

Е. Н. ФИЛАТОВ

Ф И З И К А

7

Экспериментальный учебник

Часть 2

Давление. Работа. Энергия

МОСКВА – 2007

СОДЕРЖАНИЕ

Давление

§ 23. Давление твёрдых тел	4
§ 24. Давление газа	15
§ 25. Закон Паскаля	18
§ 26. Гидравлический пресс	22
§ 27. Давление в жидкостях. Сообщающиеся сосуды	30
§ 28. Атмосферное давление.....	51
§ 29. Манометры. Насосы. Сифоны	81
§ 30. Сила Архимеда	96

Работа и энергия

§ 31. Механическая работа	156
§ 32. Мощность	173
§ 33. Энергия	180
§ 34. Простые механизмы	190

Приложения	221
------------------	-----

Подсказки	223
-----------------	-----

Ответы	243
--------------	-----

§ 30. СИЛА АРХИМЕДА

Экспериментально установлено, что на **всякое тело, погружённое в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх и равная по величине весу вытесненной телом жидкости или газа.**

Это утверждение называется законом Архимеда¹, а выталкивающая сила – силой Архимеда.

Вес тела массой m равен, как нам уже известно, mg , поэтому вес вытесненной жидкости $P_{\text{ж}} = m_{\text{ж}}g$, где $m_{\text{ж}}$ – масса вытесненной жидкости.

Если $V_{\text{выт}}$ – объём вытесненной жидкости, а $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, то $m_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}}V_{\text{выт}}$. Тогда для силы Архимеда можно записать следующую формулу:

$$F_A = P_{\text{ж}} = m_{\text{ж}}g = \rho_{\text{ж}}V_{\text{выт}}g.$$

Итак, запомним, что сила Архимеда равна

$$F_A = \rho_{\text{ж}}V_{\text{выт}}g. \quad (30.1)$$

Почему возникает сила Архимеда?

Рассмотрим цилиндр высотой h , целиком погружённый в жидкость (или газ) плотностью $\rho_{\text{ж}}$. Пусть площадь основания цилиндра равна S (рис. 30.1). Попробуем вычислить значение силы Архимеда.

Пусть верхнее основание цилиндра находится на глубине h_1 , а нижнее – на глубине $h_2 = h_1 + h$. На глубине h_1 гидростатическое давление равно $p_1 = \rho_{\text{ж}}gh_1$, а на глубине h_2 – $p_2 = \rho_{\text{ж}}gh_2$.

Сразу заметим, что силы, действующие на боковую поверхность цилиндра, $\vec{F}_{\text{бок}}$ будут только *сжимать* наш цилиндр. Поскольку они направлены горизонтально, сдвинуть его вверх или вниз эти силы не могут.

На верхнее основание цилиндра действует сила:

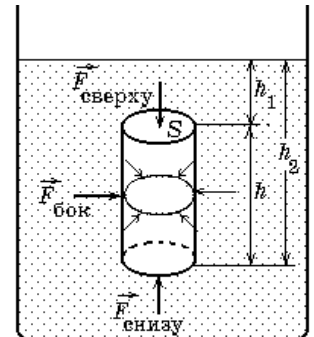
$$F_{\text{сверху}} = p_1 S = \rho_{\text{ж}}gh_1 S,$$

а на нижнее основание – сила:

$$F_{\text{снизу}} = p_2 S = \rho_{\text{ж}}gh_2 S.$$

Эти силы направлены в противоположные стороны, причем поскольку $h_2 > h_1$, то $F_{\text{снизу}} > F_{\text{сверху}}$. Результирующая этих сил как раз и является силой Архимеда F_A , которая стремится вытолкнуть тело на поверхность жидкости:

$$\begin{aligned} F_A &= F_{\text{снизу}} - F_{\text{сверху}} = \rho_{\text{ж}}gh_2 S - \rho_{\text{ж}}gh_1 S = \\ &= \rho_{\text{ж}}gS(h_2 - h_1) = \rho_{\text{ж}}gSh. \end{aligned}$$



¹ Архимед (287–212 до н.э.) – древнегреческий учёный.

Поскольку $Sh = V$ – объём нашего цилиндра, который равен объёму вытесненной им жидкости, то, вводя обозначение $V_{\text{выт}} = Sh$, получим уже известную нам формулу (30.1) для вычисления силы Архимеда:

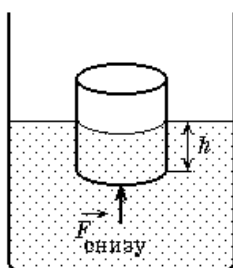
$$F_A = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{выт}}.$$

Поскольку $\rho_{\text{ж}} V_{\text{выт}} = m_{\text{ж}}$ – масса вытесненной цилиндром жидкости, то $F_A = m_{\text{ж}} g$, а эта величина, как мы знаем, равна весу вытесненной жидкости при условии, что жидкость покоится.

Таким образом, мы доказали, что сила Архимеда F_A действительно равна весу вытесненной жидкости или газа, и получили формулу (30.1), позволяющую рассчитывать силу Архимеда.

Читатель: Вы рассмотрели случай, когда тело *целиком* находится в жидкости. А как найти силу Архимеда, если часть тела находится над поверхностью жидкости, например, как на рис. 30.2?

Автор: Давайте рассмотрим и такую ситуацию. Пусть h – высота подводной части нашего цилиндра, тогда на нижнее основание действует со стороны жидкости сила:



$$F_{\text{снизу}} = pS = \rho_{\text{ж}} g h S = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{выт}},$$

где $V_{\text{выт}}$ – объём подводной части цилиндра, равный объёму вытесненной цилиндром жидкости. А сверху на цилиндр со стороны жидкости никаких сил не действует. Поэтому в данном случае $F_{\text{снизу}}$ – это и есть сила Архимеда: $F_A = F_{\text{снизу}} = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{выт}}$. Как видите, получилось то же значение, что и в формуле (30.1).

Читатель: А почему мы не учли силу атмосферного давления?

Автор: Давайте разберёмся. Сначала рассмотрим случай, когда наш цилиндр целиком погружён в жидкость (см. рис. 30.1).

В этом случае атмосферное давление является внешним для жидкости и по закону Паскаля передается во все точки жидкости без изменений. Поэтому атмосферное давление даст дополнительное одинаковое по величине давление на верхнее и нижнее основание. Силы, обусловленные этим давлением, будут равны по величине и противоположны по направлению и поэтому компенсируют друг друга. Следовательно, учет атмосферного давления никак не повлияет на величину выталкивающей силы.

Если же тело выступает над поверхностью жидкости (см. рис. 30.2), то, строго говоря, атмосферное давление на верхнее основание цилиндра будет чуть меньше, чем атмосферное давление на поверхность жидкости, которое по закону Паскаля передается нижнему основанию. Разница между этими давлениями

$$\Delta p = \rho_{\text{возд}} g h,$$

где $\rho_{\text{возд}}$ – плотность воздуха. Но поскольку плотность воздуха значительно меньше плотности жидкости, этой разницей можно пренебречь и считать атмосферное давление на верхнее и нижнее основания цилиндра одинаковым.

Другое дело, если речь идет о воздушном шаре. Там именно разность сил атмосферного давления сверху и снизу как раз и является силой Архимеда.

Читатель: Вы все-таки рассмотрели очень «удобное» тело – цилиндр, да еще стоящий вертикально. А как рассчитать силу Архимеда для тела произвольной формы?

Автор: Можно попытаться доказать закон Архимеда и в этом случае, но доказательство будет более сложным. Поэтому я ограничусь лишь тем, что сошлусь на результаты многочисленных экспериментов: величина силы Архимеда не зависит от формы тела и его ориентации в жидкости, а зависит лишь от объёма вытесненной жидкости и её плотности и вычисляется по формуле (30.1).

Читатель: А действует ли закон Архимеда на космическом корабле, в невесомости?

Автор: В невесомости вес жидкости равен нулю, поэтому гидростатическое (весовое) давление также равно нулю, поэтому равна нулю и сила Архимеда.

СТОП! Решите самостоятельно: А1–А4, Б1–Б5, В5.

Задача 30.1. Вычислите силу Архимеда, действующую на бетонную плиту объёмом $V = 2,00 \text{ м}^3$, целиком погружённую в воду. Плотность воды $\rho_{\text{ж}} = 1,00 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

$\frac{V = 2,00 \text{ м}^3}{F_A = ?}$	<i>Решение.</i> Воспользуемся формулой (30.1):
--	--

$$F_A = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{выт}} = \rho_{\text{ж}} g V,$$

так как объём вытесненной воды $V_{\text{выт}}$ в данном случае равен объёму плиты V . Проверим размерность результата:

$$[F_A] = [\rho_{\text{ж}}] [g] [V] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{м}^3 = \text{Н}.$$

Подставим численные значения:

$$F_A = \rho_{\text{ж}} g V = (1,00 \cdot 10^3 \text{ м}^3) \cdot (9,8 \text{ Н/кг}) \cdot (2,0 \text{ м}^3) = \\ = 19600 \text{ Н} \approx 20 \text{ кН}.$$

Ответ: $F_A = \rho_{\text{ж}} g V \approx 20 \text{ кН}$.

СТОП! Решите самостоятельно: А5, А6, Б6, Б7 (а, б), Б9, Б11, В6.

Сколько весит тело в воде?

Автор: Как Вы считаете, увеличится или уменьшится вес тела, если его взвешивать не на воздухе, а в воде?

Читатель: Я думаю, уменьшится. Ведь на тело будет действовать сила Архимеда, которая будет как бы приподнимать тело вверх. Поэтому сила, с которой тело будет давить на опору, то есть вес, должна уменьшиться.

Автор: Совершенно верно. А чтобы разобраться в этом вопросе получше, решим задачу.

Задача 30.2. Камень массой $m = 2,0 \text{ кг}$ на нити опустили в стакан с водой, не касаясь стенок и дна сосуда. Найдите силу натяжения нити, если объём камня $V = 0,80 \text{ л}$. Плотность воды $\rho_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг/м}^3$.

$\begin{aligned} V &= 0,80 \text{ л} = \\ &= 0,80 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \\ m &= 2,0 \text{ кг} \\ \rho_{\text{ж}} &= 1000 \text{ кг/м}^3 \\ T &= ? \end{aligned}$	<i>Решение.</i> Изобразим все силы, действующие на камень: $\vec{mg}$ – сила тяжести; $\vec{T}$ – сила натяжения нити; $\vec{F}_A$ – сила Архимеда (рис. 30.3). Поскольку камень неподвижен, равно-
---	---

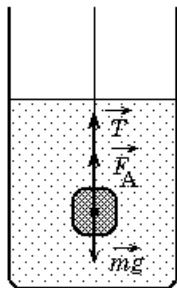


Рис. 30.3

действующая всех сил равна нулю. Следовательно, сумма величин сил, направленных вверх, равна величине силы, направленной вниз:

$$F_A + T = mg.$$

Перенесем F_A в правую часть равенства, получим:

$$T = mg - F_A.$$

Согласно формуле (30.1)

$$F_A = \rho_{\text{ж}} g V,$$

отсюда:

$$T = mg - \rho_{\text{ж}} g V. \quad (30.2)$$

Плотность жидкости в нашем случае – это плотность воды: $\rho_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг/м}^3$. Подставим численные значения:

$$T = mg - \rho_{\text{ж}} g V = (2,0 \text{ кг}) \cdot (9,8 \text{ Н/кг}) - (1000 \text{ кг/м}^3) \cdot (9,8 \text{ Н/кг}) \cdot (0,80 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3) = 11,76 \text{ Н} \approx 12 \text{ Н}.$$

Ответ: $T = mg - \rho_{\text{ж}} g V \approx 12 \text{ Н}$.

Вспомним, что вес – это сила, с которой тело действует на опору или подвес. Если нить действует на камень с силой T , то и камень по 3-му закону Ньютона действует на нить с такой же по величине и противоположной по направлению силой. Следовательно, сила натяжения нити в данном случае равна по величине весу камня. А значит, по формуле (30.2) вычисляется вес тела, целиком погруженного в жидкость или газ.

Заметим также, что если плотность тела равна $\rho_{\text{т}}$, то его масса $m = \rho_{\text{т}} V$, и формулу (30.2) можно записать в виде:

$$T = mg - \rho_{\text{ж}} g V = \rho_{\text{т}} V g - \rho_{\text{ж}} g V = V g (\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{ж}}).$$

Запомним:

$$T = V g (\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{ж}}). \quad (30.2a)$$

СТОП! Решите самостоятельно: Б13–Б15, В13, В14, В16.

Взвешивание по Архимеду

Задача 30.3. Золотая ли корона? По легенде царь города Сиракузы поручил Архимеду проверить, из чистого ли золота сделана ювелиром царская корона. Архимед знал, чему равна плотность золота и плотность воды. Знал он также открытый им закон. Взвесив корону один раз в воде, а другой раз в воздухе, он по результатам этих двух взвешиваний сумел определить плотность короны.

Пусть в воздухе корона весила $P_1 = 20,0 \text{ Н}$, а в воде $P_2 = 18,0 \text{ Н}$. Определите по этим данным плотность короны.

$P_1 = 20,0 \text{ Н}$	Решение. Введем следующие обозначения: ρ_k – искомая плотность короны; $\rho_v = 1,00 \text{ г/см}^3$ – плотность воды; V – объём короны; m_k – масса короны. Тогда $m_k = \rho_k V$, вес короны в воздухе равен:
$P_2 = 18,0 \text{ Н}$	
$\rho_k = ?$	

$$P_1 = m_k g = \rho_k V g.$$

Плотностью воздуха мы здесь пренебрегаем, так как она значительно меньше плотности воды. Согласно формуле (30.2а) вес короны в воде

$$P_2 = V g (\rho_k - \rho_v).$$

Итак, мы получили два уравнения:

$$P_2 = V g (\rho_k - \rho_v), \quad (1)$$

$$P_1 = \rho_k V g. \quad (2)$$

Разделим первое уравнение на второе:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V g (\rho_k - \rho_v)}{V g \rho_k} = \frac{\rho_k - \rho_v}{\rho_k}.$$

Итак: $\frac{P_2}{P_1} = \frac{\rho_k - \rho_v}{\rho_k}$. Из этого уравнения найдем ρ_k . Воспользуемся свойством пропорций:

произведение крайних членов равно произведению средних членов:

$$P_2 \rho_k = P_1 (\rho_k - \rho_v),$$

раскроем скобки:

$$P_2 \rho_k = P_1 \rho_k - P_1 \rho_v,$$

перенесем $(-P_1 \rho_v)$ в левую часть, а $(P_2 \rho_k)$ – в правую часть уравнения:

$$\boxed{P_2 \rho_k} = P_1 \rho_k - P_1 \rho_v,$$

получим

$$P_1 \rho_v = P_1 \rho_k - P_2 \rho_k,$$

вынесем ρ_k за скобки:

$$P_1 \rho_v = \rho_k (P_1 - P_2),$$

разделим обе части уравнения на $(P_1 - P_2)$:

$$\frac{P_1 \rho_v}{P_1 - P_2} = \frac{\rho_k (P_1 - P_2)}{P_1 - P_2}.$$

После сокращения дроби в правой части получим окончательный ответ:

$$\rho_k = \frac{P_1 \rho_v}{P_1 - P_2}. \quad (30.3)$$

Подставим численные значения:

$$\rho_k = \frac{P_{\text{лв}}}{P_1 - P_2} = \frac{20,0 \text{ Н}}{20,0 \text{ Н} - 18,0 \text{ Н}} \cdot 1,00 \text{ г/см}^3 \approx 10 \text{ г/см}^3.$$

$$\text{Ответ: } \rho_k = \frac{P_{\text{лв}}}{P_1 - P_2} \approx 10 \text{ г/см}^3.$$

Так как плотность золота $19,3 \text{ г/см}^3$, то ясно, что корона не золотая.

СТОП! Решите самостоятельно: В20, В21, Г5.

Взвешивание в воздухе: точное ли оно?

Задача 30.4. На рычажных весах уравновешены камень и кусок дерева. Плотность камня больше плотности дерева. Нарушится ли равновесие, если весы перенести на Луну?

Решение.

Читатель: Сила тяжести на Луне будет значительно меньше, чем на Земле. Насколько я помню, примерно в 6 раз. Но так как массы тел равны, то и силы лунной тяжести, действующие на тела, будут равны: $F_{\text{л}} = mg_{\text{л}}$, где $g_{\text{л}}$ – напряженность гравитационного поля на Луне. Значит, равновесие не нарушится.

Автор: Вы были бы правы, если бы массы тел действительно были равны. Но, строго говоря, в нашем случае это не так.

Читатель: Почему? Ведь тела же на Земле уравновешены.

Автор: Прежде всего отметим, что на Земле есть атмосфера, а на Луне атмосферы нет. Значит, на Земле на дерево и камень будет действовать сила Архимеда со стороны воздуха, а на Луне – нет. Из равновесия же весов на Земле следует только то, что вес камня на Земле равен весу куска дерева. То есть силы, с которыми камень и кусок дерева действуют на чашки весов, равны.

Введём следующие обозначения: P – вес камня на Земле, равный весу куска дерева; $m_{\text{к}}$ – масса камня; $V_{\text{к}}$ – объём камня; $m_{\text{д}}$ – масса куска дерева; $V_{\text{д}}$ – объём куска дерева; $\rho_{\text{воз}}$ – плотность воздуха. Тогда согласно формуле (30.2) можно записать:

$$P = m_{\text{к}}g - \rho_{\text{воз}}gV_{\text{к}}; \quad P = m_{\text{д}}g - \rho_{\text{воз}}gV_{\text{д}}.$$

Тогда

$$m_{\text{к}}g = P + \rho_{\text{воз}}gV_{\text{к}}; \quad m_{\text{д}}g = P + \rho_{\text{воз}}gV_{\text{д}}.$$

Отсюда

$$m_{\text{к}} = \frac{P}{g} + \rho_{\text{воз}}V_{\text{к}}, \quad (1)$$

$$m_{\text{д}} = \frac{P}{g} + \rho_{\text{воз}}V_{\text{д}}. \quad (2)$$

Поскольку плотность камня больше плотности дерева, то объём камня меньше объёма куска дерева. Тогда из формул (1) и (2) следует, что $m_{\text{д}} > m_{\text{к}}$, то есть масса куска дерева больше массы камня.

На Луне сила Архимеда отсутствует, поэтому там вес тела в точности равен силе лунной тяжести $P_{\text{л}} = mg_{\text{л}}$, а так как масса куска дерева больше массы камня, то получается, что и вес куска дерева на Луне будет больше веса камня. А значит, дерево на Луне перетянет.

Ответ: равновесие нарушится, на Луне кусок дерева перетянет.

СТОП! Решите самостоятельно: В23–В26, Г7.

Всплывёт или утонет?

Допустим, мы опустили в жидкость некоторое тело, а затем предоставили его самому себе. Что произойдёт с телом? Здесь возможны два варианта развития событий: либо тело утонет (например, железная гайка в воде), либо всплывёт (пробка в воде).

Возникает вопрос: *при каком условии* тело всплывёт, а при каком – утонет? Всё дело в том, что больше: сила тяжести или сила Архимеда. Если сила тяжести больше (рис. 30.3,а), то тело утонет. Если сила Архимеда больше (рис. 30.3,б), то тело всплывёт.

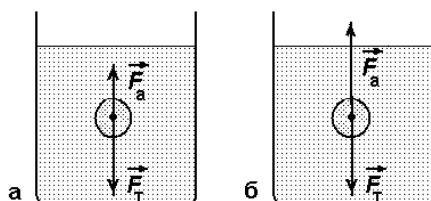


Рис. 30.3

Сила Архимеда $F_A = \rho_{\text{ж}} V g$, где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, а V – объём тела. Сила тяжести $F_T = m g = \rho_{\text{т}} V g$, где $\rho_{\text{т}}$ – плотность тела. Для того чтобы F_A была больше F_T , необходимо выполнение условия:

$$\rho_{\text{ж}} > \rho_{\text{т}}. \quad (30.4)$$

Поэтому, чтобы определить, утонет ли тело в воде, достаточно по таблице плотностей посмотреть, что больше: плотность воды или плотность вещества, из которого изготовлено тело. Например, плотность парафина $\rho_{\text{п}} = 0,90 \text{ г/см}^3 < \rho_{\text{в}} = 1,00 \text{ г/см}^3$. Значит, парафин не утонет в воде. А вот плотность оргстекла

$$\rho_{\text{ст}} = 1,2 \text{ г/см}^3 > \rho_{\text{в}} = 1,00 \text{ г/см}^3,$$

значит, оргстекло утонет в воде.

Читатель: А если тело неоднородное, то есть состоит из материалов с различными плотностями, например, автомобиль?

Автор: В этом случае под плотностью тела понимается его средняя плотность: $\rho_{\text{ср}} = \frac{m_{\text{тела}}}{V_{\text{тела}}}$. Если

$\rho_{\text{ср}} > \rho_{\text{ж}}$, то тело утонет, а если $\rho_{\text{ср}} < \rho_{\text{ж}}$, тело останется на плаву. Например, средняя плотность корабля с металлическим корпусом за счет находящегося внутри воздуха меньше плотности воды, поэтому он держится на плаву. А плотность гвоздика больше плотности воды, поэтому он тонет.

Читатель: А если $\rho_{\text{ж}} = \rho_{\text{т}}$?

Автор: В этом случае сила Архимеда F_A равна силе тяжести F_T , и тело будет находиться в жидкости в так называемом *взвешенном состоянии*. То есть оно будет висеть в любом месте под поверхностью жидкости, не двигаясь ни вверх, ни вниз.

СТОП! Решите самостоятельно: А7–А12, Б17, Б18, В27, В29.

Глубина погружения плавающего тела

Автор: Допустим, у нас есть два тела одинаковых размеров, но одно с большей плотностью, а другое – с меньшей, причём известно, что оба они не тонут в воде. Как Вы считаете, какое из них глубже погрузится в воду?

Читатель: Я думаю, что то тело, у которого плотность больше. Вот если взять, например, кусочек дерева и кусочек пенопласта и опустить их в воду, то пенопласт почти целиком будет над водой, а дерево погрузится в воду примерно наполовину (рис. 30.4).

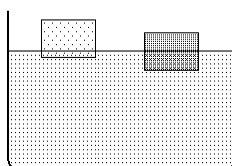


Рис. 30.4

Автор: Верно. А не могли бы Вы обосновать свой вывод теоретически исходя из условия плавания?

Читатель: Попробую. Если тело плавает, то сила Архимеда $F_A = \rho_{\text{ж}} V_{\text{выт}} g$ равна силе тяжести $F_T = m_T g$. Если тело более плотное, то оно при данном объёме более тяжёлое, то есть его масса m_T больше. Значит, и

сила Архимеда, действующая на него, должна быть больше. А для этого надо, чтобы объём вытесненной жидкости $V_{\text{выт}}$ был больше, то есть тело должно глубже погрузиться в воду.

Автор: Совершенно верно. А как Вы считаете, если мы одно и то же тело массой m_T опустим сначала в более плотную жидкость, а затем в менее плотную, в каком случае тело погрузится глубже?

Читатель: Я думаю, что в менее плотной жидкости тело погрузится глубже. Потому что если тело плавает, то выполняется условие

$$F_T = F_A \Rightarrow m_T g = \rho_{\text{ж}} V_{\text{выт}} g \Rightarrow$$

$$V_{\text{выт}} = \frac{m_T}{\rho_{\text{ж}}}. \quad (30.5)$$

Из формулы (30.5) видно, что чем меньше $\rho_{\text{ж}}$, тем больше $V_{\text{выт}}$, то есть тем большая часть тела находится под поверхностью жидкости.

Автор: Совершенно верно! Замечу, что именно на зависимости глубины погружения тела от плотности жидкости основано действие прибора для измерения плотности – *ареометра*.



Рис. 30.5

Ареометр представляет собой стеклянный сосуд с грузиком, снабжённый длинным отростком, на котором нанесена шкала. На рис. 30.5 показан ареометр со шкалой в 10^3 кг/м^3 . При плавании в жидкости ареометр погружается на большую или на меньшую глубину в зависимости от плотности жидкости. Чем больше плотность жидкости, тем меньше погружается ареометр. На

шкале отмечаются непосредственно значения плотности жидкости, отвечающей погружению ареометра до данного деления. Таким образом, отметки на шкале растут сверху вниз.

СТОП! Решите самостоятельно: А13, А14, Б20–Б23, В30, В33, В35.

Какая часть айсберга находится под водой?

Рассмотрим такую ситуацию: огромная ледяная гора – айсберг – плавает в океане (рис. 30.6). Спрашивается, какая часть айсберга находится под водой?

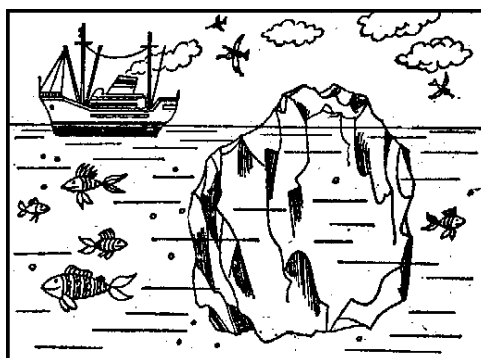


Рис. 30.6

Пусть объём всего айсберга равен V , а объём подводной части айсберга равен объёму вытесненной воды $V_{\text{выт}}$. Нам надо определить отношение $V_{\text{выт}} : V$.

Если айсберг находится на плаву, то сила тяжести равна силе Архимеда:

$$F_{\text{т}} = F_{\text{А}} \Rightarrow m_{\text{т}}g = \rho_{\text{ж}}V_{\text{выт}}g \Rightarrow m_{\text{т}} = \rho_{\text{ж}}V_{\text{выт}} \quad (30.6)$$

где $m_{\text{т}}$ – масса тела (айсберга); $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости (воды).

Поскольку $m_{\text{т}} = \rho_{\text{т}}V$, где $\rho_{\text{т}}$ – плотность тела (айсберга), то из формулы (30.6) следует:

$$\rho_{\text{т}}V = \rho_{\text{ж}}V_{\text{выт}} \quad (30.7)$$

Чтобы найти искомое отношение $\frac{V_{\text{выт}}}{V}$, разделим обе части уравнения (30.7) на $\rho_{\text{ж}}V$, получим

$$\frac{\rho_{\text{т}}V}{\rho_{\text{ж}}V} = \frac{\rho_{\text{ж}}V_{\text{выт}}}{\rho_{\text{ж}}V} \Rightarrow \frac{V_{\text{выт}}}{V} = \frac{\rho_{\text{т}}}{\rho_{\text{ж}}} \quad (30.8)$$

Плотность льда $\rho_{\text{т}} = 0,90 \text{ г/см}^3$, плотность морской воды $\rho_{\text{ж}} = 1,03 \text{ г/см}^3$, тогда

$$\frac{V_{\text{выт}}}{V} = \frac{\rho_{\text{т}}}{\rho_{\text{ж}}} = \frac{0,90 \text{ г/см}^3}{1,03 \text{ г/см}^3} = 0,874 \approx 0,9.$$

То есть примерно $\frac{9}{10}$ айсберга находятся под водой.

Задача 30.5. Железный кубик плавает на поверхности ртути. Под поверхностью ртути находится объём кубика $V_{\text{выт}} = 2,0 \text{ см}^3$. Определите объём всего кубика.

$V_{\text{выт}} = 2,0 \text{ см}^3$	<i>Решение.</i> Из таблиц П1 и П2 (см. приложение в конце учебника) находим плотность железа: $\rho_{\text{ж}} = 7,8 \text{ г/см}^3$ и плотность ртути $\rho = 13,6 \text{ г/см}^3$.
$V = ?$	

Воспользуемся формулой (30.7):

$$\rho_{\text{ж}} V = \rho_{\text{ж}} V_{\text{выт}} \Rightarrow \frac{\rho_{\text{ж}} V}{\rho_{\text{ж}}} = \frac{\rho_{\text{ж}} V_{\text{выт}}}{\rho_{\text{ж}}} \Rightarrow$$

$$V = \frac{\rho_{\text{ж}} V_{\text{выт}}}{\rho_{\text{ж}}} = \frac{13,6 \text{ г/см}^3 \cdot 2,0 \text{ см}^3}{7,8 \text{ г/см}^3} = 3,487 \text{ см}^3 \approx 3,5 \text{ см}^3.$$

Ответ: $V = \frac{\rho_{\text{ж}} V_{\text{выт}}}{\rho_{\text{ж}}} \approx 3,5 \text{ см}^3$.

СТОП! Решите самостоятельно: А15, Б26, Б28, Б30, В42.

Как плавает тело с полостью?

Автор: Как Вы считаете, может ли медный шарик плавать в воде?

Читатель: Нет, конечно. Плотность меди $8,9 \text{ г/см}^3$, а это больше плотности воды.

Автор: А если внутри медного шара имеется полость?

Читатель: Это смотря какая полость!

Автор: Совершенно верно. Давайте разберёмся с этим вопросом подробнее.

Пусть некоторое тело с наружным объёмом V изготовлено из материала плотностью $\rho_{\text{ж}}$ и имеет внутри полость объёмом $V_{\text{п}}$. Тогда масса тела $m_{\text{т}} = \rho_{\text{ж}}(V - V_{\text{п}})$, а сила тяжести, действующая на тело, $F_{\text{т}} = m_{\text{т}}g = \rho_{\text{ж}}(V - V_{\text{п}})g$.

Если тело находится на плаву и вытесняет объём жидкости $V_{\text{выт}}$, то на него действует сила Архимеда $F_{\text{А}} = \rho_{\text{ж}} V_{\text{выт}} g$. Причём

$$F_{\text{А}} = F_{\text{т}} \Rightarrow \rho_{\text{ж}}(V - V_{\text{п}})g = \rho_{\text{ж}} V_{\text{выт}} g \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \rho_{\text{ж}}(V - V_{\text{п}}) = \rho_{\text{ж}} V_{\text{выт}}. \quad (30.9)$$

Это и есть условие плавания тела с полостью.

Задача 30.6. Каким должен быть объём полости медного шара с наружным объёмом $V = 10,0 \text{ см}^3$, чтобы он, плавая в воде: а) вытеснял объём воды $V_{\text{выт}} = 8,0 \text{ см}^3$; б) находился во взвешенном состоянии? Плотность воды считайте равной $\rho_{\text{ж}} = 1,0 \text{ г/см}^3$.

$$\begin{array}{l}
 V = 10,0 \text{ см}^3 \\
 V_{\text{выт}} = 8,0 \text{ см}^3 \\
 \rho_{\text{ж}} = 1,0 \text{ г/см}^3 \\
 \hline
 V_{\text{п}} = ?
 \end{array}$$

Решение. По таблице П1 находим плотность меди $\rho_{\text{т}} = 8,9 \text{ г/см}^3$.

1. Воспользуемся формулой (30.9) и выразим из неё $V_{\text{п}}$:

$$\rho_{\text{т}}(V - V_{\text{п}}) = \rho_{\text{ж}}V_{\text{выт}} \Rightarrow \frac{\rho_{\text{т}}(V - V_{\text{п}})}{\rho_{\text{т}}} = \frac{\rho_{\text{ж}}V_{\text{выт}}}{\rho_{\text{т}}} \Rightarrow$$

$$V - V_{\text{п}} = \frac{\rho_{\text{ж}}V_{\text{выт}}}{\rho_{\text{т}}} \Rightarrow V - \frac{\rho_{\text{ж}}V_{\text{выт}}}{\rho_{\text{т}}} = V_{\text{п}}.$$

Итак,

$$V_{\text{п}} = V - \frac{\rho_{\text{ж}}V_{\text{выт}}}{\rho_{\text{т}}}. \quad (30.10)$$

Подставим численные значения:

$$V_{\text{п}} = V - \frac{\rho_{\text{ж}}V_{\text{выт}}}{\rho_{\text{т}}} = 10,0 \text{ см}^3 - \frac{1,0 \text{ г/см}^3 \cdot 8,0 \text{ см}^3}{8,9 \text{ г/см}^3} \approx 9,1 \text{ см}^3.$$

2. Если шар находится во взвешенном состоянии, значит, он целиком погружён в воду, то есть $V_{\text{выт}} = V$. Тогда из формулы (30.10) получим:

$$V_{\text{п}} = V - \frac{\rho_{\text{ж}}V}{\rho_{\text{т}}} = V \left(1 - \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{т}}} \right).$$

Итак,

$$V_{\text{п}} = V \left(1 - \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{т}}} \right). \quad (30.11)$$

Подставим численные значения:

$$V_{\text{п}} = V \left(1 - \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{т}}} \right) = 10,0 \text{ см}^3 \left(1 - \frac{1,0 \text{ г/см}^3}{8,9 \text{ г/см}^3} \right) \approx 8,9 \text{ см}^3.$$

Ответ: а) $V_{\text{п}} = V - \frac{\rho_{\text{ж}}V_{\text{выт}}}{\rho_{\text{т}}} \approx 9,1 \text{ см}^3$;

$$\text{б) } V_{\text{п}} = V \left(1 - \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{т}}} \right) \approx 8,9 \text{ см}^3.$$

СТОП! Решите самостоятельно: Б31, В47, В49, В51.

Два тела плавают вместе

Стальную гайку положили сверху на плавающий в воде кусок пенопласта (рис. 30.7). Почему такая система не тонет?

Пусть масса пенопласта m_1 , масса гайки m_2 , плотность воды $\rho_{\text{ж}}$, объём вытесненной воды $V_{\text{выт}}$. Тогда сила тяжести, действующая на оба тела вместе, $F_T = (m_1 + m_2)g$, а сила Архимеда $F_A = \rho_{\text{ж}} V_{\text{выт}} g$.

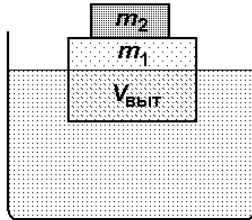


Рис. 30.7

Так как система находится на плаву, то

$$F_T = F_A \Rightarrow (m_1 + m_2)g = \rho_{\text{ж}} V_{\text{выт}} g \Rightarrow$$

$$m_1 + m_2 = \rho_{\text{ж}} V_{\text{выт}}. \quad (30.12)$$

Это и есть условие плавания двух тел.

Задача 30.7. На сосновую дощечку массой $m_1 = 100$ г, плавающую в воде, положили металлический кубик массой $m_2 = 30$ г, при этом система осталась на плаву. Определите объём вытесненной воды.

$\begin{array}{l} m_1 = 100 \text{ г} \\ m_2 = 30 \text{ г} \\ V_{\text{выт}} = ? \end{array}$	<i>Решение.</i> По таблице П2 плотность воды $\rho_{\text{ж}} = 1,00 \text{ г/см}^3$. Воспользуемся формулой (30.12) и выразим из неё $V_{\text{выт}}$:
--	--

$$m_1 + m_2 = \rho_{\text{ж}} V_{\text{выт}} \Rightarrow \frac{m_1 + m_2}{\rho_{\text{ж}}} = \frac{\rho_{\text{ж}} V_{\text{выт}}}{\rho_{\text{ж}}} \Rightarrow$$

$$V_{\text{выт}} = \frac{m_1 + m_2}{\rho_{\text{ж}}}. \quad (30.13)$$

Подставим численные значения:

$$V_{\text{выт}} = \frac{m_1 + m_2}{\rho_{\text{ж}}} = \frac{100 \text{ г} + 30 \text{ г}}{1,00 \text{ г/см}^3} \approx 130 \text{ см}^3.$$

Ответ: $V_{\text{выт}} = \frac{m_1 + m_2}{\rho_{\text{ж}}} \approx 130 \text{ см}^3.$

СТОП! Решите самостоятельно: Б32, В54–В56.

Задача 30.8. В машинном масле плавает кусок пенопласта объёмом $V_1 = 100 \text{ см}^3$ и массой $m_1 = 2,0$ г. На него кладут сверху металлический кубик объёмом $V_2 = 12 \text{ см}^3$. Определите массу кубика,

если: а) пенопласт целиком ушёл под масло, а кубик остался над жидкостью; б) оба тела целиком погрузились в масло и остались плавать, находясь во взвешенном состоянии.

$\begin{array}{l} m_1 = 2,0 \text{ г} \\ V_1 = 100 \text{ см}^3 \\ V_2 = 12 \text{ см}^3 \\ \hline m_2 = ? \end{array}$	<i>Решение.</i> Плотность машинного масла $\rho_{\text{ж}} = 0,90 \text{ г/см}^3$. 1. В первом случае объём вытесненной жидкости $V_{\text{выт}}$ равен объёму пенопласта:
---	--

$$V_{\text{выт}} = V_1.$$

Воспользуемся формулой (30.12) и получим:

$$m_1 + m_2 = \rho_{\text{ж}} V_1 \Rightarrow m_2 = \rho_{\text{ж}} V_1 - m_1. \quad (30.14)$$

Подставим численные значения:

$$\begin{aligned} m_2 &= \rho_{\text{ж}} V_1 - m_1 = \\ &= 0,90 \text{ г/см}^3 \cdot 100 \text{ см}^3 - 2,0 \text{ г} \approx 88 \text{ г}. \end{aligned}$$

2. Во втором случае объём вытесненной жидкости $V_{\text{выт}}$ равен сумме объёмов пенопласта и кубика: $V_{\text{выт}} = V_1 + V_2$. Воспользуемся формулой (30.12) и получим:

$$\begin{aligned} m_1 + m_2 &= \rho_{\text{ж}} (V_1 + V_2) \Rightarrow \\ m_2 &= \rho_{\text{ж}} (V_1 + V_2) - m_1. \end{aligned} \quad (30.15)$$

Подставим численные значения:

$$\begin{aligned} m_2 &= \rho_{\text{ж}} (V_1 + V_2) - m_1 = \\ &= 0,90 \text{ г/см}^3 \cdot (100 \text{ см}^3 + 12 \text{ см}^3) - 2,0 \text{ г} \approx 99 \text{ г}. \end{aligned}$$

Ответ: а) $m_2 = \rho_{\text{ж}} V_1 - m_1 \approx 88 \text{ г}$;

б) $m_2 = \rho_{\text{ж}} (V_1 + V_2) - m_1 \approx 99 \text{ г}$.

СТОП! Решите самостоятельно: Б33, Б34, В58, В62, В64.

Грузоподъёмность, осадка и водоизмещение судна

Грузоподъёмностью (P_r) называется наибольший вес груза, который судно может перевозить.

Осадкой называется глубина, на которую судно погружается в воду. Наибольшая допустимая осадка отмечаем на корпусе судна красной линией, которая называется *ватерлинией* (от голландского слова «ватер» – вода).

Водоизмещением называется не объём вытесненной судном воды, а вес вытесненной воды при его погружении до ватерлинии.

По закону Архимеда вес вытесненной судном воды равен выталкивающей силе – силе Архимеда, поэтому можно сказать, что водоизмещение равно силе Архимеда, действующей на судно при его погружении в воду до ватерлинии:

$$P_B = F_A = \rho_B V_{\text{выт}} g. \quad (30.16)$$

Если вес судна без груза равен P_c , то общий вес судна и груза при полной загрузке должен равняться силе Архимеда, действующей на судно при его погружении до ватерлинии, то есть его водоизмещению:

$$P_c + P_r = P_B, \quad (30.17)$$

где P_r – вес груза при полной загрузке, то есть грузоподъемность.

Задача 30.9. Вычислите водоизмещение судна и его грузоподъемность, если при загрузке до ватерлинии оно вытеснило объем воды $V_{\text{выт}} = 45 \text{ м}^3$, а вес судна равен $P_c = 0,32 \text{ МН}$ (рис. 30.8).

$$\begin{array}{l} V_{\text{выт}} = 45 \text{ м}^3 \\ P_c = 0,32 \text{ МН} \\ P_B = ? \quad P_r = ? \end{array}$$

Решение. Плотность воды $\rho_B = 1,000 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Согласно формуле (30.16) водоизмещение $P_B = \rho_B V_{\text{выт}} g$.

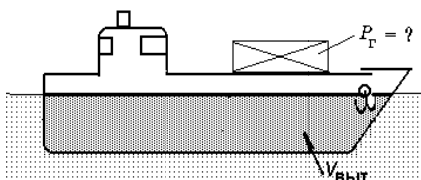


Рис. 30.8

Проверим размерность:

$$[P_B] = [\rho_B][V_{\text{выт}}][g] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3 \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = \text{Н}.$$

Подставим численные значения:

$$\begin{aligned} P_B &= \rho_B V_{\text{выт}} g = 1,000 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ Н/кг} \cdot 45 \text{ м}^3 = \\ &= 441000 \text{ Н} \approx 0,44 \text{ МН}. \end{aligned}$$

Для вычисления грузоподъемности воспользуемся формулой (30.17):

$$P_c + P_r = P_B \Rightarrow P_r = P_B - P_c = 0,44 \text{ МН} - 0,32 \text{ МН} \approx 0,12 \text{ МН}.$$

Ответ: $P_B = \rho_B V_{\text{выт}} g \approx 0,44 \text{ МН}$; $P_r = P_B - P_c \approx 0,12 \text{ МН}$.

СТОП! Решите самостоятельно: А16–А18, Б37, Б39, В65.

Увеличение осадки при загрузке судна

Задача 30.10. Груз какой массы необходимо положить на судно, площадь сечения которого у поверхности воды равна $S = 100 \text{ м}^2$, чтобы осадка судна увеличилась на $\Delta h = 1,00 \text{ см}$?

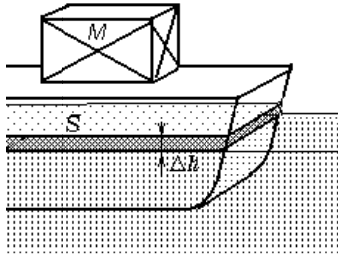
$$\begin{array}{l}
 S = 100 \text{ м}^2 \\
 \Delta h = 1,00 \text{ см} = \\
 = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ м} \\
 M = ?
 \end{array}$$

Решение. Как видно на рис. 30.9, при дополнительном погружении судна на глубину Δh объём вытесненной судном воды увеличится на $\Delta V = S\Delta h$. А

значит, величина силы Архимеда, действующей на судно, возрастет на величину

$$\Delta F_A = \rho_{\text{в}} g \Delta V = \rho_{\text{в}} g S \Delta h.$$

Для того чтобы уравновесить эту дополнительную силу, на судно надо положить груз, вес которого равен величине Mg :



$$P_{\text{гр}} = Mg = \Delta F_A = \rho_{\text{в}} g S \Delta h.$$

Итак, запомним:

$$P_{\text{гр}} = \rho_{\text{в}} g S \Delta h. \quad (30.18)$$

Отсюда получаем:

$$P_{\text{гр}} = Mg = \rho_{\text{в}} g S \Delta h,$$

$$M = \rho_{\text{в}} S \Delta h. \quad (30.19)$$

Проверим размерность:

$$[M] = [\rho_{\text{в}}][S][\Delta h] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{м} = \text{кг}.$$

Подставим численные значения:

$$\begin{aligned}
 M &= \rho_{\text{в}} S \Delta h = (1,00 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3) \cdot (100 \text{ м}^2) \cdot (1,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}) = \\
 &= 1,00 \cdot 10^3 \text{ кг} = 1,00 \text{ т}.
 \end{aligned}$$

Ответ: $M = \rho_{\text{в}} S \Delta h \approx 1,00 \text{ т}.$

СТОП! Решите самостоятельно: Б41, Б42, В66, В67.

Какова толщина подводной части льдины?

Задача 30.11. Плоская льдина толщиной $h = 1,0 \text{ м}$ плавает в воде. Определите толщину подводной части льдины (рис. 30.10).

$$\begin{array}{l}
 h = 1,0 \text{ м} \\
 h_{\text{под}} = ?
 \end{array}$$

Решение. Плотность воды $\rho_{\text{ж}} = 1,00 \text{ г/см}^3$, плотность льда $\rho_{\text{т}} = 0,90 \text{ г/см}^3$.

Пусть площадь льдины равна S . Поскольку льдина находится на плаву, то по формуле (30.5):

$$\rho_{\text{т}} V = \rho_{\text{ж}} V_{\text{выт}},$$

где $\rho_{\text{т}}$ – плотность тела (льда); V – объём льдины; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости (воды); $V_{\text{выт}}$ – объём вытесненной воды.

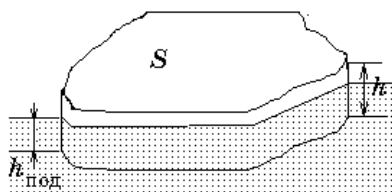


Рис. 30.10

Как видно из рисунка, $V = Sh$, $V_{\text{выт}} = Sh_{\text{под}}$. Тогда из формулы (30.5) получим:

$$\rho_{\text{т}} Sh = \rho_{\text{ж}} Sh_{\text{под}} \Rightarrow \frac{\rho_{\text{т}} h}{\rho_{\text{ж}}} = \frac{\rho_{\text{ж}} h_{\text{под}}}{\rho_{\text{ж}}} \Rightarrow h_{\text{под}} = h \frac{\rho_{\text{т}}}{\rho_{\text{в}}} \quad (30.20)$$

Подставим численные значения:

$$h_{\text{под}} = h \frac{\rho_{\text{т}}}{\rho_{\text{в}}} = 1,0 \text{ м} \cdot \frac{0,90 \text{ г/см}^3}{1,00 \text{ г/см}^3} = 0,90 \text{ м} \approx 90 \text{ см.}$$

Ответ: $h_{\text{под}} = h \frac{\rho_{\text{т}}}{\rho_{\text{в}}} \approx 90 \text{ см.}$

СТОП! Решите самостоятельно: Б43, В69, В71, В73.

Какова грузоподъёмность плота?

Деревянный плот используется для перевозки груза по реке. Спрашивается: груз какого максимально возможного веса $P_{\text{г}}$ можно на нём перевозить?

Пусть плотность дерева $\rho_{\text{т}}$, объём плота V , а плотность воды $\rho_{\text{ж}}$. Максимально возможная грузоподъёмность плота будет достигнута, если плот целиком уйдёт под воду, но сверху вода его заливать не будет: груз всё-таки должен остаться сухим. Тогда объём вытесненной воды будет равен объёму плота: $V_{\text{выт}} = V$, а сила Архимеда $F_{\text{А}} = \rho_{\text{ж}} Vg$. Вес плота $P_{\text{п}} = m_{\text{п}}g = \rho_{\text{т}} Vg$.

Для того чтобы плот с грузом был на плаву, надо, чтобы их общий вес был равен силе Архимеда:

$$P_{\text{г}} + P_{\text{п}} = F_{\text{А}} \Rightarrow P_{\text{г}} + \rho_{\text{т}} Vg = \rho_{\text{ж}} Vg \Rightarrow P_{\text{г}} = \rho_{\text{ж}} Vg - \rho_{\text{т}} Vg \Rightarrow P_{\text{г}} = Vg (\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{т}}). \quad (30.21)$$

Это и есть максимально возможный вес груза, перевозимый плотом.

Задача 30.12. На сосновом плоту объёмом $V = 10 \text{ м}^3$ перевозят груз. Определите грузоподъёмность плота.

$\frac{V = 10 \text{ м}^3}{P_{\text{г}} = ?}$	Решение. По таблице П1 находим плотность древесины сосны $\rho_{\text{т}} = 0,40 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, плотность воды $\rho_{\text{ж}} = 1,000 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
---	---

Воспользуемся формулой (30.21): $P_r = Vg (\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{т}})$. Проверим размерность:

$$[P_r] = [V][g][\rho] = \text{м}^3 \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = \text{Н}.$$

Подставим численные значения:

$$P_r = Vg (\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{т}}) = 10 \text{ м}^3 \cdot 9,8 \text{ Н/кг} \cdot (1,000 \cdot 10^3 - 0,40 \cdot 10^3) = 58800 \text{ Н} \approx 59 \text{ кН}.$$

Ответ: $P_r = Vg (\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{т}}) \approx 59 \text{ кН}$.

СТОП! Решите самостоятельно: Б45, В80–В82.

Сила Архимеда и воздухоплавание

Читатель: По закону Архимеда выталкивающая сила действует на все тела, погружённые в жидкость или газ. Но ведь воздух – тоже газ. Почему же мы не ощущаем этой силы?

Автор: Потому что она *очень мала*. Сила Архимеда, действующая на тело объёмом V , находящееся в воздухе, равна $F_A = \rho_{\text{воз}} Vg$, где $\rho_{\text{воз}}$ – плотность воздуха, которая при нормальном атмосферном давлении и температуре 0°С равна $1,29 \text{ кг/м}^3$. А плотность воды, как Вы помните, 1000 кг/м^3 . Как говорится, почувствуйте разницу!

Чтобы тело под действием силы Архимеда взлетело в воздух, необходимо, чтобы эта сила была больше силы тяжести, действующей на тело. Реально это достигается только в том случае, если в очень лёгкую оболочку заключается газ, плотность которого меньше плотности воздуха, например водород или гелий. В крайнем случае, годится горячий воздух: его плотность меньше, чем у холодного. Такое устройство называется воздушным шаром.

Подъёмной силой воздушного шара называется *максимальный вес груза*, который воздушный шар может поднять в воздух. Можно сказать и так: *подъёмная сила* воздушного шара равна *силе натяжения* верёвки, которая удерживает шар, чтобы он не улетел.

Ясно, что чем больше сила Архимеда и чем меньше сила тяжести, действующая на воздушный шар, тем больше его подъёмная сила. Следовательно, подъёмная сила тем больше, чем больше плотность окружающего воздуха и меньше плотность газа, которым наполнен шар.

СТОП! Решите самостоятельно: А19, Б46, Б47, В85–В87.

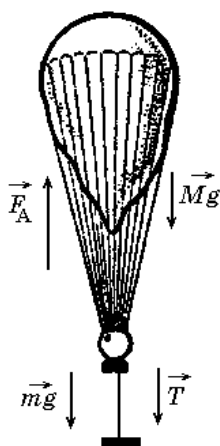
Задача 30.13. Воздушный шар имеет объём $V = 80000 \text{ м}^3$. Он наполнен горячим воздухом плотностью $\rho_{\text{т}} = 1,06 \text{ кг/м}^3$ и находится в окружающем его воздухе плотностью $\rho_{\text{воз}} = 1,29 \text{ кг/м}^3$. Масса оболочки шара $m = 40 \text{ кг}$. Определите подъёмную силу воздушного шара.

$$\begin{aligned}
 V &= 80000 \text{ м}^3 \\
 \rho_{\text{г}} &= 1,06 \text{ кг/м}^3 \\
 \rho_{\text{воз}} &= 1,29 \text{ кг/м}^3 \\
 m &= 40 \text{ кг} \\
 F_{\text{под}} &= ?
 \end{aligned}$$

Решение. Пусть наш шар удерживается веревкой, сила натяжения которой равна T . Эта сила как раз равна по величине подъемной силе воздушного шара: $F_{\text{под}} = T$.

На шар действуют четыре силы: сила Архимеда $\vec{F}_A$, сила натяжения нити $\vec{T}$, сила тяжести

оболочки воздушного шара $\vec{mg}$ и сила тяжести горячего воздуха, находящегося внутри воздушного шара, $\vec{Mg}$ (рис. 30.11). Равнодействующая этих сил равна нулю (разумеется, в том случае, если шар еще не улетел). Это значит, что величина силы Архимеда, направленной вверх, равна сумме величин сил $\vec{T}$, $\vec{mg}$ и $\vec{Mg}$, направленных вниз:



$$F_A = mg + Mg + T,$$

отсюда:

$$T = F_A - Mg - mg. \quad (1)$$

Согласно формуле (30.1):

$$F_A = \rho_{\text{воз}} Vg. \quad (2)$$

Масса воздуха, находящегося в воздушном шаре, равна:

$$M = \rho_{\text{г}} V. \quad (3)$$

Подставляя значения F_A и M из формул (2) и (3) в формулу (1), получим:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{под}} = T &= F_A - Mg - mg = \\
 &= \rho_{\text{воз}} Vg - \rho_{\text{г}} Vg - mg = Vg(\rho_{\text{воз}} - \rho_{\text{г}}) - mg.
 \end{aligned}$$

Итак, мы получили формулу для расчета подъемной силы воздушного шара:

$$F_{\text{под}} = Vg(\rho_{\text{воз}} - \rho_{\text{г}}) - mg. \quad (30.22)$$

Подставим численные значения:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{под}} &= Vg(\rho_{\text{воз}} - \rho_{\text{г}}) - mg = \\
 &= (80000 \text{ м}^3) \cdot (9,8 \text{ Н/кг}) \cdot (1,29 \text{ кг/м}^3 - 1,06 \text{ кг/м}^3) - \\
 &\quad - (40 \text{ кг}) \cdot (9,8 \text{ Н/кг}) = 807,128 \text{ Н} \approx 0,81 \text{ кН}.
 \end{aligned}$$

Ответ: $F_{\text{под}} = Vg(\rho_{\text{воз}} - \rho_{\text{г}}) - mg \approx 0,81 \text{ кН}$.

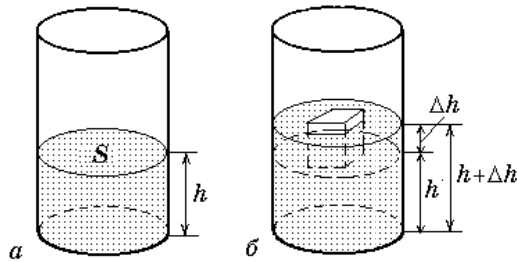
СТОП! Решите самостоятельно: В88, В90, Г27.

Изменение уровня жидкости при погружении тела

Задача 30.14. В цилиндрический стакан с площадью основания $S = 10 \text{ см}^2$, наполненный водой, опустили кусочек льда массой $m_{\text{л}} = 1,2 \text{ г}$ (рис. 30.12). На сколько поднялся уровень воды в стакане?

$$\begin{array}{l} S = 10 \text{ см}^2 \\ m_{\text{л}} = 1,2 \text{ г} \\ \Delta h = ? \end{array}$$

Рис. 30.12



Решение. Плотность воды $1,00 \text{ г/см}^3$. Заметим, что вода вместе с подводной частью льдинки имеет форму цилиндра (рис. 30.12,б), объём которого

$$V = S(h + \Delta h).$$

Если объём воды в стакане равен $V_{\text{в}}$, а объём подводной части льдинки равен $V_{\text{выт}}$, то можно записать

$$S(h + \Delta h) = V_{\text{в}} + V_{\text{выт}}. \quad (1)$$

Объём воды, как видно из рис. 30.11,а,

$$V_{\text{в}} = Sh. \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), получим

$$\begin{aligned} S(h + \Delta h) &= Sh + V_{\text{выт}} \Rightarrow Sh + S\Delta h = Sh + V_{\text{выт}} \Rightarrow \\ V_{\text{выт}} &= S\Delta h. \end{aligned} \quad (3)$$

Объём подводной части льдинки найдём из условия плавания тела:

$$\begin{aligned} F_{\text{А}} &= m_{\text{л}}g \Rightarrow \rho_{\text{ж}} V_{\text{выт}} g = m_{\text{л}}g \Rightarrow \\ V_{\text{выт}} &= \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{ж}}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Подставляя $V_{\text{выт}}$ из формулы (3) в формулу (4), получим

$$S\Delta h = \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{ж}}} \Rightarrow \Delta h = \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{ж}} S}. \quad (30.23)$$

Проверим размерность:

$$[\Delta h] = \frac{[m_{\text{л}}]}{[\rho_{\text{ж}}][S]} = \frac{\text{г}}{(\text{г/см}^3) \cdot \text{см}^2} = \frac{\text{г}}{\text{г}} \cdot \frac{\text{см}}{1} = \frac{\text{г} \cdot \text{см}}{1 \cdot \text{г}} = \text{см}.$$

Подставим численные значения:

$$\Delta h = \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{ж}} S} = \frac{1,2 \text{ г}}{1,00 \text{ г/см}^3 \cdot 10 \text{ см}^2} \approx 0,12 \text{ см}.$$

$$\text{Ответ: } \Delta h = \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{ж}} S} \approx 0,12 \text{ см}.$$

СТОП! Решите самостоятельно: В92, В93, Г31.

Задача 30.15. Два сообщающихся сосуда с одинаковой площадью сечения $S = 10 \text{ см}^2$ заполнены машинным маслом. На сколько поднимется уровень жидкости в этих сосудах, если в один из них опустить деревянный кубик массой $m_{\text{т}} = 12 \text{ г}$?

$$\begin{array}{l} S = 10 \text{ см}^2 \\ m_{\text{л}} = 12 \text{ г} \\ \Delta h = ? \end{array}$$

Решение. Уровень масла в обоих сосудах после опускания кубика будет одинаковым. В противном случае гидростатическое давление $p = \rho_{\text{ж}}hg$ в одном из сосудов было бы больше, чем в другом, и масло стало бы перетекать из одного сосуда в другой.

Плотность машинного масла $\rho_{\text{ж}} = 0,90 \text{ г/см}^3$. Объём масла в обоих сосудах равен сумме объёмов двух цилиндров с площадью основания S и высотой h (рис. 30.13,а): $V_{\text{м}} = 2Sh$.

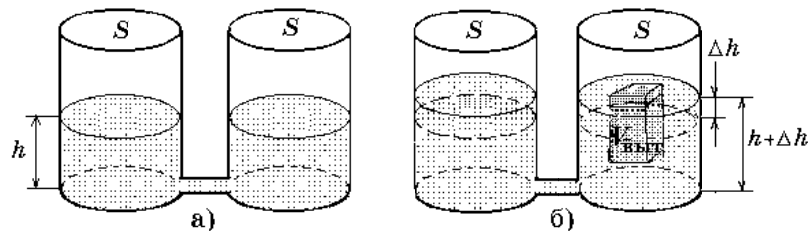


Рис. 30.12

Объём масла вместе с погружённой частью кубика равен объёму цилиндров с высотой $(h + \Delta h)$ и площадью основания S (рис. 30.13,б):

$$\begin{aligned} V_{\text{м}} + V_{\text{выт}} &= 2S(h + \Delta h) \Rightarrow 2Sh + V_{\text{выт}} = 2S(h + \Delta h) \Rightarrow \\ 2Sh + V_{\text{выт}} &= 2Sh + 2S\Delta h \Rightarrow \\ V_{\text{выт}} &= 2S\Delta h. \end{aligned} \quad (1)$$

Величину объёма вытесненной жидкости можно найти по формуле (4) из предыдущей задачи:

$$V_{\text{выт}} = \frac{m_{\text{т}}}{\rho_{\text{ж}}}. \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), получим

$$\frac{m_{\text{т}}}{\rho_{\text{ж}}} = 2S\Delta h \Rightarrow$$

$$\Delta h = \frac{m_{\text{т}}}{\rho_{\text{ж}} 2S}. \quad (30.24)$$

Подставим численные значения:

$$\Delta h = \frac{m_{\text{т}}}{\rho_{\text{ж}} 2S} = \frac{12 \text{ г}}{0,90 \text{ г/см}^3 \cdot 2 \cdot 10 \text{ см}^2} \approx 0,67 \text{ см}.$$

$$\text{Ответ: } \Delta h = \frac{m_{\text{т}}}{\rho_{\text{ж}} 2S} \approx 0,67 \text{ см}.$$

СТОП! Решите самостоятельно: В95, Г33, Г34.

Изменится ли вес воды в стакане?

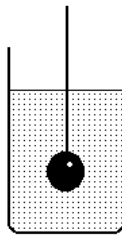


Рис. 30.14

Автор: Как Вы считаете, изменится ли вес воды в стакане, если в стакан с водой опустить на нити небольшой металлический грузик, не касаясь им дна и стенок стакана (рис. 30.14)?

Читатель: Вес грузика уменьшится, так как на него будет действовать снизу сила Архимеда. А вот вес воды, наверное, не изменится: ведь грузик же не касается дна сосуда.

Автор: А изменится ли высота столбы жидкости в стакане?

Читатель: Да, уровень воды в стакане повысится.

Автор: А раз уровень воды в стакане повысится, то как изменится гидростатическое давление на дно стакана?

Читатель: Гидростатическое давление на дно вычисляется по формуле: $p = \rho_{\text{ж}}gh$, где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность воды, а h – высота столба воды. Раз высота столба h увеличилась, значит, увеличилось и давление воды на дно стакана.

Автор: А вес жидкости P – это сила давления жидкости на дно стакана: $P = pS$, где p – давление жидкости на дно стакана, а S – площадь дна стакана. Раз давление p увеличилось...

Читатель: Значит, вес воды тоже увеличился?

Автор: Совершенно верно. Замечу, что к такому же выводу можно было прийти, рассуждая по-другому. Вспомним 3-й закон Ньютона: тела взаимодействуют с силами, равными по величине и противоположными по направлению. При опускании грузика в воду на него со стороны воды начинает действовать сила Архимеда, направленная вверх. Значит, по 3-му закону Ньютона грузик тоже начинает действовать на воду с такой же по величине силой, но направленной вниз. Эта сила передается дну сосуда и равна увеличению веса воды в сосуде.

Читатель: Значит, вес воды в сосуде увеличится как раз на величину силы Архимеда, действующей на грузик, то есть увеличение веса воды равно $\Delta P = \rho_{\text{ж}}gV_{\text{выт}}$?

Автор: Совершенно верно. Замечу также, что эти рассуждения справедливы и для случая, когда опущенное в стакан тело останется плавать в сосуде.

СТОП! Решите самостоятельно: В98, В99, Г37, Г38, Д13.

Проблема утонувшего топора

Автор: С лодки в озеро уронили топор. Что стало с уровнем воды в озере: он понизился, повысился или остался неизменным?

Читатель: Чисто практически, конечно, остался неизменным. А чисто теоретически... трудно сказать. С одной стороны, топор, утонув, вытеснил дополнительный объём воды, а с другой стороны, лодка полегчала и стала вытеснять меньше воды.

Автор: Вы правы. Вопрос не так прост, как кажется. Поэтому разберёмся с ним подробно.

Пусть в сосуде с площадью сечения S , заполненном жидкостью с плотностью $\rho_{\text{ж}}$, на плаву находится плот массой $m_{\text{п}}$. На плоту лежит груз массой $m_{\text{гр}}$, объёмом $V_{\text{гр}}$ и плотностью $\rho_{\text{гр}}$. Выясним, на сколько изменится уровень жидкости, если груз упадёт с плота.

1. Сначала рассмотрим случай, когда груз, упав с плота, остался на плаву, то есть $\rho_{\text{гр}} < \rho_{\text{ж}}$. Запишем условие плавания плота с грузом:

$$F_A = F_T \Rightarrow \rho_{\text{ж}} V_{\text{выт}} g = (m_{\text{п}} + m_{\text{гр}}) g \Rightarrow V_{\text{выт}} = \frac{m_{\text{п}} + m_{\text{гр}}}{\rho_{\text{ж}}} \Rightarrow$$

$$V_{\text{выт}} = \frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{ж}}} + \frac{m_{\text{гр}}}{\rho_{\text{ж}}} . \quad (1)$$

Условие плавания одного плота (без груза):

$$\rho_{\text{ж}} V_{\text{п.выт}} g = m_{\text{п}} g \Rightarrow V_{\text{п.выт}} = \frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{ж}}} ,$$

где $V_{\text{п.выт}}$ – объём жидкости, вытесненной плотом.

Условие плавания груза, упавшего с плота:

$$\rho_{\text{гр}} V_{\text{гр.выт}} g = m_{\text{гр}} g \Rightarrow V_{\text{гр.выт}} = \frac{m_{\text{гр}}}{\rho_{\text{ж}}} .$$

где $V_{\text{гр.выт}}$ – объём жидкости, вытесненной грузом, упавшим с плота, но оставшемся на плаву.

Тогда общий объём жидкости, вытесненной плотом и грузом после падения с плота, равен

$$V'_{\text{выт}} = V_{\text{п.выт}} + V_{\text{гр.выт}} = \frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{ж}}} + \frac{m_{\text{гр}}}{\rho_{\text{ж}}} . \quad (2)$$

Сравнивая формулы (1) и (2), видим, что $V'_{\text{выт}} = V_{\text{выт}}$, то есть объём вытесненной жидкости после падения груза с плота не изменился, а значит, не изменился и уровень жидкости в сосуде.

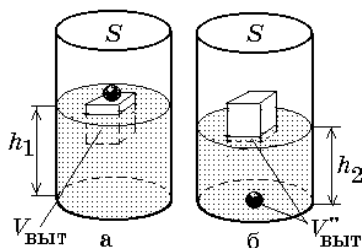
2. Теперь рассмотрим случай, когда груз утонул: $\rho_{\text{гр}} > \rho_{\text{ж}}$. Это как раз случай утонувшего топора.

В этом случае объём вытесненной грузом жидкости равен объёму самого груза, то есть $V_{\text{гр.выт}} = V_{\text{гр}} = \frac{m_{\text{гр}}}{\rho_{\text{гр}}}$. Тогда общий объём жидкости, вытесненной плотом и утонувшим грузом, составит

$$V''_{\text{выт}} = V_{\text{п.выт}} + V_{\text{гр}} = \frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{ж}}} + \frac{m_{\text{гр}}}{\rho_{\text{гр}}}. \quad (3)$$

Сравнивая (3) и (1), заметим, что поскольку $\rho_{\text{гр}} > \rho_{\text{ж}}$, то $\frac{m_{\text{гр}}}{\rho_{\text{ж}}} > \frac{m_{\text{гр}}}{\rho_{\text{гр}}}$, а значит, $V''_{\text{выт}} < V_{\text{выт}}$. То есть объём вытесненной жидкости уменьшился, а значит, уровень жидкости понизился (рис. 30.15).

Теперь выясним, на сколько понизился уровень жидкости. До падения груза уровень жидкости определялся объёмом цилиндра с высотой h_1 и основанием S . Этот объём состоял из объёма жидкости $V_{\text{ж}}$ и объёма, вытесненного плотом с грузом $V_{\text{выт}}$ (рис. 30.15,а):



$$Sh_1 = V_{\text{ж}} + V_{\text{выт}} \Rightarrow h_1 = \frac{V_{\text{ж}} + V_{\text{выт}}}{S}.$$

После падения груза уровень жидкости определяется цилиндром высотой h_2 и основанием S . Этот объём состоит из объёма жидкости $V_{\text{ж}}$ и объёма $V''_{\text{выт}}$, равного объёму груза и объёму жидкости, вытесненной плотом (рис. 30.15,б):

$$Sh_2 = V_{\text{ж}} + V''_{\text{выт}} \Rightarrow h_2 = \frac{V_{\text{ж}} + V''_{\text{выт}}}{S}.$$

Уровень жидкости уменьшился на величину

$$\begin{aligned} \Delta h &= h_1 - h_2 = \frac{V_{\text{ж}} + V_{\text{выт}}}{S} - \frac{V_{\text{ж}} + V''_{\text{выт}}}{S} = \\ &= \frac{V_{\text{ж}} + V_{\text{выт}} - V_{\text{ж}} - V''_{\text{выт}}}{S} = \frac{V_{\text{выт}} - V''_{\text{выт}}}{S} = \\ &= \frac{1}{S} \left[\left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{ж}}} + \frac{m_{\text{гр}}}{\rho_{\text{ж}}} \right) - \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{ж}}} + \frac{m_{\text{гр}}}{\rho_{\text{гр}}} \right) \right] = \frac{1}{S} \left(\frac{m_{\text{гр}}}{\rho_{\text{ж}}} - \frac{m_{\text{гр}}}{\rho_{\text{гр}}} \right) \Rightarrow \\ \Delta h &= \frac{m_{\text{гр}}}{S} \left(\frac{1}{\rho_{\text{ж}}} - \frac{1}{\rho_{\text{гр}}} \right). \end{aligned} \quad (30.25)$$

СТОП! Решите самостоятельно: В101, В102, Г39, Г40.

Задача 30.16. В цилиндрическом стакане с площадью поперечного сечения $S = 20 \text{ см}^2$, заполненном машинным маслом, плавает пробковый кубик, на котором лежит стальной шарик массой $m_{\text{гр}} = 12 \text{ г}$. На сколько изменится уровень масла в стакане, если шарик утонет?

$S = 20 \text{ см}^2$ $m_{\text{гр}} = 12 \text{ г}$ $\Delta h = ?$	Решение. Плотность машинного масла $\rho_{\text{ж}} = 0,90 \text{ г/см}^3$, плотность стали $\rho_{\text{гр}} = 7,8 \text{ г/см}^3$. Уровень жидкости понизится на величину Δh , которую можно вычислить по формуле (30.25):
---	---

$$\Delta h = \frac{m_{\text{гр}}}{S} \left(\frac{1}{\rho_{\text{ж}}} - \frac{1}{\rho_{\text{гр}}} \right).$$

Проверим размерность:

$$[\Delta h] = \frac{[m_{\text{гр}}]}{[S]} \frac{1}{[\rho]} = \frac{\text{г}}{\text{см}^2} \cdot \frac{1}{\text{г/см}^3} = \frac{\text{г}}{\text{см}^2} \cdot \frac{\text{см}^3}{\text{г}} = \text{см}.$$

Подставим численные значения:

$$\Delta h = \frac{m_{\text{гр}}}{S} \left(\frac{1}{\rho_{\text{ж}}} - \frac{1}{\rho_{\text{гр}}} \right) = \frac{12 \text{ г}}{20 \text{ см}^2} \cdot \left(\frac{1}{0,90 \text{ г/см}^3} - \frac{1}{7,8 \text{ г/см}^3} \right) \approx 0,59 \text{ см}.$$

Ответ: $\Delta h = \frac{m_{\text{гр}}}{S} \left(\frac{1}{\rho_{\text{ж}}} - \frac{1}{\rho_{\text{гр}}} \right) \approx 0,59 \text{ см}.$

СТОП! Решите самостоятельно: В100, Г41, Г42.

**Как изменится уровень воды,
если лёд в стакане растает?**

Задача 30.17. На дне стакана площадью сечения $S = 10 \text{ см}^2$, заполненного водой, находится кусочек льда массой $m_{\text{л}} = 25 \text{ г}$, который примёрз ко дну. Как изменится уровень воды, если лёд растает?

$S = 10 \text{ см}^2$	Решение. Если бы плотности льда и воды были равны, то вода, получившаяся при таянии льда, заняла бы тот же объём, который занимал лёд, и уровень воды в стакане не изменился бы. Но плотность
$m_{\text{л}} = 25 \text{ г}$	
$\Delta h = ?$	

воды $\rho_{\text{в}} = 1,0 \text{ г/см}^3$ больше плотности льда $\rho_{\text{л}} = 0,90 \text{ г/см}^3$, поэтому объём воды, получившейся при таянии льда, будет меньше того объёма, который занимал лёд. А значит, уровень воды в стакане понизится.

Сначала уровень воды определялся цилиндром высотой h_1 и площадью сечения S (рис. 30.16,а). Этот объём равен сумме объёмов воды $V_{\text{в}}$ и льда $V_{\text{л}} = \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{л}}}$. Отсюда

$$Sh_1 = V_{\text{в}} + V_{\text{л}} = V_{\text{в}} + \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{л}}} \Rightarrow h_1 = \frac{1}{S} \left(V_{\text{в}} + \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{л}}} \right).$$

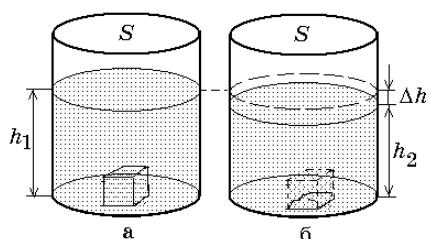


Рис. 30.16

После того, как лёд растаял, уровень воды стал определяться цилиндром высотой h_2 с той же площадью сечения S . Этот объём состоит из того же объёма воды V_B и объёма воды $V'_B = \frac{m_{\text{л}}}{\rho_B}$, получившегося от таяния льда (рис. 30.16,б):

$$Sh_2 = V_B + V'_B = V_B + \frac{m_{\text{л}}}{\rho_B} \Rightarrow h_2 = \frac{1}{S} \left(V_B + \frac{m_{\text{л}}}{\rho_B} \right).$$

Уровень воды понизился на величину

$$\Delta h = h_1 - h_2 = \frac{1}{S} \left(V_B + \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{л}}} \right) - \frac{1}{S} \left(V_B + \frac{m_{\text{л}}}{\rho_B} \right) = \frac{1}{S} \left(V_B + \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{л}}} - V_B - \frac{m_{\text{л}}}{\rho_B} \right) \Rightarrow$$

$$\Delta h = \frac{m_{\text{л}}}{S} \left(\frac{1}{\rho_{\text{л}}} - \frac{1}{\rho_B} \right). \quad (30.26)$$

Подставим численные значения:

$$\Delta h = \frac{m_{\text{л}}}{S} \left(\frac{1}{\rho_{\text{л}}} - \frac{1}{\rho_B} \right) = \frac{25 \text{ г}}{10 \text{ см}^2} \cdot \left(\frac{1}{0,90 \text{ г/см}^3} - \frac{1}{1,00 \text{ г/см}^3} \right) \approx 0,28 \text{ см}.$$

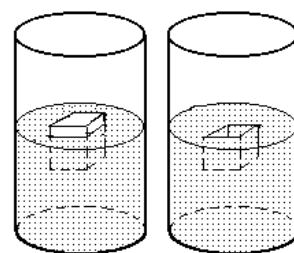
Ответ: $\Delta h = \frac{m_{\text{л}}}{S} \left(\frac{1}{\rho_{\text{л}}} - \frac{1}{\rho_B} \right) \approx 0,28 \text{ см}.$

СТОП! Решите самостоятельно: В103, В104, Г45.

Задача 30.18. В стакане с водой плавает кусок льда. Как изменится уровень воды в стакане после того, как лёд растает (рис. 30.17,а)?

Решение. Давайте мысленно удалим лёд из воды. Тогда в воде останется лунка, объём которой равен подводной части льда, то есть объёму воды, вытесненной кусочком льда (рис. 30.17,б). Введём следующие обозначения: m – масса кусочка льда, $\rho_{\text{л}}$ – плотность льда, ρ_B – плотность воды, $V_{\text{выт}}$ – объём воды, вытесненной кусочком льда (объём лунки). Запишем условие плавания льда:

$$F_A = F_T \Rightarrow \rho_B V_{\text{выт}} g = mg \Rightarrow V_{\text{выт}} = \frac{m}{\rho_B}. \quad (1)$$



а б
Рис. 30.17

Теперь (опять же мысленно) растопим наш лёд. Полученная вода будет иметь такую же массу m . Пусть V_B – объём воды, полученной при плавлении льда. Тогда справедливо равенство

$$m = \rho_B V_B.$$

Отсюда

$$V_B = \frac{m}{\rho_B}. \quad (2)$$

Сравним формулы (1) и (2). Получается, что объём лунки в точности равен объёму воды, полученной от плавления нашего кусочка льда. Поэтому, если мы сейчас (опять же мысленно)

зальем полученную из льда воду в лунку, то она целиком заполнится водой, и уровень воды в сосуде не изменится.

Ответ: уровень воды не изменится.

СТОП! Решите самостоятельно: Г46–Г48, Д15.

Жидкость на жидкости

Некоторые жидкости, например, масло, вода, ртуть, не смешиваются между собой. Если налить такие жидкости в один сосуд, то они будут располагаться слоями одна над другой. При этом внизу будет находиться жидкость, имеющая наибольшую плотность. Так, если налить в один сосуд воду и ртуть, то слой ртути будет снизу, а слой воды – сверху. Если же налить в один сосуд воду и подсолнечное масло, то снизу будет вода, а сверху масло.

Автор: На поверхности воды в сосуде плавает деревянный кубик (рис. 30.18,а). Изменится ли глубина погружения кубика в воду, если сверху налить слой подсолнечного масла (рис. 30.18,б)?

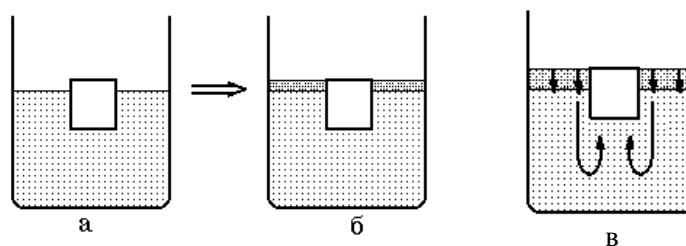


Рис. 30.18

Читатель: Я думаю, глубина погружения кубика в воду не изменится, ведь налитое масло будет давить на кубик только с боков, а сверху и снизу никаких новых сил не появится.

Автор: Не совсем так. Слой масла окажет давление на поверхность воды, и это давление по закону Паскаля передастся во все точки под водой без изменения. А значит, это дополнительное давление передастся и нижнему основанию кубика (рис. 30.18,в). Следовательно, появится дополнительная сила, действующая снизу вверх на нижнее основание кубика. Ясно, что под действием этой силы он немного поднимется вверх, и глубина его погружения в воду уменьшится.

Пусть теперь деревянный кубик плавает на границе раздела между слоями воды и масла, как показано на рис. 30.18,б. Изменится ли глубина погружения кубика в воду, если сверху еще долить масла?

Читатель: Я думаю, да. Кубик будет подниматься над поверхностью воды, ведь чем больше толщина слоя масла, тем большее давление масло будет оказывать на поверхность воды, а значит, тем больше будет сила давления на нижнюю грань кубика.

Автор: А вот и нет! Действительно, на нижнюю грань кубика давление возрастет, но ведь на столько же возрастет давление и на верхнюю грань кубика. Поэтому результирующая добавка будет равна нулю.

СТОП! Решите самостоятельно: В105–В107, Г49.

Задача 30.19. Поверх ртути в сосуде налита вода. Кусок гранита объемом $V = 120 \text{ см}^3$ плавает у границы раздела этих жидкостей, при этом гранит полностью накрыт водой (рис. 30.19). Какой

объём гранита V_1 погружен в воду?

$$\frac{V = 120 \text{ см}^3}{V_1 = ?}$$

Решение. Плотности:

гранита $\rho_r = 2,7 \text{ г/см}^3$,

воды $\rho_1 = 1,000 \text{ г/см}^3$,

ртути $\rho_2 = 13,6 \text{ г/см}^3$.

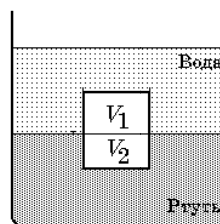


Рис. 30.19

Запишем условие плавания гранита: $F_A = F_r$. Сила Архимеда в этом случае состоит из двух сил: силы Архимеда $F_A^1 = \rho_1 V_1 g$, действующей на гранит со стороны воды, и силы

Архимеда $F_A^2 = \rho_2 V_2 g$, действующей на гранит со стороны ртути.

Общая сила Архимеда составит:

$$F_A = F_A^1 + F_A^2 = \rho_1 V_1 g + \rho_2 V_2 g.$$

Сила тяжести, действующая на гранит,

$$F_r = m g = \rho_r V g.$$

$$F_A = F_r \Rightarrow \rho_1 V_1 g + \rho_2 V_2 g = \rho_r V g \Rightarrow$$

$$\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 = \rho_r V. \quad (30.27)$$

Учтём, что $V = V_1 + V_2 \Rightarrow V_2 = V - V_1$.

Подставим в формулу (30.27) значение $V_2 = V - V_1$ и решим полученное уравнение относительно V_1 :

$$\rho_1 V_1 + \rho_2 (V - V_1) = \rho_r V \Rightarrow \rho_1 V_1 + \rho_2 V - \rho_2 V_1 = \rho_r V \Rightarrow$$

$$\rho_1 V_1 - \rho_2 V_1 = \rho_r V - \rho_2 V \Rightarrow V_1 (\rho_1 - \rho_2) = V (\rho_r - \rho_2) \Rightarrow$$

$$V_1 = V \frac{\rho_r - \rho_2}{\rho_1 - \rho_2}. \quad (30.28)$$

Подставим численные значения:

$$\begin{aligned} V_1 &= V \frac{\rho_r - \rho_2}{\rho_1 - \rho_2} = 120 \text{ см}^3 \cdot \frac{2,7 \text{ г/см}^3 - 13,6 \text{ г/см}^3}{1,000 \text{ г/см}^3 - 13,6 \text{ г/см}^3} = \\ &= 103,8 \text{ см}^3 \approx 1,0 \cdot 10^2 \text{ см}^3. \end{aligned}$$

$$\text{Ответ: } V_1 = V \frac{\rho_r - \rho_2}{\rho_1 - \rho_2} \approx 1,0 \cdot 10^2 \text{ см}^3.$$

СТОП! Решите самостоятельно: В109, Г51, Г52.

Проблема подводной лодки

Автор: Как Вы считаете, может ли подводная лодка, находящаяся на небольшой глубине, безопасно для себя лечь на дно?

Читатель: Честно говоря, у меня тут есть сомнение: а будет ли действовать на подводную лодку сила давления воды снизу, если дно лодки вплотную прилегает к грунту? Ведь если этой силы снизу не будет, то лодка не сможет всплыть на поверхность, потому что сверху на неё действует сила давления воды, которая прижимает её ко дну, кроме того, её прижимает ко дну сила тяжести.

Автор: Ваши опасения вполне обоснованы. Тут все дело в том, какой грунт. Если песчаный, то вода будет просачиваться между песчинками, и под дном подводной лодки будет тонкая прослойка воды, которая и обеспечит давление воды снизу. А вот если грунт глинистый, то лодка может увязнуть в этой глине, так как вода действительно не будет поступать под днище лодки, а значит, на лодку не будет действовать выталкивающая сила Архимеда. Такая ситуация для подводной лодки означает неминуемую гибель.

Задача 30.20. На дне стакана с водой лежит отшлифованная медная пластинка площадью $S = 20 \text{ см}^2$ и массой $m = 10 \text{ г}$ (рис. 30.20). Высота столба воды над пластинкой $h = 10 \text{ см}$. Вода под пластинку не проникает. Какую силу надо приложить к пластинке вертикально вверх, чтобы оторвать её от дна? Плотность воды $\rho_v = 1,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Атмосферное давление $p_a = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

$$S = 20 \text{ см}^2 = 20 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$h = 10 \text{ см} = 0,10 \text{ м}$$

$$m = 10 \text{ г} = 0,010 \text{ кг}$$

$$\rho_v = 1,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$p_{\text{атм}} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$F = ?$$

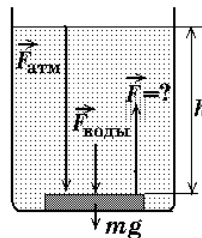


Рис. 30.20

Решение.

Читатель: Раз вода под пластинку не попадает, значит, сила Архимеда на пластинку не действует. Следовательно, чтобы поднять пластинку, надо приложить к ней силу F , равную силе тяжести пластинки: $F = mg$.

Автор: А сила давления воды? Ведь вода же действует *сверху* на пластину, причём гидростатическое давление равно $p = \rho_v h g$.

Читатель: Значит, сила, с которой вода действует на пластинку, равна $F_b = pS = \rho_v h g S$. Тогда, чтобы оторвать пластинку, потребуется сила $F_b = mg + \rho_v g h S$.

Автор: А как же атмосферное давление? Оно действует на поверхность воды, и это давление передаётся через жидкость на верхнюю поверхность пластинки (а на нижнюю – нет, так как снизу нет воды).

Читатель: Верно. Значит, на пластинку действует ещё одна сила $F_a = p_a S$. Тогда сила, необходимая для отрыва пластинки от дна будет равна сумме сил mg , F_b и F_a :

$$F = mg + \rho_v g h S + p_a S. \quad (30.29)$$

Проверим размерность:

$$\begin{aligned} [F] &= [m][g] + [\rho_v][g][h][S] + [p_a][S] = \\ &= \text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} + \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2 + \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot \text{м}^2 = \text{Н}. \end{aligned}$$

Подставим численные значения:

$$\begin{aligned}
 F &= mg + \rho_b ghS + p_a S = 0,010 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ Н/кг} + \\
 &+ 1,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ Н/кг} \cdot 0,10 \text{ м} \cdot 20 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 + \\
 &+ 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 20 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = \\
 &= 0,196 \text{ Н} + 1,96 \text{ Н} + 200 \text{ Н} = 202,156 \text{ Н} \approx 2,0 \cdot 10^2 \text{ Н}.
 \end{aligned}$$

Ответ: $F = mg + \rho_b ghS + p_a S \approx 2,0 \cdot 10^2 \text{ Н}$.

Как видим, основной вклад в силу F даёт атмосферное давление (200 Н!). На её фоне и сила давления столба воды (1,96 Н), и сила тяжести (0,196 Н) – сущие пустяки.

СТОП! Решите самостоятельно: В111, Г55, Г56.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задачи очень лёгкие

- A1.** Купаясь в речке с илистым дном, можно заметить, что вблизи берега ноги вязнут в иле сильнее, чем на большой глубине. Как можно объяснить этот факт?
- A2.** Многие водоросли имеют длинные гибкие стебли, поднимающиеся со дна водоёма. Что произойдёт с водорослями, если из водоёма спустить воду?

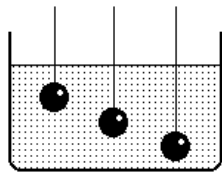


Рис. 30.21

- A3.** Почему выталкивающая сила, действующая на одно и то же тело, в газах во много раз меньше, чем в жидкостях?
- A4.** В сосуд погружены три железных шарика равных объёмов (рис. 30.21). Одинаковы ли силы, выталкивающие шарики? (Плотность жидкости вследствие ничтожной сжимаемости на любой глубине считайте одинаковой.)
- A5.** Вычислите выталкивающую силу, действующую на гранитную глыбу, которая при полном погружении в воду вытесняет её некоторую часть. Объём вытесненной воды $V_{\text{выт}} = 0,8 \text{ м}^3$.
- A6.** Тела изготовлены из стекла, пластмассы и алюминия. Они имеют объём $V = 100 \text{ см}^3$. Найдите силу Архимеда, действующую на каждое из этих тел, если пометить их в воду.
- A7.** В какой воде и почему легче плавать: в морской или речной?
- A8.** Может ли тело в одной жидкости тонуть, а в другой плавать? Приведите примеры.
- A9.** В сосуд с ртутью опустили железную гайку. Утонет ли гайка?
- A10.** Из каких материалов можно изготовить предметы, чтобы они плавали в ртути?
- A11.** Всплывёт или утонет: а) слиток свинца в ртути; б) брусок из дубовой древесины в бензине; в) платиновая пластинка в ртути; г) кусок льда в бензине?

A12. Назовите газы, в которых мог бы плавать мыльный пузырь, наполненный воздухом. (Весом пузыря пренебречь.)

A13. Берёзовый и пробковый шарики равного объёма плавают на воде. Какой из них глубже погружён в воду? Почему?

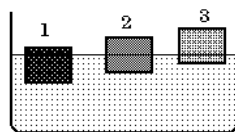


Рис. 30.22

A14. На поверхности воды плавают бруски из дерева, пробки и льда (рис. 30.22). Укажите, какой брусок пробковый, а какой из льда.

A15. Масса плавающего танка-амфибии $m = 14$ т. Определите объём части танка, погружённой в воду.

A16. Водоизмещение судна $P_b = 150$ МН, а груз, который перевозит судно, $P_r = 70$ МН. Определите вес судна.

A17. Судно водоизмещением $P_b = 100$ МН имеет вес $P_c = 40$ МН. Груз какого веса может перевозить это судно?

A18. Судно при полной загрузке вытесняет объём воды $V = 800$ м³. Каково водоизмещение судна?

A19. Можно ли для полётов на Луне пользоваться воздушными шарами?

Задачи лёгкие

Б1. Стальной брусок подвешен к пружине и опущен в воду (рис. 30.23). С одинаковой ли силой давит вода на верхнюю и нижнюю поверхности бруска? Ответ обоснуйте.

Б2. Известно, что жидкости и газы оказывают давление на тело, погружённое в них, во всех направлениях: вниз, вверх, с боков. Почему же тогда на любое тело действует выталкивающая сила?

Б3. Кирпич тонет в воде, а полено всплывает. Значит ли это, что на полено действует бóльшая выталкивающая сила?

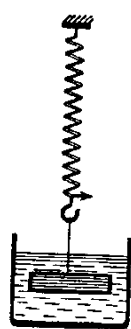


Рис. 30.23

Б4. В сосуд с водой опущены три одинаковые пробирки с жидкостью (рис. 30.24). На какую из пробирок действует наибольшая выталкивающая сила? (Плотность воды на всей глубине считать одинаковой.) Ответ обоснуйте.

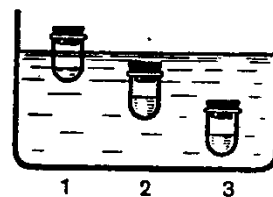


Рис. 30.24

Б5. Ученик взвесил алюминиевый шарик и пластинку из алюминия. Он обнаружил, что их массы равны. Может ли ученик сделать вывод о величине выталкивающей силы, которая будет действовать на эти тела, если их погрузить в воду? Какой это будет вывод?

Б6. Какой будет величина выталкивающей силы в воде, если при определении объёма тела с помощью мензурки получили результат – объём тела равен $V = 75$ см³?

Б7. Определите выталкивающую силу, действующую на тело объёмом $V = 10$ см³, погружённое: а) в воду; б) в керосин; в) в ртуть.

Б8. Плавающий на воде деревянный брусок вытесняет воду объёмом $V_1 = 0,72$ м³, а будучи погруженным целиком $V_2 = 0,9$ м³. Определите выталкивающие силы, действующие на брусок. Объясните, почему различны эти силы.

Б9. На кусок металла объёмом $V = 2,5$ см³, погружённый в жидкость, действует сила Архимеда $F_A = 0,34$ Н. Определите плотность жидкости.

Б10. На кусок дерева объёмом $V = 0,20$ л, целиком погружённый в некоторую жидкость, действует выталкивающая сила $F_A = 1,4$ Н. Определите плотность жидкости.

Б11. Определите объём куска алюминия, на который в керосине действует выталкивающая сила $F_A = 120$ Н.

- Б12.** Определите объём слитка золота, погружённого в сосуд с ртутью, если на него действует выталкивающая сила $F_A = 1,0 \text{ Н}$.

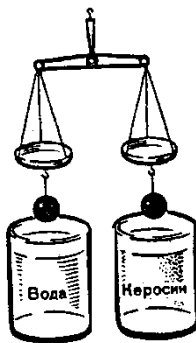


Рис. 30.25

- Б13.** К чашкам весов подвешены два одинаковых железных шарика (рис. 30.25). Нарушится ли равновесие, если шарики опустить в жидкости? Ответ поясните.

- Б14.** На дне сосуда с водой лежат одинаковой массы шары: чугунный и железный. Одинаковое ли давление на дно сосуда производят эти шары?

- Б15.** Какую силу надо приложить, чтобы поднять под водой камень массой $m = 30 \text{ кг}$, объём которого $V = 0,012 \text{ м}^3$?

- Б16.** Определите показания пружинных весов при взвешивании в воде тел объёмом $V = 100 \text{ см}^3$ из: а) алюминия; б) железа; в) меди; г) свинца.

- Б17.** На поверхности воды на спине лежит человек. Будет ли изменяться положение тела человека относительно поверхности воды, когда он сделает глубокий вдох? Выдох?

- Б18.** Как узнать опытным путем, не пользуясь весами и мензуркой, больше или меньше 1000 кг/м^3 плотность ученической стиральной резинки?

- Б19.** Для отделения зёрен ржи от ядовитых рожков спорыньи их смесь высыпают в воду. Зёрна ржи и спорыньи в ней тонут. Затем в воду добавляют соль. Рожки начинают всплывать, а рожь остаётся на дне. Объясните это явление.

- Б20.** Почему многие тела тонут в воде, хотя на каждое из них действует выталкивающая сила?

- Б21.** Одинаковы ли выталкивающие силы, действующие на одно и то же тело, плавающее сначала в воде, а потом в керосине?

- Б22.** Тело, масса которого $m = 2,5 \text{ кг}$, при полном погружении в жидкость вытесняет $m_{\text{ж}} = 2,0 \text{ кг}$ этой жидкости. Утонет это тело в жидкости или всплывет на ее поверхность?

- Б23.** На рис. 30.26 изображены тела, имеющие одинаковые объёмы, но разные массы. Тела погружены в сосуд с водой. На какое из них действует выталкивающая сила: а) наибольшая; б) наименьшая? К какому телу придется приложить большую силу, чтобы полностью погрузить его в воду?

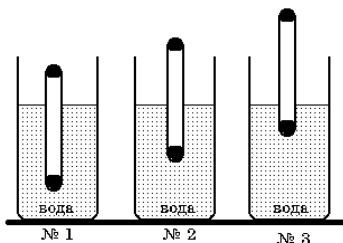


Рис. 30.26

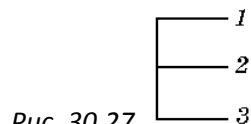


Рис. 30.27

- Б24.** На крупных судах, плавающих по рекам и морям, отмечают допустимые глубины погружения (ватерлинии). Какая метка соответствует уровню погружения (рис. 30.27): а) в море летом; б) в море зимой; в) в реке?

- Б25.** Массы кирпича и куска железа одинаковы. Какое тело легче удержать в воде? Почему?

- Б26.** Пробка, опущенная в стакан со спиртом, вытесняет объём $V_{\text{выт}} = 15 \text{ см}^3$. Определите объём пробки.

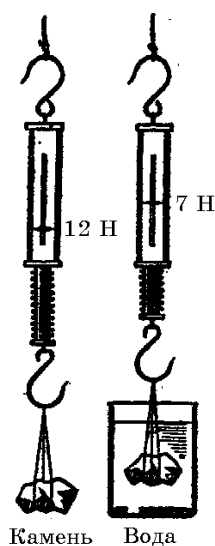
- Б27.** Определите объём свинцового шарика, который, плавая в ртути, вытесняет объём $V_{\text{выт}} = 10,0 \text{ см}^3$.
- Б28.** Определите плотность вещества кубика объёмом $V = 10 \text{ см}^3$, который, плавая в глицерине, вытесняет объём жидкости $V_{\text{выт}} = 9,0 \text{ см}^3$.
- Б29.** Деревянный брусок объёмом $V = 2,0 \text{ л}$, опущенный в машинное масло, вытесняет объём жидкости $V_{\text{выт}} = 1,6 \text{ л}$. Определите плотность дерева.
- Б30.** Кусок пенопласта объёмом $V = 2,0 \text{ л}$, плавая в некоторой жидкости, вытесняет объём $V_{\text{выт}} = 50 \text{ см}^3$. Определите плотность жидкости.
- Б31.** Определите объём полости в стеклянном шаре с наружным объёмом $V = 2,0 \text{ см}^3$, если он плавает в спирте, целиком погрузившись в него, то есть находясь во взвешенном состоянии.
- Б32.** Какой минимальный объём должна иметь подводная часть надувной лодки массой $m_1 = 7 \text{ кг}$, чтобы удержать на воде юного рыбака, вес которого $m_2 = 380 \text{ Н}$?
- Б33.** На берёзовой дощечке массой $m_2 = 200 \text{ г}$ и объёмом $V_2 = 300 \text{ см}^3$, плавающей в подсолнечном масле, стоит металлический кубик. Дощечка полностью погружена в масло, но масло на дощечку не затекает. Определите массу кубика.
- Б34.** Закрытая колба из стекла ёмкостью $V_1 = 1,5 \text{ л}$ имеет массу $m_1 = 250 \text{ г}$. Какой минимальный груз следует поместить в колбу, чтобы она стала тонуть в воде?
- Б35.** Где грузоподъёмность баржи больше – в речной или морской воде?
- Б36.** Погрузится ли до ватерлинии судно водоизмещением $P_b = 124 \text{ МН}$, если оно примет груз массой $m_r = 5900 \text{ т}$? Вес самого судна со всем оборудованием $P_c = 65000 \text{ кН}$.
- Б37.** Теплоход, вес которого вместе с оборудованием составляет $P_c = 20 \text{ МН}$, имеет объём подводной части при погружении до ватерлинии $V = 6000 \text{ м}^3$. Как велика грузоподъёмность теплохода?
- Б38.** Судно, погружённое в пресную воду до ватерлинии, вытесняет воду объёмом $V = 15000 \text{ м}^3$. Вес судна $P_c = 5,0 \cdot 10^6 \text{ Н}$. Чему равен вес груза?
- Б39.** Океанский нефтеналивной танкер имеет водоизмещение $P_b = 850 \text{ МН}$. Каков вес танкера вместе с грузом? Как велик объём его подводной части?
- Б40.** Вес байдарки $P_c = 40 \text{ кгс}$, а груз, который она перевозит, $P_r = 200 \text{ кгс}$. Определите объём воды, вытесняемый байдаркой.
- Б41.** Площадь сечения теплохода на уровне воды в реке $S = 5400 \text{ м}^2$. От принятого груза осадка парохода увеличилась на $\Delta h = 40 \text{ см}$. Определите вес груза.
- Б42.** После разгрузки баржи ее осадка в реке уменьшилась на $\Delta h = 60,0 \text{ см}$. Определите массу снятого с нее груза, если площадь сечения баржи на уровне воды равна $S = 240 \text{ м}^2$.
- Б43.** Льдинка толщиной $h = 2,2 \text{ см}$ плавает в стакане с подсолнечным маслом. Определите толщину слоя льдинки, погружённого в масло.
- Б44.** Дерево самшит имеет плотность $\rho_r = 1,2 \text{ г/см}^3$ и тонет в воде. Однако дощечка из самшита толщиной $h = 3,0 \text{ см}$ плавает в глицерине. Определите толщину слоя дерева, погружённого в глицерин.

- Б45.** Груз какого максимально возможного веса можно сплавлять по реке, поставив его на сосновую доску объёмом $V = 10$ л?
- Б46.** Отто Герике предполагал, что сосуды с разреженным воздухом должны подниматься в воздух. По проекту Франческо де Лана Терци воздушный корабль должен был состоять из лодки и четырёх металлических шаров, из которых выкачан воздух. Объясните, почему надо считать утверждение Герике и проект Лана правильными, но не осуществимыми на практике.
- Б47.** Один из двух одинаковых воздушных шаров заполнили водородом, другой до такого же объёма – гелием. Какой из этих шаров обладает большей подъёмной силой? Почему?
- Б48.** В сосуде с водой плавает в вертикальном положении брусок. Как изменится уровень воды в сосуде, если брусок займёт горизонтальное положение?
- Б49.** На сколько поднимется уровень ртути в стакане площадью сечения $S = 30 \text{ см}^2$, если в ртуть опустить свинцовый шарик массой $m = 150$ г?
- Б50.** На сколько поднимется уровень машинного масла в стакане площадью сечения $S = 20 \text{ см}^2$, если опустить в него кусочек дерева массой $m = 100$ г?
- Б51.** Почему горящий керосин нельзя тушить водой?

Задачи средней трудности

- В1.** Справедлив ли закон Архимеда на Луне?
- В2.** Допустим, что в лаборатории на Луне исследователь опускает камень в воду. Каков будет результат опыта? Будет ли камень плавать на поверхности воды, так как он весит на Луне в 6 раз легче, чем на Земле?
- В3.** Справедлив ли в условиях невесомости закон Паскаля? Возникает ли сила Архимеда в условиях невесомости?
- В4.** Возникает ли сила Архимеда на борту космической орбитальной станции в сосудах, заполненных ещё на Земле водой и плотно закрытых?
- В5.** Будет ли подниматься лёгкий детский шар, наполненный водородом, на борту орбитальной станции, если в ней поддерживается нормальное давление? Почему?
- В6.** Железобетонная плита размерами $a = 4,0$ м, $b = 0,30$ м; $c = 0,25$ м погружена в воду на половину своего объёма. Какова архимедова сила, действующая на нее?
- В7.** Погружённый целиком в воду груз, объём которого определяли при помощи отливного сосуда, вытеснил $m = 250$ г воды. Какая выталкивающая сила действует на это тело в воде? А какой она станет, если тело погрузить в керосин?
- В8.** На предмет, целиком погруженный в керосин, действует выталкивающая сила величиной $F_A = 2,0$ кН. Какой будет архимедова сила, действующая на него в воде? А в спирте?
- В9.** Определите массу куска алюминия, на который в керосине действует выталкивающая сила, равная $F_A = 120$ Н.

- В10.** Астронавт, совершив посадку на неизвестном астероиде, опустил в сосуд с ртутью кусочек дерева объёмом $V = 12 \text{ см}^3$ и измерил выталкивающую силу, которая оказалась равной $F_A = 0,015 \text{ Н}$. Определите по этим данным напряжённость гравитационного поля астероида.
- В11.** К чашкам весов подвешены две гири равного веса: фарфоровая и железная. Нарушится ли равновесие весов, если гири опустить в сосуд с водой?
- В12.** На крюке динамометра висит пустое ведро. Изменится ли показание динамометра, если ведро наполнить водой и погрузить в воду?
- В13.** Масса мраморной плиты равна $m = 120 \text{ кг}$. Какую силу надо приложить, чтобы удержать ее под водой?
- В14.** Металлический брусок объёмом $V = 0,21 \text{ л}$ подвесили на нити и погрузили в воду. При этом сила натяжения нити $T = 13,6 \text{ Н}$. Определите массу бруска.
- В15.** Железобетонную плиту объёмом $V = 1,5 \text{ м}^3$ поднимают под водой при помощи троса. Сила натяжения троса оказалась равной $T = 21 \text{ кН}$. Определите массу плиты.
- В16.** Кусок железа имеет в воде вес $P = 4,0 \text{ Н}$. Найдите его объём.
- В17.** Гранитную плиту поднимают под водой цепью, сила натяжения которой $T = 70 \text{ кН}$. Определите объём плиты.
- В18.** При взвешивании алюминиевого шара объёмом $V = 100 \text{ см}^3$ в некоторой жидкости пружинные весы показали вес $P = 1,9 \text{ Н}$. Определите плотность жидкости.
- В19.** В лаборатории на неизвестной планете в стакан с водой опустили на нити железную гирьку объёмом $V = 10 \text{ см}^3$. При этом сила натяжения нити составила $T = 0,25 \text{ Н}$. Определите по этим данным напряжённость гравитационного поля планеты.
- В20.** Брусок дерева на воздухе весит $P_1 = 90 \text{ Н}$, а при взвешивании в бензине $P_2 = 19 \text{ Н}$. Определите плотность дерева.
- В21.** Цинковый шар имеет массу $m = 360 \text{ г}$. При погружении в воду его вес становится равным $P = 2,8 \text{ Н}$. Сплошной ли это шар или с полостью?
- В22.** Используя данные рис. 30.28, определите плотность камня.



B23. К концам коромысла рычажных весов подвешены тонкостенная стеклянная колба и гиря из стали. Весы находятся в равновесии. Нарушится ли равновесие, если весы вместе с колбой и гирей поместить в атмосферу углекислого газа?

B24. На чувствительных весах гирей уравновесили деревянный кубик, а затем весы поместили под стеклянный колпак и откачали воздух, в результате чего изменилось давление воздуха на чаши весов. Сохранится ли равновесие?

B25. На коромысле весов уравновесили два одинаковых сосуда. Нарушится ли равновесие весов, если один сосуд поместить в открытую банку и заполнить её углекислым газом (рис. 30.29).

B26. Древнегреческий учёный Аристотель для доказательства невесомости воздуха взвешивал пустой кожаный мешок и тот же мешок, наполненный воздухом. В обоих случаях показания весов были одинаковы. Почему заключение Аристотеля, что воздух не имеет веса, неверно?

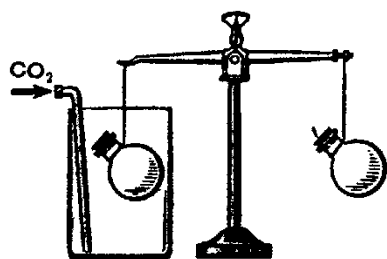


Рис. 30.29

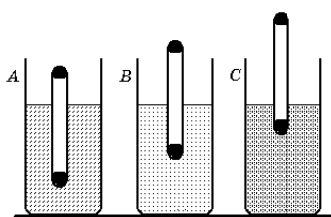


Рис. 30.30

B27. Будет ли плавать в ртути стеклянная бутылка, заполненная ртутью?

B28. Будет ли плавать в воде стеклянная бутылка, заполненная водой?

B29. На дне сосуда с водой лежит картофелина. Предложите способ, позволяющий картофелине всплыть на поверхность воды.

B30. На рис. 30.30 изображены тела, имеющие одинаковую массу и размеры. Они погружены в жидкости A, B и C. а) В каком случае выталкивающая сила, действующая на тело, наименьшая? б) Наибольшая? в) Что можно сказать о плотностях жидкостей?

B31. Железо тонет в воде. Почему же не тонут корабли, которые в основном сделаны из железа?

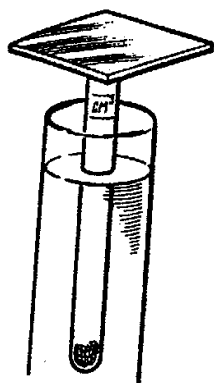


Рис. 30.31

B32. Два сплошных цилиндра одинакового веса и диаметра, алюминиевый и свинцовый, в вертикальном положении плавают в ртути. Сравните глубины погружения цилиндров.

B33. На рис. 30.31 изображён поплавок, который можно использовать как весы. Объясните, как действуют такие весы.

B34. Для определения плотности молока пользуются специальным прибором – лактометром. В каком молоке – с большим или меньшим содержанием жира – лактометр погрузится глубже? Почему?

B35. В какой части шкалы ареометра находится деление, соответствующее «единице», если он предназначен для измерения плотностей, больших, чем плотность воды?

В36. В какой части шкалы ареометра находится деление, соответствующее «единице», если он предназначен для измерения плотностей, меньших, чем плотность воды?

В37. Можно ли заставить алюминиевую кастрюлю массой $m_t = 400$ г плавать в $m_{ж} = 200$ г воды?

В38. Предмет, масса которого $m_t = 50$ г, погрузили в мензурку с ценой деления $V_0 = 5$ см³. Уровень воды в мензурке повысился при этом на $n = 12$ делений. Утонет этот предмет в воде или всплывёт?

В39. Сколько воды вытесняет плавающий деревянный брус длиной $a = 10$ м, шириной $b = 30$ см и высотой $c = 20$ см? (Плотность дерева $\rho = 600$ кг/м³.)

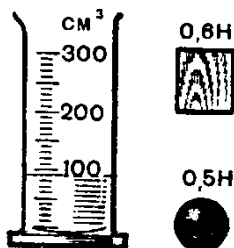


Рис. 30.32

В40. До какого уровня поднимется вода в мензурке, если в ней будут плавать: а) брусок; б) шар (рис. 30.32)?

В41. Льдинка плавает в море, выдаваясь на $V_{над} = 100$ см³ над поверхностью воды. Чему равен объём всей льдинки, если плотность льда $\rho_{л} = 0,90$ г/см³, а плотность морской воды $\rho_{в} = 1,1$ г/см³?

В42. Определите плотность жидкости, если брусок весом $P = 25,2$ Н, плаывая в ней, вытесняет объём жидкости $V_{выт} = 2,50$ л.

В43. Определите массу стального слитка, который, плаывая в ртути, вытесняет объём жидкости $V_{выт} = 22$ см³.

В44. Плавающее тело вытесняет керосин объёмом $V = 120$ см³. Какой объём воды будет вытеснять это тело? Определите массу тела.

В45. Пробирку поместили в мензурку с водой. Уровень воды при этом повысился от деления $V_1 = 100$ см³ до $V_2 = 120$ см³. Сколько весит пробирка, плавающая в воде?

В46. Плавающий деревянный брусок вытесняет $V_{выт} = 0,50$ л воды. Сколько весит брусок?

В47. В стакане с водой плавает деревянный (сосновый) шарик, внутри которого имеется полость объёмом $V_{п} = 1,5$ см³. Шарик вытесняет объём воды $V_{выт} = 2,0$ см³. Определите наружный объём шарика.

В48. В стакане с бензолом плавает шарик из неизвестного материала с наружным объёмом $V = 10,0$ см³, внутри шарика имеется полость объёмом $V_{п} = 2,0$ см³. Известно, что шарик вытесняет объём жидкости $V_{выт} = 7,0$ см³. Определите плотность материала шарика.

В49. Алюминиевый шарик с наружным объёмом $V = 10,0$ см³ имеет внутреннюю полость объёмом $V_{п} = 9,0$ см³. Будучи погружённым в некоторую жидкость, он плавает на поверхности, вытесняя объём жидкости $V_{выт} = 3,0$ см³. Определите плотность жидкости.

В50. Алюминиевый шарик с наружным объёмом $V = 5,4$ см³ имеет внутреннюю полость объёмом $V_{п} = 3,4$ см³ и плавает в сосуде с ртутью. Определите объём вытесненной жидкости.

В51. Шарик из неизвестного материала с наружным объёмом $V = 5,7$ см³ имеет внутреннюю полость объёмом $V_{п} = 3,0$ см³ и находится во взвешенном состоянии внутри сосуда с керосином. Определите плотность материала шарика.

В52. Шарик, изготовленный из дерева самшит (плотность $\rho_t = 1,2$ г/см³) имеет наружный объём $V = 2,5$ см³ и внутреннюю полость объёмом $V_{п} = 0,5$ см³. Шарик свободно плавает внутри объёма некоторой жидкости. Определите плотность этой жидкости.

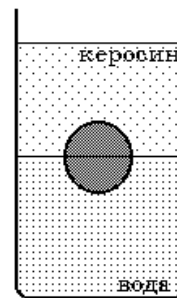
В53. Стекланный пузырёк вмещает объём жидкости $V_{п} = 50$ см³. Пузырёк плотно закрыли пробкой и опустили в глицерин. В глицерине пузырёк стал плавать во взвешенном состоянии. Определите наружный объём пузырька с пробкой.

- В54.** Человек массой $m_1 = 100$ кг стоит на льдине. При этом объём воды, вытесненный льдиной, $V_{\text{выт}} = 2,50$ м³. Определите массу льдины.
- В55.** В некоторой жидкости плавает стеклянная колба массой $m_2 = 200$ г. Внутри колбы находится металлический кубик массой $m_1 = 150$ г. Объём вытесненной жидкости составляет $V_{\text{выт}} = 400$ см³. Определите плотность жидкости.
- В56.** В машинном масле плавает сосновая досочка массой $m_2 = 100$ г, на ней стоит гиря объёмом $V_1 = 10$ см³. Объём вытесненной жидкости составляет $V_{\text{выт}} = 170$ см³. Определите плотность гири.
- В57.** В сосуде с ртутью плавает железная пластинка, на которой стоит гиря массой $m_1 = 400$ г. Пластинка вытесняет объём ртути $V_{\text{выт}} = 0,150$ л. Определите объём железной пластинки.
- В58.** На льдине объёмом $V_2 = 1,20$ м³, целиком погружённой в воду, стоит человек. Вода на льдину ещё не затекает. Масса человека $m_1 = 120$ кг. Определите массу льдины.
- В59.** В неизвестной жидкости плавает досочка массой $m_2 = 100$ г, на которой стоит металлический кубик массой $m_1 = 200$ г. Объём досочки $V_2 = 423$ см³. Досочка полностью погружена в жидкость, но на досочку жидкость не затекает. Определите плотность жидкости.
- В60.** На льдине, целиком погружённой в воду, стоит автомобиль массой $m_1 = 1,0$ т, вода на льдину не затекает. Определите объём льдины.
- В61.** Какой массы алюминиевый груз следует привязать к деревянному бруску массой $m_2 = 5,4$ кг, чтобы, будучи погружёнными в воду, они находились в ней во взвешенном состоянии? ($\rho_d = 500$ кг/м³.)
- В62.** Кусочек дерева самшит (плотность $\rho_t = 1,2$ г/см³) и кусочек пробки связали вместе и опустили в стакан со спиртом. Оба куса целиком погрузились в жидкость, но не пошли ко дну. Объём куса пробки $V_2 = 2,0$ см³. Определите объём куса самшита.
- В63.** В сосуде с глицерином находятся во взвешенном состоянии связанные между собой кусочек пробки и кусочек неизвестного металла. Объём куса пробки $V_2 = 12$ см³, объём куса металла $V_1 = 2,0$ см³. Определите плотность металла.
- В64.** В сосуде с неизвестной жидкостью находятся во взвешенном состоянии связанные между собой кусочек пенопласта объёмом $V_2 = 10,0$ см³ и кусочек стали объёмом $V_1 = 1,5$ см³. Определите плотность жидкости.
- В65.** Какой грузоподъёмностью будет обладать баржа массой $m = 20$ т с габаритами $h = 2,0$ м, $H = 6,0$ м, $l = 10,0$ м? Ватерлиния находится на высоте $h_0 = 1,0$ м от уровня воды.
- В66.** Прямоугольная баржа после приёма груза весом $P_{\text{гр}} = 74$ кН осела на $\Delta h = 0,50$ м. Определите площадь сечения баржи.
- В67.** Площадь сечения теплохода на уровне воды $S = 2000$ м². На сколько оседет теплоход после приёма груза весом $P_{\text{гр}} = 30$ МН в морской воде?
- В68.** Игрушечный деревянный кораблик плавает в некоторой жидкости. Площадь сечения кораблика $S = 100$ см². После того как на кораблик поставили гирю весом $P_{\text{гр}} = 1,0$ Н, он осел на $\Delta h = 1,3$ см. Определите плотность жидкости.
- В69.** Определите плотность жидкости, если берёзовая доска толщиной $h = 2,0$ см плавает в ней, погрузившись на $h_{\text{под}} = 1,5$ см.

- В70.** Пластика из оргстекла толщиной $h = 0,50$ см плавает в некоторой жидкости так, что толщина слоя над поверхностью жидкости $h_{\text{над}} = 0,10$ см. Определите плотность жидкости.
- В71.** Деревянная доска толщиной $h = 2,00$ см плавает в машинном масле, при этом в жидкость погружена часть доски толщиной $h_{\text{под}} = 0,27$ см. Определите плотность дерева.
- В72.** Пластика из пенопласта толщиной $h = 10,0$ см плавает в ртути, при этом под поверхностью ртути находится слой пенопласта толщиной $h_{\text{под}} = 0,22$ см. Определите плотность пенопласта.
- В73.** Кусок парафина толщиной $h = 5$ см плавает в воде. Он имеет форму прямоугольного параллелепипеда. Какая часть куска парафина выступает над водой?
- В74.** Плоская льдина толщиной H плавает в море. Какова высота надводной части льдины, если ρ_v и ρ_l – плотности воды и льда соответственно?
- В75.** Плоская льдина, плавающая в море, выступает из воды на h . Какова толщина льдины, если плотность воды ρ_0 , а льда ρ_1 ?
- В76.** Определите толщину серебряной пластинки, плавающей в ртути, если под поверхностью ртути находится слой серебра толщиной $h_{\text{под}} = 1,2$ см.
- В77.** Какая часть объёма сосновой доски $\alpha = h_{\text{под}}/h$ окажется погружённой в спирт, если сосновую доску опустить в сосуд со спиртом?
- В78.** Найдите отношение толщины подводной части пластинки из свинца, плавающей в ртути, к общей её толщине.
- В79.** Какую силу надо приложить к пробковому кубу с ребром $a = 0,50$ м, чтобы удержать его под водой?
- В80.** Масса пробкового спасательного круга $m = 5,0$ кг. Определите «подъёмную силу» этого спасательного круга в воде.
- В81.** В неизвестной жидкости плавает плот из пенопласта объёмом $V = 0,10$ м³. Максимально возможный груз, который может выдержать плот, имеет массу $m = 78$ кг. Определите плотность жидкости.
- В82.** На плоту можно перевозить груз массой не более $m = 1320$ кг, объём плота $V = 1,5$ м³. Определите плотность материала плота.
- В83.** Каким должен быть минимальный объём соснового плота, чтобы на нём можно было перевозить груз массой $m = 2700$ кг?
- В84.** Какую массу груза можно перевезти на берёзовом плоту объёмом $V = 1,4$ м³?
- В85.** В каком случае подъёмная сила у самодельного бумажного воздушного шара, заполненного горячим воздухом, больше: когда ребята запускали его в помещении школы или на дворе школы, где было довольно прохладно?
- В86.** Объясните, почему наполненный водородом шар, достигнув некоторой максимальной высоты, перестаёт подниматься выше?
- В87.** Изменится ли подъёмная сила аэростата с увеличением высоты его подъёма, если считать оболочку аэростата нерастяжимой, а температуру на различных высотах постоянной? Может ли аэростат подниматься сколь угодно высоко?

- B88.** Детский шар объёмом $V = 0,003 \text{ м}^3$ наполнен водородом. Масса шара с водородом $m = 3,4 \text{ г}$. Какова подъёмная сила детского шара?
- B89.** Масса снаряжения воздушного шара (оболочки, сетки, корзины) составляет $m = 450 \text{ кг}$. Объём шара $V = 1600 \text{ м}^3$. Вычислите, какой подъёмной силой будет обладать этот шар при наполнении его: а) водородом; б) гелием; в) светильным газом. (Плотность светильного газа $\rho_c = 0,40 \text{ кг/м}^3$.)
- B90.** Оболочка аэростата, привязанного с помощью стального троса к крюку на столбе, весит $P_0 = 550 \text{ Н}$. Он вмещает $V = 350 \text{ м}^3$ газа, плотность которого $\rho = 0,60 \text{ кг/м}^3$. Определите силу, действующую на крюк, если масса троса $m = 75 \text{ кг}$.
- B91.** Радиозонд наполнен водородом и имеет объём $V = 10 \text{ м}^3$. Какого веса радиоаппаратуру он может поднять в воздух, если его оболочка весит $P = 6 \text{ Н}$?
- B92.** В цилиндрический стакан площадью сечения $S = 20 \text{ см}^2$ опустили деревянный кубик, в результате чего уровень воды поднялся на $\Delta h = 2,5 \text{ см}$. Определите массу кубика.
- B93.** В стакан площадью сечения $S = 25 \text{ см}^2$, заполненный неизвестной жидкостью, опустили кусочек пробки массой $m = 8,2 \text{ г}$, которая осталась на плаву. Уровень жидкости при этом поднялся на $\Delta h = 0,30 \text{ см}$. Определите плотность жидкости.
- B94.** В стакан с глицерином опустили пластинку из оргстекла массой $m = 200 \text{ г}$. При этом уровень жидкости в стакане поднялся на $\Delta h = 3,0 \text{ см}$. Определите площадь сечения стакана.
- B95.** В сообщающихся сосудах одинаковой площадью сечения $S = 20 \text{ см}^2$ налито подсолнечное масло. В один из сосудов опустили пробку массой $m_p = 12 \text{ г}$. Определите, насколько поднялся уровень жидкости в сосудах.
- B96.** В сообщающихся сосудах одинакового диаметра $d = 5,0 \text{ см}$ налита ртуть. В один из сосудов опустили железный шарик массой $m_{\text{ш}} = 70 \text{ г}$. На сколько при этом поднялся уровень жидкости в сосудах?
- B97.** В один из двух сообщающихся сосудов, заполненных однородной жидкостью, поместили тело, которое плавает на поверхности этой жидкости. Одинаков ли уровень жидкости в обоих коленах?
- B98.** Стакан доверху наполнен водой. В него помещают кусок древесины. Часть воды выливается. Изменится ли вес стакана с содержимым, если он по-прежнему заполнен водой?
- B99.** В сосуд с водой опущен кусок дерева. Изменится ли давление на дно сосуда, если вода не выливалась?
- B100.** В кастрюле с площадью сечения $S = 200 \text{ см}^2$, наполненной машинным маслом, плавает деревянная доска, на которой лежит свинцовая деталь массой $m_{\text{т}} = 120 \text{ г}$. На сколько понизится уровень масла в кастрюле, если деталь упадёт с доски и утонет?
- B101.** В сосуде с водой плавает железный коробок, ко дну которого при помощи нити подвешен стальной шар. Шар не касается дна сосуда. Как изменится высота уровня воды в сосуде, если нить, удерживающая шар, оборвётся?
- B102.** По озеру плывёт деревянная баржа с песком. Как изменится уровень воды в озере, если баржа опрокинется и весь песок высыплется на дно?
- B103.** Ко дну сосуда приморожен шарик льда. Как изменится уровень воды в сосуде, когда лёд растает? Изменится ли при этом сила давления воды на дно сосуда?
- B104.** На дне ведра с водой сечением $S = 400 \text{ см}^2$ находится кусок льда массой $m = 2,0 \text{ кг}$, примёрзший ко дну. На сколько понизится уровень воды, когда лёд растает?
- B105.** В сосуде с водой плавает брусок из льда. Как изменится глубина погружения бруска в воде, если поверх воды налить керосин?

В106. В сосуд налиты вода и керосин (рис. 30.33). На поверхности воды плавает шарик из парафина. При этом часть его находится в воде, а другая – в керосине. Изменится ли объём шарика, погруженного в воду, если сосуд долить доверху керосином?



В107. В сосуд, содержащий воду, керосин и жидкий растворитель (четырёххлористый углерод с плотностью $\rho_p = 1595 \text{ кг/м}^3$), опущены три шарика: парафиновый, пробковый и стеклянный. Как расположатся шарики?

В108. Стальной шарик плавает на поверхности ртути. Изменится ли уровень погружения шарика в ртуть, если сверху долить воды?

Рис. 30.33

В109. Парафиновый шарик плавает на границе раздела двух жидкостей – керосина и воды, причём керосин полностью покрывает шарик. Какой объём шарика находится в воде, если объём шарика, находящийся в керосине, равен $V_1 = 10 \text{ см}^3$?

В110. Тщательно отшлифованный брусок из парафина погрузили в сосуд с водой и сильно прижали к плоскому дну сосуда. К удивлению учеников брусок не всплыл на поверхность воды, а остался лежать на дне сосуда. Как можно объяснить этот факт?

В111. Какую силу надо приложить, чтобы оторвать от дна сосуда с водой медную пластинку, плотно прилегающую ко дну, если её площадь $S = 10 \text{ см}^2$, высота столба воды $h = 2,0 \text{ м}$, атмосферное давление $p_a = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$, массой пластинки можно пренебречь.

В112. Стеклянный кубик массой $m = 0,32 \text{ кг}$ плотно прилегает ко дну сосуда, заполненного ртутью. Высота столба ртути над кубиком $h = 20 \text{ см}$, длина ребра кубика $a = 5,0 \text{ см}$, атмосферное давление $p_a = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Какую силу надо приложить к кубику, чтобы оторвать его от дна?

Задачи трудные

Г1. Динамометр показывает, что мраморный шарик, подвешенный к нему на тонкой нити, весит $P = 1,62 \text{ Н}$. Что будет показывать динамометр, если шарик наполовину погрузить в воду?

Г2. Шар, до половины погружённый в воду, лежит на дне сосуда и давит на него с силой, равной $\alpha = \frac{1}{3}$ действующей на него силы тяжести. Найдите плотность шара.

Г3. Тело при полном погружении в воду становится легче в $n = 5,00$ раз, чем в воздухе. Определите плотность этого тела.

Г4. На пружине жёсткостью $k = 100 \text{ Н/м}$ висит грузик массой $m = 1,00 \text{ кг}$. После того как пружину с грузиком опустили в воду, длина пружины изменилась на $\Delta l = 4,00 \text{ см}$. Определите плотность материала, из которого сделан грузик.

Г5. Слиток сплава золота и серебра имеет массу $m = 300 \text{ г}$. При погружении в воду его вес $P = 2,75 \text{ Н}$. Определите массы серебра и золота в этом слитке.

Г6. Кусок сплава из меди и цинка массой $m = 5,16 \text{ кг}$ в воде весит $P = 45,6 \text{ Н}$. Сколько меди содержится в этом сплаве?

Г7. Равны ли массы пятикопеечной монеты и куска пробки, уравновешенные на очень точных и чувствительных весах? Ответ объясните.

- Г8. На левой чаше очень чувствительных весов находится открытый сосуд, в который вставлена длинногорлая колба, частично заполненная водой (рис. 30.34). На правую чашу весов положен груз из свинца, уравнивающий весы. Нарушится ли равновесие весов, если атмосферное давление изменится?

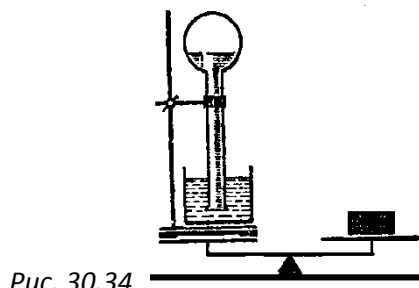


Рис. 30.34

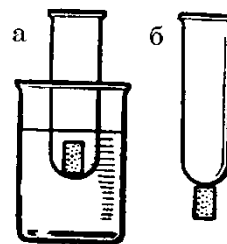


Рис. 30.35

- Г9. В Закавказье растёт дерево самшит, которое в $\alpha = 1,2$ раза тяжелее воды. Из него приготовили брусок. Такого же объёма брусок приготовили из липы, которая в $\beta = 1,2$ раза легче воды. Бруски связали вместе и погрузили в воду. Что стало с брусками?
- Г10. Пробирка в которой находится брусок пластилина, плавает в воде (рис. 30.35,а). Изменится ли глубина погружения пробирки в воду, если пластилин вынуть и подклеить ко дну (рис. 30.35,б)? Если изменится, то как? Ответ поясните.

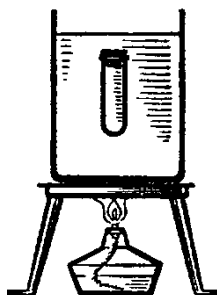


Рис. 30.36

- Г11. В сосуде с водой (при комнатной температуре) плавает пробирка (рис. 30.36). Останется ли пробирка на такой же глубине, если воду слегка подогреть; охладить? (Увеличение объёма пробирки при нагревании и охлаждении не учитывать. Температуре воды всё время остаётся выше 4°C .)
- Г12. В сосуде с водой плавает шар, наполовину погрузившись в воду. Изменится ли глубина погружения шара, если этот сосуд с шаром перенести на планету, где сила тяжести в два раза больше, чем на Земле?
- Г13. Какая часть тела окажется погружённой в жидкость, если плотность тела в n раз меньше плотности жидкости: $V_{\text{выт}}/V = ?$
- Г14. В сосуде с водой в вертикальном положении плавает тонкий, полый алюминиевый цилиндр. На дне цилиндра помещен некоторый груз. Площадь, поперечного сечения цилиндра $S = 5,0 \text{ см}^2$, высота цилиндра $h_{\text{т}} = 40 \text{ см}$, а его масса с грузом $m_{\text{т}} = 100 \text{ г}$. Какая часть цилиндра погружена в воду: $\alpha = V_{\text{выт}}/V$?
- Г15. Полый медный шар плавает в воде во взвешенном состоянии. Чему равна масса шара, если объём воздушной полости равен $V_{\text{п}} = 17,75 \text{ см}^3$?

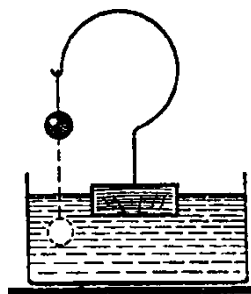


Рис. 30.37

- Г16.** Полый свинцовый шар плавает в ртути так, что $\alpha = \frac{1}{3}$ его объёма находится в жидкости. Чему равен объём воздушной полости внутри шара, если радиус шара $R = 3,0$ см?
- Г17.** В сосуде с водой плавает деревянный брусок с укрепленной на нем изогнутой проволокой (рис. 30.37). На конце проволоки подвешен шар из свинца. Изменится ли уровень воды в сосуде, если нить, удерживающую шар, удлинить так, чтобы шар целиком погрузился в воду? (На рисунке положение шара в воде обозначено штриховой линией.)
- Г18.** Площадь льдины $S = 8 \text{ м}^2$, толщина $H = 25$ см. Погрузится ли она целиком в воду, если на неё встанет человек, вес которого $P = 600$ Н?
- Г19.** Какой должна быть площадь плоской льдины толщиной $h = 40$ см, чтобы удержать на воде груз массой $m = 100$ кг? Глубина погружения льдины должна быть $h_1 = 38$ см.
- Г20.** Масса пробкового спасательного плота $m = 3,5$ кг. Определите объём бруска из стали, который может находиться на этом плоту в морской воде.
- Г21.** Какой наибольшей массы железный груз может быть подвешен к пробковому кубу с ребром $a = 3,0$ см, чтобы оба тела не утонули в воде?
- Г22.** Космонавты, оказавшись на неизвестной планете, решили определить напряжённость гравитационного поля следующим образом: на игрушечный деревянный кораблик, плавающий в сосуде с водой, поставили груз весом $P_{гр} = 1,0$ Н. Кораблик при этом осел на $\Delta h = 2,5$ см. Площадь сечения кораблика $S = 110 \text{ см}^2$. Чему равна g на планете?
- Г23.** Прямоугольная льдина длиной $a = 52$ м и шириной $b = 40$ м плавает в море. Высота льдины, выступающей над поверхностью воды, $h_{над} = 1,0$ м. Определите объём всей льдины.
- Г24.** Плот состоит из $n = 12$ сухих еловых брусьев. Длина каждого бруса $a = 4,0$ м, ширина $b = 30$ см, толщина $c = 25$ см, плотность $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$. Можно ли на этом плоту переправить на другой берег автомобиль весом $P = 10$ кН?
- Г25.** Одинаковые по весу оболочки двух шаров сделаны: одна – из эластичной резины, другая – из прорезиненной ткани. Оболочки наполнены водородом равного объёма. Шары отпустили, и они начали подниматься в воздух. Какой из шаров поднимется на большую высоту? (Диффузией водорода в атмосферу пренебречь.)
- Г26.** На некоторой высоте подъёмная сила воздушного шара объёмом $V = 150 \text{ м}^3$, наполненного гелием, равна $F_{под} = 100$ кгс. Вес оболочки $P_{об} = 420$ Н. Определите плотность воздуха на данной высоте.
- Г27.** Школьники решили сделать воздушный шар, на котором можно было бы подняться в воздух человеку массой $m = 40$ кг. Шар решили наполнить водородом. Считая вес оболочки $P_{об} = 80$ Н, определите объём шара.

- Г28.** Определите плотность газа, которым наполнен воздушный шар, если его объем $V = 200 \text{ м}^3$, вес оболочки $P = 500 \text{ Н}$, а подъемная сила $F_{\text{под}} = 100 \text{ кгс}$.
- Г29.** Определите вес оболочки воздушного шарика, наполненного гелием, если его объем $V = 10 \text{ л}$, а подъемная сила $F_{\text{под}} = 5,0 \text{ гс}$.
- Г30.** С некоторых пор воздушные шары стали заполнять гелием вместо водорода. Это намного уменьшило опасность взрыва. Но ведь гелий вдвое тяжелее водорода, значит, наполненные им воздушные шары для достижения одинаковой подъемной силы должны быть вдвое больше, чем наполненные водородом. Правильно ли такое рассуждение?
- Г31.** В стакан с площадью сечения $S = 50 \text{ см}^2$, наполненный водой, опустили кубик из неизвестного дерева объемом $V = 100 \text{ см}^3$. Уровень воды при этом поднялся на $\Delta h = 1,6 \text{ см}$. Определите плотность дерева.
- Г32.** В стакан площадью сечения $S = 20 \text{ см}^2$, наполненный ртутью, опустили оловянный шарик. При этом уровень ртути поднялся на $\Delta h = 1,0 \text{ см}$. Определите объем шарика.
- Г33.** В сообщающихся сосудах с одинаковой площадью сечения $S = 10 \text{ см}^2$ налита вода. В один из сосудов опустили деревянный кубик, при этом уровень жидкости в сосудах увеличился на $\Delta h = 2,0 \text{ см}$. Определите массу дерева.
- Г34.** В сообщающихся сосудах с одинаковой площадью сечения $S = 20 \text{ см}^2$ налита неизвестная жидкость. В один из сосудов опустили кусочек дерева массой $m_t = 50 \text{ г}$, который остался на плаву. При этом уровень воды в сосудах повысился на $\Delta h = 1,50 \text{ см}$. Определите плотность жидкости.
- Г35.** В сообщающихся сосудах с одинаковой площадью сечения $S = 10 \text{ см}^2$ налита ртуть. В один из сосудов опустили шарик из неизвестного металла объемом $V_t = 12 \text{ см}^3$, при этом уровень жидкости в сосудах увеличился на $\Delta h = 0,34 \text{ см}$. Определите плотность металла.
- Г36.** В один из двух одинаковых сообщающихся сосудов, частично заполненных водой, поместили деревянный шарик массой $m = 20 \text{ г}$. При этом в другом сосуде уровень воды поднялся на $\Delta h = 2 \text{ мм}$. Чему равна площадь поперечного сечения сообщающегося сосуда?
- Г37.** Стакан с водой и деревянный брусок поставили на чашку весов и уравнили гири. Нарушится ли равновесие весов, если брусок положить в стакан с водой? Нарушится ли равновесие весов, если вместо деревянного бруска взять камень?
- Г38.** В сосуд с водой погружают подвешенное на нити тело, не касаясь стенок и дна сосуда. а) Изменится ли при этом давление воды на дно сосуда? б) Зависит ли изменение давления от веса тела? в) От его объема? в) От его плотности?
- Г39.** В большом сосуде на поверхности воды плавает стальная кастрюля. Изменится ли уровень воды в сосуде, если кастрюлю утопить?
- Г40.** В сосуде с водой плавает железный коробок. В центре дна коробка имеет небольшое отверстие, закрытое растворимой в воде пробкой. При этом уровень воды в сосуде равен H . Через некоторое время пробка растворилась в воде, и коробок утонул. Изменился ли уровень воды в сосуде?
- Г41.** В сосуде с площадью сечения $S = 20 \text{ см}^2$, налита неизвестная жидкость, в которой на плавающем кусочке пенопласта лежал шарик массой $m_t = 30 \text{ г}$. После того как шарик скатился с пенопласта и утонул, уровень жидкости понизился на $\Delta h = 1,5 \text{ см}$. Определите плотность жидкости.

- Г42.** В сосуде с площадью сечения $S = 200 \text{ см}^2$ в воде плавает игрушечный кораблик. На кораблике находится игрушечный якорь массой $m_T = 100 \text{ г}$. После того как якорь случайно упал и утонул в сосуде, уровень воды понизился на $\Delta h = 4,5 \text{ мм}$. Определите плотность материала якоря.
- Г43.** В кружке с водой плавает маленькая дощечка, на которой лежит стеклянный шарик массой $m_T = 25 \text{ г}$. После того как шарик случайно упал и утонул в кружке, уровень воды понизился на $h = 2,0 \text{ мм}$. Определите площадь сечения кружки.
- Г44.** Ко дну сосуда с площадью сечения $S = 50 \text{ см}^2$, заполненного водой, примёрз кусок льда. Когда лёд растаял, уровень воды понизился на $h = 0,20 \text{ см}$. Определите массу льда.
- Г45.** В длинной узкой трубке, заполненной водой, ко дну примёрз кусочек льда массой $m = 20 \text{ г}$. После таяния льда уровень воды понизился на $\Delta h = 1,2 \text{ см}$. Определите площадь сечения трубки.
- Г46.** В сосуде с водой плавает кусок льда, в который вморожен: а) кусочек свинца; б) кусочек дерева. Изменится ли уровень воды в сосуде, если лёд растает?
- Г47.** В сосуде с водой плавает кусок льда, в котором находится пузырёк воздуха. Изменится ли уровень воды в сосуде, если лёд растает?
- Г48.** Сосуд частично заполнен водой, в которой плавает кусок льда. Поверх льда наливают керосин так, что кусок льда полностью оказывается в керосине. При этом верхний уровень керосина устанавливается на высоте h от дна сосуда. Как изменится эта высота, когда лёд растает?
- Г49.** В закрытом сосуде на поверхности воды плавает шар. Как изменится глубина погружения шара, если в сосуд накачать воздух так, чтобы давление воздуха в сосуде увеличилось в два раза?
- Г50.** Цилиндр, изготовленный из неизвестного материала, плавает на границе двух несмешивающихся жидкостей. Плотность одной жидкости $\rho_1 = 800 \text{ кг/м}^3$, а другой $\rho_2 = 1000 \text{ кг/м}^3$. Определите плотность вещества цилиндра, если известно, что в нижнюю жидкость он погружен на $\frac{1}{3}$ своего объёма.
- Г51.** На границе раздела жидкостей ртуть–керосин плавает металлический кубик. Определите плотность кубика, если в ртути находится объём кубика $V_2 = 5,0 \text{ см}^3$, а в керосине $V_1 = 4,0 \text{ см}^3$. Керосин целиком покрывает кубик.
- Г52.** На границе раздела двух жидкостей плавает парафиновый шарик. Плотность верхней жидкости $\rho_1 = 0,800 \text{ г/см}^3$. Определите плотность нижней жидкости, если в верхней жидкости находится объём шарика $V_1 = 5,00 \text{ см}^3$, а в нижней $V_2 = 3,50 \text{ см}^3$. Верхняя жидкость целиком покрывает шарик.
- Г53.** Изготовленный из дуба брусок с прямоугольным поперечным сечением плавает на границе двух жидкостей, одна из которых имеет плотность $\rho_1 = 700 \text{ кг/м}^3$. Определите плотность другой жидкости, если известно, что брусок погружен в верхнюю жидкость на одну треть своего объёма.
- Г54.** В сосуд налиты вода и ртуть. Кусок гранита, помещённый в сосуд, плавает на границе раздела жидкостей. Определите отношение объёмов гранита, находящихся в воде и ртути: $V_{\text{рт}}/V_{\text{в}} = ?$
- Г55.** Бетонная плита лежала на глинистом дне реки на глубине $h = 2,0 \text{ м}$ так, что под нижнюю грань не попала вода. Площадь плиты $S = 1,2 \text{ м}^2$, атмосферное давление $p_a = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$. При подъёме плиты подъёмным краном пришлось приложить усилие $F = 163 \text{ кН}$. Определите массу плиты.

- Г56.** Небольшая подводная лодка массой $m = 12$ т увязла в глинистом грунте на глубине $h = 10$ м. Чтобы оторвать лодку от грунта при помощи тросов потребовалась сила $F = 2,1$ МН. Атмосферное давление $p_a = 1,0 \cdot 10^5$ Па. Определите площадь соприкосновения днища лодки с грунтом.
- Г57.** На поверхности Марса в сосуд с водой положили гладко отшлифованную пластинку массой $m = 100$ г и площадью $S = 10$ см². Пластинка настолько плотно прилегает ко дну, что под неё вода не попадает. Чтобы оторвать пластинку от дна, потребовалась сила $F = 2,05$ Н. Определите напряжённость гравитационного поля на Марсе, если высота слоя воды $h = 10$ см, а атмосферное давление на Марсе $p_a = 700$ Па.
- Г58.** На дне океана стоит очень прочный железный сундук с кладом, намертво вросший в илистое дно. Известно, что масса сундука $m = 1000$ кг, площадь дна $S = 0,10$ м², а атмосферное давление $p_a = 1,0 \cdot 10^5$ Па. На какой глубине стоит сундук, если оторвать его от дна можно только силой, не меньшей $F = 110$ кН?
- Г59.** Оказавшись на неизвестной планете, космонавты решили измерить атмосферное давление необычным способом: они положили гладко отшлифованную пластинку площадью $S = 10$ см², массой которой можно пренебречь, на дно стеклянного сосуда и долили сверху слой воды высотой $h = 30$ см, при этом вода под пластинку не попадала. Для отрыва пластинки от дна потребовалась сила $F = 20$ Н. Какое получилось атмосферное давление, если $g = 4,5$ Н/кг?

Задачи очень трудные

- Д1.** Определите плотность жидкости, при погружении в которую на половину своего объёма тело плотностью ρ имеет вес P_1 . Вес тела в атмосфере P_0 .
- Д2.** Сплошное однородное тело, будучи погружено в жидкость плотностью ρ_1 , весит P_1 , а в жидкости плотностью ρ_2 весит P_2 . Определите плотность вещества тела.
- Д3.** Кусок металла в воздухе весит $P = 7,8$ Н, в воде $P_1 = 6,8$ Н, в жидкости А $P_2 = 7$ Н, а в жидкости В $P_3 = 7,1$ Н. Определите плотности жидкостей А и В.
- Д4.** Сплошное однородное тело, будучи погружено в воду, весит $P_1 = 170$ мН, а в глицерин – $P_2 = 144$ мН. Каким будет вес этого тела, если его погрузить в четырёххлористый углерод? Плотность глицерина принять равной $\rho_2 = 1,26$ г/см³, а четырёххлористого углерода $\rho_3 = 1,63$ г/см³.
- Д5.** В прозрачную полистироловую бутылку из-под лимонада налейте воду не до самого верха. Возьмите медицинскую пипетку, наберите в неё немного воды и опустите в бутылку. Плотно закройте бутылку пробкой. Слегка надавите пальцами на бутылку. Что вы наблюдаете? Дайте объяснение.
- Д6.** Какую массу имеет деревянный брусок со стороной l , если при переносе его из масла в воду глубина погружения бруска уменьшилась на h ?
- Д7.** Деревянный кубик стоит внутри сосуда на подставках (рис. 30.38). Площадь полной поверхности кубика $S = 294$ см². Высота подставок $h = 2,0$ см. Сосуд медленно заполняют водой. При какой высоте столба воды в сосуде давление кубика на подставки станет равным нулю? ($\rho_d = 700$ кг/м³.)

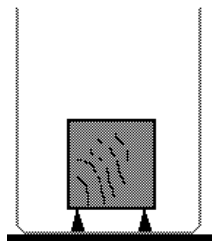


Рис. 30.38

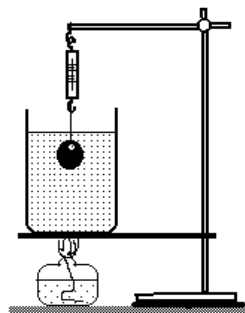


Рис. 30.39

- Д8.** Тело, имеющее форму куба с ребром $a = 1,0$ м, плавает в воде так, что глубина погружения нижней грани $h = 25$ см. После того как на тело положили камень объёмом $V_k = 10$ дм³, глубина погружения нижней грани увеличилась на $\Delta h = 2,0$ см. Определите плотность тела и плотность камня.
- Д9.** В сообщающиеся сосуды радиусами R_1 и R_2 налита вода. На сколько изменится уровень воды в сосудах, если в один из них положить кусок дерева массой m ?
- Д10.** К пружинным весам подвешено тело, погружённое в сосуд с водой при комнатной температуре (рис. 30.39). Как изменятся показания весов, если жидкость вместе с погружённым в неё телом нагреть?
- Д11.** Два одинаковых сосуда до краёв наполнены водой. На поверхности воды в каждом из сосудов плавают одинаковые деревянные бруски. На бруске в первом сосуде лежит стальной шарик; такой же шарик лежит на дне второго сосуда. Одинаков ли вес первого и второго сосудов со всем их содержимым?
- Д12.** В холодном помещении на одной чаше весов находится сосуд с водой и погружённым в него телом. На другой – груз, уравнивающий весы (рис. 30.40). Сохранится ли равновесие весов, если данную установку перенести из холодного помещения в тёплое?

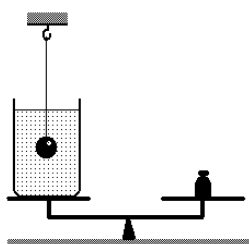


Рис. 30.40

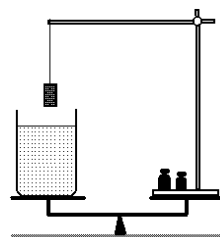


Рис. 30.41

- Д13.** На левой чаше весов находится сосуд с водой, а на правой – штатив, к перекладине которого подвешено на нити какое-нибудь тело. Пока тело не погружено в воду, весы находятся в равновесии (рис. 30.41). Затем нить удлиняют так, что тело полностью погружается в воду (не касаясь дна сосуда). При этом равновесие весов нарушается. Какой груз и на какую чашу весов нужно положить, чтобы восстановить равновесие?
- Д14.** На весах уравновешен сосуд с водой. В воду опустили подвешенный на нити куб из железа. При этом он не касается дна и стенок сосуда. Площадь поверхности куба равна $S = 150$ см². Какой груз и на какую чашу следует положить, чтобы привести весы в равновесие?
- Д15.** В сосуде с водой плавает брусок из льда, на котором лежит деревянный шар. Плотность вещества шара

меньше плотности воды. Изменится ли уровень воды в сосуде, если лёд растает?

Д16. В цилиндрическом сосуде, наполненном маслом, на поверхности плавает кусок льда. Температура всей системы равна 0°C . Изменится ли уровень масла в сосуде относительно дна, когда лед растает и образовавшаяся вода опустится на дно сосуда, а температура системы сохранится?

Д17. Кусок льда, внутри которого в заморожена свинцовая пластинка, плавает в цилиндрическом сосуде с водой. Диаметр сосуда $D = 40$ см. После полного таяния льда уровень воды в сосуде понизился на $\Delta h = 3,0$ см. Определите массу свинцовой пластинки.

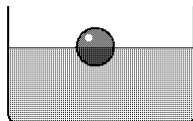


Рис. 30.42

Д18. В сосуде с ртутью плавает шарик, наполовину погружённый в ртуть (рис. 30.42). В сосуд долили воду так, что она полностью покрыла плавающий шарик. Какая часть объёма шарика окажется при этом погружённой в ртуть?

Д19. Сплошной однородный цилиндр объёмом V и плотностью ρ плавает на границе раздела двух несмешивающихся жидкостей. Плотность верхней жидкости $\rho_1 < \rho < \rho_2$, где $\rho_2 = 13600 \text{ кг/м}^3$ – плотность нижней жидкости, $\rho = 8900 \text{ кг/м}^3$ – плотность тела. Определите плотность верхней жидкости ρ_1 , если известно, что в верхнем слое жидкости находится $\eta = \frac{47}{127}$ часть объёма цилиндра.

Д20. В сосуде с водой в вертикальном положении плавает тонкий, полый алюминиевый цилиндр. На дне цилиндра помещен некоторый груз. Площадь, поперечного сечения цилиндра $S = 5,0 \text{ см}^2$, высота цилиндра $h = 40$ см, а его масса с грузом $m = 100$ г. Какая часть цилиндра погружена в воду, если сверху воды налить слой керосина толщиной $\Delta h = 10$ см?

Д21. В дно бака впаяна трубка с площадью сечения s . Снизу трубка открыта, а сверху прикрыта пластинкой с площадью S и толщиной l (рис. 30.43). Какой должна быть минимальная плотность материала пластинки ρ , чтобы она не всплывала при высоте воды в баке над пластинкой, равной H ?

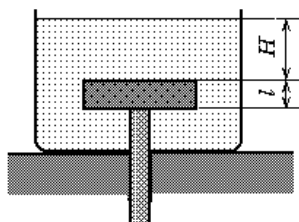


Рис. 30.43

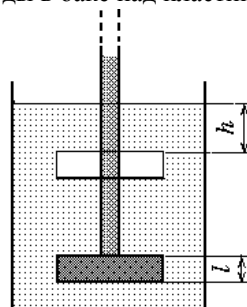


Рис. 30.44

Д22. В бак с водой опущена длинная стеклянная трубка с площадью сечения s . Верхний конец трубки открыт и находится выше уровня воды в баке, а снизу трубка закрыта пластинкой с площадью сечения S и толщиной l (рис. 30.44). Плотность материала пластинки $\rho_{\text{пл}}$ больше плотности воды $\rho_{\text{в}}$. Трубку медленно поднимают вверх. Определите, на какой глубине h пластинка оторвется от трубки.