



§ 29.

Действие жидкости и газа на погруженные в них тела. Выталкивающая сила. Закон Архимеда

До сих пор мы рассматривали равновесие тел, не учитывая влияние среды (жидкости, газа), в которой они находятся. А как влияет среда на равновесие тел?



Рис. 210

Погруженный в воду мяч всплывает, воздушные шары (рис. 210, а) поднимаются вверх, шары-зонды (рис. 210, б) улетают на огромную высоту. Какая сила устремляет их вверх?

Проведем опыт. К динамометру подвесим пластилиновый брусок (рис. 211, а). Опустим брусок в воду (рис. 211, б). Показания динамометра уменьшатся. Значит, на погруженное тело со стороны жидкости действует направленная вверх *выталкивающая сила*. Ее значение равно разности показаний динамометра до и после погружения тела.

От чего зависит выталкивающая сила?

Сравним значения выталкивающей силы при полном (рис. 211, б) и частичном (рис. 212) погружении бруска. Мы убеждаемся, что *выталкивающая сила тем больше, чем больше объем погруженной части тела*.

А зависит ли выталкивающая сила от плотности жидкости? Продолжим опыты. Погрузим пластилиновый брусок в раствор поваренной соли в воде. Повышая концентрацию соли, будем увеличивать плотность раствора. Опыт показывает: *при увеличении плотности жидкости выталкивающая сила возрастает*.

Итак, **выталкивающая сила тем больше, чем больше объем погруженной в нее части тела и чем больше плотность жидкости.**

Выталкивающая сила действует и на тела, находящиеся в газе (рис. 213, а, б).

А как на выталкивающую силу влияет плотность газа? Проведем опыт. Уравновесим с помощью рычажных весов закрытую стеклянную

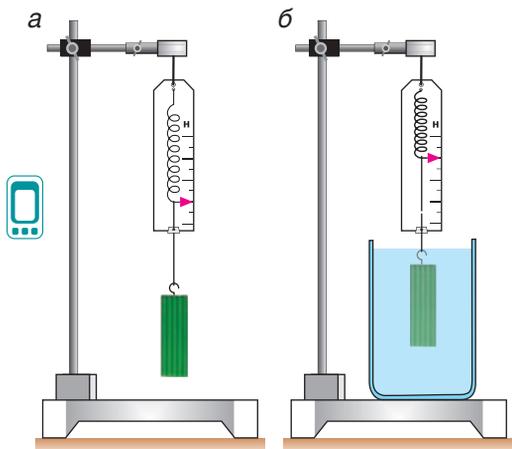


Рис. 211

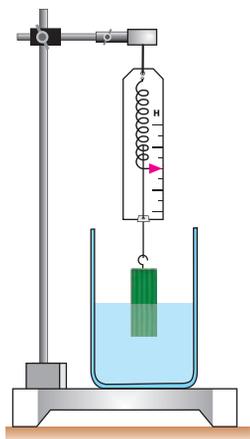


Рис. 212

колбу, помещенную внутрь сосуда (рис. 213, а), а затем вольем в этот сосуд углекислый газ (рис. 213, б). (Газы тоже можно переливать!) Так как плотность углекислого газа больше, чем воздуха, он вытеснит воздух из сосуда и займет его место. Равновесие весов нарушится (рис. 213, б), указывая на то, что в углекислом газе выталкивающая сила больше, чем в воздухе.

Следовательно, *и в газах выталкивающая сила растет с увеличением плотности среды.*

Почему возникает выталкивающая сила? Как ее рассчитать?

Для простоты расчетов рассмотрим погруженное в жидкость тело, имеющее форму прямоугольного параллелепипеда. На рисунке 214 показаны силы, с которыми жидкость плотностью ρ действует на тело. Каждая из сил перпендикулярна к той поверхности, к которой она приложена.

Силы давления жидкости, действующие на боковые грани, только сжимают тело, но не выталкивают его. Выталкивающая сила возникает из-за того, что направленная вверх сила давления жидкости \vec{F}_2 больше, чем сила \vec{F}_1 , направленная вниз. В итоге модуль выталкивающей силы

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

Из 7-го класса вы знаете, что сила давления F , с которой жидкость действует на поверхность площадью S , равна pS , где p — давление жидкости. Значит,

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

где p_1 — давление на глубине h_1 , а p_2 — на глубине h_2 (рис. 214). Вам известно также, что при увеличении глубины погружения на h давление возрастает на $\rho_{\text{ж}}gh$. Тогда

$$p_2 - p_1 = \rho_{\text{ж}}gh, \quad (3)$$

где $h = h_2 - h_1$ — это высота тела (рис. 214).

Из (2) и (3) следует

$$F_{\text{выт}} = \rho_{\text{ж}}ghS.$$

Но $h \cdot S = V_{\text{погр}}$ — объем погруженного тела. Следовательно:

$$F_{\text{выт}} = \rho_{\text{ж}}gV_{\text{погр}}.$$

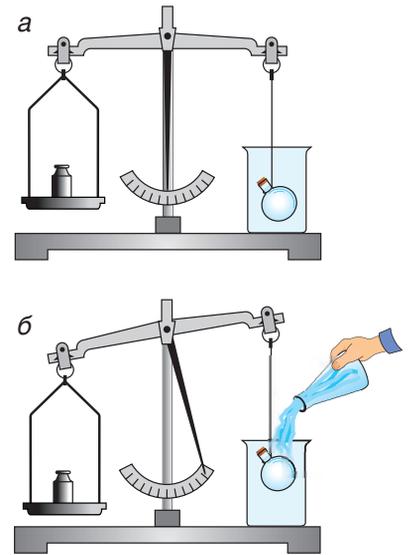


Рис. 213

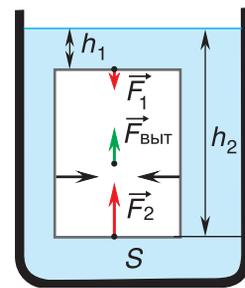


Рис. 214

Произведение $\rho_{\text{ж}} V_{\text{погр}}$ равно $m_{\text{ж}}$ — массе жидкости, вытесненной телом при его погружении, а $\rho_{\text{ж}} g V$ равно $m_{\text{ж}} g$, т. е. *весу вытесненной жидкости*. В результате выталкивающая сила:

$$F_{\text{выт}} = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{погр}} = m_{\text{ж}} g. \quad (4)$$

На тело, погруженное в жидкость (газ), действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх и равная весу жидкости (газа), вытесненной телом.

Это утверждение называют *законом Архимеда*, а выталкивающую силу — *силой Архимеда* (и обозначают ее F_A), по имени выдающегося древнегреческого ученого, открывшего данный закон за 250 лет до н. э.

Мы вывели формулу (4), рассматривая тело в форме параллелепипеда. Многочисленные опыты показывают: *закон Архимеда применим к телам любой формы, погруженным в жидкость или газ полностью или частично*.

Подчеркнем, что при частичном погружении тела в формуле (4) под объемом $V_{\text{погр}}$ следует понимать *объем погруженной в жидкость части тела*.

Теперь ответим еще на один вопрос. Почему тела, погруженные в жидкость, например в воду, ведут себя по-разному: одни из них (камни, металлические предметы) тонут, другие (куски дерева, пенопласта, пробки) плавают, частично погружившись в воду, а третьи (рыбы, подводные лодки) плавают в толще воды?

Проведем опыт. Погрузим в стакан с соленой водой (рис. 215) кубики из сырого картофеля (1), пенопласта (2) и пластилина (3). Пластилиновый кубик опустится на дно, пенопластовый всплывет, а кубик из картофеля (при определенной концентрации соли в воде) останется внутри жидкости.

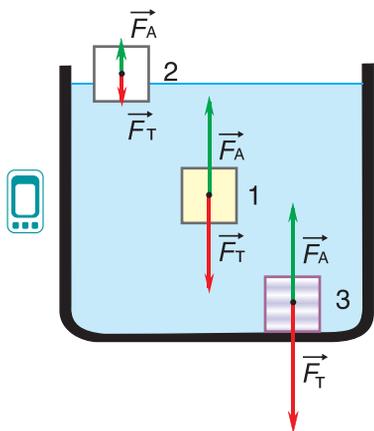


Рис. 215

В чем причина этого различия? Все зависит от соотношения плотности тела и плотности жидкости. В нашем опыте плотность соленой воды $\rho_{\text{ж}} = 1,1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, пластилина — $\rho_{\text{пл}} = 1,4 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, сырого картофеля — $\rho_{\text{карт}} = 1,1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, пенопласта — $\rho_{\text{пен}} = 0,2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Сравнив плотность жидкости $\rho_{\text{ж}}$ с плотностью тел $\rho_{\text{т}}$, сделаем вывод, что однородное тело:

- при $\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{ж}}$ утонет в жидкости;
- при $\rho_{\text{т}} = \rho_{\text{ж}}$ будет в состоянии равновесия на любой

глубине внутри жидкости;

- при $\rho_T < \rho_{ж}$ всплывет и будет находиться в состоянии равновесия, частично погрузившись в жидкость.

Объясните результаты опыта (рис. 215), сравнив силу тяжести F_T каждого из тел с силой Архимеда F_A .

■ Главные выводы

1. Выталкивающая сила (сила Архимеда) есть результат действия сил давления жидкости (газа) на погруженное тело.
2. Закон Архимеда: «На тело, погруженное в жидкость (газ), действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх и равная весу жидкости (газа), вытесненной телом».
3. Однородное тело тонет в жидкости, если плотность тела больше плотности жидкости, находится в равновесии внутри жидкости, если их плотности равны, и находится в состоянии равновесия, частично погрузившись в жидкость, если плотность тела меньше плотности жидкости.

? Контрольные вопросы

1. Какие силы действуют на тело, находящееся внутри жидкости?
2. От чего зависит значение выталкивающей силы, действующей на тело, погруженное: а) в жидкость; б) в газ?
3. Будет ли изменяться выталкивающая сила, действующая на аквалангиста, по мере его постепенного погружения в воду?
4. Почему на кубики (см. рис. 215) действуют различные выталкивающие силы? Сравните $F_{\text{выт}}$ и F_T для каждого из кубиков.
5. Используя закон Архимеда, докажите, что при $\rho_T < \rho_{ж}$ объем погруженной в жидкость части тела $V_{\text{погр}} = \frac{m}{\rho_{ж}}$, где m — масса тела.

➔ Домашнее задание

Положите на дно кружки сырое куриное яйцо. Налейте в кружку воды. Постепенно добавляйте в воду соль, размешивая раствор. Наблюдайте за положением яйца. Объясните результаты наблюдений.