

Wyznaczanie napięcia powierzchniowego cieczy

– zadanie doświadczalne z VIII Olimpiady Fizycznej¹

Opracował Tadeusz M. Molenda

Zawody stopnia I, zadanie doświadczalne

Obmyśl metodę pomiaru napięcia powierzchniowego cieczy i zastosuj ją do kilku cieczy, np. wody, spirytusu itp.

Rozwiązanie

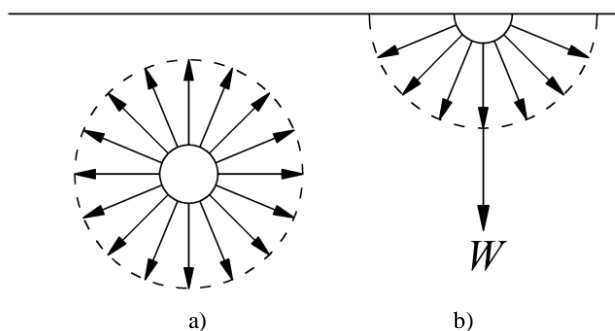
Drobiny cieczy są stale pod działaniem znacznych sił spójności wywołanych przez ich wzajemne przyciąganie (siły van der Waalsa). Siły działające na drobinę znajdującą się wewnątrz cieczy wzajemnie się równoważą (rys. 1a). Częsteczki mogą się zatem swobodnie przemieszczać. Natomiast drobiny znajdujące się na samej powierzchni, w warstewce graniczącej z gazem, ciałem stałym lub inną cieczą są pod działaniem bardzo znacznych sił wypadkowych skierowanych w głąb, normalnie do powierzchni swobodnej (rys. 1b). W wyniku tego ciecz zachowuje się tak, jakby była pokryta jakąś sprężystą błoną złożoną z drobin znajdujących się w pierwszej warstwie, warstwie powierzchniowej – tzw. „błoną powierzchniową”, która nadaje cieczy napięcie powierzchniowe. W warstwie powierzchniowej, aby przemieścić cząsteczkę do powierzchni granicznej, której grubość w cieczach wynosi ok. 1 nm, trzeba wykonać pracę.

¹ Zadanie z VIII OF (rok szkolny 1958/1959) zostało udostępnione z bazy zadań Olimpiady Fizycznej w Szczecinie (www.OF.szc.pl) i dla *Fotonu* przygotowane przez przewodniczącego Komitetu Okręgowego OF w Szczecinie dra Tadeusza Molendę.

Zadanie wraz z rozwiązaniem zostało opublikowane w zbiorach: *Olimpiady Fizyczne VII i VIII*, PZWS, Warszawa 1964, str. 102 – 114, przygotowane do zbioru przez Stefana Czarneckiego; „*Olimpiada fizyczna. Wybrane zadania doświadczalne z rozwiązaniami*”. Stowarzyszenie „Symetria i Własności Strukturalne”, Poznań 1994, s. 38, 107–109, (w wersji skróconej) przez Waldemara Gorzkowskiego i Andrzeja Kotlickiego.

Zadania doświadczalne dotyczące wyznaczania napięcia powierzchniowego pojawiły się w następujących olimpiadach: XXIII – st. I i III, XXX – st. I, XXXII – st. I., XLII – st. II, XLIV – st. I, XLV – st. I, L – st. II, LI – st. I, gdzie przedstawiono też inne metody niż w tym zadaniu.

Zadania z olimpiad fizycznych są na ogół oryginalne. Pomysły pochodzą z różnych źródeł, także od nauczycieli i samych zawodników olimpiady. Propozycje zadań były zmieniane w wyniku dyskusji w Komitecie Głównym OF i często nie przypominają tekstu „pomysłodawcy” (przyp. – Tadeusz Molenda, Instytut Fizyki, Uniwersytet Szczeciński).



Rys. 1.

Właśnie ta błonka powierzchniowa jest przyczyną m.in. tego, że kropla przybiera kształt kulisty – kształt, przy którym ciecz posiada najmniejszą powierzchnię (przy ustalonej objętości). „Błonka powierzchniowa” jest stale napięta do wartości charakterystycznej dla danej cieczy (w danej temperaturze).

Gdy ciecz nalana do naczynia tworzy swobodną powierzchnię, ściany naczynia, do których przylega błonka, działają na nią siłami skierowanymi prostopadle do brzegu cieczy i stycznie do jej powierzchni. W myśl trzeciej zasady dynamiki zachodzi tu oczywiście równość między siłami, z jakimi błonka działa na ścianki, a siłami, z jakimi ścianki napinają błonkę. Napięcie powierzchniowe σ definiujemy jako stosunek wartości siły F oddziaływania między błonką a ścianką naczynia działającej prostopadle do brzegu powierzchni cieczy do długości l brzegu cieczy:

$$\sigma = \frac{F}{l} \quad (1)$$

Jednostką napięcia powierzchniowego jest N/m.

Do wyznaczenia napięcia powierzchniowego cieczy można użyć różnych metod, zarówno bezpośrednich jak i pośrednich. Niektóre z tych metod operują bardzo prostymi środkami, osiągalnymi w warunkach szkolnych, a nawet domowych.

Sposób 1 (metoda stalagmometryczna, odrywających się kropli)

Przyjrzyjmy się uważnie, w jaki sposób tworzą się krople na końcu cienkiej rurki, przez którą bardzo powoli wypływa np. woda i nie zwilża materiału rurki. Początkowo kropla ma kształt czaszy kulistej skierowanej w dół wypukłością, następnie się wydłuża i przed samym oderwaniem się przybiera kształt gruszkowaty z przewężeniem kształtu cylindrycznego o średnicy zbli-

żonej do średnicy rurki² (rys. 2). Długość zetknięcia się cieczy z krawędzią rurki jest równa

$$l = 2\pi r. \quad (2)$$

Zatem – zgodnie z (1) – całkowita siła F równoważąca ciężar kropli $Q = mg$, wynosi

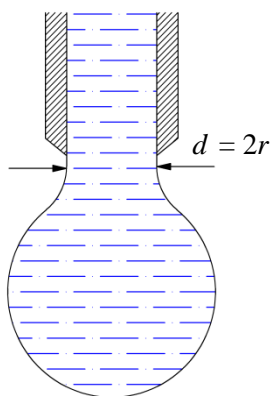
$$F = 2\pi r\sigma. \quad (3)$$

Pozostaje więc tylko zmierzyć Q . Wystarczy w tym celu podstawić jakieś uprzednio dokładnie zważone naczynie, np. małą zlewkę lub probówkę, tak by zbierały się w nim krople odrywające się od rurki. Dokładnie liczymy liczbę n kropli spadających. Gdy w naczyniu zbierze się kilka czy kilkanaście cm^3 cieczy, przerywamy liczenie kropeł, a naczynie ważymy ponownie. Łatwo znajdziemy teraz masę M wody, która wyciekła, znając zaś liczbę n kropeł otrzymamy średnią masę m jednej kropli³

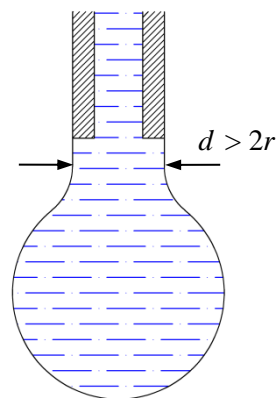
$$m = \frac{M}{n},$$

a stąd ciężar kropli

$$Q = mg = \frac{Mg}{n}. \quad (4)$$



Rys. 2.



Rys. 3.

² Założenie, że kropla odrywa się przy samej rurce nie jest w pełni uzasadnione. W rzeczywistości kropla urywa się poza samą rurką w przewężeniu o średnicy nieco mniejszej niż $2r$. W wielu przypadkach jest to jednak do pominięcia.

³ Krople są niemal identyczne. W chwili oderwania pojedynczej kropli jest spełniona równość $mg = 2\pi r\sigma$. Łatwo się o tym przekonać również eksperymentalnie.

Równanie (3) możemy więc napisać w postaci

$$\frac{Mg}{n} = 2\pi r\sigma,$$

zatem szukane napięcie powierzchniowe wyrazi się wzorem

$$\sigma = \frac{Mg}{2\pi rn}. \quad (5)$$

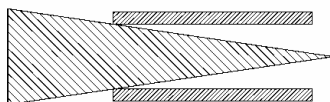
Wygodniej jest posłużyć się średnicą d , wówczas

$$\sigma = \frac{Mg}{\pi dn}.$$

Najtrudniejszą częścią pomiaru jest dla młodego eksperymentatora dobór odpowiedniej rurki oraz pomiar jej średnicy d . Wielu zawodników posłużyło się po prostu kropłomierzami lub pipetami, które można znaleźć w każdej pracowni szkolnej, a nawet w domu. Nad pomiarem d należy się jednak nieco zastanowić, zwłaszcza wtedy, gdy mamy do czynienia z cieczą zwilżającą szkło, np. z wodą.

Gdy wylot rurki ma kształt jak na rys. 2, czyli gdy ścianki są stożkowo ścięte, wtedy należy mierzyć średnicę wewnętrzną. Zazwyczaj jednak końce kropłomierzy czy pipet mają kształt zaokrąglony, co utrudnia ustalenie efektywnej średnicy. Najlepiej jest wtedy za pomocą proszku szklistego zeszlifować zakończenie pod kątem prostym do osi rurki – wówczas ciecz zwilżająca zwilży całą dolną krawędź wylotu rurki i będzie trzeba mierzyć średnicę zewnętrzną, co da się łatwo zrobić śrubą mikrometryczną lub suwmiarką (rys. 3). Należy koniecznie dokonać kilku pomiarów średnicy i wziąć średnią, bo rurka może nie mieć dokładnie przekroju kołowego. W przypadku cieczy niezwilżającej (a także w przypadku, gdy rurka jest pokryta warstewką tłuszczu), trzeba oczywiście mierzyć średnicę wewnętrzną, co jest znacznie trudniejsze. Dokładność tego pomiaru najbardziej wpływa na końcową niepewność pomiaru.

W tym przypadku można się posłużyć np. wąskim klinowym paskiem wyciętym z cienkiej blaszki np. igłą. Pasek taki należy wprowadzić do kapilary aż do lekkiego oporu, następnie zaznaczyć odpowiednie miejsce tuż przy wylocie (rysą wykonaną np. za pomocą rysika), po czym zmierzyć w tym miejscu szerokość paska śrubą mikrometryczną (rys. 4). Jeszcze inaczej, można zwilżoną rurkę wcisnąć lekko w gorący lak; po stwardnieniu laku uzyskamy odlew wewnętrzny rurki (od mokrej rurki łatwo oddzielić lak). Pomiar średnicy wewnętrznej rurki wykonamy wtedy na uzyskanym odlewie.



Rys. 4.

Pomiar średnicy kapilary jest delikatnym punktem metody oraz głównym źródłem niepewności pomiaru przy wyznaczaniu wartości napięcia powierzchniowego. Druga wielkość mierzona – średnia masa kropli – dzięki temu, że bierzemy średnią kilkudziesięciu czy nawet kilkuset kropli, jest obarczona znacznie mniejszą niepewnością pomiaru.

Zagadnieniu pomiaru średnicy d rurki tylko bardzo nieliczni uczniowie poświęcili więcej uwagi. Świadczy to o mało wnikliwej obserwacji i analizie zjawisk.

Oto wyniki otrzymane omawianą metodą przez jednego z zawodników.

Ciecz badana	M (g)	n	d (cm)	$\sigma \left(\frac{\text{N}}{\text{m}} \right)$
Woda	3,20	100	0,14	$71,4 \cdot 10^{-3}$
Alkohol etylowy	1,15	100	0,14	$25,7 \cdot 10^{-3}$
Nafta	1,13	100	0,14	$25,2 \cdot 10^{-3}$

Zawodnik ten, jak zresztą większość jego kolegów, nie starał się ocenić dokładności swego pomiaru. Zróbmy to za niego.

Wartość M jest wynikiem dwóch ważeń, z których każde było wykonane prawdopodobnie z dokładnością do 10 mg. Wartość M może być zatem obarczona graniczną niepewnością pomiaru równą 20 mg, czyli 0,020 g. Średnicę rurki mierzył uczeń suwmiarką z dokładnością do 0,01 cm (rurki nie szlifował, nie wiadomo czy niepewność tego pomiaru nie była większa). W najbardziej niekorzystnym przypadku, gdy wartość M zwiększymy o jej wartość niepewności pomiaru, a wartość d zmniejszymy o jej wartość niepewności pomiaru, w odniesieniu do wody otrzymalibyśmy

$$\sigma' = \frac{3,22 \cdot 9,81 \text{ N}}{3,14 \cdot 0,13 \cdot 100 \text{ cm}} \approx 77,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{m}},$$

a więc największa niepewność pomiaru, jaką uczeń mógł otrzymać (tzw. niepewność graniczna pomiaru), wynosi $\Delta\sigma = 6,1 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$, co stanowi ponad 8% wielkości mierzonej. Znaną wartość σ należałoby zapisać następująco:

$$\sigma = (71,4 \pm 6,1) \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{m}}.$$

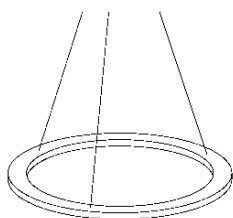
Warto podkreślić zgodność z naszymi rozważaniami przeprowadzonymi wyżej. Niepewność pomiaru masy M wprowadza do wyniku niedokładność dopiero w trzeciej cyfrze znaczącej, a niepewność pomiaru d daje zmianę już w drugiej cyfrze znaczącej.

W rzeczywistości różnica pomiaru jest znacznie mniejsza, gdyż tablicowa wartość σ dla wody przy 18°C wynosi $72,9 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$, a dla alkoholu

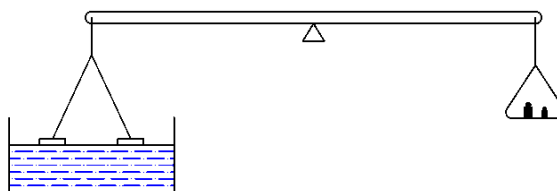
$\sigma = 22,5 \cdot 10^{-3}$ N/m. Uczeń przypadkowo otrzymał wartość średnicy rurki d zbliżoną do prawdziwej.

Sposób 2 (metoda oderwania pierścienia)

Metoda, którą następnie omówimy jest metodą bezpośrednią. Płaski lekki pierścień wykonany z takiego materiału, który badana ciecz zwilża (może to być np. blaszka), zawieszamy na trzech nitkach w położeniu poziomym na ramieniu wagi (rys. 5). Po zrównoważeniu wagi podstawiamy naczynie z badaną cieczą tak, by pierścień całą swoją dolną powierzchnią dotykał powierzchni cieczy, ale nie był w niej zanurzony. Dokładając odważniki możemy znaleźć siłę mg potrzebną do oderwania pierścienia od powierzchni cieczy (rys. 6).



Rys. 5.



Rys. 6.

Jeżeli średnice brzegów wewnętrznego i zewnętrznego pierścienia oznaczymy przez d_1 i d_2 , to całkowita długość przerywanej błonki powierzchniowej będzie

$$l = \pi(d_1 + d_2),$$

a napięcie powierzchniowe wyrazi się wzorem

$$\sigma = \frac{F}{l} = \frac{mg}{\pi(d_1 + d_2)}.$$

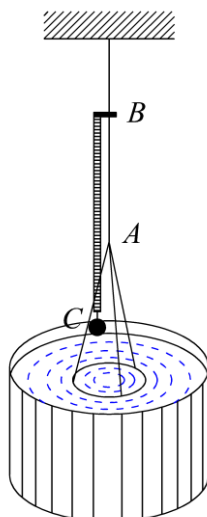
Jeżeli pierścień jest wąski w porównaniu z promieniami, to wtedy możemy założyć, że $d_1 = d_2 = d$, wówczas

$$\sigma = \frac{mg}{2\pi d}$$

Metodę tę stosowało wielu zawodników. Używali oni jednak nie płaskiego pierścienia, lecz kółka wykonanego z drutu. Modyfikacja taka jest dopuszczalna i nie wprowadza większego błędu.

Jeden z czołowych zawodników, stosując omawianą metodę, wprowadził interesującą modyfikację. Do wyznaczenia siły potrzebnej do oderwania pierścienia od cieczy posłużył się prawem Hooke'a. Oto jego słowa: „Obręcz wykona-

łem z miedzianego drutu i zawiesiłem ją poziomo na nitkach schodzących się w punkcie A (rys. 7). AB stanowiła cienka gumka. Powyżej punktu B znajdowała się nitka. W punkcie B zawiesiłem skalę i, żeby wisiała pionowo i była naprężona, obciążyłem ją ciężarkiem C . Następnie dotknąłem obręczą badanej cieczy i zacząłem stopniowo ciągnąć (za nitkę) obręcz do góry patrząc, w którym punkcie skali BC znajduje się punkt A w chwili oderwania się pierścienia od cieczy. Teraz wzdłuż średnicy przykleiłem do obręczy pasek papieru o znanym ciężarze i kładłem nań odważniki aż do chwili, gdy punkt A znalazł się w tym samym punkcie skali BC , w którym znajdował się w chwili odrywania się drutu od cieczy. Siła ciężkości odważników i paska papieru była wówczas równa sile napięcia powierzchniowego na brzeg cieczy o długości równej podwójnej długości obwodu obręczy”.



Rys. 7.

Wyniki otrzymane przez tego ucznia:

masa odważników	$m_0 = 6,20 \text{ g}$	masa paska papieru	$m_p = 0,15 \text{ g}$
całkowita masa	$m = 6,35 \text{ g}$	średnica obręczy	$d = 14 \text{ cm}$

$$\sigma = \frac{6,35 \cdot 9,81 \text{ N}}{2 \cdot \pi \cdot 14 \text{ cm}} = 70,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

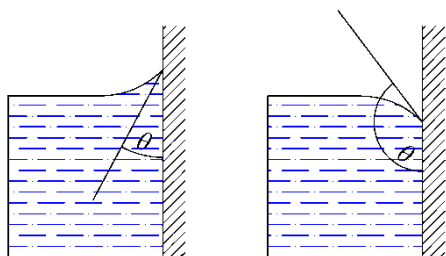
Sposób rozwiązania problemu jest interesujący, szkoda tylko, że – jak zresztą prawie wszyscy zawodnicy, uczeń ograniczył się jedynie do obliczenia różnicy pomiaru względem danych tablicowych (3%), nie szacując niepewności gra-

nicznej swego pomiaru⁴. Nie pisze również, czy podane wyniki wartości m i d pochodzą z jednego pomiaru, czy też są to średnie wielu pomiarów.

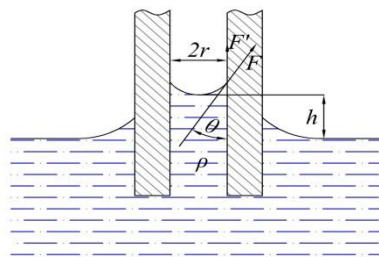
Sposób 3 (metoda wzniesienia kapilarnego) – pośredni, oparty na zjawisku włoskowatości

Z kursu szkolnego fizyki uczeń powinien wiedzieć, że gdy ciecz zwilża materiał, z jakiego wykonano naczynie, wówczas powierzchnia swobodna cieczy tuż przy ścianie naczynia jest podniesiona (tworzy menisk wklęsły). Gdy ciecz nie zwilża materiału, mamy menisk wypukły.

Im silniej ciecz zwilża dany materiał, tym bardziej podniesiony jest poziom cieczy przy ścianie i tym mniejszy jest tzw. kąt zwilżania θ . Powierzchnia cieczy niezwilżającej tworzy ze ścianką kąt większy od 90° (rys. 8).



Rys. 8.



Rys. 9.

Wyobraźmy sobie teraz, że rurkę o wąskim przekroju (kapilarę) zanurzone w cieczy, jak pokazuje rys. 9. Zgodnie ze wzorem (1) siła napięcia powierzchniowego na długości l brzegu cieczy wewnątrz kapilary wyraża się wzorem

$$F = l \cdot \sigma.$$

Nas teraz interesuje tylko składowa F' tej siły skierowana do góry

$$F' = l \cdot \sigma \cdot \cos \theta.$$

Wobec tego na cały obwód będzie działać ku górze siła wypadkowa

$$P = 2\pi r \sigma \cos \theta. \quad (6)$$

⁴ Napięcie powierzchniowe cieczy zależy od temperatury, nie wiadomo zaś, przy jakiej temperaturze uczeń wykonywał swoje doświadczenie.

Zależność σ od temperatury łatwo wyjaśnić. Gdy temperatura rośnie, ciecz się rozszerza, średnie odległości między drobinami wzrastają, siły przyciągania występujące między nimi maleją, a to pociąga za sobą zmniejszenie wartości σ .

Siła ta wywoła podnoszenie się cieczy w kapilarze. Ciecz będzie się podnosić dopóty, dopóki siła P nie zostanie zrównoważona przez parcie hydrostatyczne Q podniesionego słupka cieczy (inaczej mówiąc, jego ciężar Q). Ciśnienie hydrostatyczne wyraża się wzorem $p = \rho gh$, stąd parcie

$$Q = p S = \pi r^2 \cdot \rho gh . \quad (7)$$

Z połączenia (6) i (7) otrzymujemy:

$$\sigma = \frac{r \cdot \rho \cdot h \cdot g}{2 \cdot \cos \theta} ,$$

wprowadzając zaś do tego wyrażenia zamiast promienia kapilary jej średnicę d , mamy ostatecznie

$$\sigma = \frac{d \cdot \rho \cdot h \cdot g}{4 \cdot \cos \theta} . \quad (8)$$

Musimy zatem zmierzyć średnicę wewnętrzną kapilary d , wysokość słupka cieczy w kapilarze h , musimy też znać gęstość cieczy ρ i kąt zwilżania θ .

Kąt zwilżania niestety bezpośrednio się zmierzyć nie da, na szczęście jednak dla większości cieczy, jakimi dysponuje uczeń, θ jest prawie równe zeru i dlatego wzór (8) można przyjąć w postaci uproszczonej

$$\sigma = \frac{d \cdot \rho \cdot h \cdot g}{4} . \quad (8')$$

O mierzeniu wewnętrznej średnicy kapilary była już mowa przy pierwszej metodzie pomiaru napięcia powierzchniowego. Ponieważ jednak teraz mamy do czynienia z dość długą rurką o jednakowym przekroju, przeciwnie niż to miało miejsce w przypadku kroplomierza czy pipety, można postąpić jeszcze inaczej. Można naciągnąć do kapilary cieczy, zmierzyć długość jej słupka, a ważąc dokładnie kapilarę przed i po tej czynności wyznaczyć masę wciągniętej cieczy. Dalej, mając masę cieczy oraz długość jej słupka i jej gęstość (z tablic), można dość dokładnie obliczyć d .

Poświęćmy teraz kilka słów pomiarowi wysokości słupka cieczy w kapilarze. Pomiar ten będzie tym łatwiejszy, a jednocześnie tym dokładniejszy, im wysokość słupka będzie większa. Jednakże w kapilarze wysokość słupka h jest odwrotnie proporcjonalna do średnicy d . Chcąc zatem otrzymać znaczne podniesienie się cieczy w kapilarze, musimy użyć kapilary bardzo wąskiej, co znowu utrudni i obniży dokładność pomiaru jej średnicy. Trzeba znaleźć jakiś kompromis.

Najlepiej wybrać kapilarę o średnicy „światła” 1 mm – 2 mm, wtedy h będzie się wahać między 3 cm a 1,5 cm. Jeżeli chodzi o pomiar takiego małego słupka, najwygodniej jest posłużyć się katetometrem, o ile taki przyrząd znajdu-

je się w pracowni szkolnej. Można użyć igły lub ostrego cyrkla, przykładając go potem do szczęk suwmiarki. Można utworzyć ostry obraz rzeczywisty kapilary na ekranie za pomocą soczewki i mierzyć wysokość słupka na obrazie dzieląc potem przez powiększenie, to znaczy przez stosunek $k = a/b$, gdzie a i b są odległościami soczewki od kapilary i od ekranu. (Soczewka powinna mieć ogniskową 10 cm – 15 cm). Wysokość h należy mierzyć tak, jak jest to oznaczone na rys. 9, to znaczy od środka menisku w kapilarze do prawdziwego poziomu cieczy w naczyniu.

Stosując omawianą metodę można się spotkać z innymi jeszcze trudnościami. Często się tak zdarza, że ciecz podnosi się w rurce za nisko, gdy zaś zaczniemy powoli wynurzać kapilarę, słupek podniesie się za wysoko. Menisk przy podnoszeniu kapilary nie przesuwa się gładko, nie utrzymuje ciągle tej samej wysokości słupka, ale jakby napotyka na jakieś opory. Zjawisko to może wprowadzić duże błędy. Jego przyczyną są zanieczyszczenia wewnętrznych ścianek kapilary. Kapilarę należy zatem do pomiarów odpowiednio przygotować. Najpierw dobrze jest ją wymoczyć przynajmniej przez dobę w tzw. chromiance, czyli roztworze dwuchromianu potasowego w stężonym kwasie siarkowym (substancja silnie utleniająca), następnie parę godzin płukać w bieżącej wodzie, po czym przepłukać w wodzie destylowanej. Na koniec trzeba przelać przez nią parokrotnie alkohol etylowy i dokładnie wysuszyć. Przed właściwym pomiarem dobrze jest przelać przez nią badaną ciecz.

Oto wyniki otrzymane przez zawodniczkę z okręgu krakowskiego, której praca doświadczalna zasługuje na wzmiankę. Wyznaczała ona σ dla wody, nafty i alkoholu etylowego, wykonując po 6 pomiarów z kapilarami o różnych średnicach i biorąc średnie. Średnice kapilar mierzyła dwoma sposobami: za pomocą klina (klinem było ostrze igły) oraz wykonując odlewy wewnętrzne z laku, podobnie jak to zostało objaśnione wcześniej.

Woda			Nafta			Alkohol		
d	h	σ	d	h	σ	d	h	σ
cm	cm	mN/m	cm	cm	mN/m	cm	cm	mN/m
0,124	2,25	68,43	0,124	0,90	22,17	0,124	0,90	20,50
0,169	1,50	62,18	0,169	0,70	23,45	0,169	0,60	19,70
0,019	15,50	71,48	0,019	6,20	23,40	0,019	5,70	21,00
0,068	3,60	60,06	0,068	1,55	20,80	0,068	1,60	20,90
0,060	4,35	64,02	0,060	1,70	20,26	0,060	1,80	20,93
0,041	7,30	70,10	0,041	2,85	23,21	0,041	2,60	20,50
średnia		66,045	średnia		22,21	średnia		20,59

W pracy widać staranność, uczennica nie umiała jednak ocenić krytycznie dokładności swoich pomiarów średnicy rurki; podała ona wartości d aż do trzeciej cyfry po przecinku, mimo, że – jak stwierdziła, tłumacząc duże niepewności pomiaru w otrzymanych wartościach σ – rurki włoskowate, wyciągane przez nią samą, nie miały wszędzie jednakowego przekroju, a nawet nie zawsze były dokładnie okrągłe. Wszystkie wartości σ otrzymała za małe, prawdopodobnie rurki miały w rzeczywistości nieco większą średnicę. Wartości d i h należało zaokrąglić do dwóch cyfr znaczących – w konsekwencji, otrzymane wartości σ podać z tą samą dokładnością.

W każdym razie widać tu uczciwą, samodzielną pracę. Natomiast w przypadku, kiedy zawodnicy otrzymują zaskakująco dobre wyniki, sprawdzający oceniający pracę nieraz mają wątpliwości, czy uczniowie ci nie wykonywali zadania „od końca”, tak dobierając dane pomiarowe, by otrzymać wynik zgodny z tablicowymi.

Dążność do podawania w wynikach wielu cyfr po przecinku jest powszechna u uczniów; obserwuje się to na każdej olimpiadzie. Widocznie szkoła nie uczy trzeźwego spojrzenia na wyniki pomiarów.

Sposób 4

Jest to właściwie wariant metody poprzedniej, opartej na zjawisku włoskowatości. Wariant ten omija trudności związane z pomiarem średnicy rurki kapilarnej.

Zamiast obserwować podnoszenie się cieczy w rurce możemy mierzyć wysokość warstwy cieczy, która na skutek włoskowatości podniesie się w szczelinie między dwiema płaskimi szklanymi płytkami. Takimi płytkami mogą być starannie wymyte dwie płyty szklane, szkiełka mikroskopowe, a odległość między nimi można łatwo ustalić wstawiając przekładki (np. druciki) o znanej dokładnie grubości. Jako przekładki służyć mogą np. szkiełka nakrywkowe od mikroskopu, których grubość zmierzemy łatwo śrubą mikrometryczną. Ważne jest dobre dociśnięcie płyt do przekładek, czego można dokonać spinając taki „pakiecik” drucianymi spinaczami.

Całkowita siła napięcia powierzchniowego działająca na jedną krawędź warstwy cieczy wynosi (rys. 10)

$$F' = F \cdot \cos \theta = l \cdot \sigma \cdot \cos \theta,$$

a całkowita siła działająca do góry

$$P = 2l\sigma \cos \theta.$$

Siła P musi być równa całkowitemu parciu hydrostatycznemu Q

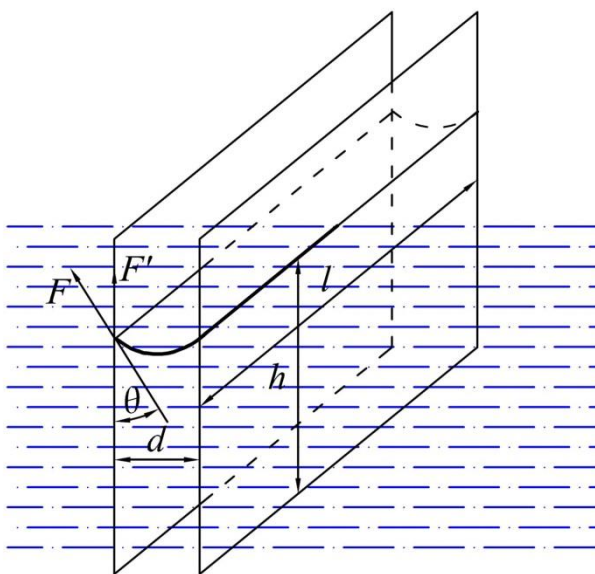
$$Q = dlh\rho g,$$

gdzie d jest odległością między płytami, a l długością płyt. Stąd otrzymujemy

$$2l\sigma\cos\theta = dlh\rho g$$

i dalej

$$\sigma = \frac{dh\rho g}{2 \cdot \cos\theta}.$$



Rys. 10

Zakładając jak poprzednio, że ciecz jest doskonale zwilżająca, czyli że kąt $\theta = 0$, otrzymamy ostatecznie

$$\sigma = \frac{dh\rho g}{2} \quad (9)$$

Zawodnicy posługiwali się trzema pierwszymi metodami, przy czym pierwszą wybrało około 40%, drugą – około 30%, trzecią – około 20% uczniów. 10% zawodników próbowało dokonać pomiaru tak, jak to opisywał obowiązujący podręcznik fizyki dla klasy IX (drugiej licealnej w czteroletnim kursie). Opis ten jednak należy traktować raczej jako doświadczenie myślowe, na którym łatwo wyjaśnić pojęcie napięcia powierzchniowego, wcale jednak niełatwe do zastosowania eksperymentalnego przez ucznia. Nic dziwnego, że próby te zakończyły się niepowodzeniem.