

## 69. RÓWNOWAGA CIAŁA PŁYWAJĄCEGO.

Z poprzednich rozważań wynika, że, w przypadku, gdy  $\rho < \rho_0$ , ciało podnosi się ku górze, następnie częściowo się wynurza i wtedy zaczyna pływać.

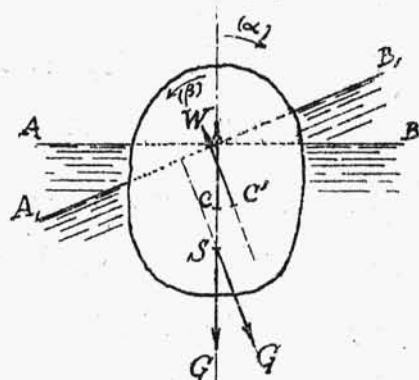
Ciało pływające, częściowo wystaje z cieczy; poziom cieczy przecina powierzchnię ciała wzdłuż pewnego konturu. Płaszczyznę ograniczoną tym konturem będziemy nazywali *p ł a s z c z y z n ą p ł y w a n i a*.

Jeśli ciało pływające ma być w równowadze, wówczas siły, które nań działają, a są nimi: ciężar ciała i wypór cieczy, - winny się znaleźć na wspólnej prostej; inaczej - środek ciężkości i środek zanurzenia winny być na wspólnej prostej pionowej. Taką prostą nazywać będziemy *o s i ą p ł y w a n i a*.

70. Przy badaniu równowagi ciała pływającego różniamy trzy jej stany: równowagi *s t a ł e j*, *n i e s t a ł e j* i *o b o j ę t n e j*. Aby poznać, z którym stanem równowagi mamy do czynienia, nadajmy ciału nieznaczny ruch. Jeśli potem ciało, pozostawione samo sobie, dążyć będzie do odzyskania pierwotnego położenia, nazwiemy taki stan - *r ó w n o - w a g ą s t a ł ą*.

Jeśli po takim nieznacznym ruchu, ciało samo dążyć będzie do dalszej zmiany pierwotnego położenia, nazwiemy **równowagą niestabilą**.

Wreszcie, kiedy ciało nie okaże dążności ani do powrócenia do stanu pierwotnego, ani do dalszej zmiany położenia, nazwiemy taki stan **równowagą obojętną**.

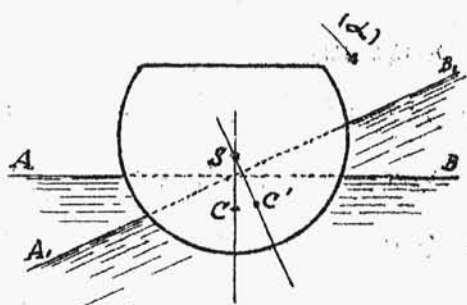


rys. 33.

Łatwo dostrzeżemy, że, kiedy ciało ma środek ciężkości  $S$  poniżej środka zanurzenia  $C$ , wówczas mieć będziemy do czynienia z równowagą stałą. Niech dane ciało ma płaszczyznę pływania  $AB$ . Oś pływania niech przechodzi przez punkty  $S$  i  $C$ . Przyjmujemy, że do punktu  $S$  jest przyłożony ciężar ciała  $G$ , do punktu zaś  $C$  - wypór  $W$ . Oczywiście  $G = W$ .

Odchylamy ciało w kierunku strzałki  $(\alpha)$ . Wtedy płaszczyzna pływania zajmie położenie  $A'B'$ . Punkt  $S$  nie zmieni położenia. Siła  $G$  będzie prostopadła do  $A'B'$ . Punkt  $C$  zmieni miejsce, przechodząc do środka ciężkości wypartej cieczy. Niech to będzie punkt  $C'$ . Do tego punktu  $C'$  będzie przyłożony taki

sam, jak poprzednio wypór  $W$ . Łatwo dostrzeżemy, że w danym razie wytwarza się para sił, która dąży do przywrócenia ciała do pierwotnego położenia w kierunku strzałki ( $\beta$ ). Mamy tu więc **r ó w n o w a - g ę s t a ł ą**.



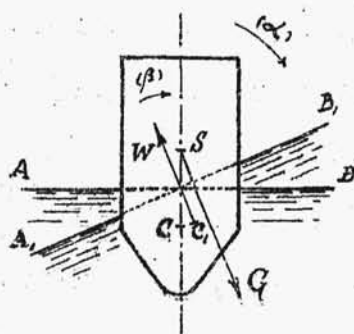
rys. 34.

72. Niech będzie ciało o przekroju, jak obok. Środek ciężkości  $S$  jest wyżej, niż środek zanurzenia  $C$ , lecz na wspólnej prostej pionowej. Po odchyleniu ciała w kierunku strzałki ( $\alpha$ ) zauważymy,

że środek zanurzenia przesunie się, lecz znów znajdzie się na prostej, prostopadłej do nowej płaszczyzny pływania i przechodzącej przez środek ciężkości  $S$ . Zatem nie otrzymamy żadnej pary, któraby dążyła do przywrócenia ciała pierwotnego położenia. Ciało więc będzie mogło w takim położeniu nadal pozostać. Będzie to więc **r ó w n o w a g a o b o - j ę t n a**.

73. Mamy ciało, jak obok. Punkt  $S$  znajduje się ponad punktem  $C$  na wspólnej prostej pionowej.

Po odchyleniu ciała w kierunku strzałki  $(\alpha)$  znajdziemy, że punkt  $S$  w ciele pozostaje na miejscu, zaś  $C$  przesunie się naprawo; mimo to, jednak, wytworzy się para sił, która dążyć będzie do dalszego obrócenia ciała w kierunku strzałki  $(\beta)$ ; ciało nie wróci już do stanu pierwotnego. Zatem powiemy, że ten stan równowagi, w którym zastaliśmy pierwotnie ciało,

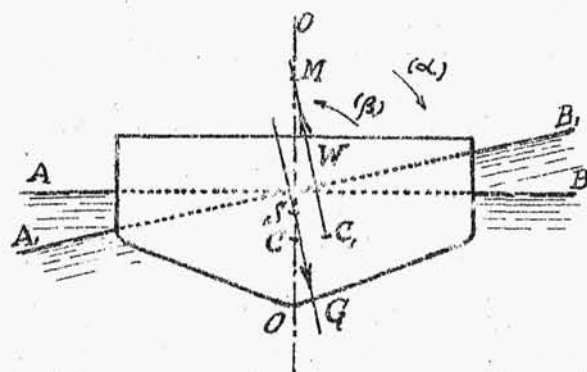


rys. 35.

był stanem równowagi niestabilnej

74. Łatwo na przykładzie pokazać, że możliwe jest, iż mimo że środek ciężkości  $S$  znajduje się

powyżej środka zanurzenia  $C$ , zachodzić będzie równowaga stała. Niech będzie ciało o przekroju podanym. Płaszczyzną pływania niech będzie  $AB$ , zaś osią pływania - prosta  $OO$ . Na osi pływania znajduje się środek ciężkości  $S$  ciała pływającego i jednocześnie środek zanurzenia  $C$ . Odchylmy ciało /zgodnie ze strzałką  $(\alpha)$ / tak, aby chwilowa płaszczyzna pływania



rys. 36.

była  $A, B$ . Na ciało w tem nowem położeniu działać będą: ciężar ciała  $G$ , przyłożony do punktu  $S$ , który miejsca w ciele nie może zmienić, oraz wypór  $W$ , przyłożony do

nowego środka zanurzenia  $C$ . Z powodu wynurzenia się pewnej części ciała z lewej strony i zanurzenia się odpowiedniej części ciała z prawej strony środek zanurzenia przesunie się na prawo względem pierwotnego położenia; niech on się znajdzie w punkcie  $C'$ .

Łatwo dostrzeżemy, że siły  $G$  i  $W$  utworzą parę o momencie  $W\alpha$ , która dążyć będzie do przywrócenia ciała do pierwotnego położenia zgodnie ze strzałką

$(\beta)$ ; mamy zatem do czynienia z przypadkiem równowagi stałej. Zauważmy, że w danym razie kierunek linii działania wyporu po odchyleniu ciała przetnie oś pływania powyżej środka ciężkości.

Punkt ten  $M$  nazwiemy m e t a c e n t r u m .

75. Powiemy więc: jeżeli metacentrum znajdzie się ponad środkiem ciężkości ciała, będzie to oznaką, że mamy równowagę stałą. Powiemy następnie: im punkt  $M$  znajdzie się na osi pływania dalej od  $S$ , przy takim samym odchyleniu ciała, tem otrzymujemy większą parę  $W\alpha$ , czyli tem pewniej i prędzej ciało powróci do pierwotnego położenia.

Jeżeli metacentrum /po odchyleniu ciała/ znajdzie się w środku ciężkości  $S$ , wówczas nie powstanie para, mogąca przywrócić ciało do pierwotnego położenia. Będzie to więc równowaga obojętna.

Wreszcie, jeśli metacentrum otrzymywać się będzie pod środkiem ciężkości, wtedy, oczywiście, będziemy mieli do czynienia z równowagą niestabilną.

Z powyższych określeń wynika sposób oznaczania stanów równowagi na podstawie tego, czy metacentrum znajduje się nad środkiem ciężkości, czy wpada na niego, czy też opuszcza się poniżej środka ciężkości. Należy zatem bliżej zaznaczyć się z określeniem miejsca metacentrum.

76. Zbadajmy z ogólniejszego punktu widzenia zachowanie się ciała pływającego. Z mechaniki wiemy, że każdą bardzo małą zmianę w położeniu układu sztywnego możemy wykonać posilkując się 6-ma ruchami: trzema ruchami postępowymi w kierunkach trzech prostych, wzajemnie do siebie prostopadłych w jednym punkcie przecinających się i trzema obrotami około tychże prostych.

Rozpatrzmy, co się stanie z ciałem pływającym przy wykonywaniu z niem każdego z sześciu powyższych ruchów.

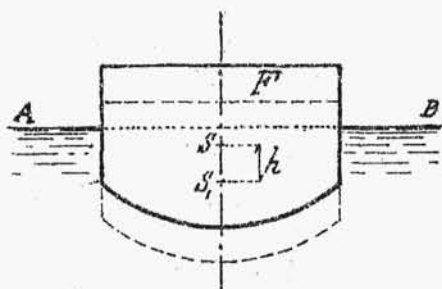
Obierzmy osi, jak zwykle: osi  $x$  i  $y$  - w płaszczyźnie poziomej na swobodnej powierzchni wody, zaś oś  $z$  pionowo w dół. Zauważmy, że wciąż mówimy o ciele i o cieczy  $c i ę ż k i c h$ , na które działają  $t y l k o$  siły ciężkości.

Wykonajmy bardzo małe przesunięcie ciała w kierunku osi  $x$ . Po takim przesunięciu obie siły, jakie na dane ciało działają, mianowicie: siła ciężkości i wypór, nie zmieniają ani wartości, ani też względnego położenia, zatem stan równowagi ciała nie może w tym razie doznać jakiejkolwiek zmiany.

Jeżeli w podobny sposób wykonamy przesunięcie

wzdłuż drugiej osi - osi  $y$  - otrzymamy ten sam wynik, to jest takie przesunięcie dla równowagi ciała jest najzupełniej obojętne. To samo otrzymamy przy przesunięciu wzdłuż jakiegokolwiek osi poziomej.

77. Wykonajmy przesunięcie ciała w kierunku pionowym, wszystko jedno - czy na dół, czy do góry. -



rys. 37.

Niech przy tem przesunięciu środek ciężkości  $S$  zajmie nowe położenie  $S'$  o  $h$  niżej od pierwotnego. Przed przesunięciem ciała działają na nie siły: ciężar  $G$  i wypór  $W$ , przy-

czem  $W = G$ . Po zanurzeniu ciała / jakąś postronną siłą / na nieznaczną głębokość  $h$  na ciało to działać będą: ten sam ciężar  $G$  oraz inny wypór; będzie on zwiększony w porównaniu z poprzednim wyporem o ciężar cieczy w objętości tej części ciała, która dodatkowo została zanurzona.

Wypór końcowy będzie  $= W + \gamma F' h$ , jeżeli przez  $F'$  oznaczmy pole płaszczyzny pływania.

Zatem na ciało działa wypadkowa pionowa skierowana do góry i równa:  $-(W + \gamma F' h - G)$ ;

Pod działaniem tej siły ciało zacznie się wy-  
rząd z pewnem przyśpieszeniem.

Niech w pewnej chwili, po czasie  $t$  od początku  
tego ruchu, środek ciężkości znajdzie się na głębo-  
kości  $Z$  od pierwotnego położenia  $S$ . W tym momen-  
cie na ciało działa ku górze wypadkowa:

$$-(W + \gamma F_Z - G),$$

albo, ponieważ  $W = G$ , więc wypadkowa  $= -\gamma F_Z$ . Si-  
ła ta nadaje ciału przyśpieszenie  $\frac{d^2 Z}{dt^2}$ ; ponieważ  
masa poruszającego się ciała  $= \frac{G}{g}$ , mamy więc rów-  
nanie ruchu wynurzającego się ciała:

$$\frac{d^2 Z}{dt^2} \cdot \frac{G}{g} = -\gamma F_Z,$$

albo

$$\frac{d^2 Z}{dt^2} = -\frac{\gamma g F}{G} Z$$

Jest to równanie różniczkowe ruchu  
/drgania/ harmonicznego. Scałkujemy  
to równanie; w tym celu oznaczmy  $\frac{\gamma g F}{G}$  przez  $k^2$   
i równanie otrzyma postać  $\frac{d^2 Z}{dt^2} = -k^2 Z$ .

Pomnóżmy obie strony przez  $2 \frac{dZ}{dt}$ ; otrzymamy:

$$2 \cdot \frac{dZ}{dt} \cdot \frac{d^2 Z}{dt^2} = -k^2 \cdot 2 \cdot Z \cdot \frac{dZ}{dt},$$

czyli

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{dz}{dt} \right)^2 = -k^2 \frac{d}{dt} (z^2),$$

skąd po scałkowaniu

$$\left( \frac{dz}{dt} \right)^2 = -k^2 z^2 + \text{Const.}$$

Stałą całkowania wyrugujemy z warunku, że, kiedy  $z = h$ , wtedy prędkość  $v = \frac{dz}{dt}$  była = 0, więc otrzymamy:

$$0 = -k^2 h^2 + \text{Const.}, \text{ stąd } \text{Const.} = k^2 h^2,$$

zatem

$$\left( \frac{dz}{dt} \right)^2 = v^2 = -k^2 z^2 + k^2 h^2,$$

następnie

$$v^2 = k^2 (h^2 - z^2) \quad \text{albo} \quad v = k \sqrt{h^2 - z^2};$$

z tego równania możemy wyznaczyć prędkości ciała przy różnych położeniach środka ciężkości; kiedy  
 $-h < z < h$

Ostatnie równanie możemy dalej rozwiązać:

$$\left( \frac{dz}{dt} \right)^2 = k^2 (h^2 - z^2),$$

albo

$$\frac{dz}{dt} = k \sqrt{h^2 - z^2}.$$

po oddzieleniu zmiennych

$$dt = \frac{1}{k} \cdot \frac{dz}{\sqrt{h^2 - z^2}} ;$$

po scałkowaniu

$$t = \frac{1}{k} \arcsin \frac{z}{h} + \text{Const.}$$

Stałą całkowania wyrugujemy z warunku: kiedy  $t=0$  na samym początku, wtedy  $Z=h$ . Stąd:

$$0 = \frac{1}{k} \cdot \frac{\pi}{2} + \text{Const.}$$

albo

$$\text{Const.} = - \frac{\pi}{2k} ,$$

a więc:

$$t = \frac{1}{k} \arcsin \frac{z}{h} - \frac{\pi}{2k} .$$

Z tego wzoru możemy znaleźć czas  $t$ , w którym środek ciężkości znajdzie się w odległości  $Z$  od pierwotnego położenia.

Czas potrzebny, aby środek ciężkości znalazł się w pierwotnem miejscu równowagi niech będzie  $t_1$ ; czas ten znajdziemy zakładając, że  $Z=0$ .

Wówczas

$$t_1 = \frac{1}{k} \cdot \frac{2\pi}{2} - \frac{\pi}{2k} = \frac{\pi}{2k} .$$

Moglibyśmy też napisać, że

$$t_1 = 0 - \frac{\pi}{2k} = - \frac{\pi}{2k} ,$$

ujemna wartość na czas nie ma realnego znaczenia

w naszym zadaniu.]

Zatem całe drganie do przyjścia ciała do położenia środka ciężkości w  $S$ , przejdzie okres czasu

$$T = 4t_1 = \frac{4\pi}{2k} = \frac{2\pi}{k}$$

Z równania

$$t = \frac{1}{k} \arcsin \frac{z}{h} - \frac{\pi}{2k}$$

po podstawieniu na  $k$  wartości:  $k = \frac{2\pi}{T}$  otrzymamy:

$$t = \frac{T}{2\pi} \arcsin \frac{z}{h} - \frac{\pi \cdot T}{2 \cdot 2\pi},$$

albo

$$t + \frac{T}{4} = \frac{T}{2\pi} \arcsin \frac{z}{h};$$

jeszcze dalej

$$\left(t + \frac{T}{4}\right) \frac{2\pi}{T} = \arcsin \frac{z}{h},$$

a stąd

$$\frac{z}{h} = \sin \frac{2\pi}{T} \left(t + \frac{T}{4}\right),$$

ostatecznie

$$z = h \cdot \sin \frac{2\pi}{T} \left(t + \frac{T}{4}\right).$$

Z tego równania dostrzegamy periodyczność ruchu. Zatem, kiedy ciało zanurzymy w kierunku pionowym na głębokość  $h$ , zacznie się wówczas ruch harmoniczny środka ciężkości ciała około punktu, w którym był

pierwotnie środek ciężkości ciała.

Obszerność drgania =  $h$  ; okres drgania:

$$T = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi\sqrt{Q}}{\sqrt{\gamma g F}}$$

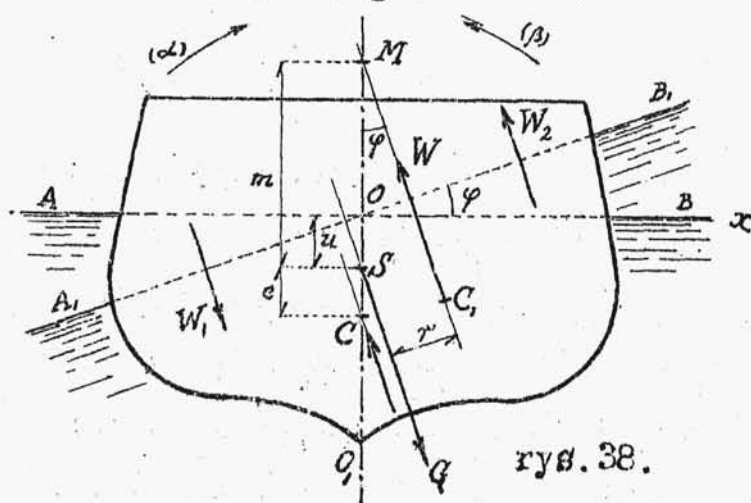
jak widzimy, niezależny jest od obszerności drgania, lecz od  $Q$ ,  $F$  i  $\gamma$ .

Gdyby ciecz była doskonała, wówczas drganie takie istniałoby trwale; wobec jednak lepkości cieczy drgania te będą stopniowo słabnąć, aż wreszcie po pewnym czasie ciało wróci do pierwotnego stanu równowagi. Stąd wnioskujemy, że przesunięcie ciała w kierunku pionowym nie powinno mieć wpływu na zmianę równowagi ciała, jeśli przed tem ta równowaga istniała.

78. Zbadajmy teraz wpływ ruchów obrotowych na stan równowagi ciała, a więc przedewszystkiem obrotu około osi pionowej  $Z$ . Łatwo dostrzeżemy, że przy takim obrocie ani wartość wyporu, ani położenie wyporu względem ciężaru ciała nie zmieniają się. Zatem obrót ciała około osi pionowej nie da powodu do zmiany równowagi ciała pływającego. Inna będzie sprawa przy wykonaniu obrotu ciała około tej czy innej osi poziomej. Część ciała wówczas się zamurzy,

inna się wynurzy i, jakkolwiek wartość wyporu się nie zmieni, to położenie jego może się zmienić; ten właśnie warunek będzie mógł mieć poważny wpływ na równowagę ciała, które dozna małego obrotu około którejkolwiek osi poziomej. Rozważmy tę sprawę szeregółowiej.

79. Niech będzie ciało pływające o przekroju jak na rysunku. Przekrój obrany jest prostopadle do osi, około której mamy wykonać obrót. Niech płaszczyzna pływania będzie  $AB$ ; oś pływania  $OO_1$ . Środek ciężkości  $S$  niech będzie nad środkiem zanurzenia  $C$  w odległości  $c$ .



Na punkt  $S$  działa ciężar ciała  $G$  ku dołowi, na punkt  $C$  działa wypór  $W$  ku górze. -

Wiemy, że

istnieje zależność  $G = W = V\gamma$ , gdzie  $V$  oznacza wyporność. Obróćmy ciało około osi poziomej zgodnie ze strzałką  $(\alpha)$  o bardzo mały kąt  $\varphi$ ; wtedy

płaszczyzną pływania będzie  $A, B_1$ . W nowym położeniu wypór co do wartości powinien zostać takim samym, gdyż w każdym położeniu  $W = G$ . Ponieważ przy założonym obrocie część ciała  $AOA$ , wynurzyła się, a  $BOB$ , zanurzyła się, wypór zaś  $W$  ma się nie zmienić, zatem objętości wynurzonej części  $AOA$ , i zanurzonej  $BOB$ , winny być sobie równe.

Ponieważ, następnie, pole płaszczyzny  $AB$  i pole  $A, B$ , bardzo mało od siebie się różnią, przeto zmiana położenia  $AB$  na  $A, B$ , może być dokonana przez obrócenie ciała około osi, przechodzącej normalnie do rysunku przez środek ciężkości płaszczyzny pływania  $AB$ ; niech to będzie punkt  $O$ .

Po odchyleniu ciała na kąt  $\varphi$ , zaczynają na ciele działać siły  $W$  i  $G$ , tworzące parę o momencie  $W.r = G.r = V_{\beta}.r$ . Aby ciało zostało przywrócone do pierwotnego położenia należy, aby para sił miała obrót w stronę wskazaną strzałką ( $\beta$ ); przy założonym odchyleniu ciała para winna mieć moment ujemny, jak to widać na rysunku. Zatem moment obrotowy pary w przypadku równowagi stałej

$$M = - V_{\beta}.r$$

Ramię  $r$  możemy uważać jako bardzo mały łuk, opisany promieniem  $m$  przy obrocie o kąt  $\varphi$ , zatem

$r = m\varphi$  więc para szukana

$$M = - V_x \cdot m \cdot \varphi.$$

Znajdźmy inne wyrażenie na moment tej pary, która winna przywrócić ciało do poprzedniego położenia. Na ciało po odchyleniu go działają następujące siły: ciężar  $G$ , przyłożony do punktu  $S$  i wypór  $V_x$ , przyłożony do punktu  $C$ .

Wypór  $V_x$ , pierwotnie był przyłożony do punktu  $C$ , po odchyleniu przesunął się do  $C'$ , dla tego, że część ciała  $AOA_1$  wynurzyła się; z tego więc powodu zmniejszył się wypór  $V_x$  o wypór odpowiadający wynurzonej części  $AOA_1$ ; niech to będzie wypór  $W_1$ . Następnie, objętość ciała  $BOB_1$  zanurzyła się, skutkiem tego powstał nowy wypór, odpowiadający zanurzonej części  $BOB_1$ . Niech to będzie wypór  $W_2$ . Z poprzedniego wynika, że

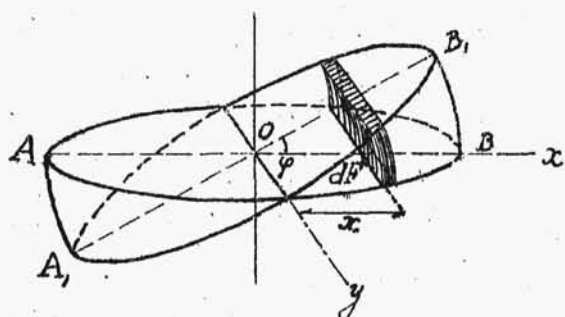
$W_1 = W_2$ . Jeślibyśmy dodali razem wypór  $V_x$ , przyłożony w  $C$  z wyporami  $W_1$  i  $W_2$ , przyłożonemi do właściwych środków zanurzenia, otrzymalibyśmy wypór  $V_x$ , przyłożony w punkcie  $C$ .

Po tem, co wyżej powiedziano, możemy przyjąć, że na odchylone ciało działają 4 siły: ciężar

$G$ , przyłożony do punktu  $S$ , wypór  $V_x$ , przyłożony do  $C$ , wreszcie wypory  $W_1$  i  $W_2$ ;

z nich  $W_1$  skierowany jest w stronę przeciwną, a  $W_2$  w tę samą stronę, co  $V_p$ . Te cztery siły razem złożone dadzą szukaną parę. Moment pary otrzymamy, biorąc sumę momentów statycznych powyższych sił względem jakiegokolwiek punktu, a więc np. względem punktu  $O$ .

Zróbmy to: Moment stat. ciężaru  $Q = -Gu\varphi$ ; mom. stat. wyporu  $V_p$ , przyłożonego do  $C$  jest =  $= V_p(c+u)\varphi$ . Znajdźmy teraz momenty statyczne wyporów  $W_1$  i  $W_2$  względem  $O$ . Zaczniemy od wyporu  $W_2$ .



rys. 39.

Moment statyczny wyporu  $W_2$  otrzymamy jako sumę momentów elementarnych wyporów. Elementarny wypór możemy sobie przedstawić

jako ciężar cieczy, wziętej w objętości, opisanej przez element pola  $dF$  obrany w płaszczyźnie pływania/ podczas obrotu tego elementu o bardzo mały kąt  $\varphi$ . Niech obrany element  $dF$  znajduje się w odległości  $x$  od osi obrotu. Podczas obrotu element  $dF$  przejdzie drogę  $x\varphi$ , opisując objętość

$= dF \cdot x \cdot \varphi$  . Objętości tej odpowiada wypór =  
 $= \gamma \cdot dF \cdot x \cdot \varphi$  ; moment statyczny tego wyporu  
 względem osi obrotu =  
 $= - \gamma \cdot dF \cdot x \cdot \varphi \cdot x = - \gamma \cdot dF \cdot \varphi \cdot x^2$  .

Moment całego wyporu  $W_2$  znajdziemy, jako sumę  
 elementarnych wyporów, obliczonych jak powyżej,  
 zatem moment statyczny wyporu

$$W_2 = - \int \gamma dF \cdot x^2 \varphi = - \gamma \cdot \varphi \int dF \cdot x^2,$$

gdzie całka jest rozszerzona na tę część pola  
 płaszczyzny pływania, która znajduje się po prawej  
 stronie osi obrotu.

Łatwo dostrzeżemy, że w podobny sposób da się  
 wyrazić moment statyczny wyporu  $W_1$ , trzeba tylko  
 będzie całkę rozszerzyć na lewą część pola  $F'$  . -  
 Znak momentu wyporu  $W_1$  będzie również taki sam,  
 jak i wyporu  $W_2$  . Możemy więc określić sumę mo-  
 mentów statycznych wyporów  $W_1$  i  $W_2$  odrazu, pisząc  
 moment statyczny wyporu  $W_1$  + moment statyczny w-  
 poru  $W_2 = - \gamma \cdot \varphi \int dF \cdot x^2$  , jeśli rozumieć będziemy  
 że całka rozszerza się teraz na c a ł e pole  
 $F'$  płaszczyzny pływania. Wyrażenie  $\int dF \cdot x^2$   
 nie jest niczem innym, jak momentem bezwładności  
 pola płaszczyzny pływania względem osi obrotu.

Oznaczmy ten moment przez  $J_0$ .

Zesumujmy wszystkie znalezione momenty; otrzymamy moment pary wypadkowej:

$$- G \cdot u \cdot \varphi + Vx \cdot (c + u) \varphi - x \varphi \cdot J_0$$

Wartość tego momentu znaleźliśmy poprzednio w innej postaci; mianowicie  $-Vx \cdot m \varphi$ , zatem znajdziemy:

$$-Vx \cdot m \varphi = -Gu \varphi + Vx(c + u) \varphi - x \varphi \cdot J_0$$

ponieważ wypór  $Vx = G$ , więc

$$-Vx \cdot m \varphi = -Vx \cdot u \varphi + Vx \cdot c \varphi + Vx \cdot u \varphi - x \varphi \cdot J_0$$

albo po redukcji i skróceniu przez  $x \varphi$ , znajdziemy:

$$m = \frac{J_0}{V} - c \dots\dots\dots/33/$$

Stąd otrzymujemy możliwość znalezienia miejsca metacentrum.

80. Z równania /33/ widzimy: aby para, która powstanie po odchyleniu ciała, mogła przywrócić ciało do pierwotnego położenia, należy, aby  $m > 0$ , czyli  $\frac{J_0}{V} - c > 0$ , albo

$$c < \frac{J_0}{V} \dots\dots\dots/34/$$

Jeśli chodzi o równowagę stałą ciała pływającego,

zapewnioną przy odchyleniach około różnych osi poziomych, winien być zachowany powyższy warunek /34/ dla wszystkich osi. Najbardziej niebezpieczny będzie stan równowagi przy obrocie około tej osi, względem której  $J_0$  będzie najmniejszy.

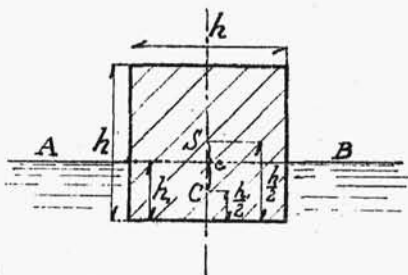
Zatem powiemy, że dla równowagi stałej powinien być zachowany warunek:

$$c < \frac{J_{0 \min}}{V} \dots \dots \dots /35/$$

Dla statków, które mają budowę wydłużoną  $J_{0 \min}$  będzie właśnie względem osi podłużnej statku.

-----

81. PRZYKŁAD 11. Mamy belkę o przekroju kwadratowym /bok kwadratu jest  $h$  i długość  $L$  /. Niech



rys.40.

belka pływa w ten sposób, że dwie jej ściany są poziome. Znaleźć przy jakich warunkach będzie równowaga stała. Oznaczmy ciężar właściwy cieczy przez  $\gamma$  i ciężar

właściwy ciała przez  $\gamma_1$ . Przypuśćmy, że belka zanurza się na głębokość  $h_1$ .

Wyporność  $V = h_1 h L$  ; wypór  $W = V \gamma = h_1 h L \gamma$  ;  
ciężar belki  $= h^2 L \gamma_1$ .