

VIII OLIMPIADA FIZYCZNA (1958/1959). Stopień I, zadanie doświadczalne – D.

Źródło: Komitet Główny Olimpiady Fizycznej;
Czesław Ścisłowski: *Fizyka w Szkole* nr 2, 1959;
Stefan Czarnecki: Olimpiady fizyczne VII i VIII. PZWS, Warszawa 1964 (str. 102 – 114);
Waldemar Gorzkowski, Andrzej Kotlicki: Olimpiada fizyczna. Wybrane zadania doświadczalne z rozwiązaniami. Stowarzyszenie *Symetria i Własności Strukturalne*, Poznań 1994 (str. 38, 107 – 109).

Nazwa zadania: Wyznaczanie napięcia powierzchniowego cieczy.

Działy: Mechanika płynów

Słowa kluczowe: siła, napięcie powierzchniowe, ciecz, woda, spirytus, średnica, rurka, błonka, włoskowatość, kapilara, rurka, pierścień, kropla, doświadczenie, pomiar, obserwacja, niepewność, dokładność.

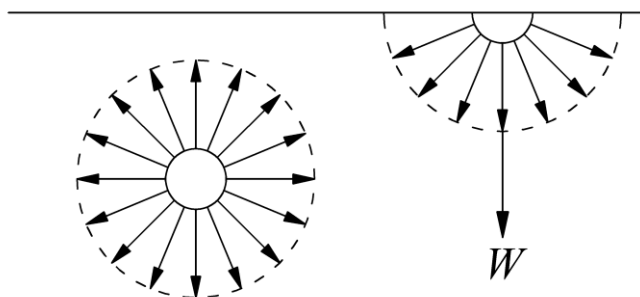
Zadanie doświadczalne – D, zawody stopnia I, VIII OF.

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

Rozwiązanie

Część teoretyczna

Drobiny cieczy są stale pod działaniem znacznych sił spójności wywołanych przez ich wzajemne przyciąganie (tzw. siły van der Waalsa). Siły działające na drobinę znajdującą się wewnątrz cieczy wzajemnie się równoważą (rys. 1), natomiast drobiny znajdujące się na samej powierzchni są pod działaniem bardzo znacznych sił wypadkowych skierowanych w głąb, normalnie do powierzchni swobodnej. W wyniku ciecz tak się zachowuje, jakby była pokryta jakąś sprężystą błonką złożoną z drobin znajdujących się w pierwszej warstwie – tzw. „błonką powierzchniową”. Właśnie ta błonka powierzchniowa jest przyczyną m.in. tego, że kropla przybiera kształt kulisty – kształt, przy którym ciecz posiada najmniejszą powierzchnię (przy stałej objętości)



Rys. 1

„Błonka powierzchniowa” jest stale napięta do wartości charakterystycznej dla danej cieczy (i danej temperatury).

Gdy ciecz nalana do naczynia tworzy swobodną powierzchnię, ściany naczynia, do których dochodzi błonka, działają na nią siłami skierowanymi prostopadłe 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 ściany napinają

blonkę. Napięcie powierzchniowe T definiujemy jako stosunek siły F oddziaływania między blonką a ścianką naczynia do długości l brzegu cieczy:

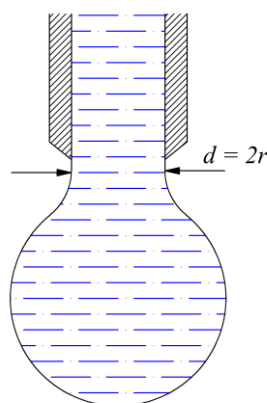
$$T = \frac{F}{l} \quad (1)$$

Napięcie powierzchniowe ma wymiar $\frac{\text{N}}{\text{m}}$.

Do wyznaczenia napięcia powierzchniowego cieczy (o co chodzi w zadaniu) 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. Przyjrzyjmy się uważnie, jak tworzą się krople na końcu cienkiej rurki, przez którą bardzo powoli wypływa np. woda. Początkowo kropla ma kształt czaszy kulistej skierowanej w dół wypukłością, potem się wydłuża i przed samym oderwaniem się przybiera kształt gruszkowaty z przewężeniem kształtu cylindrycznego o średnicy zbliżonej do średnicy rurki (rys. 2). Długość zetknięcia się cieczy z krawędzią rurki jest równa

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



Rys. 2

Zatem – zgodnie z (1) – całkowita siła F równoważąca ciężar kropli $Q = m \cdot g$, będzie

$$F = 2 \cdot \pi r T \quad (3)$$

Pozostaje więc tylko odnaleźć 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. Liczbę kropli spadających dokładnie liczymy (n). Gdy zbierze się w naczyniu 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 kropli¹.

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

a stąd ciężar kropli

$$Q = m \cdot g = \frac{M \cdot g}{n} \quad (4)$$

Równanie (3) możemy więc napisać w postaci

¹ Krople są niemal identyczne. Łatwo się o tym przekonać zarówno eksperymentalnie jak i udowodnić teoretycznie.

$$\frac{M \cdot g}{n} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot T$$

zatem szukane napięcie powierzchniowe wyrazi się wzorem

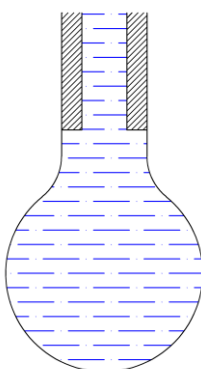
$$T = \frac{M \cdot g}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot n} \quad (5)$$

Zamiast promieniem rurki wygodniej jest posłużyć się jej średnicą d ; wtedy będzie

$$T = \frac{M \cdot g}{\pi \cdot d \cdot n}$$

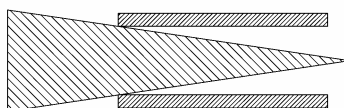
Najtrudniejszą częścią pomiaru jest dla młodego eksperymentatora dobór odpowiedniej rurki oraz pomiar jej średnicy d . Wielu zawodników posłużyło się po prostu kroplomierzami lub pipetami, które można znaleźć w każdej pracowni szkolnej, a nawet w domu. Nad pomiarem d należy się jednak nieco zastanowić, 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 kroplomierzy czy pipet mają kształt zaokrąglony i to utrudnia ustalenie efektywnej średnicy. Najlepiej jest wtedy za pomocą proszku szklстого 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 oczywiście dokonać koniecznie kilku pomiarów średnicy i wziąć średnią, bo rurka może nie mieć dokładnie przekroju kołowego. W przypadku cieczy niezwilżającej, np. rtęci, trzeba oczywiście mierzyć średnicę wewnętrzną, co jest znacznie trudniejsze.



Rys. 3

W tym przypadku można się posłużyć np. wąskim klinowym paskiem wyciętym z cienkiej blaszki. Pasek taki należy wprowadzić do kapilary aż do lekkiego oporu, następnie zaznaczyć odpowiednie miejsce tuż przy wylocie (ryśą wykonaną np. za pomocą żyłki), 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 lak łatwo odstanie). Pomiar średnicy wewnętrznej rurki wykonamy wtedy na uzyskanym odlewie.



Rys. 4

Pomiar średnicy kapilary jest delikatnym punktem metody, jest głównym źródłem błędów przy wyznaczaniu napięcia powierzchniowego. Drugą wielkość mierzona, to znaczy średnia masa kropli, dzięki temu, że bierzemy średnią kilkudziesięciu czy nawet kilkuset kropli, jest obciążona znacznie mniejszym błędem.

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	T , $\frac{\text{N}}{\text{m}}$
Woda	3,20	100	0,14	$71,4 \cdot 10^{-3}$
Alkohol etylo- wy	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. Zróbnmy 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 obciążona niepewnością pomiarową równą 20 mg, czyli 0,020 g. Średnicę rurki mierzył uczeń suwmiarką z dokładnością do 0,01 cm (rurki nie szlifował, nie wiadomo zatem, czy nawet większego błędu nie popełnił). W najbardziej niekorzystnym przypadku, gdy np. M było obciążone niepewnością pomiarową nadmiarową, a d niepewnością pomiarową niedomiarową, w odniesieniu do wody otrzymalibyśmy

$$T' = \frac{3,22 \cdot 981}{3,14 \cdot 0,13 \cdot 100} \approx 77,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

a więc największa niepewność pomiarowa jaką uczeń mógł popełnić (niepewność pomiarowa graniczna), wynosi $\Delta T = 6,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{m}}$, co stanowi ponad 8% wielkości mierzonej. Znalezioną wartość T należałoby potem podać następująco:

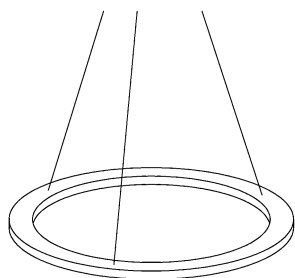
$$T = (71,4 \pm 6,1) \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Warto podkreślić zgodność z naszymi rozważaniami przeprowadzonymi wyżej. Niedokładność pomiaru M wprowadza do wyniku błąd dopiero w trzecim znaku, a niedokładność w pomiarze d daje zmianę już w drugim znaku.

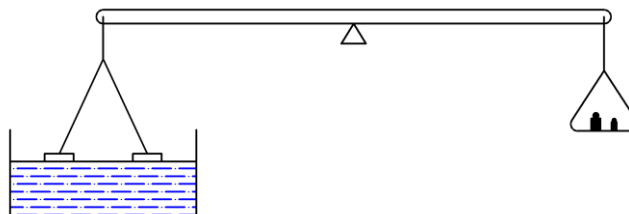
W rzeczywistości niepewność pomiarowa jest znacznie mniejsza, gdyż prawdziwa wartość T dla wody przy 18°C wynosi $73 \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{m}}$, a dla alkoholu $T = 22,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{m}}$. Uczeń przypadkowo otrzymał wartość średnicy rurki d zbliżoną do prawdziwej.

Sposób 2. Metoda, którą obecnie się zajmujemy 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 lekko ale całą płaszczyzną, dotykał powierzchni cieczy. Dokładając odważniki możemy znaleźć siłę mg potrzebną do oderwania pierścienia od powierzchni cieczy (patrz rys. 6). Jeżeli promienie brzegów

wewnętrznego i zewnętrznego pierścienia oznaczymy przez r_1 i r_2 , to całkowita długość przerywanej błonki powierzchniowej będzie



Rys. 5



Rys. 6

$$l = 2\pi(r_1 + r_2)$$

a napięcie powierzchniowe wyrazi się wzorem

$$T = \frac{F}{l} = \frac{m \cdot g}{2 \cdot \pi \cdot (r_1 + r_2)}$$

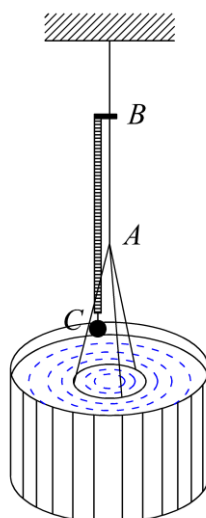
Jeżeli pierścień jest wąski w porównaniu z promieniami, to wtedy możemy założyć, że $r_1 = r_2 = r$, i wówczas

$$T = \frac{m \cdot g}{4 \cdot \pi \cdot r}$$

Ponieważ wygodniej jest mieć do czynienia ze średnicą d , podstawimy $r = \frac{d}{2}$ i otrzymamy ostatecznie

$$T = \frac{m \cdot g}{2 \cdot \pi \cdot d}$$

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



Rys. 7

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 wykonałem 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 obręczy².

Wyniki otrzymane przez tego ucznia są następujące:

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

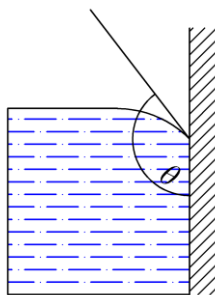
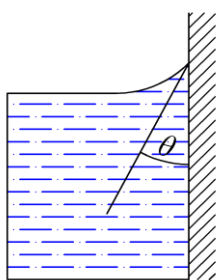
$$T = \frac{6,35 \cdot 981 \text{ dyn}}{2 \cdot \pi \cdot 14 \text{ cm}} = 70,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Sposób rozwiązania problemu jest interesujący, szkoda tylko, że – jak zresztą prawie wszyscy zawodnicy – uczeń ogranicza się jedynie do obliczenia błędu względem danych tablicowych (3%), nie szacując błędu granicznego swego pomiaru². Nie pisze również, czy podane wyniki liczbowe (m i d) pochodzą z jednego pomiaru, czy też są to średnie wielu pomiarów.

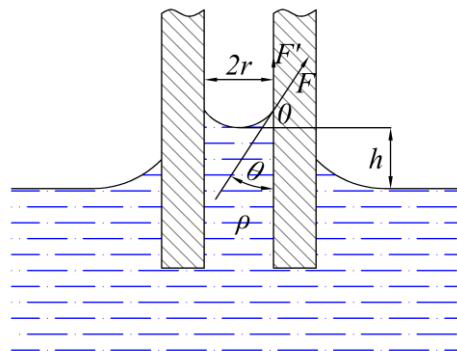
Sposób 3. Jest to sposób pośredni oparty, na zjawisku włoskowatości.

Z kursu szkolnego fizyki uczeń powinien wiedzieć, że gdy ciecz zwilża materiał, z jakiego zrobiono 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) zanurzono do cieczy, jak wskazuje rys. 9. Zgodnie ze wzorem (1) siła napięcia powierzchniowego na długości l brzegu cieczy wewnątrz kapilary wyraża się wzorem

² Zresztą napięcie powierzchniowe cieczy zależy od temperatury, niewiadomo zaś, przy jakiej temperaturze uczeń wykonywał swoje doświadczenie.

Zależność T 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 spadek T .

$$F = l \cdot T$$

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

$$F' = l \cdot T \cdot \cos \Theta$$

Wobec tego na cały obwód będzie działać ku górze siła wypadkowa

$$P = 2\pi r \cdot T \cdot \cos \Theta \quad (6)$$

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

$$p = h\rho g,$$

stąd parcie

$$Q = pS = \pi r^2 \cdot h\rho g. \quad (7)$$

Z połączenia (6) i (7) otrzymujemy:

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

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

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

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

$$T = \frac{d \cdot \rho \cdot h \cdot g}{4}. \quad (8')$$

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 rtęci, zmierzyć długość jej słupka, a ważąc dokładnie kapilarę przed i po tej czynności znaleźć masę wciągniętej rtęci. Dalej, mając masę rtęci 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. Spojrzenie jednak na wzór podany w przypisie wskazuje, że 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” 1–2 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 znajduje się w pracowni szkolnej. Można użyć 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 $k = \frac{a}{b}$, gdzie a i b są odległościami soczewki od kapilary i od ekranu. (Soczewka powinna mieć ogniskową 10 – 15 cm). Wysokość h nale-

ży 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 przesuwają 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 zaś 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 T dla wody, nafty i alkoholu etylowego, wykonując po 6 pomiarów z kapilarami rozmaitej średnicy i biorąc średnie.

Średnice kapilar mierzyła dwoma sposobami: za pomocą klina (klinem było ostrze igły) oraz wykonując odlewy wewnętrzne z laku, podobnie jak to było objaśnione wyżej.

Woda		
d , cm	h , cm	T , N/m
0,124	2,25	$68,43 \cdot 10^{-3}$
0,169	1,50	$62,18 \cdot 10^{-3}$
0,019	15,50	$71,48 \cdot 10^{-3}$
0,068	3,60	$60,06 \cdot 10^{-3}$
0,060	4,35	$64,02 \cdot 10^{-3}$
0,041	7,30	$70,10 \cdot 10^{-3}$
średnia		$66,045 \cdot 10^{-3}$

Nafta		
d , cm	h , cm	T , N/m
0,124	0,90	$22,17 \cdot 10^{-3}$
0,169	0,70	$23,45 \cdot 10^{-3}$
0,019	6,20	$23,40 \cdot 10^{-3}$
0,068	1,55	$20,80 \cdot 10^{-3}$
0,060	1,70	$20,26 \cdot 10^{-3}$
0,041	2,85	$23,21 \cdot 10^{-3}$
średnia		$22,21 \cdot 10^{-3}$

Alkohol		
d , cm	h , cm	T , N/m
0,124	0,90	$20,50 \cdot 10^{-3}$
0,169	0,60	$19,70 \cdot 10^{-3}$
0,019	5,70	$21,00 \cdot 10^{-3}$
0,068	1,60	$20,90 \cdot 10^{-3}$
0,060	1,80	$20,93 \cdot 10^{-3}$
0,041	2,60	$20,50 \cdot 10^{-3}$
średnia		$20,59 \cdot 10^{-3}$

W pracy widać staranność, uczennica nie umiała jednak ocenić krytycznie dokładności swoich pomiarów średnicy rurki; podała ona wartości d aż do trzeciego znaku za przecinkiem,

mimo, że – jak stwierdziła, tłumacząc duże niepewności pomiarowe w otrzymanych wartościach T – rurki włoskowate, wyciągane przez nią samą, nie miały wszędzie jednakowego przekroju, a nawet nie zawsze były dokładnie okrągłe. Wszystkie wartości T 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 T podać z tą samą dokładnością.

W każdym razie widać tu uczciwą, samodzielną pracę. Natomiast w przypadku, kiedy zawodnicy otrzymują zaskakująco dobre wyniki, sędziowie 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 wielu cyfr za przecinkiem dziesiętnym 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.

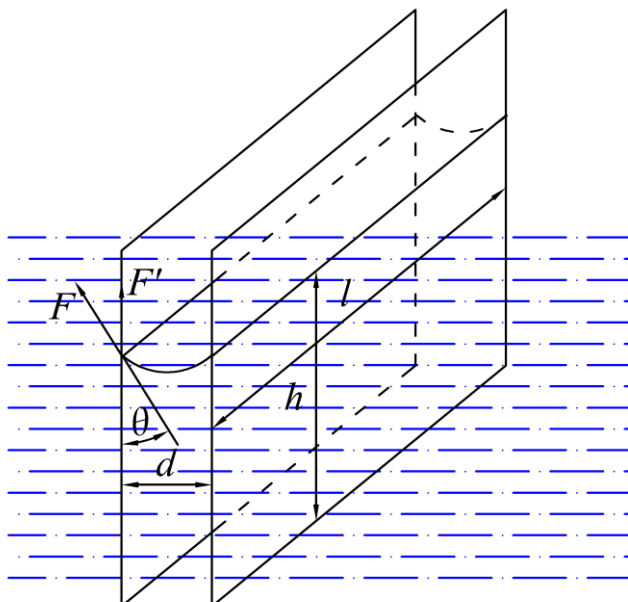
Zamiast obserwować podnoszenie się cieczy w rurce możemy mierzyć wysokość warstwy cieczy, która na skutek włoskowatości podniesie się w szczelinie między dwiema płaskimi szklanymi płytkami. Takimi płytkami mogą być starannie wmyte dwie stare płyty fotograficzne, a odległość między nimi można łatwo ustalić wstawiając przekładki o znanej dokładnej grubości. Jako przekładki służyć mogą np. szkiełka pokrywkowe 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)

$$F' = F \cdot \cos \Theta = l \cdot T \cdot \cos \Theta$$

a całkowita siła działająca do góry

$$P = 2 \cdot l \cdot T \cdot \cos \Theta.$$



Rys. 10

Siła P musi być równa całkowitemu parciu hydrostatycznemu Q .

$$Q = d l h \rho g$$

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

$$2 \cdot l \cdot T \cdot \cos \Theta = d l h \rho g$$

i dalej

$$T = \frac{d \cdot \rho \cdot h \cdot g}{2 \cdot \cos \theta}$$

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

$$T = \frac{d \cdot \rho \cdot h \cdot g}{2} . \quad (9)$$

Zawodnicy posługiwali się trzema pierwszymi metodami, przy czym pierwszą wybrała większość – około 40%, drugą – około 30%, trzecią – około 20% uczniów. 10% zawodników próbowało dokonać pomiaru tak, jak to opisuje obowiązujący podręcznik fizyki dla klasy IX. Opis ten jednak należy traktować raczej jako doświadczenie myślowe, na którym łatwo wyjaśnić pojęcie napięcia powierzchniowego, wcale jednak nie łatwe do zastosowania eksperymentalnego przez ucznia. Nic dziwnego, że próby te spotkały się z niepowodzeniem.