



§ 29.

Дзеянне вадкасці і газу на апушчаныя ў іх целы.

Выштурхвальная сіла. Закон Архімеда

Да гэтага часу мы разглядалі раўнавагу цел, не ўлічваючы ўплыў асяроддзя (вадкасці, газу), у якім яны знаходзяцца. А як уплывае асяроддзе на раўнавагу цел?



Мал. 210

Апушчаны ў вадку мяч усплывае, паветраныя шары (мал. 210, а) падымаюцца ўверх, шары-зонды (мал. 210, б) ляцяць на велізарную вышыню. Якая сіла накіроўвае іх уверх?

Правядзём дослед. Да дынамометра падвесім пластылінавы брусок (мал. 211, а). Апусцім брусок у вадку (мал. 211, б). Паказанні дынамометра паменшацца. Значыць, на апушчанае цела з боку вадкасці дзейнічае накіраваная ўверх *выштурхвальная сіла*. Яе значэнне роўна рознасці паказанняў дынамометра перад і пасля апускання цела.

Ад чаго залежыць выштурхвальная сіла?

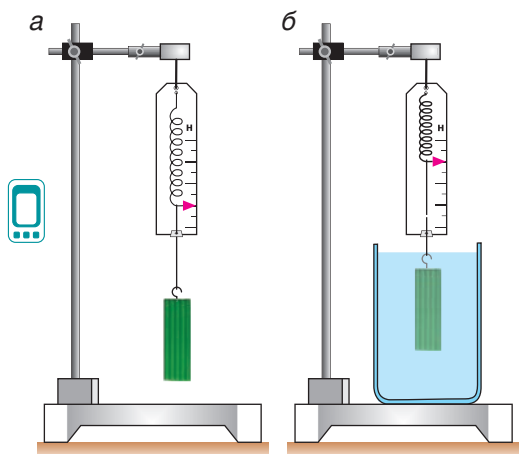
Параўнаем значэнні выштурхвальнай сілы пры поўным (мал. 211, б) і частковым (мал. 212) апусканні бруска. Мы пераконваемся, што *выштурхвальная сіла тым большая, чым большы аб'ём апушчанай у вадкасць часткі цела*.

А ці залежыць выштурхвальная сіла ад шчыльнасці вадкасці? Працягнем доследы. Апусцім пластылінавы брусок у раствор паваранай солі. Павышаючы канцэнтрацыю солі, будзем павялічваць шчыльнасць раствору. Дослед паказвае: *пры павелічэнні шчыльнасці вадкасці, выштурхвальная сіла нарастае*.

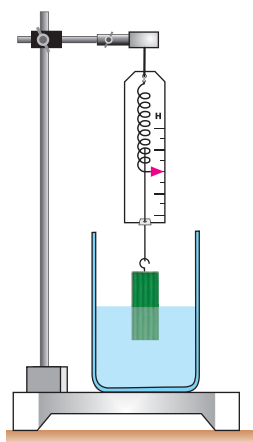
Такім чынам, *выштурхвальная сіла тым большая, чым большы аб'ём апушчанай у вадкасць часткі цела і чым большая шчыльнасць вадкасці*.

Выштурхвальная сіла дзейнічае і на целы, якія знаходзяцца ў газе (мал. 213, а, б).

А як на выштурхвальную сілу ўплывае шчыльнасць газу? Правядзём дослед. Ураўна-



Мал. 211



Мал. 212

важым з дапамогай рычажных вагаў закрытую шкляную колбу, змешчаную ўнутр пасудзіны (мал. 213, а), а затым нальём у гэту пасудзіну вуглякіслы газ (мал. 213, б). (Газы таксама можна пераліваць!) Паколькі шчыльнасць вуглякіслага газу большая, чым шчыльнасць паветра, ён выцесніць паветра з пасудзіны і зойме яго месца. Раўнавага вагаў парушыцца (мал. 213, б), паказваючы на тое, што ў вуглякіслым газе выштурхвальная сіла большая, чым у паветры.

Такім чынам, і ў газах выштурхвальная сіла расце з павелічэннем шчыльнасці асяроддзя.

Чаму ўзнікае выштурхвальная сіла? Як яе разлічыць?

Для прастаты разлікаў разгледзім апушчанае ў вадкасць цела, якое мае форму прамавугольнага паралелепіпеда. На малюнку 214 паказаны сілы, з якімі вадкасць шчыльнасцю ρ дзейнічае на цела. Кожная з сіл перпендыкулярна той паверхні, да якой яна прыкладзена.

Сілы ціску вадкасці, якія дзейнічаюць на бакавыя сценкі, толькі сціскаюць цела, але не выштурхваюць яго. Выштурхвальная сіла ўзнікае з-за таго, што накіраваная ўверх сіла ціску вадкасці \vec{F}_2 большая за сілу \vec{F}_1 , накіраваную ўніз. У выніку модуль выштурхвальнай сілы

$$F_{\text{вышт}} = F_2 - F_1. \quad (1)$$

З 7-га класа вы ведаеце, што сіла ціску F , з якой вадкасць дзейнічае на паверхню плошчай S , роўна pS , дзе p — ціск вадкасці. Значыць,

$$F_{\text{вышт}} = p_2 S - p_1 S = (p_2 - p_1)S, \quad (2)$$

дзе p_1 — ціск на глыбіні h_1 , а p_2 — на глыбіні h_2 (мал. 214). Вам вядома таксама, што пры павелічэнні глыбіні апускання на h ціск нарастае на $\rho_v g h$. Тады

$$p_2 - p_1 = \rho_v g h, \quad (3)$$

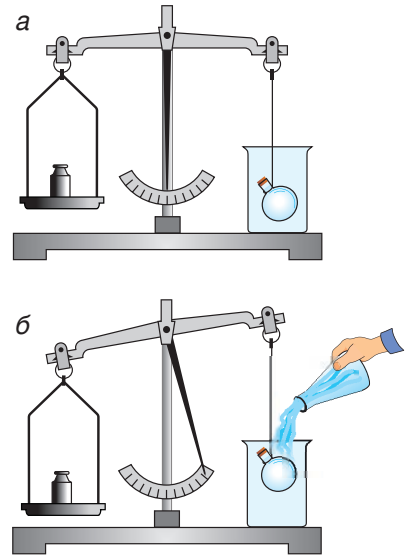
дзе $h = h_2 - h_1$ — гэта вышыня цела (мал. 214).

З (2) і (3) вынікае

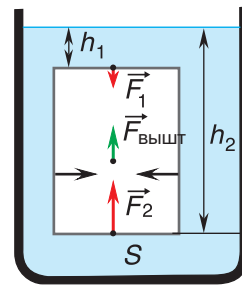
$$F_{\text{вышт}} = \rho_v g h S.$$

Але $h \cdot S = V_{\text{апушч}}$ — аб'ём апушчанага ў вадкасць цела. Такім чынам:

$$F_{\text{вышт}} = \rho_v g V_{\text{апушч}}.$$



Мал. 213



Мал. 214

Здабытак $\rho_v V_{\text{апушч}}$ роўны m_v — масе вадкасці, якую выціснула цела пры яго апусканні, а $\rho_v g V$ роўна $m_v g$, г. зн. *вазе выцесненай вадкасці*. У выніку выштурхвальная сіла:

$$F_{\text{вышт}} = \rho_v g V_{\text{апушч}} = m_v g . \quad (4)$$

На цела, апушчанае ў вадкасць (газ), дзейнічае выштурхвальная сіла, накіраваная вертыкальна ўверх і роўная вазе вадкасці (газу), выціснутага целам.

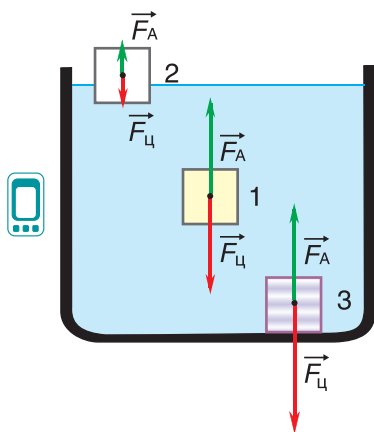
Гэта сцверджанне называюць *законам Архімеда*, а выштурхвальную сілу — *сілай Архімеда* (і абазначаюць яе F_A), у гонар выдатнага старажытнагрэчаскага вучонага, які адкрыў гэты закон за 250 гадоў да н. э.

Мы вывелі формулу (4), разглядаючы цела ў форме паралелепіпеда. Шматлікія доследы паказваюць: *закон Архімеда можна прымяняць да цел любой формы, апушчаных у вадкасць або газ цалкам або часткова*.

Падрэслім, што пры частковым апусканні цела ў формуле (4) пад аб'ёмам $V_{\text{апушч}}$ трэба разумець *аб'ём апушчанай у вадкасць часткі цела*.

Цяпер адкажам яшчэ на адно пытанне. Чаму целы, апушчаныя ў вадкасць, напрыклад у ваду, паводзяць сябе па-рознаму: адны з іх (камяні, металічныя прадметы) тонуць, іншыя (кавалкі дрэва, пенапласту, корка) — плаваюць, часткова апусціўшыся ў ваду, а трэція (рыбы, падводныя лодкі) — плаваюць у тоўшчы вады?

Правядзём дослед. Апусцім у шклянку з салёнай вадой (мал. 215) кубікі з сырой бульбы (1), пенапласту (2) і пластыліну (3). Пластылінавы кубік апусціцца на дно, пенапластавы — усплые, а кубік з бульбы (пры пэўнай канцэнтрацыі солі ў вадзе) застанецца ўнутры вадкасці.



Мал. 215

У чым прычына гэтага адрознення? Усё залежыць ад суадносін шчыльнасці цела і шчыльнасці вадкасці. У нашым доследзе шчыльнасць салёнай вады $\rho_v = 1,1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, пластыліну — $\rho_{\text{пл}} = 1,4 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, сырой бульбы — $\rho_b = 1,1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, пенапласту — $\rho_{\text{пен}} = 0,2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Параўнаўшы шчыльнасць вадкасці ρ_v са шчыльнасцю цел $\rho_{\text{ц}}$, зробім вывад, што аднароднае цела:

- пры $\rho_{\text{ц}} > \rho_v$ патоне ў вадкасці;
- пры $\rho_{\text{ц}} = \rho_v$ будзе ў стане раўнавагі на любой глыбіні ўнутры вадкасці;

• пры $\rho_{\text{ц}} < \rho_{\text{в}}$ усплыве і будзе знаходзіцца ў стане раўнавагі, часткова апусціўшыся ў вадкасць.

Растлумачце вынікі доследу (мал. 215), параўнаўшы сілу цяжару $F_{\text{ц}}$ кожнага з цел з сілай Архімеда $F_{\text{А}}$.

Галоўныя вывады

1. Выштурхвальная сіла (сіла Архімеда) ёсць вынік дзеяння сіл ціску вадкасці (газу) на апушчанае ў яе цела.
2. Закон Архімеда: «На цела, апушчанае ў вадкасць (газ), дзейнічае выштурхвальная сіла, накіраваная вертыкальна ўверх і роўная вазе вадкасці (газу), выцесненай целам».
3. Аднароднае цела тоне ў вадкасці, калі шчыльнасць цела большая за шчыльнасць вадкасці, знаходзіцца ў раўнавазе ўнутры вадкасці, калі іх шчыльнасці роўныя, і знаходзіцца ў стане раўнавагі, часткова апусціўшыся ў вадкасць, калі шчыльнасць цела меншая за шчыльнасць вадкасці.

? Кантрольныя пытанні

1. Якія сілы дзейнічаюць на цела, што знаходзіцца ўнутры вадкасці?
2. Ад чаго залежыць значэнне выштурхвальнай сілы, якая дзейнічае на цела, апушчанае: а) у вадкасць; б) у газ?
3. Ці будзе змяняцца выштурхвальная сіла, якая дзейнічае на аквалангіста, па меры яго паступовага апускання ў ваду?
4. Чаму на кубікі (гл. мал. 215) дзейнічаюць розныя выштурхвальныя сілы? Параўнайце $F_{\text{вышт}}$ і $F_{\text{ц}}$ для кожнага з кубікаў.
5. Выкарыстоўваючы закон Архімеда, дакажыце, што пры $\rho_{\text{ц}} < \rho_{\text{в}}$ аб'ём апушчанай у вадкасць часткі цела $V_{\text{апушч}} = \frac{m}{\rho_{\text{в}}}$, дзе m — маса цела.

→ Дамашняе заданне

Пакладзіце на дно кружкі сырое курынае яйка. Наліце ў кружку вады. Паступова дабаўляйце ў ваду соль, размешваючы раствор. Назірайце за становішчам яйка. Растлумачце вынікі назіранняў.