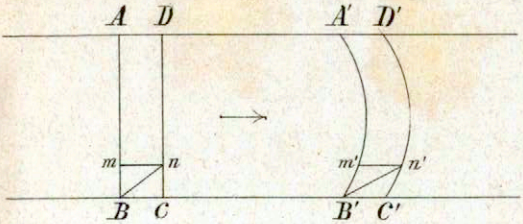
0·0473 mm., *0·0722 mm.*, *0·0648 mm.*, *0·0765 mm.*, *0·0556 mm.*, czyli w przecięciu *0·0633 mm.*, zachowują po usunięciu tego ciężaru wydłużenie wynoszące:

0·0316 mm., *0·0347 mm.*, *0·0366 mm.*, *0·0255 mm.*, *0·0305 mm.*, czyli w przecięciu *0·0300 mm.*.

Gdybyśmy więc przyjęli dla uproszczenia, że wydłużenie postępuje daléj już w tym samym stosunku, otrzymalibyśmy bezpośrednio przed zerwaniem, które następuje przy obciążeniu wynoszącém około *48·5 kilgr.*, wydłużenie mniéj więcéj *0·1 mm.*, co przy długości pręta wynoszącéj *500 mm.* daje $\frac{1}{5000}$ piérwotnéj długości.

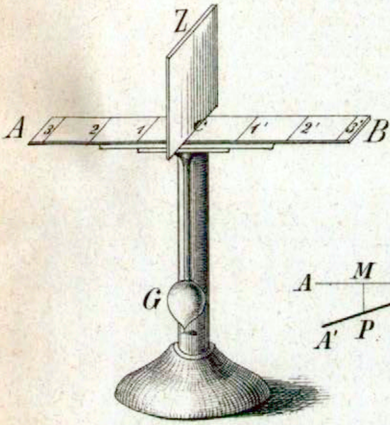
Wracając przeto do (fig. 1), powiemy, że gdy tylko w lodniku skutkiem wolniejszego posuwania się brzegu niż środka, przekątnia kwadracika $BCm'n'$ wydłuży się o $\frac{1}{5000}$ swéj piérwotnéj długości; to już odpowiadające temu napięcie wystarczy do wywołania pęknięcia lodnika w kierunku prostopadłym do téj przekątni, a więc do utworzenia brzeżnéj rozpadliny.

1.

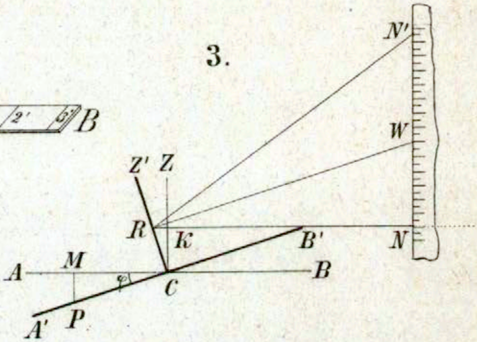


4.

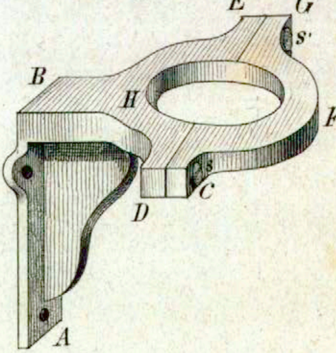
2.



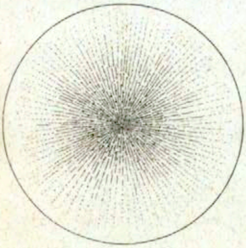
3.



6.



5.



Litogr. M. Salba w Krakowie.