

§ 16. Natężenie powierzchniowe.

W dotychczasowych rozważaniach stale pomijaliśmy lepkość cieczy. Dzięki temu założeniu i szeregowi innych uproszczeń wyprowadziliśmy równania hydrostatyki. Jednakże ciecze rzeczywiste odbiegają dość znacznie od fikcyjnego pojęcia cieczy doskonałej. Dla celów praktycznych dokładność jest naogół najzupełniej wystarczająca. W niektórych wypadkach natomiast jest rzeczą konieczną zrobić jeszcze omówienia, a przede wszystkim w sprawie natężenia powierzchniowego. Otóż łatwo się przekonać, że poziom cieczy w spoczynku nie jest płaszczyzną, jak tego wymaga teoria, lecz przy ściankach naczynia daje znaczne odchylenia. Również zjawisko włoskowatości dowodzi, że nie uwzględniliśmy wszystkich czynników, rozpatrując równowagę cieczy. Pominęliśmy mianowicie ważną siłę międzycząsteczkowych, które są hipotetyczną przyczyną lepkości cieczy. Należy sobie wyobrazić, że cząsteczki cieczy działają również na siebie tak, iż do rozpatrywanych poprzednio sił zewnętrznych dochodzi układ sił wewnętrznych. Ze względu na to, że sfera działania poszczególnych cząstek jest niewielka, nie można uwidaczać sił międzycząsteczkowych wewnątrz cieczy w równowadze. Każda cząstka podlega tam symetrycznemu kulistemu układowi sił międzycząsteczkowych, które się tedy znoszą. Inaczej rzecz się ma z cząstkami

powierzchniowemi. Wówczas bowiem ginie symetria działań wewnętrznych, pojawiają się natomiast siły, pochodzące od tych ciał ciekłych, lotnych lub stałych, które są w bezpośredniej styczności z rozważaną cieczą. Zależnie od tego, które z tych działań odgrywają dominującą rolę, powierzchnia cieczy przyjmuje taki a nie inny kształt. A więc kropla rtęci, wylana na szkło, zachowuje postać kuli i to tem ściślej, im mniejsza jest; natomiast kropla oliwy, wylana na wodę, rozpływa się szybko po powierzchni. Metodami fizycznemi można ustalić szereg wartości liczbowych, charakteryzujących napięcia sił międzycząsteczkowych i pozwalających przewidzieć zachowania się ciał przy zetknięciu. Otóż ciecze i gazy zachowują się tak, jakgdyby posiadały na powierzchni doskonale giętką nierozciągliwą błonę.

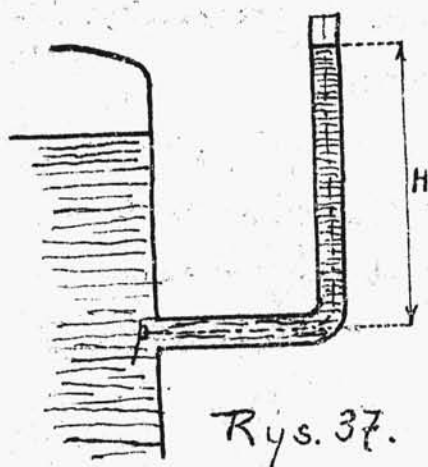
Poniższa tabliczka zawiera podane w miligram. wartości  $T$  napięć omawianej błony, przypadające na 1 cm. bieżący, zależnie od ciała graniczącego z cieczą

Rtęć - powietrze	550
Woda - powietrze	75
Oliwa - powietrze	35
Rtęć - woda	421
Rtęć - oliwa	342
Woda - oliwa	21

Ograniczymy się do powyższych krótkich wiadomości, zaznaczając konieczność wprowadzenia poprawek tam, gdzie poziom cieczy pod działaniem natężenia powierzchniowego odbiega od wyników rachunku, przeprowadzonego dla cieczy doskonałej.

### §17. Narzędzia do pomiarów ciśnień.

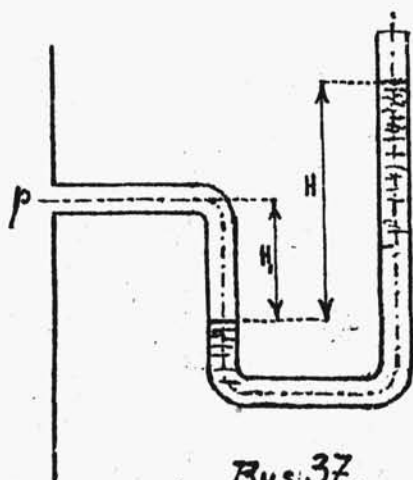
Rozpatrzmy jeszcze pokrótce narzędzia i metody pomiarów ciśnień. Zauważymy tylko z góry, że przy obiorze tej a nie innej drogi miarodajną jest wartość ciśnienia. Każda grupa narzędzi daje się stosować tylko w pewnym ograniczonym zakresie tych wartości.



Przegląd nasz zaczniemy od najprostszego narzędzia - piezometru /rys.37/. Jest to rurka kolankowato zgięta pod kątem prostym, stanowiąca część zbiornika z cieczą. Na skutek ciśnienia  $p$ , panującego w miejscu wejścia rurki do zbiornika,

ciecz podnosi się w rurce na wysokość  $H$ , licząc od środkowej linii piezometru. Skoro wówczas w rurce panuje równowaga, to ciśnienie  $H\gamma$  cieczy musi równoważyć nadciśnienie  $p$  w zbiorniku, t.j.  $p = H\gamma$  albo  $H = p/\gamma$ . Widzimy

stąd, że piezometr, aczkolwiek jest bardzo prosty, może służyć jednak do pomiarów tylko niewielkich ciśnień. W przeciwnym razie musielibyśmy bowiem brać bardzo wysokie rurki. Wobec tego przy większych ciśnieniach stosujemy częściej manometry rtęciowe /rys.37/. Manometry stanowią również rurkę, umocowaną do naczynia, którego ciśnienie chcemy zbadać. Nadajemy jej jednak kształt litery U, tak iż ciśnienie  $p$  wytworzy różnicę wysokości poziomów cieczy w obu kolankach. Założmy tedy, że wysokość



Rys.37.

otworu spustowego ponad niższy poziom /mierzona, jak zawsze, od linii środkowej/ rtęci wynosi  $H_1$ , zaś różnica wysokości poziomów w obu kolankach ma wartość  $H$ . Uwzględniając jeszcze wartość ciśnienia atmosferycznego  $p_a$  w otwartej części manometru, możemy napisać warunek równowagi:

$$p + \gamma_1 H_1 = p_a + \gamma H$$

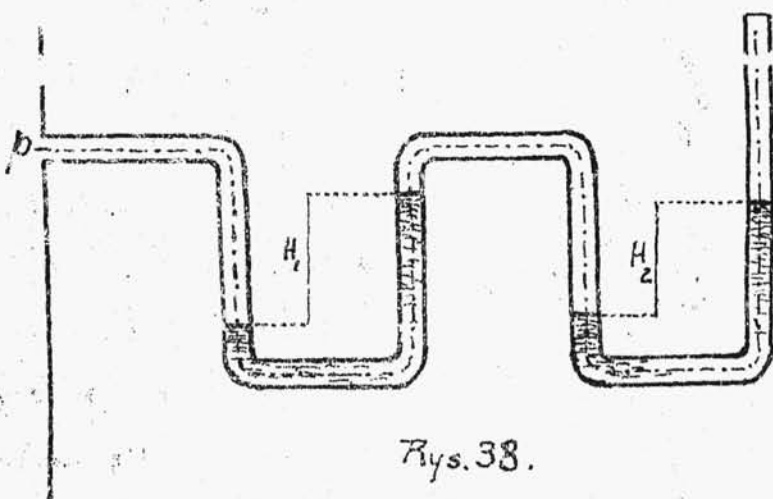
gdzie przez  $\gamma$  oznaczamy ciężar właściwy rtęci, zaś przez  $\gamma_1$  - ciężar tej cieczy lub gazu, który wypełnia kolanko lewe na wysokości  $H_1$ . Stąd nadciśnienie

$$p - p_a = \gamma H - \gamma_1 H_1;$$

Dla gazów pomijamy zwykle wyraz  $\gamma_1 H_1$ , jako bardzo mały tak, iż wówczas

$$p - p_a = \gamma H;$$

Manometr rtęciowy pozwala już zmierzyć większe ciśnienie, niż plezometr, buduje się go też często znaczniejszej wysokości. Chcąc uniknąć nadmiernego zwiększania długości, można stosować kombinację manometrów /rys. 38/.



Rys. 38.

Jest rzeczą oczywistą, że wówczas wartość nadciśnienia wyrazi się jako

$$p - p_a = (\gamma H_1 + \gamma H_2 + \gamma H_3 + \dots) = \gamma \sum H;$$

Uniknęliśmy wprowadzić w ten sposób jednej niedogodności, wprowadziliśmy jednak inną, polegającą na szeregu pomiarów poszczególnych różnic poziomów. Zwróćmy uwagę na inną jeszcze rolę manometru rtęciowego w technice. Może on być równocześnie stosowany jako wskaźnik poziomu cieczy w otwartym zbiorniku. Wyobraźmy sobie w tym celu,

że do naczynia *N* z cieczą <sup>/Rys. 39/</sup> przymocowany został manometr, składający się z rurki szklanej kształtu litery U, której jedno kolano połączone jest ze zbiornikiem *N*. Przypuśćmy, że poziom cieczy w zbiorniku znajduje się na wysokości  $H_0$  ponad najniższym przekrojem manometru, zaś wysokości rtęci odpowiednio są  $h$  i  $(h+H)$ . Oznaczając wówczas ciężar właściwy cieczy przez  $\gamma_1$ , zaś rtęci przez  $\gamma$ , możemy napisać, iż

$$(H_0 - h)\gamma_1 = H\gamma, \quad /1/.$$

Wprowadźmy wysokość  $h_0$ , określoną następującą równością

$$2h_0 = H + 2h$$

t.j. równą wysokości rtęci w każdym kolanku, gdyby oba

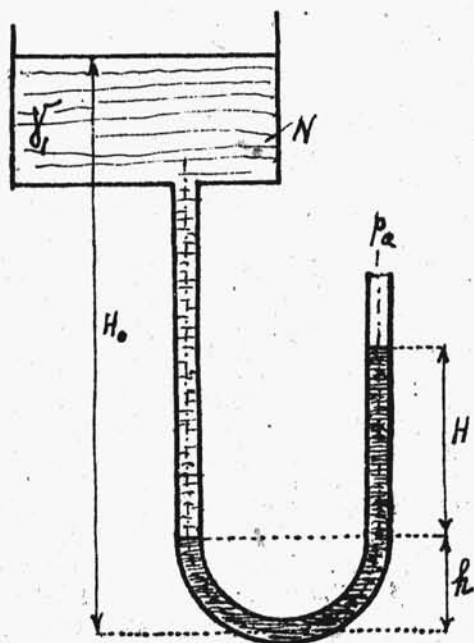
kolanka podlegały tym samym ciśnieniom. Podstawiając tę wartość do równania /1/, znajdziemy bezpośrednio,

iż

$$H_0 = H\left(\frac{\gamma}{\gamma_1} - \frac{1}{2}\right) + h_0.$$

Z tej zależności możemy wyznaczyć dla wysokości  $H$  odpowiednią skalę, wskazującą poziom cieczy

$H_0$  w niedostępnym zbiorniku. Do tych sa-

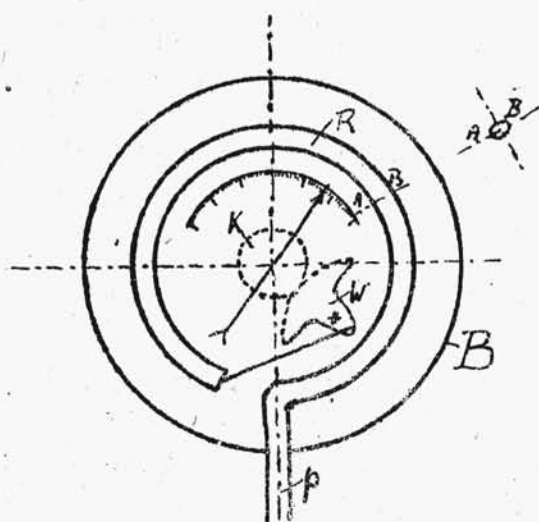


Rys. 39.



nych celów mierzenia wysokości poziomu cieczy w naczyniu służą t.zw. pływaki w kształcie pustych wewnątrz kulistych naczyń z blachy, rzadziej drewniane. Pływak taki, za pomocą linki, przerzuconej przez szereg krążków, połączony jest z ciężarkiem, poruszającym się wzdłuż skali i wskazującym na niej poziom cieczy w zbiorniku.

Do większych ciśnień /kilka - kilkadziesiąt atmosfer/ stosujemy manometry metalowe, których istnieją dwa typy, mianowicie: manometr rurkowy i manometr płytkowy. Manometr rurkowy /rys.40/ składa się z rurki  $R$  o przekroju owalnym, zwiniętej w kształcie okręgu, oraz z kółka zębatego  $K$  z przymocowaną doń wskazówką. O kółko to za-

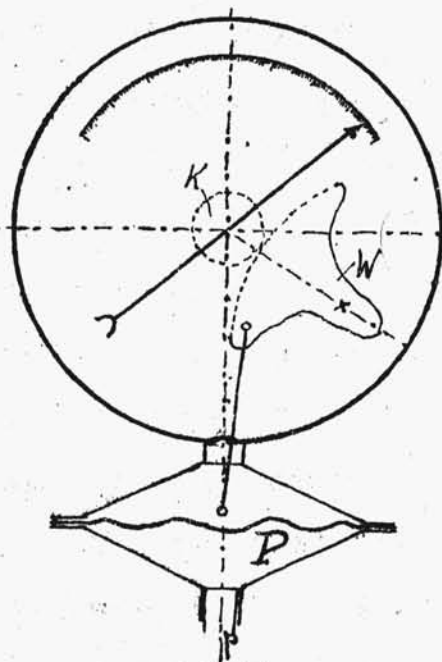


Rys.40.

zębca wycinek kołowy  $W$ , posiadający stały punkt obrotu i połączony z końcem rurki. Cały mechanizm znajduje się w blaszanej osłonie  $B$ . Chcąc zmierzyć ciśnienie w jakimś naczyniu, łączymy z niem za pomo-

cą przewodu wylot manometru. Wówczas gaz lub ciecz wypełni rurkę i wywoła w niej szereg odkształceń tak, iż rurka się cokolwiek wyprostuje. Równocześnie koniec rurki

wychyli wycinek  $\omega$  dokoła osi o pewien kąt, a więc i wskazówka się przytem odwróci, pozwalając odczytać wartość ciśnienia w umieszczonej przed nią skali. Zdawałoby się, że przy masowym wyrobie identycznych manometrów wystarczy skalibrować jeden z nich, a otrzymana w ten sposób skala da się zastosować i dla pozostałych. W rzeczywistości jednak, chcąc zachować większą dokładność, należy takie manometry sprawdzać, i korygować skalę, o ile tego zajdzie potrzeba. Pochodzi to stąd, że najmniejsze odchylenia w kształcie manometru, albo w jakości materiału, wywierają wpływ na jego odkształcanie się, a więc i na wskazania przyrządu. Zauważmy wreszcie, że taki manometr,



Rys. 41.

o ile był nawet sprawdzony, po pewnym czasie daje znowu nieścisłe wyniki. Wchodzą tu mianowicie w grę odkształcenia trwałe blachy, które się z czasem potęgują, nie pozwalając przeto stosować pierwotnej skali. Te same uwagi tyczą się i drugiego typu manome-

trów, mianowicie manometru płytkowego /rys.41/. Zaopatrzone jest on zwykle w gwint tak, iż można go wkręcać w ścia-



nę naczynia o szukanem ciśnieniu  $p$ . Cała różnica między manometrem płytkowym a rurkowym polega na tem, że odkształceniom podlega tu nie rurka, lecz falisto wygięta płytka  $P$ . Wyginając się, spowodza wówczas wychylenie wycinka  $\omega$ , ten zaś z kolei przesuwą wskazówkę na skali.

### HYDRODYNAMIKA.

§ 18. Zwróćmy się teraz do rozpatrzenia ruchu cieczy. Zgóry zastrzeżemy się, że jest to zjawisko bardzo złożone. Wprowadzając nawet pojęcie cieczy doskonałej, uzyskujemy analitycznie rezultaty częste bardzo zawiłe. Ruch zaś cieczy istotnej jest po dziś dzień w wielu wypadkach zagadnieniem otwartem. W dalszym toku naszych rozważań nie będziemy się kusić przy wielu zagadnieniach o matematyczną ścisłość i elegancję. Natomiast wprowadzimy szereg uproszczeń, starając się powetować popełnione przytem niedokładności zapomocą odpowiednio dobranych współczynników.

Otóż w statyce cieczy, wprowadzając 3 zmienne niezależne, mianowicie współrzędne  $x, y, z$  potrafiliśmy ułożyć zasadnicze równania różniczkowe i rozwiązać ten sposób zagadnienie. W hydrodynamice spotykamy się już z czwartą zmienną — czasem  $t$ . Pochodzi to