icm©

BADANIA WSTĘPNE NAD NOWYM SPOSOBEM OZNACZANIA ROZSZERZALNOŚCI CIECZY.

(Z PRACOWNI FIZYCZNÉJ MUZEUM PRZEMYSŁU I ROLNICTWA W WARSZAWIE.)

PRZEZ

J. J. BOGUSKIEGO.

§ 1.

Zanim przystąpię do opisu nowego sposobu oznaczania rozszerzalności cieczy, stanowiącego przedmiot niniejszéj pracy, pozwolę sobie przedewszystkiém zwrócić uwagę czytelnika, że, ze względu na konieczność przechowywania cieczy w naczyniach, o bezpośredniém mierzeniu ich rozszerzalności nie może być nawet mowy. Badanie doświadczalne musi się zawsze ograniczyć do obserwowania różnicy pomiędzy rozszerzalnością cieczy a rozszerzalnością naczynia,—pośrednie bowiem mierzenie sposobem Biot'a (Dulong'a i Petit'a), ze względu na konieczność posiadania znacznych ilości cieczy, na niemożność badania w ten sposób cieczy, ulegających działaniu powietrza lub wilgoci i na bardzo wiele trudności eksperymentalnych, nie może być żadną miarą uważaném za dogodny sposób mierzenia, który, ze względu na obfitość materyału, jaki jeszcze mamy w nauce do opracowania, powinien być nie tylko dokładny, ale i łatwy.

Ponieważ badanie rozszerzalności cieczy w największéj liczbie wypadków jest różnicowém, przeto *rzeczywistą* rozszerzalność cieczy można oznaczać, dodając rozszerzalność naczynia do zaobserwowanéj *pozornéj* rozszerzalności cieczy, jak to ma miejsce przy użyciu sposobu dilatometrycznego, albo téż rozszerzalność materyału, za pomocą którego wypychamy ciecz badaną

i mierzymy jéj masę ważeniem, jak to czynili Hålström, Hagen oraz z tak wielkiém powodzeniem A. Matthiessen.[1])

Oznaczanie rozszerzalności naczynia odbywa się, jak wiadomo, za pomocą obserwowania pozornéj rozszerzalności rtęci w dilatometrze, skalibrowanym dokładnie przy stałéj temperaturze, a sposób ten opiera się na milczącém uznaniu za pewnik, że dane, dotyczące rozszerzalności rtęci, a czerpane prawie wyłącznie ze znakomitych obserwacyj Regnault'a, przedstawiają, jeśli nie zupełną, to wystarczającą dokładność. W każdym jednak razie widzimy z powyżéj przytoczonego, że w oznaczeniach rozszerzalności naczynia sumują się błędy dwojakiego rodzaju, a mianowicie:

1°) Błędy w oznaczeniach Regnault'a, lub wzorach, wyprowadzonych z tych oznaczeń,

2°) Błędy w kalibrowaniu samych dilatometrów.

Ten drugi rodzaj błędów nie wpływa na oznaczenia, wykonywane sposobem wypychania badanéj cieczy, lecz do najstaranniejszych ze znanych mi doświadczeń, wykonanych tym sposobem [2]), wchodziła sześcienna rozszerzalność materyału wypychającego (szkła), wyznaczona przez potrojenie rozszerzalności podłużnéj, przyczém autor rozszerzalność szkła w obserwowanych przez się granicach temperatury uważał za proporcyonalną do różnic temperatur, a w pojedyńczych oznaczeniach rozszerzalności podłużnéj (szkła) otrzymywał różnice, dochodzące do 2% mierzonéj wielkości.

Jeżeli jednak błędy drugiego rodzaju nie wchodzą do oznaczeń sposobem wypychania, to za to poważném źródłem niedokładności może w nich być ważenie w tych warunkach, w jakich musi być wykonywaném przy zastosowaniu tego sposobu. Znaczne źródła ciepła po jednéj stronie szalki, długi drucik platynowy, wystawiony na działanie par cieczy i kurzu pracowni, rozpuszczalność szkła w rozmaitych cieczach, niezaprzeczalnie wykazana w pracowni Bunsen'a i nareszcie — niemożność zastosowania przy ważeniu sposobu odchyleń z powodu zbyt szybkiego hamowania się wagi, są bez zaprzeczenia poważnemi źródłami błędów, które tylko wielka wprawa w eksperymentowaniu może uczynić wystarczająco małemi. Błędy te, wynikające z niedokładności ważenia, nazywać będziemy błędami trzeciego rodzaju, a wchodzą one niewątpliwie i do oznaczeń, wykonywanych sposobem dilatometrycznym, aczkolwiek w tym ostatnim razie są mniejsze niż w pierwszym, ze względu na daleko większą jednostajność warunków, w jakich się odbywa ważenie i ze względu na możność użycia przy ważeniu sposobu odchyleń.

Czwarty rodzaj błędów, dotyczący tylko sposobu dilatometrycznego, wynika ze zmienności objętości naczyń wskutek zmian ciśnienia wewnętrznego. Dilatometry zazwyczaj kalibrujemy rtęcią i, o ile kalibrowanie to dotycze rurki dilatometru, zazwyczaj grubościennéj, o tyle pozostaje słusznem i dla innych

[1]) Philosophical Transactions, Vol. 156 p. 1 za 1866 rok.

[2]) A. Matthiessen l. c.

icm©

cieczy, lecz objętość kulki dilatometru, wyznaczona rtęcią, jest większą od objętości jéj wtedy, gdy w niéj znajduje się woda, lub ciecz znacznie od rtęci gatunkowo lżejsza. Przy dilatometrach o cienkościennych kulkach i długich rurkach błąd ten może być nawet bardzo znacznym; wtedy ciśnienie na wewnętrzne ścianki naczyńka dilatometru może się zmieniać w obszernych granicach, dochodzących do 50 cm. rtęci i wyżéj, wskutek czego stosunek pomiędzy objętością jednéj podziałki na rurce dilatometru i objętością kulki jest zawsze oznaczony z pewnym błędem. Być może, iż z tego względu wyznaczanie tego stosunku za pomocą wody byłoby korzystniejszém.

Do tegoż samego rodzaju błędów można zaliczyć i te, które mają swe źródło w zmianach objętości dilatometru wskutek wielokrotnego ogrzewania go do wysokich temperatur i oziębiania do bardzo nizkich, czego w sposobie dilatometrycznym nie można uniknąć, wskutek konieczności usuwania z dilatometru jednych cieczy i wprowadzania doń natomiast innych.

Już H. Kopp w swéj znanéj ogólnie pracy [1]) przytacza dowody, że zwilżanie rurki dilatometru cieczą nie stanowi źródła dostrzegalnego błędu, a za dowód taki uważa to, że oznaczenia przy wstępującym biegu cieczy (przy podnoszeniu temperatury) w suchéj rurce dają też same rezultaty, co i oznaczenia przy biegu zstępnym (przy obniżaniu temperatury). Poważam się sądzić, że ten rezultat jest jedynie skutkiem wzajemnego kompensowania się dwóch czynników. Wilżenie musi zmniejszać pozorną objętość cieczy przy biegu zstępnym i tak jest bezsprzecznie, lecz kulka dilatometru po oziębieniu nie odrazu dochodzi do pierwotnéj objętości, gdyż szkło, równie jak i inne ciała stałe, dopiero po upływie znacznego przeciągu czasu (dla szkła po piętnastu godzinach) po oziębieniu przyjmuje pierwotną objętość, właściwą danéj temperaturze. Ta okoliczność musi wpływać na powiększenie objętości pozornéj przy biegu zstępnym. Otóż zdarzyć się może, iż oba powyższe wpływy wzajemnie się równoważą przy danéj średnicy rurki dilatometru i być może, że taki właśnie stan rzeczy istniał w cytowaném badaniu Kopp'a, przedsiębraném wyłącznie w celu określenia wpływu wilżenia rurki dilatometru.

Piąty rodzaj błędów, wynikających z parowania cieczy, można usunąć, ale tylko po części, pracując tak, jak to robił Thorpe, w dilatometrach zamkniętych, — co jest korzystném także i dla tego, że przez zamknięcie dilatometru usuwamy wpływ wilgoci i powietrza na ciecze, zmieniające się pod wpływem tych czynników. Zauważyć wszakże należy, że zamykanie dilatometru może wywołać poważne zmiany w ciśnieniu na wewnętrzne ścianki dilatometru i spowodować przez to znaczne różnice w objętości kulki.

Szósty rodzaj błędów, wynikających z niedokładnego oznaczania temperatur i będący skutkiem braku dokładnych termometrów i czułych termostatów, jest nieodłączny od wszelkich badań, w których dokładne oznaczanie temperatury jest niezbędne. Sądzę jednak, że dobre, kalibrowane i porównane termometry rtęciowe są w tych razach prawie zawsze lepsze od termometrów wagowych i powietrznych, a to ze względu na łatwość odczytywania i szybsze przyjmowanie temperatury kąpieli.

[1]) Untersuchungen über das Specif. Gew. u s. w. Pogg. Ann. 72. 1.

Siódmy nareszcie rodzaj błędów, pochodzący stąd, iż rurka dilatometru nie zawsze jest zanurzoną w kąpieli, był już obszernie dyskutowany, między innymi przez H. Kopp'a i T. E. Thorpe'go. Pierwszy poprawkę oznaczał za pomocą kolejnych przybliżeń według wzoru

$$V_T + E\,\frac{V_T - V_t}{V_t},$$

drugi zaś za pomocą wzoru

$$\frac{V_T - E}{V_t - E}\,V_t\,.$$

W obu wzorach V_T oznacza objętość cieczy przy T, V_t objętość cieczy przy t, E wysokość słupa cieczy, nie zanurzonego w kąpieli przy temperaturze T, T temperaturę kąpieli, a t temperaturę środkowego punktu słupa cieczy, nie zanurzonego w kąpieli.

Sprawdzenie, który z pomienionych wzorów jest ściślejszy, a nadto eksperymentalne usunięcie wynikającego stąd błędu nie jest trudném, — wskutek czego przy dalszém omawianiu oznaczania rozszerzalności na ten siódmy rodzaj błędów nie będę już zwracał uwagi, gdyż nie można zeń czynić zarzutu metodzie dilatometrycznéj, jako z błędu, dającego się z wszelką łatwością usunąć przy stosowném urządzeniu badania.

§ 2.

Chociaż, jakeśmy to widzieli, źródła błędów w oznaczaniu rozszerzalności cieczy sposobem dilatometrycznym są bardzo liczne, pomimo to jednak wprawni obserwatorowie metodę tę doprowadzili do wysokiego stopnia doskonałości, która uwidacznia się w zgodności rezultatów, otrzymywanych dla jednéj i téj saméj cieczy za pomocą rozmaitych dilatometrów. Z dawniejszych prac na tém polu na największą uwagę zasługują znane powszechnie badania H. Kopp'a, ogłoszone w rocznikach Poggendorff'a i Liebig'a pomiędzy 1847 i 1856 rokiem, oraz prace Pierre'a, ogłaszane od 1845 do 1851 w rocznikach Liebig'a oraz w „Annales de Chimie et de Physique". Z nowszych prac w tym kierunku najgodniejszemi uwagi są badania T. E. Thorpe'go [1]), przeprowadzone z zachowaniem wielu ostrożności, które były pomijane przez uprzednich obserwatorów. Z pomiędzy wielu innych zaznaczyć trzeba ten fakt, że Thorpe, wprowadzając rtęć do swych dilatometrów w celu kalibrowania, usuwał

[1]) Proceed. of the Roy. Soc. Vol. 123 p. 300. Journal of the Chem. Soc. Nrs 208, 209, 210, 211 for March, April, May, June, 1880.

icm©

z nich uprzednio powietrze, a to w tym celu, aby warstewka gazu pomiędzy rtęcią a szkłem nie wpłynęła na pozorne zmniejszenie objętości dilatometru.

Ponieważ w pracy niniejszéj nie chodzi mi o rezultaty, dotyczące poszczególnych cieczy, tylko o samą metodę badania; przeto, nie wdając się w teoretyczną dyskusyą wpływu błędów, wyliczonych w § 1, na dokładność otrzymanego rezultatu, przytoczę tylko liczby, wykazujące, o ile rezultaty badań Thorpe'go zgadzają się pomiędzy sobą i o ile różnią się od wyników, otrzymanych dla tych samych cieczy przez innych obserwatorów.

Liczby, podane przez Thorpe'go w przytoczonéj pracy, są niestety po największéj części zebrane z pojedyńczych oznaczeń w jednym i tym samym dilatometrze. [1])

Niektóre jednak ciecze, nie badane uprzednio co do rozszerzalności, albo téż szczególnie ważne dla teoryi objętości właściwych, Thorpe poddawał badaniu po dwakroć w dwóch rozmaitych dilatometrach, przez co zebrał dość pokaźny materyał, pozwalający poniekąd sądzić o dokładności oznaczeń. Takich dwukrotnych obserwacyj wykonał on 10, z których 8 przeprowadził w dwóch dilatomdtrach *B* i *C*, jedną w dilatometrze i piknometrze [2]), a jedną w dwóch innych dilatometrach *D* i *E*. Poniżéj zestawiam różnice pojedyńczych oznaczeń, wyrażone w procentach mierzonéj wielkości, t. j. całkowitego rozszerzenia jednostki objętości cieczy od 0° C. do 100° C.[3]); to znaczy, iż przytoczone poniżéj różnice obliczałem ze wzoru

$$200\left(\frac{\Delta_B - \Delta_C}{\Delta_B + \Delta_C}\right) = \text{Różnica},$$

gdzie Δ_B jest rozszerzeniem jednostki objętości od 0° C. do 100° C. w dilatometrze *B*, a Δ_C jest takiémże rozszerzeniem w dilatometrze C.[4]). Thorpe na jednym i tym samym dilatometrze otrzymywał raz większe, drugi raz mniejsze rozszerzenia; okoliczność tę uwzględnia znak przy różnicy, podanéj w tablicy.

---

[1]) Jeżeli liczby, podane w pracy Thorpe'go, są średniemi z wielu oznaczeń, to o błędach obserwacyjnych dadzą one mylne, zbyt korzystne pojęcie, a to, co następuje w dalszym ciągu tekstu, odnosić się będzie nie do pojedyńczych obserwacyj lecz do średnich rezultatów.

[2]) Do piknometrów o cienkiém szkle stosuje się większość zarzutów, przytoczonych w § 1-ym.

[3]) Dla cieczy, wrących poniżéj 100° C., obliczyłem z danych Thorpe'go hypotetyczne rozszerzenie od 0° do 100°, a to w celu otrzymania liczb, któreby można porównywać ze sobą.

[4]) Ponieważ Δ_B jest bardzo mało różném od Δ_C, przeto zamiast powyższego wzoru do oznaczania względnéj wielkości błędu można się posługiwać prostszemi $\frac{\Delta_B - \Delta_C}{\Delta_B}$, lub $\frac{\Delta_B - \Delta_C}{\Delta_C}$, które tém tylko różnią się od przytoczonego w tekście, że w nich błąd jest brany w stosunku nie do przeciętnéj wartości rozszerzenia $\frac{\Delta_B + \Delta_C}{2}$, lecz w stosunku do rozszerzenia, zaobserwowanego na jednym z dilatometrów. Różnice, wynikające z użycia tego lub owego wzoru, są zbyt małe, by mogły nas w danéj chwili zajmować.

I. Różnice w obserwacyach Thorpe'go.

Nazwa i wzór cieczy	$200\left\{\frac{\Delta_B - \Delta_C}{\Delta_B + \Delta_C}\right\}$	Granice temperatur	Uwagi
Chlorek krzemu $Si\,Cl_4$. . .	— 0·55%	0° — 100°	
Chlorek cyny $Sn\,Cl_4$. . . .	+ 5·55%	0° — 100°	
Chlorek fosforu $P\,Cl_3$ . . .	— 0·48%	0° — 100°	
Tlenochlorek fosforu $PO\,Cl_3$	— 0·0008%	0° — 100°	Dilatometr *B* i Piknometr
Tlenochlorek fosforu $PO\,Cl_3$	+ 0·10%	0° — 100°	
Siarkochlorek fosforu $PS\,Cl_3$	+ 0·04%	0° — 100°	
Siarek węgla CS_2	+ 0·86%	0° — 100°	
Chloroform $CH\,Cl_3$	+ 0·10%	0° — 100°	
Chlorek węgla $C\,Cl_4$. . . .	— 0·12%	0° — 100°	
Heptan $C_7\,H_{14}$	$200\left\{\frac{\Delta_D - \Delta_E}{\Delta_D + \Delta_E}\right\}$ — 0·23%	0° — 100°	

II. Różnice w obserwacyach Thorpe'go i innych obserwatorów.

W przytoczonéj poniżéj tablicy przez Δ_T należy rozumieć rozszerzenia w granicach każdorazowo podanych temperatur, zaobserwowane dilatometrycznie przez Thorpe'go, a przez Δ_0 rozszerzenia, obserwowane w granicach tychże temperatur przez Kopp'a, Pierre'a, Hirn'a, Muncke'go, Carleton-Williams'a, lub Tollens'a.

Ciecz	Obserwatorowie	$200\left\{\frac{\Delta_T - \Delta_0}{\Delta_T + \Delta_0}\right\}$	Granice temperatur
Chlorek krzemu $Si\,Cl_4$. . .	Thorpe i Pierre	— 2·38	0° — 50°
„ „ „ . . .	„ i Pierre	—15·82	0° — 100°
Chlorek cyny $Sn\,Cl_4$. . .	„ i Pierre	+ 0·23	0° — 100°
Chlorek fosforu $P\,Cl_3$ . . .	„ i Pierre	— 3·00	0° — 100°
Bromek fosforu $P\,Br_3$. . .	„ i Pierre	— 0·08	0° — 120°
Chlorek arsenu $As\,Cl_3$. . .	„ i Pierre	+ 1·12	0° — 120°
Chlorek siarki $S_2\,Cl_2$ . . .	„ i Kopp	— 1·20	0° — 100°
Siarek węgla CS_2	„ i Pierre	— 0·80	0° — 45°
„ „ „	„ i Hirn	— 0·80	0° — 45°
„ „ „	„ i Muncke	+ 2·00	0° — 45°
Chloral $C_2\,H\,Cl_3\,O$. . . .	„ i Kopp	+15·60	0° — 60°
Pentachloretan $C_2\,H\,Cl_5$.	„ i Pierre	— 4·50	0° — 100°
Chloroform $CH\,Cl_3$.	„ i Pierre	— 2·50	0° — 100°
Chlorek węgla $C\,Cl_4$. . . .	„ i Pierre	+ 0·30	0° — 75°
„ „ „ . . .	„ i Hirn	+ 3·40	0° — 70°
Alkohol allylowy $C_3\,H_6\,O$.	„ i Tollens	+ 6·10	0° — 96°6
Aceton $C_3\,H_6\,O$	„ i Kopp	+ 0·59	0° — 45°
Dwuizobutyl $C_8\,H_{16}$	„ i Kopp	+ 0·21	0° — 100°
„ „	„ i Williams	+ 5·70	0° — 100°

icm©

Rozpatrując dane, zawarte w powyższych tablicach, spostrzegamy:

1°) Że Thorpe na jednym i tym samym dilatometrze *B* w pięciu razach obserwował rozszerzenia większe niż na dilatometrze *C*, a w czterech razach mniejsze, z czego można wnosić, że oba te dilatometry były zbadane z jednakową dokładnością.

2°) Że w 10^{-u} razach Thorpe znajdował dla jednych i tych samych cieczy wartości większe niż inni obserwatorowie, a w 9^{-u} razach — mniejsze, z czego jednak nie można wysnuć żadnego stanowczego wniosku, gdyż różni obserwatorowie operowali z konieczności z cieczami, nie przedstawiającemi jednakowego stopnia czystości i osuszenia, a co najważniejsza, z niejednakowo oczyszczonemi od zawartych w nich gazów, które, jak tego dowiodły badania Angströma [1]), zmieniają w znacznym stopniu objętość rozpuszczających je cieczy.

3°) Niektóre z pomiędzy różnic w badaniach Thorpe'go są albo zbyt wielkie (5·55% dla chlorku cyny) albo zbyt małe (jak 0·0008% dla tlenochlorku fosforu), by je można uważać za normalne, wskutek czego możnaby je przypisać jakiemuś przeoczonemu przypadkowi i przy obliczaniu przeciętnéj różnicy możnaby je pominąć.

4°) Że przeciętna różnica [2]) bez względu na znak w oznaczeniach Thorpe'go wynosi 0·803%, t. j. stanowi bez mała blisko 1% mierzonéj wielkości przy uwzględnianiu skrajnych różnic, po odrzuceniu których otrzymujemy daleko mniejszą przeciętną różnicę, bo wynoszącą tylko $^1/_3$ procentu.

Badania Thorpe'go należą do najstaranniejszych; wynika to nietylko z krytycznego rozbioru jego sposobu postępowania, ale i stąd, że zdołał on otrzymać daleko mniejsze różnice w oznaczaniu poszczególnych wartości, aniżeli jego poprzednicy na tém polu, Kopp i Pierre. Z tego względu możemy twierdzić, że dokładność oznaczeń dilatometrycznych przy najstaranniejszém przeprowadzeniu badań mieści się w granicach 1·67% do 0·80% mierzonéj wielkości przy uwzględnianiu skrajnych różnic, lub téż, co prawdopodobniéj, może być daleko większą i wahać się pomiędzy 0·41% do 0·33% mierzonéj wielkości, jeśli pominiemy skrajne różnice.

Otrzymane powyżéj cyfry posłużą nam do porównania z rezultatami, otrzymanemi przezemnie przy przedwstępnych badaniach nad nowym sposobem oznaczania rozszerzalności cieczy, do opisu którego obecnie przystępuję.

[1]) Wied. Ann. 1888. Band 33, p. 223.

[2]) Gdybyśmy przyjęli, że prawdziwa wartość rozszerzenia mieści się zawsze między dwiema niezgodnemi obserwacyami (do czego nie mamy prawa), to w takim razie moglibyśmy twierdzić; że *błędy* są mniejsze od przytoczonych w tablicy *różnic*, jeśli pod wyrazem *błąd* zechcemy pojmować różnicę pomiędzy wartościami istotną i zaobserwowaną. Przyjąwszy, że prawdziwa wartość rozszerzenia równa się przeciętnéj z dwóch niezgodnych obserwacyj, musielibyśmy przepołowić otrzymane *różnice* w celu otrzymywania *błędów*. Ponieważ jednak w danym razie chodzi nam tylko o porównanie rozmaitych metod, przeto możemy poprzestać na *różnicach*, które są w tym razie równie miarodajnemi jak *błędy*.

§ 3.

Przed niedawnym czasem wykazałem możność doświadczalnego wyrugowania zmian objętości naczyń przy mierzeniu ściśliwości cieczy w sposób, odmienny od używanych dotychczas sposobów piezometrycznych. [1]) Taż sama myśl zasadnicza wypychania jednéj cieczy za pomocą drugiéj pozwala także na doświadczalne wyrugowanie wszelkich zmian objętości naczyń z pomiarów rozszerzalności cieczy na skutek zmian jéj temperatury.

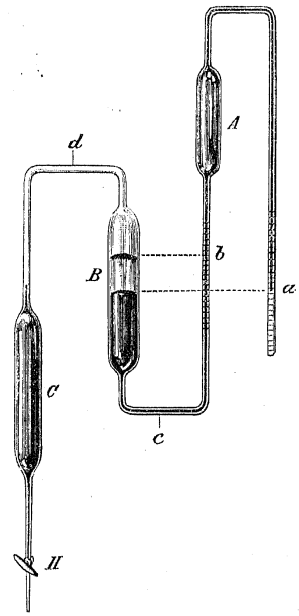

Fig. 1.

Istotnie, — rozważmy szematyczny rysunek (fig. 1), przedstawiający główne części używanego przezemnie przyrządu. Widzimy tu trzy naczynia szklane cylindryczne *A*, *B*, *C*, połączone rurkami włoskowatemi, przyczém na obu rurkach, złączonych z naczyniem *A*, znajdują się skale milimetryczne. Objętość naczynia *A* przy 0° wyznacza się starannie w gramach rtęci przy 0° C. pomiędzy każdą parą kresek obu skal, a w tym celu—rzecz prosta—obie rurki *a* i *b* muszą być skalibrowane.

Załóżmy teraz, że całe naczynie *A*, poczynając od kreski *a*, jest wypełnione rtęcią, dochodzącą aż do dolnych części naczynia *B*; że pozostała, górna część naczynia *B* jest wypełniona badaną cieczą i że naczynie *C* jest wypełnione całkowicie rtęcią. W celu utrzymania takiego stanu rzeczy kran *H* musi być zamknięty. Jeśli teraz naczynia *A* i *C* doprowadzimy do temperatury 0° C., a naczynie *B* do pewnéj wyższéj temperatury T^0, to po otworzeniu kranu *H* wystąpią następujące zjawiska:

1°) Rtęć z *A* przejdzie do *B* i ogrzeje się od 0° do T^0,

2°) Ciecz badana z *B* przejdzie do *C* i oziębi się od 0° do T^0,

3°) Rtęć z *C* wyleje się na zewnątrz przyrządu i może być zważoną.

Objętościowe stosunki w tych trzech zjawiskach przedstawiają się jak następuje:

[1]) Kosmos, rocznik 1888; Zeitschrift für physikalische Chemie, II, 122.

icm©

1°) Objętość rtęci, wylanéj przez kran H, równa się objętości przy 0^0 téj masy cieczy badanéj, która w ciągu doświadczenia przeszła z B do C.

2°) Objętość téjże masy cieczy badanéj przy T^0 równa się objętości przy T^0 téj masy rtęci, która w ciągu doświadczenia przeszła z A do B.

3°) Objętość przy T^0 téj masy rtęci, która w ciągu doświadczenia przeszła z A do B, można oznaczyć, znając jéj objętość przy 0^0, a objętość jéj przy 0^0 równa się objętości A między dwiema danemi kreskami. Oznaczywszy przez V objętość przy 0^0 naczynia A między dwiema kreskami w gramach rtęci przy 0^0, przez Δ_T rozszerzenie jednostki objętości rtęci od 0^0 do T^0, a przez P masę (objętość) rtęci, odlanéj przez kran H, możemy znaleźć rozszerzenie jednostki cieczy badanéj od 0^0 do T^0 z pomocą zasadniczego wzoru

$$\frac{V(1+\Delta_T)-P}{P}=\Delta'_T, \qquad (1)$$

w którym Δ'_T oznacza szukane rozszerzenie jednostki objętości badanéj cieczy przy zmianie temperatury od 0^0 do T^0.

Utrzymując zawsze w naczyniach A i C temperaturę 0^0 i nadając naczyniu B w rozmaitych doświadczeniach kolejnie temperatury T_1, T_2, T_3 i t. d., możemy oznaczyć Δ'_{T_1}, Δ'_{T_2}, Δ'_{T_3} i t. d., rozszerzenia jednostki objętości cieczy, odpowiadające rozmaitym temperaturom, od których łatwo już jest przejść do współczynników α, β i γ w powszechnie używanych wzorach na rozszerzalność.

W ten sposób przedstawia się w ogólnych zarysach metoda oznaczania rozszerzalności cieczy, wartość któréj starałem się wypróbować. Zanim jednak przystąpię do opisu budowy przyrządu i praktycznego przeprowadzania doświadczeń, wypada mi teoretycznie rozpatrzeć pewne okoliczności, wpływające jużto dodatnio, jużto ujemnie, na ścisłość poszukiwań,

1°) Przy zamkniętym kranie H cały przyrząd łącznie z krańcowemi rurkami włoskowatemi przedstawia bardzo czuły termometr, wskutek czego łatwo jest na nim ocenić chwilę dojścia do statecznego rozkładu temperatur.

2°) Wszystkie części przyrządu w ciągu pojedyńczego doświadczenia, a naczynia A i C w ciągu całego szeregu doświadczeń, zachowują stale jedną i tęż samą temperaturę, wskutek czego można być pewnym, że dochodzą one do objętości, właściwych danym temperaturom i że jéj nie zmieniają wcale.

3°) Dwukrotne zgięcie rurki a pod kątem prostym zabezpiecza cały przyrząd od zmian objętości naczyń wskutek zmian ciśnienia wewnętrznego. Odlewając rtęć w ten sposób od poziomu a do poziomu b, aby ona na początku doświadczenia, równie jak i na końcu, była na téj saméj wysokości co i w naczyniu B (patrz fig. 1), sprawiamy, że ciśnienie na wewnętrzne ścianki naczynia w obu stanowczych momentach doświadczenia jest jednakowém.

4°) Rozszerzalność szkła wskutek ciepła w oznaczeniach, wykonywanych tym sposobem, nie odgrywa żadnéj roli.

5°) Zmiany objętości naczynia A, odpowiadające zmianom w położeniu punktu 0^0 w termometrach, są w tym przyrządzie niewątpliwie stosunkowo mniejsze, niż w zwykłych dilatometrach, a to dla tego, że naczynia te, wyrobione z całkowitych, dawno wyciągniętych i przezornie studzonych rur szklanych, mogły już dojść do właściwego im statycznego układu molekularnego. Zresztą naczynie A nie jest wystawioném ani na przewyżkę ciśnienia zewnętrznego nad wewnętrzném, ani też na raptowne zmiany temperatury w obszernych granicach, które to czynniki, jak wiadomo, wpływają na powiększenie różnic w położeniach punktu 0^0.

6°) Rozporządzając odpowiedniemi ilościami cieczy badanéj, można objętość naczynia A uczynić bardzo znaczną, wskutek czego i mierzone rozszerzenia dochodzą do znacznych rozmiarów. Rozszerzenia w przeprowadzonych przezemnie badaniach wynosiły w gramach rtęci z górą 30 (dilatometr nr 2) do 50 (dilatometr nr 1), to znaczy, iż były znacznie większe od objętości całych dilatometrów, używanych dotychczas, których pojemność zazwyczaj wynosi mniéj, niż 20 grm. rtęci, a rozszerzenia, nawet w obszernych granicach temperatur, wyrażają się w nich zaledwie częściami grama lub gramami. Ponieważ dokładność ważenia można doprowadzić tylko do pewnych określonych granic, przeto, ważąc ilości większe, popełniamy błąd stosunkowo mniejszy, wskutek czego znaczne rozmiary przyrządu należy zaliczyć do jego zalet.

7°) Ciecz badana, odcięta od powietrza atmosferycznego dwiema warstwami rtęci, nie może ulegać ani parowaniu, ani też działaniu powietrza lub wilgoci.

W powyższych siedmiu punktach streszczają się zalety metody. Porównawszy je z tém, cośmy przytoczyli w § 1, widzimy, że są w niéj usunięte błędy trzeciego, czwartego i piątego rodzaju, a błędy drugiego rodzaju są sprowadzone do minimum wskutek usunięcia błędów innych rodzajów.

Przy stosowaniu jednak téj metody grożą, wprawdzie dające się bez trudu usunąć, ale bardzo poważne błędy, a to z następujących powodów.

1°) Jeśli w drugim stanowczym momencie doświadczenia (w chwili odczytywania położenia w rurce b) temperatury w B lub C będą choćby tylko cokolwiek różne od temperatur w pierwszym stanowczym momencie doświadczenia (w chwili odczytywania położenia rtęci w rurce a), wówczas położenie rtęci w rurce b ulegnie poważnéj zmianie, przez co V w równaniu (1) będzie błędnie wyznaczone. Chcąc rachunkiem usunąć błąd, mogący wyniknąć z tego powodu, należałoby:

I) Ściśle oznaczyć ową różnicę temperatur.

II) Znać współczynniki rozszerzalności obu naczyń i badanéj cieczy choćby w przybliżeniu.

III) Znać stosunek objętości cieczy badanéj do objętości rtęci w każdém z naczyń i objętości tychże naczyń.

Lepiéj więc, zamiast wprowadzania tak złożonéj poprawki, opartéj na kilku wątpliwych, nie dających się ściśle oznaczyć wielkościach, usuwać ją eksperymentalnie, co, przez użycie odpowiednich termostatów, zawsze w żądanych granicach uskutecznić się daje, témbardziéj, że chodzi tu tylko o uchwycenie

dwóch momentów, w którychby temperatury obu naczyń były jednakowe. Należy jeszcze w tém miejscu zauważyć, że, powiększając rozmiary naczyń *B* i *C*, czynimy cały przyrząd czulszym termometrem, a więc lepiéj wskazującym dojście do statecznego rozkładu temperatur, ale za to, im naczynia te są większe, tém większemi mogą być błędy, wynikające z różnic temperatur.

2°) Objętość rurek, łączących *A* z *B* i *B* z *C*, jest niewielką w stosunku do objętości cieczy, poddanéj doświadczeniu, rurki te jednak wychodzą w otaczające powietrze z wanien, w których umieszczone są naczynia *A*, *B* i *C* [1]) i wskutek tego w obu stanowczych momentach doświadczenia mogą mieć wprawdzie niebardzo, ale różne temperatury. Łatwo wszakże można się przeświadczyć rachunkiem, że błąd, mogący wyniknąć z tego powodu przy objętości rurki = 4 grm. rtęci, jest mniejszym od 4 miligramów rtęci przy różnicy temperatur = 1°C. i przy współczynniku rozszerzalności cieczy, dochodzącym do 0·001, co, przy rozszerzeniu, wynoszącém 30 do 50 grm. rtęci, stanowi zaledwie 0·01% lub 0·005% mierzonéj wielkości, utrzymanie zaś rurek łączących w granicach temperatury jednego stopnia zawsze jest możliwém przy użyciu odpowiednich środków zabezpieczających.

3°) Po za temi dwoma błędami, dającemi się teoretycznie przewidzieć i rachunkiem lub doświadczalnie usunąć, w oznaczeniach tego rodzaju może wystąpić jeszcze jeden błąd, związany nierozerwalnie z każdém badaniem, w którém wypływ mającéj się ważyć rtęci przecina się za pomocą kranu. I ten jednak nieunikniony błąd można sprowadzić do minimum, wylewając rtęć powolnie, zamykając kran w ten sposób, aby po zamknięciu niewielka kropla rtęci wisiała u otworu rurki i ścinając tę kroplę brzegiem naczynia, w które odlewamy rtęć w celu ważenia. Dodawać nie potrzebuję, że dobre wykończenie kranu, osadzonego w pośrodku rurki, niezbędnie włoskowatéj, oraz staranne nasmarowanie go, bez zawalania smarem kanału — są niezbędnemi warunkami powodzenia badań.

§ 4.

Pragnąc praktycznie stwierdzić słuszność przytoczonych powyżéj rozważań, przystąpiłem w roku ubiegłym do doświadczalnego przeprowadzania badań wedle powyższego sposobu, ulegając pod tym względem serdecznym zachętom przyjaciela mego p. Władysława Natansona i korzystając niejednokrotnie w ciągu badań z jego życzliwéj i czynnéj pomocy, za którą niech mi wolno będzie wyrazić mu w tém miejscu najszczersze podziękowanie. Aczkolwiek badania wstępne, jakie udało mi się uskutecznić, nie obejmują zbyt obfitego materyału, niemniéj przeto już i w téj niewykończonéj formie zawierają one stanowcze dowody, że metoda może być pożyteczną, a wzgląd ten, w połączeniu z niepewnością, czy okoliczności pozwolą mi daléj zajmować się niemi, skłania mnie do ogłoszenia ich drukiem.

[1]) Taki stan rzeczy miał miejsce w obu zbudowanych przezemnie dilatometrach, chociaż możliwém jest zbudowanie przyrządu, w którymby tylko część rurki, łączącéj *B* i *C* wychodziła poza obręb wanien.

Pierwszy dilatometr (nr 1) w myśl przytoczonéj metody zbudowaliśmy wespół z p. Wł. Natansonem miejscowemi środkami Pracowni Fizycznéj Muzeum Przemysłu i Rolnictwa w Warszawie. Był on w pewnych szczegółach niedogodnym i niepewnym w użyciu, tak np. między innemi skale milimetryczne na obu rurkach wyżerałem sam sposobem Bunsen'a, wszakże ze względu na mały kaliber rurek nie mogłem umieścić na nich liczb, co wymagało każdorazowego oznaczania położenia rtęci przez liczenie bezpośrednie kreski po kresce od zera skali, a w połączeniu z tą okolicznością, że niektóre kreski nie były dość wyraźne, nie pozwalało na użycie lunety przy odczytywaniu, a przez to i na usunięcie błędu paralaktycznego.

Naczynia *A* i *C* były otoczone cylindrycznemi rękawami blaszanemi, które wypełniałem topniejącym śniegiem, naczynie zaś *B* było umieszczone w naczyniu blaszaném o podwójnych ścianach, pomiędzy któremi cyrkulowała para wody, wrącéj na silnym ogniu w dwóch półlitrowych miedzianych kociołkach. Naczynie *B* było oddzielone od *A* i *C* za pomocą calowych desek, a para wodna była wyprowadzaną daleko od przyrządu, który był cały umieszczony na odpowiednio zbudowanym statywie drewnianym.

Po wypełnieniu całego przyrządu świeżo przedystylowaną rtęcią i doprowadzeniu temperatur w *A* i *C* do 0° C, a w *B* do punktu wrzenia wody, kalibrowałem [1]) rurki *a* i *b* i oznaczałem objętość naczynia *A* przy 0° przez odlewanie rtęci przez kran *H*, przyczém okazało się, że

I. objętość jednéj podziałki rurki *a* wynosiła
pomiędzy 0 skali i 20-ą podziałką . . . . 0·01049 grm Hg
pomiędzy 10-ą i 75-ą podziałką . . . . . 0·01082 „ „
Zero skali znajduje się w najniższym punkcie rurki *a*.

II. objętość jednéj podziałki rurki *b* wynosiła
pomiędzy 0 skali i 15-ą podziałką . . . . 0·0153 grm Hg
pomiędzy 16-ą i 51-ą podziałką . . . . . 0·01603 grm Hg

III. objętość naczynia *A* pomiędzy zerami obu skal 539·3904 grm Hg

Po uskutecznieniu i kilkakrotném powtórzeniu tych oznaczeń napełniałem przyrząd rtęcią i cieczą badaną w sposób, przedstawiony na fig. 1, co przedstawia znaczne trudności i pociąga za sobą konieczność wielokrotnego przewracania przyrządu i używania pompy powietrznéj. Jako cieczy do pierwszych badań użyłem alkoholu amylowego fermentacyi, dostarczonego mi uprzejmie przez p. Br. Znatowicza. Alkohol ten, badany już co do rozszerzal-

[1]) Kalibrowanie rurki *a* i *b* mogłem uskutecznić jedynie ważeniem odlewanéj rtęci, gdyż ze względu na brak maszyny do dzielenia lub jakiegokolwiek przyrządu do mierzenia długości kropel rtęci, nie mogłem zastosować żadnéj metody kalibrowania przez przesuwanie kropel rtęci.

ności przez Pierre'a i Kopp'a, poddałem osuszeniu i dwukrotnéj dystylacyi. Porcya, użyta do doświadczeń dilatometrycznych, wrzała w granicach od 129,5° C. do 130,5° C. (bez poprawki na temperaturę słupa rtęci nie zanurzonego w parze) pod ciśnieniem 76·492 cm. (sprowadzoném do 0° C).

Otrzymane rezultaty znajdzie czytelnik poniżéj w tablicy III-ej.

Trudności napełnienia dilatometru nr 1 cieczą oraz przypadkowe zabrudzenie naczynia *A* alkoholem amylowym spowodowały mnie, w obec zachęcających rezultatów, otrzymanych z tym przyrządem, do zbudowania drugiego dilatometru, nr 2., do którego wszystkie szklane części wykonała mi firma R. Muencke w Berlinie. Aby ułatwić napełnianie przyrządu kazałem dodać w punktach *c* i *d* dwie możliwie krótkie boczne rurki włoskowate, z osadzonemi na nich kranami, gdyż napełnianie, opróżnianie i mycie przyrządu czynią one nader łatwém.

Przyrząd, który z fabryki przyszedł wyprostowany, został wymyty[1]), odpowiednio zgięty [2]) i osadzony na nowym mocno zbudowanym statywie, a naczynia *B* i *C* umieszczone w rękawach blaszanych, mających takie same przeznaczenie, jak w dilatometrze nr 1, lecz wymiary o wiele większe. Nadto oba rękawy zostały obłożone watą i obszyte barchanem, co okazało się bardzo pożyteczném ze względu na ustalanie się temperatur.

Kalibrowanie rurek *a* i *b* oraz naczynia *A* dało następujące rezultaty. [3])

I) Objętość 1-ej podziałki rurki *a* między 0 i 23-a kreską skali 0·01735 grm Hg
II) Objętość 1-ej podziałki rurki *b* między 35-a i 81-a kreską skali 0·02210 „ „
III) Objętość naczynia *A* między 0 na *a* i 75 na *b* . . . . . 366·8956 „ „

Badanie rozszerzalności dwóch rozmaitych porcyj aniliny dało rezultaty, przytoczone w tablicy III-ej.

Anilina (z fabryki Kahlbaum'a w Berlinie) po przedystylowaniu wrzała jak następuje:

I porcya przy 181·0° C (bez poprawki) pod ciśnieniem 752·9 (sprowadzoném do 0° C.).

II porcya przy 181·5° C (bez poprawki). Ciśnienie niezanotowane.

---

[1]) Kolejnie SO_4H_2 z $Cr_2O_7K_2$, dymiącym NO_3H, wodą, alkoholem, suchém powietrzem.

[2]) Przy zginaniu wymytego już przyrządu pękał on 7 razy, a przy zlutowywaniu produkty spalenia wraz z parą z płuc dostały się do przyrządu i zanieczyściły go w ten sposób, że świeżo przedystylowana rtęć po upływie pewnego czasu zaczęła przylegać do ścian rurek włoskowatych. Wobec tego pierwsze 3 doświadczenia (6, 7, i 8) nie są bez zarzutu. Mycie przyrządu dogodniéj jest wykonywać po umieszczeniu go na statywie.

[3]) Z danych, dotyczących kalibrowania, przytaczam w tekście tylko te, które potrzebne są do obliczania opisywanych doświadczeń, chociaż każda z rurek została starannie skalibrowaną na całéj długości skali, obejmującéj 200 mm.

TABLICA III.

Rezultaty doświadczeń.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
№ doświadcz.	Dilatometr	Ciecz badana	Poziom rtęci w *a* na początku	Poziom rtęci w *b* przy końcu	Stan barometru sprowadzony do 0° C	Temperatura naczynia *B*	Odlana rtęć z naczynia *C*	Przeciętny współczynnik rozszerzalności pomiędzy 0° — 100° C.	Różnica od średniego rezultatu
1	Dilatometr № 1-y	Alkohol izoamylowy	3·25	42·5	744·41	99°426	496·5524	0· 001 074 48	+ 0. 000 000 78
2			0·75	[1])	736·28	99°118	498·9785	0· 001 076 04	— 0· 000 000 78
3			0·5	22·75	738·61	99°205	496·2999	0· 001 078 21	— 0· 000 000 06
3a			„	„	739·26	99°228	„	0· 001 078 00	+ 0. 000 000 15
4			—1·5	0·5	743·86	99°400	496·0011	0. 001 078 41	— 0· 000 000 26
5			—2·0	51·5	743·00	99°396	496·7702	0· 001 077 94	+ 0· 000 000 21
5a			„	„	743·67	99°370	„	0· 001 078 17	— 0· 000 000 02
6	Dilatometr № 2-i	Anilina I-a porcya	1·2	75·0	754·21	99°787	342·2475	0· 000 916 17	— 0· 000 002 51
7			—0.2	70·9	752·82	99°736	342·3615	0· 000 911 84	+ 0· 000 001 82
8			0·15	73·9	749·77	99°622	342.3799	0· 000 912 99	+ 0. 000 000 67
9		Anilina II-a porcya	0	82·0	745·92	99°479	342·4047	0· 000 918 59	+ 0· 000 000 18
10			3	73·5	748·89	99°590	342·1460	0· 000 918 92	— 0· 000 000 15
10a			„	„	749·37	99°607	„	0· 000 918 79	— 0· 000 000 02

W ciągu doświadczeń 3-go, 5-go i 10-go ciśnienie atmosferyczne ulegało szybkim i znacznym zmianom. Przeliczałem więc całe doświadczenia na zasadzie zarówno początkowego (3, 5 i 10) jak i końcowego (3a, 5a, 10a) ciśnienia.

§ 5.

Za zasadę w obliczaniu liczb kolumny IX-ej przyjąłem wzór (1), który po podzieleniu przez T daje liczby, umieszczone w tablicy, t. j. przeciętny współczynnik rozszerzalności od 0° do T°. Współczynników α, β i γ obliczać jeszcze nie mogłem dla braku materyału doświadczalnego. Wartość $(1+\Delta_T)$ we wzorze (1) obliczałem z formuły

---

[1]) W doświadczeniu 2-ém wskutek nieostrożności odlałem za dużo rtęci, tak iż poziom jéj spadł w rurce *b* poniżéj skali. W punkcie zatrzymania się rtęci w rurce *b* zrobiłem znak a następnie przekonałem się, że pomiędzy owym znakiem i 9-ą podziałką skali mieści się 2·8794 grm Hg.

icm©

(2) $$(1+\Delta_T) = (1+\Delta_{100})\,\{1-(100-T)\delta_{100}\}$$

w któréj $(1+\Delta_{100}) = 1{\cdot}018197$
$\lg = 0{\cdot}0077904$

i jest poczerpnięte bezpośrednio z obserwacyj (nie z wzorów) Regnault'a a δ_{100} jest współczynnikiem rozszerzalności rtęci przy 100°, obliczonym z wzoru Mendelejew'a i równa się

$$0{\cdot}00018089;\ \lg = \bar{4}{\cdot}2574146$$

Wzór (2) jest zbyt prosty by potrzebował objaśnień. Natomiast muszę objaśnić, dla czego dla alkoholu izoamylowego obliczyłem średnią wartość rozszerzenia oddzielnie z doświadczeń 1 i 2, a oddzielnie z doświadczeń 3, 3a, 4, 5, i 5a. Po wprowadzeniu alkoholu do dilatometru spostrzegłem, iż wydzielają się zeń gazy.[1]) Gazy te usuwałem natychmiast po dostrzeżeniu ich, lecz w doświadczeniach z alkoholem amylowym dopiero poczynając od doświadczenia 3-go miałem w przyrządzie ciecz, nie zawierającą, (a przynajmniéj, nie wydzielającą) gazów. Miałem więc, ściśle mówiąc, dwie ciecze w badaniu, jedną z gazami, drugą bez nich, i przeto sądzę, iż miałem prawo obliczać oddzielnie wypadek średni i różnice od średniego wypadku. Toż samo stosuje się i do obu rozmaitych porcyj aniliny; zdaje się, iż różniły się one cokolwiek co do punktu wrzenia a nadto pierwsza porcya zawierała daleko więcéj gazów, aniżeli druga, przeniesiona do dilatometru bezpośrednio po przedystylowaniu.

§ 6.

W przypuszczeniu, iż rozpatrzenie wielkości różnic w pojedyńczych obserwacyach może, w połączeniu z krytycznym rozbiorem metody postępowania, służyć poniekąd za miarę wartości saméj metody, chociaż wielkość tych różnic zależy w równym stopniu i od staranności obserwatora, zestawiam poniżéj *różnice* pojedyńczych obserwacyj nie od średniego rezultatu, lecz pomiędzy sobą, podając ich wielkości absolutne i w procentach mierzonéj wielkości. Każda więc różnica jest wynikiem porównania 2-ch obserwacyj. Obliczyłem także maksymalne różnice dla alkoholu amylowego z gazami i bez gazów, oraz dla I-éj porcyi aniliny w porównaniu z II-ą.

[1]) Zarówno przy doświadczeniach nad ścisłiwością jak i obecnie wprowadzałem niejednokrotnie w zetknięcie starannie oczyszczone ciecze z chemicznie czystą rtęcią i zawsze spostrzegałem wydzielanie się gazów przy powierzchni zetknięcia cieczy z rtęcią, chociażby rtęć była znacznie od cieczy zimniejszą. Wydzielanie się tych gazów, z początku bardzo nawet obfite (eter), ustaje dopiero po kilku dniach, poczém jednak może się znów objawić (po zmięszaniu), chociażby obie ciecze były zupełnie odcięte od powietrza atmosferycznego.

Ciecz	Doświadczenia	Różnice absolutne	w procentach mierzonéj wielkości
Alkohol izoamylowy	2 i 1	0· 00000 156	0· 14%
	4 i 3	0· 00000 020	0· 018%
	3 i 5	0· 00000 027	0· 025%
	4 i 5	0· 00000 047	0· 043%
	5a i 3a	0· 00000 017	0· 015%
	5a i 5	0· 00000 023	0. 021%
	3 i 3a	0· 00000 021	0· 020%
	Maksimum 4 i 1	0· 00000 393	0· 36%

Jeżeli więc weźmiemy pod uwagę obserwacye nad cieczą o jednakowéj zawartości gazów, to spostrzeżemy, że największa różnica wynosi 0·14%. Porównawszy obserwacye z cieczami o rozmaitym stopniu nasycenia gazami znajdziemy różnicę maksimalną 0·36%. H. Kopp[1]) w dwóch obserwacyach dla tegoż alkoholu znalazł różnicę 0·61%.

Chociaż budowa dilatometru nr 2 na bardzo wielu punktach przewyższała dilatometr nr 1, pomimo to rezultaty, otrzymane na nim z aniliną, snać wskutek właściwości saméj cieczy, zmieniającéj barwę, a więc i skład, nawet po odcięciu od powietrza, są o wiele mniéj zadawalniające, jak to widać z poniższéj tablicy:

Ciecz	Doświadczenia	Różnica absolutna	Różnica w procentach
I porcya aniliny	6 — 7	0· 000 00433	0· 47%
	6 — 8	0. 000 00318	0· 34%
	7 — 8	0· 000 00115	0· 12%
II porcya aniliny	10— 9	0· 000 000326	0· 035%
	10a— 9	0· 000 000199	0· 020%
	10—10a	0· 000 000127	0· 013%

[1]) Pogg. Ann. Bd. 72 str. 227.

Największa różnica dla dwóch rozmaitych porcyj aniliny oblicza się z doświadczeń 7 i 10 i wynosi 0·77% mierzonéj wielkości.

Liczby te, po wzięciu pod uwagę wszystkich przytoczonych powyżéj okoliczności i po porównaniu z różnicami, jakie pojedyńcze obserwacye dawały T. E. Thorpe'mu, wykazują, że metoda może być pożyteczną.

Na zakończenie niech mi wolno będzie dodać, że stosowalność opisanéj metody ogranicza się tylko do cieczy, nie działających na rtęć, jak również i dodać, że mam nadzieję, iż taż sama metoda, po małych zmianach w budowie przyrządu, pozwoli badać rozszerzalność cieczy pod rozmaitemi ciśnieniami, co, ze względu na prace zarówno teoretyczne, jak i doświadczalne w tym przedmiocie, jest obecnie rzeczą prawdziwie doniosłą.

Ułęż Górny, 29 czerwca 1888 r.

O OBLICZANIU BLASKU OBRAZÓW OPTYCZNYCH PRZY UKŁADZIE SOCZEWEK KULISTYCH.

PRZEZ

A. HOŁOWIŃSKIEGO.

Po wielu znakomitych pracach matematycznych i doświadczalnych, które w wieku bieżącym rozpoczął Lagrange[1]), a zakończył Helmholtz, teorya soczewek kulistych stanowi obecnie skończony dział optyki, jakkolwiek zadania odnośne, ze względu na konieczność uproszczenia wzorów, rozwiązane są w téj teoryi tylko z pewném przybliżeniem. W notatce niniejszéj nie ośmielam się dotknąć ani ogólnego zakresu téj teoryi, ani jej licznych szczegółowych zastosowań w dziale optyki praktycznéj; pragnę tylko zwrócić uwagę krytyczną na jedno z twierdzeń o blasku, które Helmholtz wypowiedział zbyt ogólnie i nieco dwuznacznie. W tym celu uprzytomnię najprzód treściwie dwa wzory zasadnicze Lambert'a i Lagrange'a, na których opierają się wywody Helmholtz'a.

Jeżeli element dS_0 powierzchni świecącéj wysyła promienie na element oświetlony ds z odległości r, jeżeli (r, N_0) i (r, n) oznaczają kąty, wytworzone przez linią r z normalnemi N_0 i n do owych elementów, to ilość światła (*oświetlenie*) L, padającą na element ds od elementu dS_0, oblicza się za pomocą wzoru Lambert'a:

$$L = \frac{J_0 . dS_0 . ds . \cos(r, N_0) . \cos(r, n)}{r^2} \qquad (1)$$

[1]) „Nouv. Mém. de l'Acad. roy. de Berlin" z lat 1778 i 1803.