**Digitalizacja dorobku naukowo-badawczego Profesorów AG w Krakowie
w latach 1919-1945. Część 2**

projekt dofinansowany ze środków budżetu państwa, przyznanych przez Ministra Nauki w ramach Programu Społeczna Odpowiedzialność Nauki II - moduł: Wsparcie dla bibliotek naukowych

01.12.2024-31.07.2026
BIBL/SP/0003/2024/02

Społeczna
Odpowiedzialność
Nauki II

Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

50h

§§§

A K A D E M J A G Ó R N I C Z A W K R A K O W I E

§§§

F I Z Y K A

M e c h a n i k a
C I E C Z Y i G A Z Ó W.

Wykłady Prof. Dr. J a n a S t o c k a.

Nakładem Sekcji Wydawniczej Stowarzyszenia

Studentów Akademji Górniczej w Krakowie.

1 9 2 4.

H Y D R O S T A T Y K A

Nauka o ruchach cieczy i gazów lub ciał stałych w nich zanurzonych pod wpływem sił na nie działających jest naogół mało rozwiniętą, choć jest jedną z najstarszych. Pochodzi to stąd, że niezliczone cząstki cieczy przesuwają się z łatwością obok siebie, każda może wykonywać ruchy odmienne od sąsiedniej, tak że ruch całej masy cieczy jest bardzo zawiły i tylko w najprostszych przypadkach możemy go śledzić dokładnie przy pomocy ścisłych metod analizy matematycznej.

W praktyce posługujemy się najczęściej mniej lub więcej przybliżonemi wzorami empirycznymi.

Aby uprościć zawiłe zagadnienia mechaniki cieczy, wprowadzamy podobnie jak w mechanice ciał stałych fikcyjne pojęcie <u>idealnej cieczy</u>, której zachowanie się w <u>hydro-</u>

statyce nie wiele się różni od zachowania się cieczy rzeczywistej.

Cieczy idealnej przypisujemy następujące własności: 1/jest nieściśliwą, 2/ nie mogą w niej występować siły styczne do powierzchni lecz tylko normalne, 3/siły normalne mogą tylko cisnąć powierzchnię a nie ciągnąć. - Pod temi założeniami wyłożymy w krótkim zarysie hydro-statykę i kinetykę a równocześnie będziemy badali o ile zachowanie się cieczy rzeczywistych jest odmienne. -

PRAWO PASCALA /1626-1666/.

Opierając się na własnościach idealnej cieczy moglibyśmy łatwo okazać, że stan dynamiczny w każdym punkcie cieczy jest określony jedną, jedyna wielkością a mianowicie ciśnieniem.

Udowodnimy to tutaj tylko w poszczególnych przypadkach.

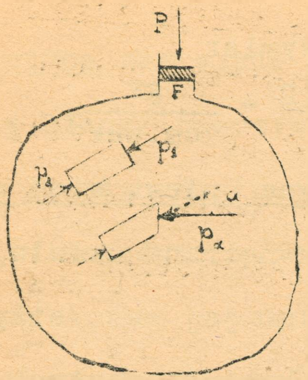
Przez ciśnienie p rozumiemy siłę działającą na 1 cm^2 powierzchni,jego wymiar :

$$p = \frac{gr.cm}{sek^2} : cm^2 = \frac{gr}{cm.sek^2}$$

Zadanie nasze w hydrostatyce opiewa więc w ten sposób: Dane są siły zewnętrzne działające na powierzchnię cieczy lub jej masę/siły powierzchniowe i masowe/ i kształt stałych ścian naczynia,znaleść rozkład ciśnień w całem wnętrzu naczynia.

Zaczniemy od prostego przypadku,gdy siły zewnętrzne działają tylko na powierznię/ a nie na masę/.W praktyce działa na masę cieczy zawsze przynajmniej siła ciężkości,im jednak większym uczynimy stosunek sił powierzchniowych do siły ciężkości działajacej na jednostkę masy,z tem większem przybliżeniem urzeczywistniony będzie rozpatrywany przypadek.

Wyobraźmy sobie ciecz zamknięta w naczyniu i poddana przy pomocy tłoka naciskowi P tak, że ciśnienie wynosi $p = \frac{P}{F}$,/rys.1/.



Rys.1.

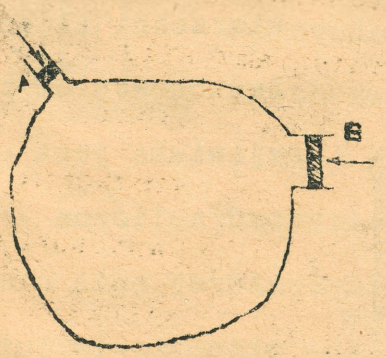
Łatwo wykażemy, że to ciśnienie działa również w całem wnętrzu cieczy i także na ściany naczynia. Pomyślmy sobie walec o równych podstawach, prostopadłych do osi walca. Na ściany walca działają ciśnienia. Gdyby walec skrzepł bez zmiany objętości, postaci i masy, mielibyśmy ciało stałe w równowadze z cieczą. Siły działające na boczną powierzchnię walca wskutek symetrji równoważą się, podobnie więc i siły działające na podstawy: $p_1F_1 = p_2F_2$, a ponieważ $F_1 = F_2$, przeto $p_1 = p_2$.

Pomyślmy sobie walec, którego podstawa F_1' jest skośnie ścięta pod kątem α . Działa na nią siła normalna $F_1'p_\alpha$, której rzut na oś wynosi $F_1'p_\alpha . \cos\alpha$. Musi ona być równa :

$F_2 p_2 = F_1' p_\alpha . \cos\alpha$ .Ponieważ zaś $F_2 = F_1 =$
$= F_1' . \cos\alpha$,przeto $p_2 = p_\alpha = p_1$.

Gdy za jedną połowę walca przyjmiemy powierznię tłoka,otrzymamy rezultat znany pod twierdzeniem Pascala: Jeśli na ciecz idealną działają tylko siły powierzchniowe,ciśnienie we wnętrzu cieczy jest wszędzie jednakowe , normalne do powierzchni uciskanej i równe ciśnieniu zewnętrznemu.

PRASA HYDRAULICZNA .Wniosek stąd oczywisty że to ciśnienie działa także na ściany naczynia.Jeśli więc w zamkniętem naczyniu umieścimy dwa tłoki/rys.2/ jeden /A/ o powierzchni 1 cm^2,drugi /B/ o powierzchni $1000 cm^2$ ciśnienie p_A przenosi się z niesłabnącem natężeniem do

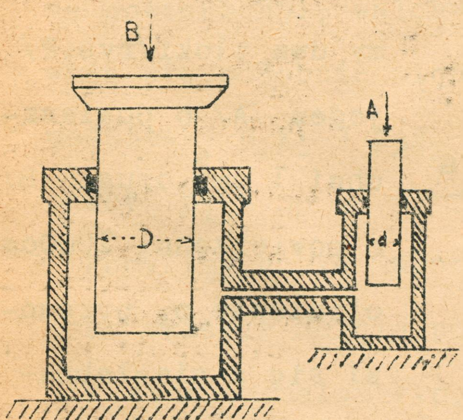


Rys.2.

tłoka B i wywiera tam nacisk p_A.1000. -

"Jeden człowiek - powiada Pascal - cisnący na tłok A,zdoła zrównoważyć ciśnienie 1000 ludzi cisnących na tłok B." -

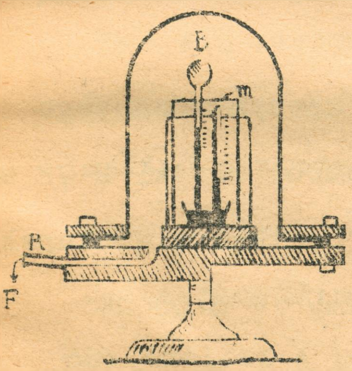
Praca wykonana przy równoczesnem przesunięciu Δ obu tłoków jest równa: $L_A = p_A . F_A . \Delta_A$ $L_B = p_B . F_B . \Delta_B$, a ponieważ objętości przesuniętej nieściśliwej cieczy są równe : $F_A . \Delta_A = F_B . \Delta_B$,a nadto $p_A = p_B$,przeto $L_A = L_B$. Pracy taką maszyną hydrostatyczną niezyskamy ,tylko zmieniamy siły działające na tłoki w stosunku powierzchni tłoków. Zastosowaniem tego zjawiska jest prasa hydrauliczna /rys.3/ której opis nie przedstawia już teraz trudności.



Rys.3.

Ściśliwość cieczy.

Opierając się na prawie Pascala zrozumiemy działanie przyrządu, który pozwala mierzyć ściśliwość cieczy. Bezpośrednio w naczyniu grubościennem nie moglibyśmy mierzyć stopnia ściśliwości cieczy, bo i samo naczynie się rozszerza. Dlatego posługujemy się przyrządem zwanym piezometrem Oersteda /Ryc 4./.



Ryc. 4.

Grubościenny dzwon szklany przyśrubowany jest szczelnie do talerza /T/ w którym tkwi rurka /R/ doprowadzająca powietrze z grubościennej flaszki stalowej /F/, gdzie ono jest ściśnięte. Na talerzu stoi naczynie z rtęcią, w której zanurzone jest naczynie szklane z wydętą bańką u góry /B/, wypełnione badaną cieczą i manometr /M/

służący do mierzenia ciśnienia. Powietrze wpuszczone pod dzwon wywiera ciśnienie na rtęć; rtęć podchodzi w rurce B i ściska w niej ciecz. Zmianę objętości cieczy obserwujemy na wąskiej szyjce. Naczyńko B uciskane od strony wewnętrznej i zewnętrznej nie doznaje zmian objętości i nie pęka.

Pierwotna objętość V_o skurczy się pod ciśnieniem p Kg/cm^2 do objętości V ;

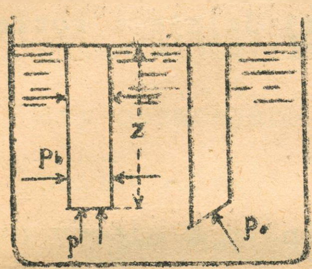
stosunek: $\Theta = \dfrac{V - V_o}{s.V_o}$ nazywamy ściśliwością cieczy.

<u>Doświadczenie:</u> Objętość naczyńka naszego przyrządu wynosi 27'5 cm^2, przekrój szyjki 2'72 mm^2. Pod wpływem ciśnienia 2 Kg/cm^2, cofnął się słupek cieczy o 0'83 mm. Stąd obliczymy Θ= 0'00004

	eter	woda	rtęć
Oto kilka dat: Θ=	0'00011	0'000044	0'000003

<u>Na ciecz działają siły masowe.</u> Niech na ciecz działa siła ciężkości. Jaki jest rozkład ciśnień we wnętrzu cieczy?

Pomyślmy sobie walec sięgający od gładkiej powierzchni cieczy do głębokości z /Rys 5/



Rys.5.

Gdyby walec skrzepł bez zmiany objętości, kształtu i masy, mielibyśmy ciało stałe utrzymywane przez ciśnienia na ściany boczne i na dno działające. Boczne siły wskutek symetrji równoważą się, siła na dno działająca - p.F - równa się ciężarowi walca F.z.δ.

Z równania p.F = F.z.δ wynika $\underline{p = \delta.z}$
jeśli δ oznacza ciężar jednostki objętości zwany ciężarem właściwym.

Jeśli pomyślimy sobie dno walca ukośnie do osi odcięte i przeprowadzimy podobne rozumowanie jak poprzednio, otrzymamy :

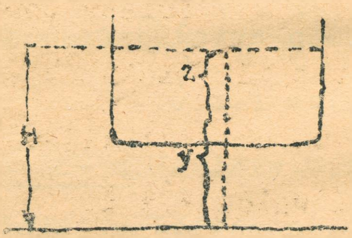
$$\underline{p_{\sigma} = p = \delta.z}$$

<u>Ciśnienie w cieczy ciężkiej jest zmienne, a mianowicie proporcjonalne do głębokości</u>. Nazy-

we się ono ciśnieniem hydrostatycznem.
Gdy nadto działa ciśnienie powierzchniowe p_0, jak to się najczęściej dzieje w kotłach parowych i t.d., wtedy:

$$p = p_0 + \gamma . z$$

Gdy liczymy położenie punktu w cieczy nie od swobodnej powierzchni lecz od dowolnego poziomu leżącego w głębokości H, wtedy $z = H - y$



zatem $p = /H - y/ . \gamma$

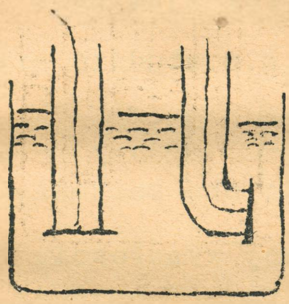
czyli $\frac{p}{\gamma} + y = H$

y nazywa się wysokością niwelacyjną, zaś $\frac{p}{\gamma}$ wysokością ciśnienia.

Powierzchnie w których ciśnienie jest stałe nazywają się powierzchniami równych ciśnień.
W małych naczyniach są one płaszczyznami poziomemi, w oceanach powierzchniami kul współśrodkowemi z ziemią. Swobodna powierzchnia idealnej cieczy jest zawsze powierzchnią rów-

nych ciśnień,na którą działają normalne ciśnienia zewnętrzne.Swobodna powierzchnia oceanów jest kulą,swobodna powierzchnia cieczy obracającej się około pionowej osi jest paraboloidą i t.d.

Doświadczeniem można stwierdzić powyższe prawo w ten sposób:

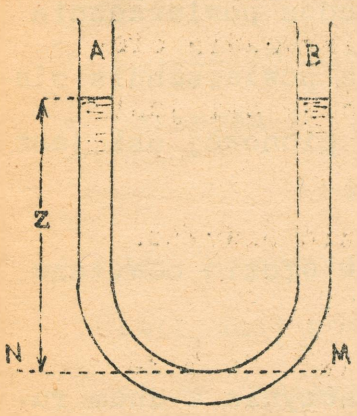


Rys.6.

Naczynia z dnem ruchomem,nitką przytrzymywanem wkładamy do cieczy/rys.6./, ,dna nie odpadają.Dopiero,gdy nalejemy do naczynia wody,odpowiednio do głębokości dna,dno odpada.

NACZYNIA POŁĄCZONE.

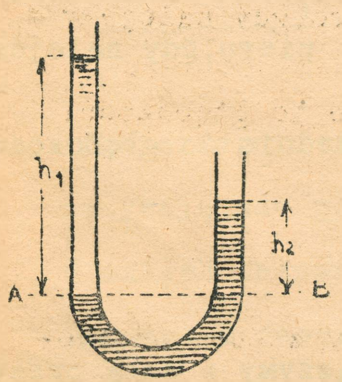
Jeśli dwa naczynia połączymy z sobą przewodem,ta sama ciesz w obu sięga do tej samej wysokości.Wynika to z następującego rozumowania: W powierzchni MN /rys.7./panuje ciśnienie $p = \delta.z$; może ono być zrównoważone tylko przez słup cieczy BN, sięgający do wysokości z ponad poziom MN. Na tej własności naczyń połączonych polega cały szereg zjawisk i urządzeń, n.p. studnie artezyjskie.



Rys. 7

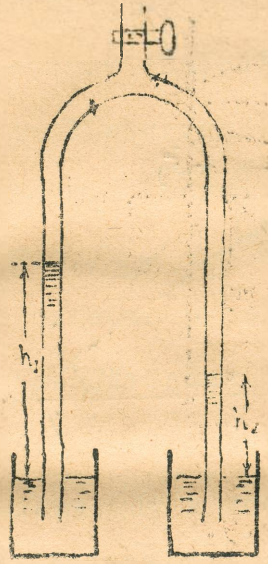
Gdy różne ciecze wypełniaja oba ramiona, ciecz sięga w nich do różnej wysokości.

Ciecz AMB /rys.8.a./ stanowi całość równoważącą się; słupki h_1 i h_2 wywierają w poziomach A-B równe ciśnienia, przeto $\delta_1 . h_1 = \delta_2 . h_2$. Zmierzywszy h_1 i h_2, dokładnie przy pomocy ka-



Rys. 8. a.

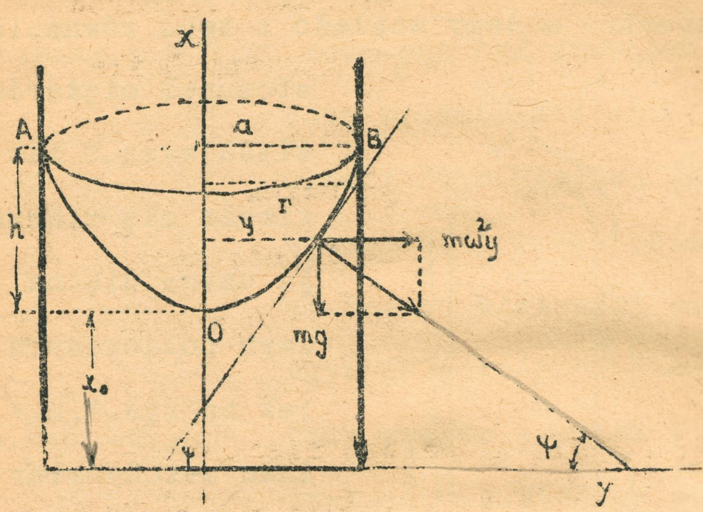
tetometru możemy znaleść z tego równania stosunek ciężarów właściwych. O ile ciecze się mieszają używa się naczyń połaczonych jak na rys. 8.b. Inne metody mierzenia ciężarów właściwych poznamy później.



Rys. 8. b.

Na ciecz działa siła ciężkości i odśrodkowa.

Jaki jest kształt swobodnej powierzchni? - Na każdą cząstkę poruszającą się ruchem jednostajnym po obwodzie koła swobodnej powierzchni działają dwie siły: ciążar m.g. pionowo na dół/ rys. 9./ i t.zw. odśrodkowa siła, równa w płaszczyźnie /xy/ wyrażeniu $m.\omega^2.y$. Obie te siły dają wypadkową, do której swobodna powierzchnia musi być prosto-



Rys.9.

padła. Normalna do swobodnej powirzchni tworzy z osią y kąt ψ taki, że $\operatorname{tg}\psi = \frac{m.g}{m.\omega^2.y} = \frac{g}{\omega^2.y}$.
Taki sam kąt tworzy także styczna z osią X.
Taką zaś krzywą AOB, której styczna tworzy w każdem miejscu z osią X kąt $\frac{q}{y}$ jest parabola o równaniu $y^2 = 2.q.x$, gdzie q jest parametrem paraboli, jak o tem łatwo można się przekonać. Stąd wynika, że osiowy przekrój swobodnej powierzchni jest parabolą, której para-

metr obliczymy z równania $\frac{q}{y} = \frac{g}{\omega^2 y}$; $q = \frac{g}{\omega^2}$
Odpowiednio więc do każdej prędkości kątowej $\omega = 2.\pi\nu$ możemy znaleść parametr paraboli i wykreślić ją. Powierzchnia swobodna jest paraboloidą obrotową, której równanie opiewa:

$$r^2 = 2.q./x - x_0/ = \frac{2.g}{\omega^2} /x - x_0/$$

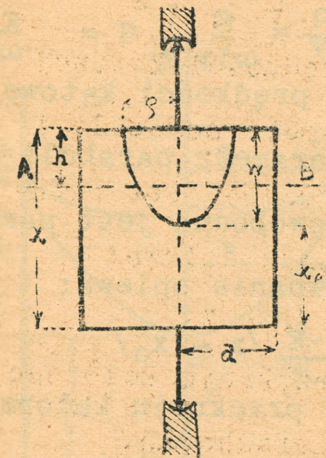
przyczem r oznacza promień przekroju kołowego, x_0 zaś jest spółrzędna jej wierzchołka.

Wysokość h, do której sięga ciecz przy ścianie znajdziemy, gdy w równaniu paraboloidy za r podstawimy promień naczynia a, wtedy:

$$h = /x - x_0/ = \frac{a^2}{2.g} . \omega^2$$

Mierząc więc h możemy stąd znaleść ω .

Praktyczne przyrzady służące do mierzenia prędkości kątowej są nieco inaczej urządzone. Naczynia wirujące napełnione cieczą/rys.10/ do poziomu AB jest szczelnie zamknięte, wskutek czego zmieniaja się warunki graniczne zagadnienia. Mianowicie obecnie objętość pustej



Rys.10.

paraboloidy $\frac{\rho^2 \pi w}{2}$ musi się równać objętości pustego walca $a^2 . \pi . h$; z równania

$$\frac{\rho^2 \pi w}{2} = a^2 . \pi . h$$

wynika $\rho^2 = a^2 . \frac{2.h}{w}$

Z drugiej strony wynika z równania swobodnej powierzchni, która jest paraboloidą obrotową $r^2 = \frac{2.g}{\omega^2} / x - x_0 /$, że

$$\rho^2 = \frac{2.g}{\omega^2} / x - x_0 / = \frac{2.g.w}{\omega^2}$$

A to równa się $a^2 \frac{2.h}{w}$, zatem

$$\frac{2.g.w}{\omega^2} = a^2 \frac{2.h}{w} \quad \text{czyli}$$

$w = a . \omega \sqrt{\frac{h}{g}}$; ponieważ zaś $\omega = 2 . \pi \nu$,

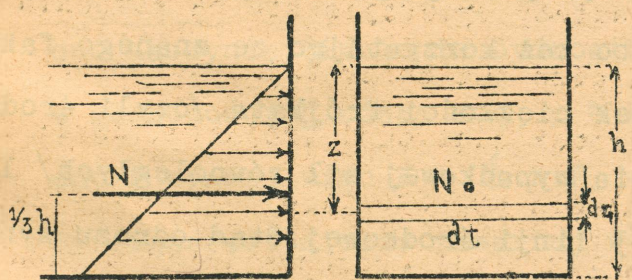
przeto częstość obrotów $\nu = \frac{w}{2 . \pi a} . \sqrt{\frac{g}{h}}$

jest proporcjonalna do wysokości paraboloidy w.

Mierząc ją, możemy łatwo obliczyć v .
Na tej zasadzie sporządzone są przyrządy służące do mierzenia częstości obrotu maszyn.

NAPÓR NA ŚCIANY BOCZNE NACZYNIA.

Ciśnienie na ścianę w głębokości $\underline{z}$ jest również $p = \delta .z$, wskutek tego siła dN działająca na element powierzchni w tem miescu dF /rys.11/ jest $dN = p.dF = \delta .z.dF$. Aby znaleść całkowity napór na pewną powierzchnię, trzeba to wyrażenie całkować wzdłuż powierzchni.



Rys.11.

Obliczmy całkowity napór cieczy ciężkiej na prostopadłą ścianę.

Jest $N = \int \delta\, z.dF = \delta \int z./a.dz/ = \delta a.\frac{h^2}{2} =$

$= a.h.\frac{\delta h}{2}$

Możemy do tego rezultatu dojść elementarną drogą, kreśląc ciśnienia na ścianę boczną; zwiększaja się one linjowo od zera do wartości $\delta.h$ przy podstawie, wskutek tego możemy przyjąć, że na całą powierzchnię działa stałe ciśnienie równe średniej arytmetycznej $\frac{0 + \delta.h}{2}$, zatem siła na całą boczną powierzchnię a.h, wynosi $a.h.\frac{\delta.h}{2}$ jak powyżej.

Kierunek naporu jest oczywiście normalny do ściany; a wreszcie punkt jej zaczepienia znajdziemy opierajac się na równaniach statyki, albo też korzystając ze znanego faktu że środek ciężkości trójkąta, /czyli środek działania wypadkowej sił równoległych/ leży w 1/3 linji środkowej. Stąd odrazu wynika, że wypadkowa wszystkich ciśnień, czyli napór całkowity działa w 1/3 odległości od podstawy w punkcie N.

Gdy ścianę boczną chcemy podtrzymać jedną siłą, musi ona działać w punkcie N i być równą naporowi.

W podobny sposób opierając się na równaniach statyki, postępujemy w przypadkach zawilszych, gdy ściany boczne mają kształt odmienny. Zagadnienie jest rozwiązane, gdy znana jest: 1/wielkość naporu całkowitego,

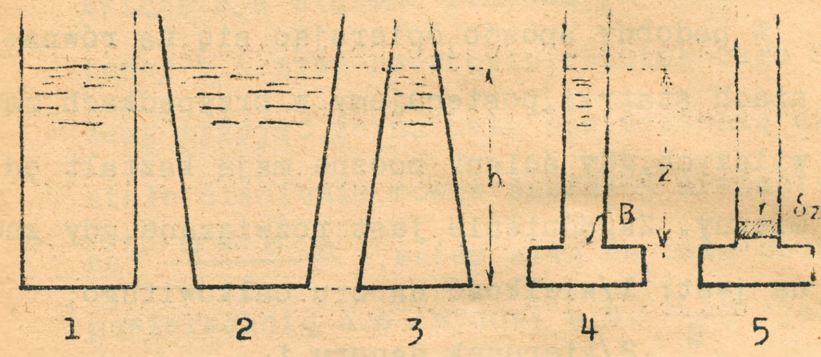
2/kierunek naporu i

3/punkt zaczepienia naporu.

NAPÓR NA DNO NACZYNIA.

Jeszcze prościej obliczymy napór na płaskie dno naczynia. Ciśnienie hydrostatyczne na dno w głębokości $\underline{h}$ równa się $p = \delta . h$,; Napór na dno F wynosi więc $N = \delta . h . F$. - Jest on równy ciężarowi cieczy zawartej w walcu o podstawie F a wysokości $\underline{h}$ i co dziwniejsze nie zależny od kształtu naczynia.

Zrozumiałem to jest w naczyniu kształtu 1/ /rys.12./ i ostatecznie w naczyniu kształtu 2/,w którem ciśnienie bocznych części



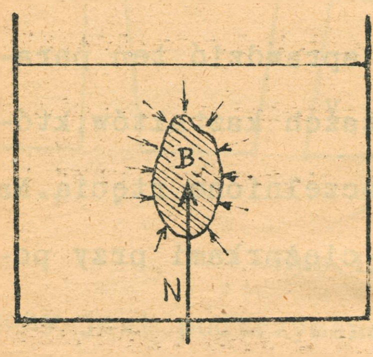
Rys.12.

cieczy jest podtrzymane przez boczne ściany,ale trudno zrozumieć to w naczyniu kształtu 3/,którego krańcowym przypadkiem jest 4/. Oto proste wytłomaczenie tego <u>paradoksu hydrostatycznego</u> : W punkcie B panuje ciśnienie hydrostatyczne $\delta.z$ - możemy sobie pomyśleć ciecz usuniętą z wąskiej rurki i zastąpić ciśnienie hydrostatyczne,ciśnieniem tłoka w tem miejscu działającego/5/,które w myśl prawa Pascala rozchodzi się jednostajnie w dolnem szerszem naczyniu i działa także na jego dno.Razem z ciśnieniem hydrostatycznem cieczy w dolnem naczyniu daje wypadkowe ciśnień δ.h. -

Doświadczeniem można sprawdzić ten paradoks w naczyniach powyższych kształtów,których dna są ruchome,uszczelnione rtęcią.Napór na dno równoważymy ciężarkami przy pomocy wagi.

NAPÓR CIECZY NA CIAŁA W NIEJ ZANURZONE.

Napór ten możemy obliczyć w podobny,jak poprzednio,sposób,całkując ciśnienia hydrostatyczne wzdłuż ścian zanurzonego ciała. Trudne byłoby to zadanie,gdy kształt naczynia jest nieregularny.Dlatego posłużymy się prostem rozumowaniem,które pozwoli nam,na podstawie warunków równowagi sił,obliczyć wielkość,kierunek i punkt zaczepienia wypadkowego naporu na ciało zanurzone w cieczy. Pomyślmy sobie ciało B /rys.13/ zastąpione przez ciecz C ściśle tej samej objętości co ciało B; ponieważ ściany pozostają niezmienione, przeto i napór zewnętrznej cieczy nie zmieni się. Ale ciecz w B jest w spoczynku, zatem



Rys.13.

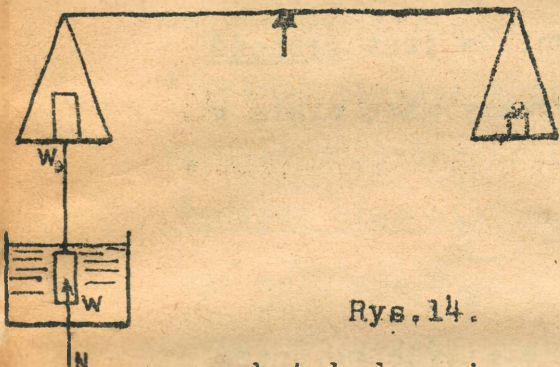
jej ciężar równoważy się z naporem N, a stąd wynika: 1/napór N równa się ciężarowi cieczy wypartej przez ciało w niej zanurzone,

2/napór jest skierowany pionowo ku górze,

3/punktem zaczepienia naporu N jest środek masy cieczy w objętości B.

Jest to treść sławnego <u>prawa Archimedesa.</u>

Doświadczeniem można stwierdzić to prawo w ten sposób: Walec pełny W i próżny W_o, w który dokładnie może wchodzić pełny walec /rys.14./ równoważymy na wadze; następnie zanurzamy walec pełny W w cieczy,wskutek doznaje on naporu N i podnosi się ku górze.Aby napór N zrównoważyć,trzeba wypełnić walec W_o cieczą.



Rys.14.

GĘSTOŚĆ i CIĘŻAR WŁAŚCIWY CIAŁ.

Prawo Archimedesa pozwala nam dokładnie mierzyć gęstość i ciężar właściwy ciał przy pomocy wagi hydrostatycznej.

Przez ciężar właściwy ciała rozumiemy ciężar jednostki objętości ciała.Wymiar jego jest:

$$\delta = \frac{\text{ciężar}}{\text{objętość}} = \frac{m.g}{V} = \frac{gr.cm}{sek^2} : cm^3 = \frac{gr}{cm^2 .\ sek^2}$$

Odwrotnie ciężar $Q = \delta . V$;

Ciężar właściwyyciał zmienia isę wraz z ciężarem ciał i zależy od szerokości geograficznej i wysokości nad poziomem morza.

Niezależną od tych czynników jest <u>gęstość bezwzględna</u> /d/,którą nazywamy masę ciała w jednostce objętości

$$d = \frac{m_c}{V} = \frac{m_c \cdot g}{V . g} = \frac{\delta}{g}$$

Chętnie posługujemy się w fizyce pojęciem <u>względnej gęstości ciał</u>.

<u>Gęstością względną</u> ciała nazywamy stusunek masy ciała m_c do masy wody m_w równej objętości V,/lub ciężaru ciała do ciężaru wody równej objętości/ w 4° C :

$$\varrho = \left(\frac{m_c}{m_w}\right)_V = \left(\frac{m_c \cdot g}{m_w \cdot g}\right)_V = \left(\frac{Q_c}{Q_w}\right)_V$$

Gdy woda użyta do pomiaru gęstości ma temperaturę t° wtedy:

$$\varrho = \frac{Q_c \cdot Q_t}{Q_t \cdot Q_o} = \frac{Q_c}{Q_t} \cdot \varrho_{wt}$$

zatem gęstość równa się stosunkowi odpowiednich ciężarów $\frac{Q_c}{Q_t}$ pomnożonemu przez gęstość wody w temperaturze t,która dana jest w tabliczkach wielkości fizycznych /pol.Witkowski, niem.Landolt-Bernstein/.

Gęstość ciał stałych. Ciężar ciała stałego lub jego masę znajdujemy ważąc je; ciężar wody Q_w równej objętości wyznaczymy,gdy ciało zaburzymy całkowicie w wodzie i zmierzymy ciężar wypartej wody.

Gęstość cieczy. Aby gęstość cieczy wyznaczyć zanurzymy całkowicie dowolne ciało stałe raz w danej cieczy,drugi raz w wodzie i wyznaczamy wagą napór całkowity Q_{cieczy} i Q_{wody};

$$\text{gęstość } \varrho = \frac{Q_{cieczy}}{Q_{wody}} \varrho_{wt}$$

Gęstość ciał można także mierzyć piknometrem t.j.małym szklanem naczyniem z szczelnym,dok-

Rys. 15.

ładnie szlifowanym korkiem /rys.15./ Jak?/

W praktyce używa się celem szybkiego, ale mniej dokładnego wyznaczenia gęstości areometrów różnego rodzaju, /rys.16./ Jest to naczynie szklane B, obciążone śrutem, aby stało pionowo i zakończone długą rurką R z podziałką. Łatwo można na podstawie prawa Archimedesa okazać, że gdy objętość rurki jest bardzo mała wobec objętości naczyńka B, różnica gęstości dwóch cieczy $\varrho_2 - \varrho_1$ jest proporcjonalna do różbicy głębokOści zanurzenia $x_2 - x_1$ tak że

$$\varrho_2 = \varrho_1 + b./x_2 - x_1/$$

Rys, 16.

W roztworach cieczy n.p.alkoholu lub kwasu w wodzie chodzi nam zwykle nie tyle o gęstości ile o procentową zawartość cieczy w roztworze. Aby ją szybko znaleść,wypisuje się obok gęstości na ~~x~~ areometrze,także procentową zawartość wyznaczo ną empirycznie w ten sposób,że miesza się n,p,90,80......~~części~~ objętości alkoholu z tyloma objętościami wody,ile trzeba aby otrzymać sto części mieszaniny i następnie mierzy się przy pomocy wagą gęstość/w/g Tralesa/.

Oto kilka dat odnoszących się do gęstości ciał: /ϱ/

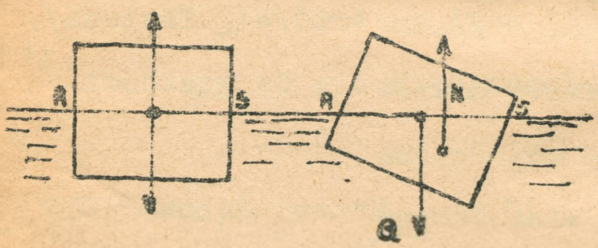
Pt....21,4,	Ag....10,5	Drzewo dębowe 0,7
Au....19,2,	Cu.... 8,9	" jodłowe 0,5
Hg....13,6	Fe.... 7,8	Korek......... 0,2
Pb,...11,3	Al.... 2,7	

PŁYWANIE CIAŁ.

Ciało stałe zanurza się w cieczy albo całkowicie,gdy jego gęstość $\varrho > \varrho$ cieczy,albo częściowo,gdy $\varrho < \varrho$ cieczy.

W pierwszym przypadku można utrzymać ciało we wnętrzu cieczy siłą równą ciężarowi ciała Q zmniejszoną o siłe naporu czyli P =Q-N Podnoszenie wiadra pod wodą,ciężkich kamieni i t.d.jest połączone z mniejszym wysiłkiem, aniżeli w powietrzu.

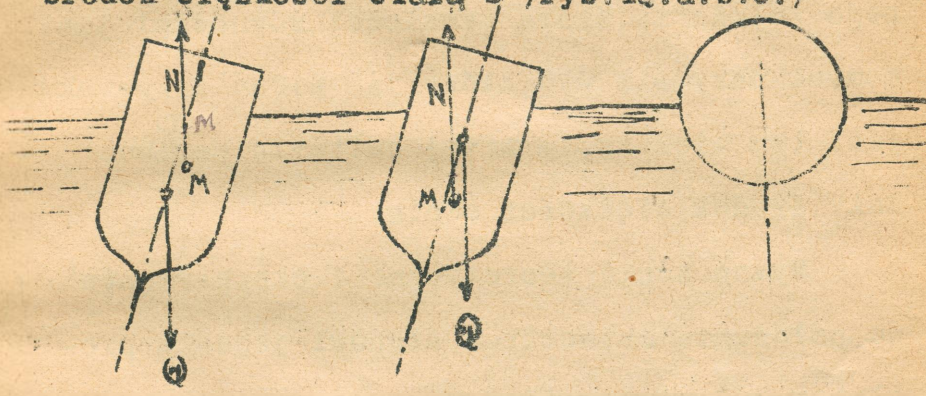
Gdy ciało tylko częściowo się zanurza,powierzchnia cieczy odgrąnicza w ciele t.zw.płaszczyznę pływania RS /rys.17./; jest ich na ogół nieskończenie wiele ale tylko w nielicznych przypadkach/z wyjątkiem ciał obrotowych/ ciężar Q i równy mu napór N,działają wzdłuż jednej linji,a więc równoważą się/rys.17.a/ w Każdej takiej pozycji jak rys 17.b.,powstaje para sił /Q,N/,która przywraca zawsze ciało



Rys.17.

do pewnego położenia stałej równowagi.

Jest to ważne w teorji pływania takich ciał jak okręty. Okręt wychylony z położenia normalnego musi oczywiście wrócić do niego. Zależy to od położenia tak zwanego metacentrum. Poprowadźmy w ciele prostą OO', przez środek ciężkości ciała S /rys. 18. a. b. c./



a b c

Rys. 18.

prostopadle do płaszczyzny pływania w położeniu normalnej równowagi. Prosta OO' nazywa się osią pływania. Gdy ciało wychyli się z normalnego położenia, środek działania naporu N przesunie się,napór N przetnie oś pływania w punkcie M,który nazywamy <u>metacentrum</u>. Otóż widoczną jest rzeczą,że tylko wtedy.gdy metacentrum leży na osi pływania powyżej środka ciężkości S/rys.18.a./powstaje para sił Q,N,która przywraca ciało /okręt/ do pierwotnego położenia.Miarą trwałości wównowagi jest moment pary sił Q,N,który jak widać z rysunku jest tem większy,im niżej caeteris paribus leży środek ciężkości ciała.

Wyznaczenie teoretyczne i eksperymentalne położenia metacetrum stanowi jeden z problemów budowy okrętów.

-----------: o :-----------.