



§ 33.

Газы і іх вага

Тое, што вадкасць мае вагу, нікога не здзіўляе. Кожны з вас адчуваў вагу, трымаючы ў руцэ вядро вады (мал. 196), бутэльку алею ці напітку. Аднак мы не адчуваем змянення вагі футбольнага мяча пры яго напампоўванні паветрам. Чаму?

Паглядзіце ў табліцу шчыльнасцей (с. 73) і параўнайце шчыльнасць паветра і вады. Шчыльнасць паветра амаль у 800 разоў меншая за шчыльнасць вады.

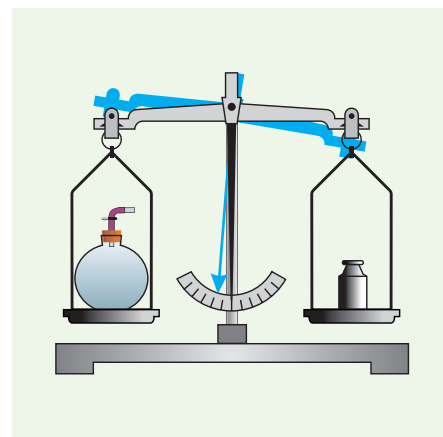
Разлікі паказваюць, што, напрыклад, у моцна напампаваным мячы вага паветра знаходзіцца ў межах 0,1 Н, а яго маса каля 10 г.

Пакажам на доследзе наяўнасць у паветра масы, а значыць, вагі. Ураўнаважым на вагах шклянную пасудзіну, запоўненую паветрам. Адпампуем паветра і ўзважым пасудзіну паўторна. Яна стала легчэйшай (мал. 197). Дадаўшы на шалю з пасудзінай гіры, можна вызначыць масу адпампаванага паветра і яго вагу.

Паветраны слой, які акружае Зямлю (зямная атмасфера), таксама мае вагу. На кожную малекулу гэтага слоя сілай цяжару дзейнічае Зямля. Малекулы зямной атмасферы, калі б на іх не дзейнічала сіла цяжару, рухаючыся хаатычна, даўно б пакінулі нашу планету. Але прыцягненне Зямлі імкнецца размясціць іх каля паверхні, што прыводзіць да неаднароднасці атмасферы. Яе шчыльнасць прыкметна спадае з вышынёй. Так, на вышыні $h_1 = 6$ км шчыльнасць паветра ўжо ў 2 разы меншая, чым каля паверхні Зямлі. На вышыні $h_2 = 40$ км шчыльнасць $\rho_2 = 0,004 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, а на вышыні $h_3 = 400$ км, дзе лятаюць спадарожнікі, аб атмасферы можна гаварыць толькі ўмоўна, паколькі яе шчыльнасць $\rho_3 = 3 \cdot 10^{-12} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.



Мал. 196



Мал. 197

■ Галоўныя вывады

1. Газы маюць масу і вагу.
2. Зямная атмасфера валодае вагой у выніку дзеяння на яе прыцяжэння Зямлі.
3. Дзеянне сілы цяжару і хаатычны рух малекул прыводзяць да неаднолькавай шчыльнасці зямной атмасферы.

? Кантрольныя пытанні

1. Як даказаць, што газ (паветра) мае масу?
2. Чаму пры ўказанні шчыльнасці газу агаворваюць умовы, пры якіх знаходзіцца газ?
3. Чаму газы часцей за ўсё выкарыстоўваюць сціснутымі?
4. Як змяняецца шчыльнасць паветра са змяненнем вышыні? Чаму?

▼ Для дапытлівых

Звярніце ўвагу на тое, што прыведзеныя ў табліцы 3 (с. 73) шчыльнасці газаў даюцца пры нармальных умовах, г. зн. пры строга вызначанай тэмпературы і ціску. Пры сцісканні газаў (і звычайнага паветра) іх шчыльнасці могуць павялічвацца ў шмат разоў. Такія моцна сціснутыя газы, па-першае, вельмі зручныя пры транспарціроўцы, напрыклад у балонах з кіслародам для зваркі або ў балонах аквалангістаў. Па-другое, сціснутыя да высокага ціску газы зручна выкарыстоўваць пры працы адбойнага малатка і пнеўматычных (ад грэч. *pnéuma* — подых, дыханне) тармазоў. Такія тармазы ўсталёўваюць на магутных аўтамабілях, у тым ліку на аўтамабілях МАЗ і БелАЗ. Прылады для сціскання розных газаў называюць *кампрэсарамі*.





§ 34.

Атмасферны ціск

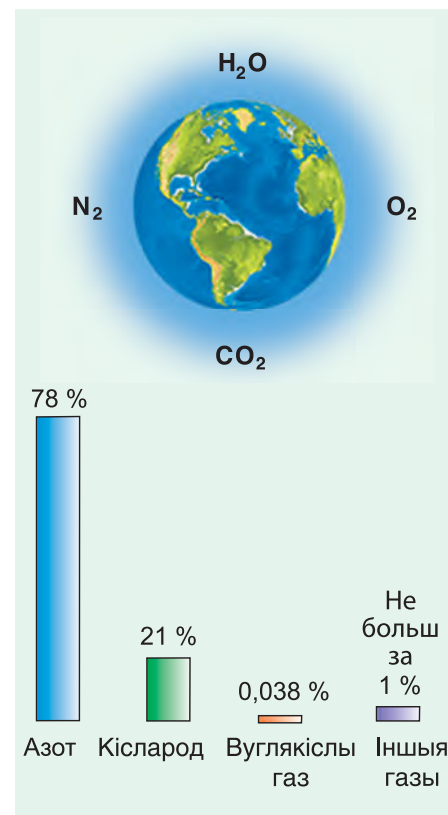
Вы ведаеце, што атмосфера Зямлі — газавая абалонка. У яе склад уваходзяць азот, кісларод, вуглякіслы газ, вадзяная пара і іншыя газы (мал. 198).

Усякі газ, калі ён знаходзіцца ў пасудзіне, стварае ціск на сценкі пасудзіны, паколькі малекулы газу бесперапынна бамбардзіруюць гэтыя сценкі. А ці стварае ціск атмосфера Зямлі? Чым абумоўлены гэты ціск?

Атмосфера Зямлі ўтрымліваецца сілай цяжару, якая дзейнічае з боку Зямлі. У выніку дзеяння гэтай сілы верхнія слаі атмасферы ціснучь на ніжнія. Таму яе ніжні слой аказваецца найбольш сціснутым. Ціск аднаго слоя атмасферы на другі па законе Паскаля перадаецца па ўсіх напрамках і дзейнічае на любое цела: на будынкі, на расліны, на людзей. Гэты ціск называюць *атмасферным*. Атмасферны ціск па меры аддалення ад паверхні Зямлі памяншаецца. Памяншаецца таўшчыня слоя паветра і яго шчыльнасць.

Атмасферны ціск можна вылічыць. Вынік гэтых разлікаў не можа не здзіўляць. Атмасферны ціск роўны прыкладна $100\,000 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$. Значыць, на кожны квадратны сантыметр нашага цела дзейнічае сіла 10 Н, а на ўсю плошчу паверхні цела (прыем яе за 1 м^2) — сіла 100 000 Н. Яна роўна вазе дзесяцітоннага МАЗа! Як жа мы жывём пад такім гіганцкім ціскам?

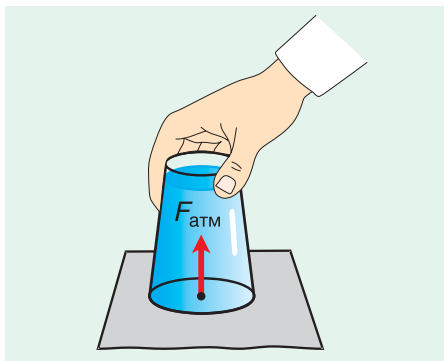
Успомніце глыбакаводных рыб (мал. 199). Падобна да іх, мы проста не заўважаем гэтай велізарнай сціскаючай сілы. Яна кампенсуецца роўнай ёй расшыраючай сілай, якая ствараецца ціскам паветра ўнутры нас (яно растварана нават у нашай крыві).



Мал. 198



Мал. 199



Мал. 200



Мал. 201



Мал. 202

Дык што ж, атмасферны ціск наогул нельга выявіць? Для адказу на гэтае пытанне звернемся да доследу. Возьмем шклянку з вадой, накрыйем яе аркушам паперы, перавярнем, прытрымліваючы рукой аркуш, а затым прыем руку (мал. 200). Мы бачым, што вада са шклянкі не выліваецца, аркуш не адрываецца. Сіла атмасфернага ціску, прыкладзеная да аркуша паперы, кампенсуе дзеянне вагі налітай вады і разрэджанага паветра ў шклянцы.

Апусціце іголку шпрыца ў падфарбаваную ваду і падымайце поршань уверх. Вы ўбачыце, што вадкасць падымаецца следам за поршнем (мал. 201) у напрамку, процілеглым дзеянню сілы цяжару. Сіла атмасфернага ціску прымушае сок падымацца ўверх па трубачцы (мал. 202). Прыкладаў праяўлення дзеяння атмасфернага ціску шмат.

Як вымераць атмасферны ціск? Разгледзім найбольш важны з доследаў, праведзены ў 1643 г. па прапанове італьянскага фізіка і матэматыка Эванджэлісты Тарычэлі (гл. форзац 1).

У гэтым доследзе метровая шкляная трубка, запаяная з аднаго боку (мал. 203, а), запаўнялася ртутцю. Верхні канец трубка закрываўся. Трубка пераварочвалася і апускалася ў шырокую пасудзіну з ртутцю, пасля чаго адтуліна адкрывалася. Частка ртутці выцякала з трубка ў пасудзіну. У трубцы заставаўся слуп ртутці вышынёй H каля 76 см (760 мм) (мал. 203, б).

Што ж утрымлівала ад выцякання ртуть, якая засталася ў трубцы? Широкая пасудзіна і трубка — гэта, па сутнасці, ужо вядомыя вам сазлучаныя сасуды. Над ртутцю ў трубцы паветра няма. На ртуть у шырокай пасудзіне дзейнічае атмасферны ціск, які вадкая ртуть перадае па ўсіх напрамках, у тым ліку ўверх. Сіла гэтага ціску і падтрымлівае ртутны слуп.

Разгледзім умовы раўнавагі тонкага слоя ртуці (на малюнку 203, *б* ён пазначаны жоўтым колерам). Гэта ўмова патрабуе, каб сіла атмасфернага ціску знізу і сіла гідрастатычнага ціску слупа ртуці зверху былі роўнымі. А гэта значыць, што $p_{\text{атм}} = p_{\text{гідраст}}$. Такім чынам, вымераўшы вышыню слупа ртуці H , мы можам разлічыць яго ціск па формуле $p_{\text{гідраст}} = g\rho H$ і тым самым вызначыць велічыню атмасфернага ціску.

Паколькі атмасферны ціск вызначаецца вышынёй слупа ртуці, то зразумела, чаму вельмі часта яго вымяраюць не ў міжнародных адзінках (паскалях), а ў міліметрах ртутнага слупа.

Выразім у паскалях пазасістэмную адзінку ціску 1 міліметр ртутнага слупа (скарочана 1 мм рт. сл.):

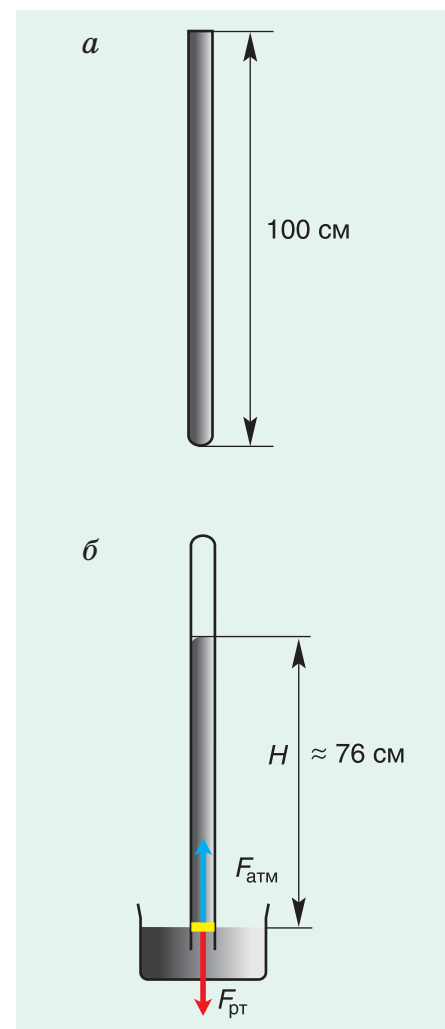
$$p_{1 \text{ мм рт. сл.}} = g\rho h = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 13\,600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,001 \text{ м} \approx 133 \text{ Па.}$$

Па дамоўленасці атмасферны ціск лічаць нармальным, калі ён роўны ціску слупа ртуці вышынёй $h = 760$ мм пры тэмпературы $t = 20$ °С. Такі ціск называюць *адной нармальнай або фізічнай атмасферай* (скарочана 1 атм):

$$1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. сл.} = 101\,293 \text{ Па.}$$

У большасці выпадкаў мы будзем карыстацца акругленым значэннем: $1 \text{ атм} \approx 100 \text{ кПа}$.

Атмасферны ціск адыгрывае вельмі важную ролю ў працы шматлікіх бытавых і тэхнічных прылад. Ён ляжыць у аснове работы піпеткі, шпрыца і інш. Знаёмыя многім гумавыя прысоскі (мал. 204) выкарыстоўваюцца як у быце, так і на заводах для пераносу складанейшых вузлоў электронікі, дотык да якіх (нават у пальчатках) зусім недапушчальны.



Мал. 203



Мал. 204

■ Галоўныя вывады

1. Утрымліваемая зямным прыцяжэннем атмасфера Зямлі стварае ціск.
2. Чалавек не адчувае атмасфернага ціску, паколькі ціск дзейнічае як звонку, так і знутры яго.
3. За нармальны атмасферны ціск прыняты ціск слупа ртуці вышынёй 760 мм.

? Кантрольныя пытанні

1. Што называецца атмасферным ціскам?
2. У чым прычына існавання атмасфернага ціску?
3. У чым значэнне доследу Тарычэлі?
4. Назавіце ўсе вядомыя вам адзінкі атмасфернага ціску.

➔ Дамашняе заданне

Наліце ў пластыкавую бутэльку гарачай вады. Праз мінуту выліце ваду і закрыйце бутэльку накрыўкай. Бутэльку астудзіце. Растлумачце прычыну дэфармацыі бутэлькі.

▼ Для дапытлівых

У сярэдзіне XVII ст. у нямецкім горадзе Магдэбургу вучоны Ота фон Герыке правёў дослед-спектакль. З прасторы паміж двума аднолькавымі меднымі паўшар'ямі было адпампавана паветра. Для разрыву паўшар'яў, г. зн. для пераадолення сіл атмасфернага ціску, спатрэбілася 8 пар самых моцных коней. Разрыў суправаджаўся моцным воплескам, падобным да гуку стрэлу.



Практыкаванне 15

1. Чаму цяжка піць сок з бутэўкі або пакета, не ўпускаючы ў іх паветра?

2. Чаму абсалютна недапушчальная страта герметычнасці скафандра касманаўта, які працуе ў адкрытым космасе?

3. Выразіце ў кілапаскалях атмасферны ціск:

а) $p_1 = 10$ м вадзянога слупа;

б) $p_2 = 750$ мм рт. сл.

4. Вызначыце вышыню слупа ртуці, які ўраўнаважваецца атмасферным ціскам $p = 100$ кПа.

5. Чаму ў доследзе Тарычэлі выкарыстоўвалася ртуть, а не вада?

6. Пры якім значэнні атмасфернага ціску на вокладку кнігі, якая ляжыць на сталі і мае плошчу паверхні $S = 4,0$ дм², дзейнічае сіла ціску $F = 3,6$ кН?

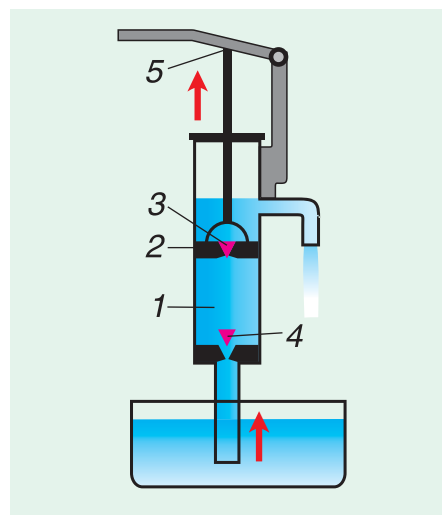
 7. Растлумачце прынцып дзеяння піпеткі (мал. 205).

 8. На малюнку 206 схематычна паказана будова ўсмоктвальнай помпы: 1 — цыліндрычная трубка; 2 — поршань; 3, 4 — металічныя клапаны; 5 — шток і ручка. Як працуе помпа?

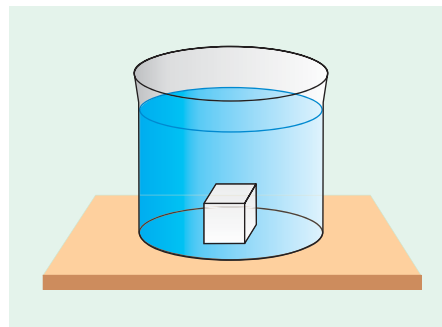
 9. Кубік з кантам, роўным $a = 50$ мм, масай $m = 900$ г ляжыць на дне пасудзіны (мал. 207), у якую наліта вада на вышыню $h = 15$ см. Вызначыце вертыкальную сілу, якую трэба прыкладзіць ў цэнтры верхняй грані кубіка, каб адарваць яго ад дна. Вада пад кубік не пранікае. Атмасферны ціск $p = 760$ мм рт. сл. Каэфіцыент g прыміце роўным $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.



Мал. 205



Мал. 206



Мал. 207



§ 35.

Вымярэнне атмасфернага ціску. Барометры і манометры



Мал. 208



Мал. 209

Штодзень мы атрымліваем інфармацыю аб велічыні атмасфернага ціску і яго змяненні. Чаму ён не з'яўляецца пастаянным? Чаму на розных тэрыторыях Зямлі ціск розны? Як ціск залежыць ад вышыні?

Атмасферны ціск залежыць ад складу паветра. Так, напрыклад, пры паступленні вільготнага паветра, насычанага вадзянымі парамі, ціск памяншаецца. Гэта абумоўлена тым, што маса малекул вады прыкметна меншая за масу іншых малекул атмасферы — азоту, кіслароду і інш.

Найбольш сціснутымі, а значыць, больш шчыльнымі з'яўляюцца слаі атмасферы, якія прылягаюць да паверхні Зямлі. Такім чынам, значэнне атмасфернага ціску залежыць ад вышыні мясцовасці над узроўнем мора. На вяршыні самай высокай ($h = 8848$ м) гары Эверэст (мал. 208) ціск амаль у 3 разы меншы, чым каля яе падножжа.

Вада, як і іншыя вадкасці, практычна несціскаемая. Таму ціск вадкасці ад вышыні слупа залежыць прама прапарцыянальна ($p = g\rho h$). Залежнасць жа атмасфернага ціску ад вышыні апісваецца значна больш складанай формулай. Аднак для разлікаў, якія не патрабуюць вялікай дакладнасці (пры не вельмі вялікіх вышынях), можна лічыць, што пры пад'ёме на кожныя 12 м ціск памяншаецца на 1 мм рт. сл. Залежнасць ціску ад вышыні можна выкарыстоўваць для вымярэння вышыні пад'ёму (альпіністаў, лятальных апаратаў).

Так, калі пры пад'ёме ціск паменшыўся на 20 мм рт. сл., то гэта значыць, што вышыня пад'ёму:

$$h \approx 20 \text{ мм рт. сл.} \cdot 12 \frac{\text{м}}{\text{мм рт. сл.}} \approx 240 \text{ м.}$$

Прыборы, што вымяраюць вышыню па такім прынцыпе, называюць *альтыметрамі* (мал. 209) (ад лац. *altus* — высокі і *metron* — мера).

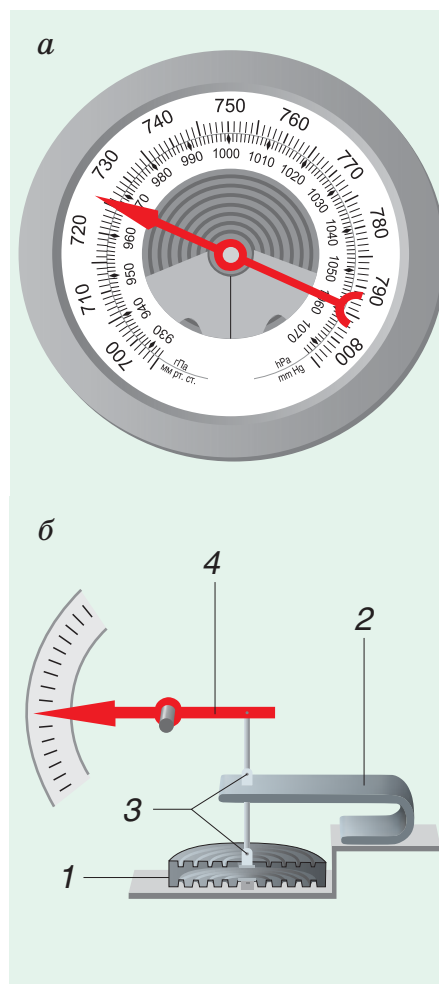
Атмасферны ціск вымяраюць *барометрамі* (ад грэч. *baros* — цяжар і *metron* — мера). Найпрасцейшым барометрам з'яўляецца пасудзіна з ртуццю і трубка, якія выкарыстоўваюцца ў доследзе Тарычэлі (гл. мал. 203). Аднак ртутныя барометры не знаходзяць шырокага прымянення, хаця маюць высокую дакладнасць. Пары ртуці шкодныя для чалавека. На практыцы ў асноўным карыстаюцца металічным барометрам — *анероідам*. Хоць ён менш дакладны, чым ртутны, але зусім бяспечны.

Знешні выгляд і ўнутраная будова барометра-анероіда прадстаўлены на малюнку 210, а, б. Галоўнай часткай анероіда з'яўляецца металічная скрыначка 1 з хвалістымі (гафрыраванымі) верхняй і ніжняй паверхнямі. Павебра са скрыначкі адпампавана да вялікага разраджэння.

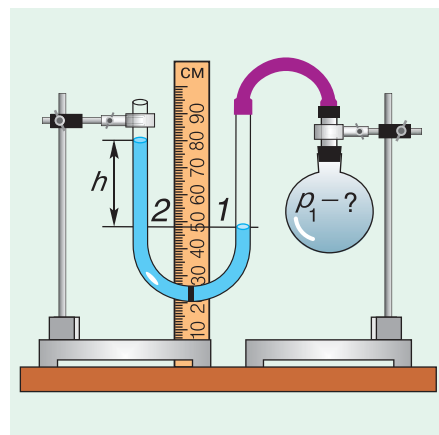
Калі павышаецца ціск звонку корпуса, г. зн. атмосферны ціск, то гафрыраваныя паверхні скрыначкі прагінаюцца ўнутр і цягнуць прымацаваную да іх пругкую пласцінку 2. Памяншэнне атмасфернага ціску вяртае гафрыраваную паверхню ў зыходны стан. Калі ціск далей памяншаецца, то паверхня выпінаецца ўверх. Стрэлка барометра 4 пры дапамозе перадачнага механізма 3 апускаецца па шкале супраць гадзіннікавай стрэлкі, паказваючы памяншэнне ціску.

Шкалу анероіда папярэдне градуіруюць, г. зн. наносзяць дзяленні па паказаннях ртутнага барометра. Значэнні ціску на шкале выражаюць у міліметрах ртутнага слупа і ў гектапаскалях (гПа).

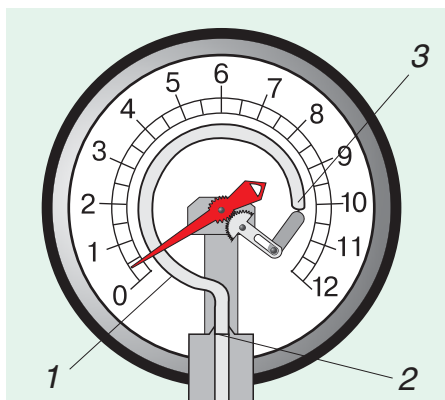
Для вымярэння рознасці паміж ціскам у пасудзіне і атмосферным ціскам выкарыстоўваюць *манометры* (ад грэч. *manos* — няшчыльны і *metron* — мера). Найпрасцейшы манометр — вадкасны. Ён уяўляе сабой U-падобную трубку з вадкасцю (мал. 211). Адно калена трубка далучаецца да пасудзіны, ціск у якой трэба вымераць. Другое калена адкрытае. Калі ўзровень паверхні вадкасці



Мал. 210



Мал. 211



Мал. 212



Мал. 213

ў калене, злучаным з пасудзінай, ніжэйшы, чым у адкрытым, значыць, ціск газу p_1 у пасудзіне большы за атмасферны p_0 на велічыню ціску слупа вадкасці вышынёй h , г. зн. $p_1 - p_0 = g\rho h$.

А калі ціск газу ў некалькі разоў большы за атмасферны? Для вымярэння высокіх ціскаў выкарыстоўваюць металічны манометр (мал. 212). Яго асноўным элементам з'яўляецца полая танкаценная металічная трубка 1, сагнутая ў дугу. Адзін канец 3 трубкаі закрыты, другі 2 далучаецца да пасудзіны з газам. Закрыты канец 3 праз зубчасты механізм злучаны са стрэлкай, якая рухаецца адносна шкалы. Чым большы ціск у трубцы (а значыць, у пасудзіне), тым больш выпростваецца трубка і тым больш адхіляецца стрэлка. Нуль на шкале адпавядае атмасфернаму ціску. Значыць, калі стрэлка стаіць на лічбе «8», ціск у пасудзіне ў 9 разоў большы за атмасферны. Менавіта такую будову мае манометр для кантролю ціску ў аўтамабільных шынах (мал. 213).

Галоўныя вывады

1. Атмасферны ціск залежыць ад вышыні мясцовасці і метэаўмоў.
2. Залежнасць атмасфернага ціску ад вышыні і метэаўмоў можна выкарыстоўваць для вымярэння вышыні і для прагнозу надвор'я.
3. Атмасферны ціск вымяраюць барометрамі, а ціск газаў у пасудзінах — манометрамі.

? Кантрольныя пытанні

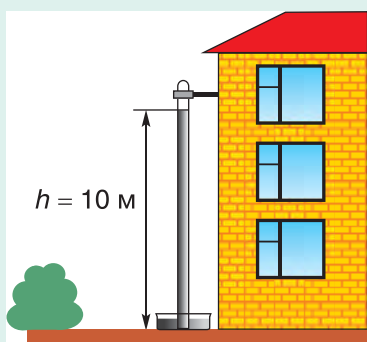
1. Чаму, калі самалёт набірае вышыню або ідзе на пасадку, пасажыры адчуваюць боль у вушах?
2. Якімі прыборамі вымяраюць атмасферны ціск?
3. Ці можна, маючы барометр, вымераць вышыню гары? Што можна сказаць аб дакладнасці такіх вымярэнняў? Чаму?
4. Чаму вялікія ціскі нельга вымяраць вадкасным манометрам?
5. Які барометр вымярае ціск больш дакладна — ртутны ці барометр-анероід? Чаму?

Для дапытлівых

Вадкаснымі манометрамі можна вымяраць ціск, які адрозніваецца ад атмасфернага толькі нязначна. Так, калі ў нашым прыкладзе на старонках 127—128 ціск у пасудзіне будзе ў 2 разы большы за атмасферны, г. зн. $p_1 = 2p_0$, то згодна з формулай $p_1 = p_0 + \rho gh$ атрымаем:

$$\rho gh = 2p_0 - p_0, \text{ адкуль}$$

$$h = \frac{p_0}{\rho g}.$$



Пры выкарыстанні ў манометры вады

$$h = \frac{100\,000 \text{ Па}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 10 \text{ м.}$$

Толькі ўявіце памеры такога прыбора! Пры выкарыстанні ртуті памеры памяншаюцца ў 13,6 раза, але ўзнікаюць новыя праблемы — пары ртуті атрутныя.



Прыклад рашэння задачы

У падножжа гары барометр паказвае ціск $p_1 = 750$ мм рт. сл., а на яе вяршыні — $p_2 = 740$ мм рт. сл. Вызначыце вышыню дадзенай гары.

Дадзена:

$$p_1 = 750 \text{ мм рт. сл.}$$

$$p_2 = 740 \text{ мм рт. сл.}$$

H — ?

Рашэнне

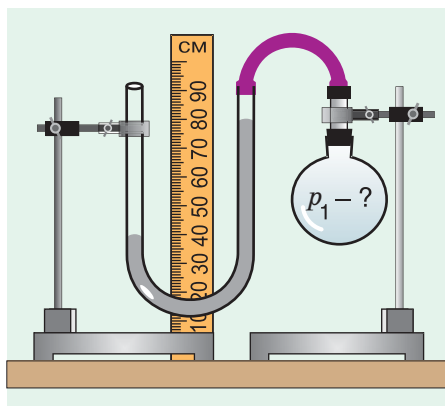
Рознасць паміж ціскам каля падножжа гары і на яе вяршыні:

$$p_1 - p_2 = 750 \text{ мм рт. сл.} - 740 \text{ мм рт. сл.} = 10 \text{ мм рт. сл.}$$

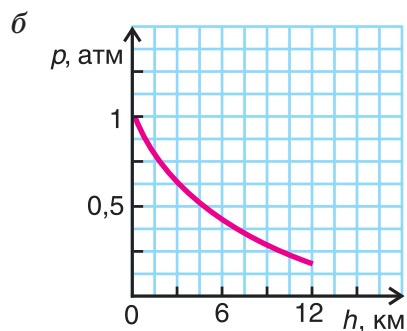
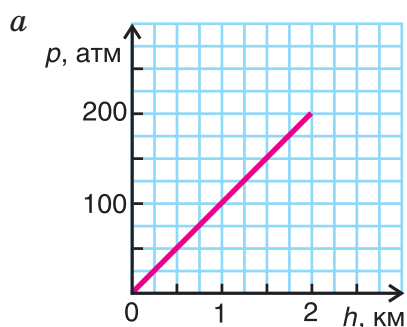
Улічым, што на 1 мм рт. сл. ціск памяншаецца пры пад'ёме прыкладна на вышыню $h_0 = 12$ м. Тады вышыня гары:

$$H = 12 \frac{\text{м}}{\text{мм рт. сл.}} \cdot 10 \text{ мм рт. сл.} = 120 \text{ м.}$$

Адказ: $H = 120$ м.



Мал. 214



Мал. 215

Практыкаванне 16

1. Чаму ў горадзе Мінску амаль не бывае ціску, прынятага за нармальны? (Практычна цэлы год у Мінску ціск меншы за 760 мм рт. сл.)

2. У класе на першым паверсе барометр паказвае ціск $p_1 = 750$ мм рт. сл., а на беразе возера — $p_2 = 753$ мм рт. сл. Вызначыце, на якой вышыні над узроўнем возера размешчана школа.

3. Будынак мае вышыню $h = 189$ м. На колькі і якім чынам будзе адрознівацца атмасферны ціск на апошнім і на першым паверхах гэтага будынка?

4. Вызначыце ціск газу ў колбе (мал. 214), калі ў манометры была б выкарыстана ртуть. Якія значэнні ціску можна было б вымяраць гэтым манометрам? Атмасферны ціск прыміце роўным $p_{\text{атм}} = 100$ кПа.

5. На графіках паказана змяненне ціску ў залежнасці ад змянення адлегласці ад паверхні Зямлі ў водным (мал. 215, а) і паветраным (мал. 215, б) акіянах Зямлі. Якую інфармацыю вы можаце атрымаць з дадзеных графікаў?

6. Унутры касмічных караблёў (у бязважкасці) касманаўты дышаюць паветрам. Ці стварае гэта паветра ціск? Ці можна гэты ціск называць атмасферным?



Тэмы праектных заданняў

1. Ціск. Яго праяўленне ў прыродзе і тэхніцы.
2. Чаму рыбам знаходзіцца на глыбіні больш бяспечна, чым чалавеку і тэхніцы?
3. Атмасферны ціск. Яго праяўленне ў тэхніцы і быце.