

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Московский физико-технический институт
(государственный университет)
Заочная физико-техническая школа**

ФИЗИКА

Гидростатика. Аэростатика

Задание №1 для 8-х классов

(2018 – 2019 учебный год)



г. Долгопрудный, 2018

Составитель: В.И. Чивилёв, доцент кафедры общей физики МФТИ.

Физика: задание №1 для 8-х классов (2018 – 2019 учебный год), 2018, 16 с.

Дата отправления заданий по физике и математике – 28 сентября 2018 г.

Составитель:

Чивилёв Виктор Иванович

Подписано 30.05.18. Формат 60×90 1/16.

Бумага типографская. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0

Уч.-изд. л. 0,88. Тираж 250. Заказ №29-з.

Заочная физико-техническая школа
Московского физико-технического института
(государственного университета)
ООО «Печатный салон ШАНС»

Институтский пер., 9, г. Долгопрудный, Москов. обл., 141700.
ЗФТШ, тел./факс (495) 408-51-45 – **заочное отделение**,
тел./факс (498) 744-63-51 – **очно-заочное отделение**,
тел. (499) 755-55-80 – **очное отделение**.

***e-mail:* zftsh@mail.mipt.ru**

Наш сайт: www.school.mipt.ru

© МФТИ, ЗФТШ, 2018

Все права защищены. Воспроизведение учебно-методических материалов и материалов сайта ЗФТШ в любом виде, полностью или частично, допускается только с письменного разрешения правообладателей.

Введение

Часть механики, изучающая условия, при которых тело находится в покое под действием нескольких сил, называется *статикой*.

В *гидростатике* рассматриваются силы, возникающие в системе, состоящей из *покоящейся* жидкости и помещённых в эту жидкость *неподвижных* тел.

Силы, появляющиеся в системе из *неподвижного* газа и помещённых в него *покоящихся* тел, изучает наука *аэростатика*.

В гидростатике и аэростатике используются многие понятия и законы механики и её составной части – статики. Поэтому перед чтением этого задания полезно повторить материал, касающийся понятий массы, плотности, силы, силы тяжести, веса тела, равнодействующей нескольких сил. Напомним кое-что из этого.

Масса тела m , его объём V и плотность ρ тела связаны формулой $m = V\rho$. Сила тяжести, действующая на тело массой m , приложена к телу и находится по формуле $F = mg$, где $g \approx 9,8 \text{ Н/кг} = 9,8 \text{ м/с}^2$ – *ускорение свободного падения*. Вес тела массой m во многих случаях выражается тоже аналогичной формулой $Q = mg$, но вес Q приложен к подставке, на которой находится тело.

Сила, которая оказывает на тело такое же действие, как и несколько одновременно действующих сил, называется *равнодействующей* этих сил. Если тело находится в покое, то равнодействующая сила равна нулю. В частности, если на тело действуют две силы и тело находится при этом в покое, то эти силы равны по модулю и противоположны по направлению.

Несколько слов о контрольных вопросах и задачах, предлагаемых в конце задания. Часть вопросов и задач простые, часть сложные. Не смущайтесь, если некоторые из них Вам не удастся решить. У Вас будет возможность вернуться к этому заданию, когда Вы получите назад свою проверенную работу и официальное решение этого задания.

Желаем удачи!

§1. Жидкости и газы. Текучесть. Давление

Жидкости и газы отличаются от твёрдых тел, прежде всего тем, что обладают таким свойством, как *текучесть*. Текучесть проявляется в способности жидкости и газа принимать форму сосуда. Из-за чего появляется и чем объясняется текучесть, по наличию которой и устанавливают, что данное тело не является твёрдым?

Многочисленные опытные факты подтверждают наличие в природе веществ (тел), у которых отсутствуют силы, препятствующие сдвигу с бесконечно малыми скоростями одних слоёв этих веществ относительно

но других, т. е. отсутствуют силы трения покоя, действующие вдоль поверхности соприкасающихся слоёв. Если при этом такое вещество принимает форму сосуда и его объём практически не зависит от формы и вида сосуда, то мы имеем дело с жидкостью. Если же это вещество занимает весь предоставленный ему в любом сосуде объём, то это – газ.

У твёрдого тела сдвинуть один слой (часть) тела относительно другого без приложения значительных усилий невозможно. У жидкости и газа одни слои (части) могут скользить по другим слоям под действием ничтожно малых сил. Этим и объясняется текучесть. Например, если подуть вдоль поверхности воды, то верхние слои воды придут в движение относительно нижних, причём силы трения между слоями будут тем меньше, чем меньше относительная скорость движения слоёв. Другой пример текучести. Даже очень осторожное, медленное и малое наклонение сосуда с жидкостью приводит к перемещению верхних слоёв жидкости относительно нижних и в результате поверхность жидкости становится снова горизонтальной.

Сила трения покоя между стенкой сосуда и соприкасающейся с ней неподвижной жидкостью тоже равна нулю.

Мы здесь не будем рассматривать проявление так называемых сил поверхностного натяжения, возникающих из-за того, что поверхностный слой жидкости ведёт себя подобно тонкой упругой оболочке. Силами поверхностного натяжения объясняется существование капель жидкости, возможность каплям удерживаться на наклонной поверхности твёрдого тела, капиллярность и другое.

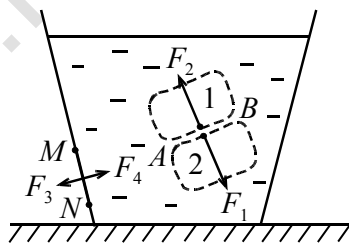


Рис. 1

Из всего сказанного выше следует, что в неподвижной жидкости (или газе) слои (части) жидкости действуют друг на друга и на стенки сосуда с силами, направленными перпендикулярно к поверхности их соприкосновения. На рис. 1 показан сосуд с жидкостью. Выделим мысленно из всей жидкости её части в объёмах 1 и 2. Жидкость в объёме 1 давит на жидкость в объёме 2 с силой F_1 , направленной перпендикулярно к поверхности AB их соприкосновения. С такой же по модулю силой F_2 давит и жидкость 2 на 1. Это следует из так называемого *третьего закона Ньютона*, согласно которому тела действуют друг на друга с равными по модулю и противоположными по направлению силами. Жидкость в сосуде давит на часть MN стенки сосуда с силой F_3 , направленной перпендикулярно стенке. Часть MN стенки давит на жидкость с такой же силой F_4 .

Величиной, характеризующей взаимодействие частей жидкости или газа друг с другом и со стенками сосуда, служит *давление*.

Давлением называется величина, равная отношению модуля силы F давления, действующей по нормали (перпендикулярно) к плоской поверхности, к площади S этой поверхности:
$$P = \frac{F}{S}.$$

В системе СИ давление измеряется в Н/м^2 . Эта единица давления носит название паскаль (Па): $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$.

Уточним, что следует понимать под давлением в жидкости или газе.

Поместим в жидкость или газ небольшую плоскую пластину. Одну из сторон этой пластины назовём *площадкой*. Жидкость (газ) давит на площадку с некоторой силой F . Если площадь площадки S , то давление жидкости на площадку $P = \frac{F}{S}$. Из условия равновесия вырезанной

мысленно из жидкости (газа) призмы с основанием в виде прямоугольного треугольника, находящейся в месте расположения площадки, можно вывести, что *давление на площадку в жидкости или газе не зависит от ориентации площадки*. Вывод приводить не будем. Теперь можно дать определение давления в жидкости или газе.

Давлением в некоторой точке жидкости называется давление жидкости на небольшую площадку, произвольно ориентированную и помещённую вблизи этой точки. Аналогично и для газа.

§2. Закон Паскаля

Рассмотрим связь между давлениями в различных точках жидкости. Будем рассматривать покоящуюся жидкость в неподвижном сосуде. Дополнительное давление в жидкости, возникающее из-за силы тяжести, учитывать не будем.

Пусть жидкость заключена в замкнутый сосуд произвольной формы (рис. 2). Будем давить на поршень. Покажем, что давление P_A в точке A равно давлению P_B в точке B . Для этого выделим мысленно внутри жидкости тонкий цилиндр,

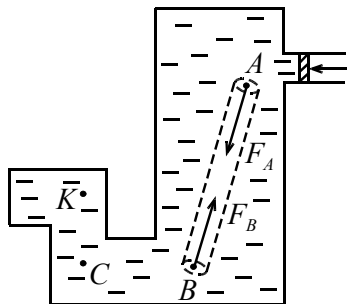


Рис. 2

ось которого проходит через точки A и B , а основания площадью S каждое перпендикулярны оси. На части боковой поверхности цилиндра из жидкости со стороны окружающей жидкости действуют силы давления, перпендикулярные оси цилиндра. На основания цилиндра жид-

кость действует с силами $F_A = P_A S$ и $F_B = P_B S$, направленными вдоль оси AB . Поскольку цилиндр находится в покое, то $F_A = F_B$, т. е. $P_A S = P_B S$. Отсюда $P_A = P_B$. Значит, давление в точках A и B одно и то же. Аналогично доказывается равенство давлений в точках B и C и в точках C и K . Таким образом, приходим к выводу, что *давление во всех точках внутри жидкости одинаково*. Поршень давит на жидкость на её границе в одном месте, но это давление ощущается во всей жидкости. Мы получили **закон Паскаля**: *давление, оказываемое на жидкость в каком-либо одном месте на её границе, передаётся без изменения во все точки жидкости*.

Этот закон был установлен экспериментально французским физиком и математиком Блэзом Паскалем (1623 – 1662) и носит его имя.

Всё сказанное в этом параграфе справедливо и для газов. Справедливо для газов и закон Паскаля.

Отметим, что закон Паскаля выведен и сформулирован здесь при условии отсутствия силы тяжести. Наличие силы тяжести не изменяет сути закона и вносит дополнительную связь между давлениями в различных точках жидкости или газа.

Закон Паскаля лежит в основе устройства гидравлических машин. Принцип устройства и действия такой машины следующий. Два цилиндрических сосуда разного диаметра с поршнями соединены трубкой и заполнены жидкостью (рис. 3). Пусть на малый поршень площадью S_1

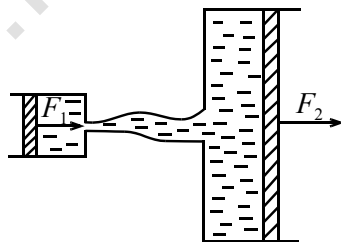


Рис. 3

действует сила F_1 . Тогда в жидкости создаётся давление $P = F_1 / S_1$. На большой поршень площадью S_2 со стороны жидкости действует сила $F_2 = PS_2 = F_1 S_2 / S_1$. С этой же силой большой поршень может действовать на какое-нибудь тело, препятствующее его перемещению. Во сколько раз S_2 больше S_1 , во столько раз и развиваемая поршнем сила F_2 больше приложенной силы F_1 . Это используется в гидравлическом прессе, гидравлическом тормозе, гидравлическом домкрате.

Задача 1. Площадь большого поршня гидравлического домкрата 20 см^2 , а малого $0,5 \text{ см}^2$. Груз, какой максимальной массы можно поднять этим домкратом, если на малый поршень давить с силой не более 200 Н ? Силой трения поршней о стенки цилиндров пренебречь.

Решение. Пусть $S_1 = 0,5 \text{ см}^2$, $S_2 = 20 \text{ см}^2$, $F_1 = 200 \text{ Н}$. Так как давление во всех точках жидкости одинаково, то

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}.$$

Здесь F_2 – сила давления жидкости на большой поршень. Отсюда

$$F_2 = \frac{F_1 S_2}{S_1} = 200 \text{ Н} \cdot \frac{20 \text{ см}^2}{0,5 \text{ см}^2} = 8000 \text{ Н}.$$

Поднять можно тело с максимальным весом $F_2 = 8000 \text{ Н}$, что соответствует массе $m = F_2 / g$, где $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Итак, $m \approx 800 \text{ кг}$.

§3. Гидростатическое давление

На Земле на все тела действует сила тяжести. Под действием силы тяжести верхние слои жидкости действуют на нижние. Следовательно, в жидкости существует дополнительное давление, обусловленное силой тяжести, называемое *гидростатическим давлением*.

Можно показать, что в жидкости, на глубине H , считая от поверхности жидкости в сосуде, гидростатическое давление вычисляется по формуле $P_r = \rho g H$.

Здесь ρ – плотность жидкости. В системе единиц СИ $g = 9,8 \text{ м/с}^2$, а давление P_r , плотность ρ и высота H измеряются в Па, кг/м^3 и м соответственно.

Полное давление P в жидкости, налитой в сосуд, складывается из давления у поверхности жидкости и гидростатического давления. Давление у поверхности жидкости часто равно атмосферному давлению $P_{\text{атм}}$, о котором будет сказано в дальнейшем. В этом случае $P = P_r + P_{\text{атм}}$.

Для ответа на некоторые вопросы полезно знать, что на одном горизонтальном уровне давление в жидкости постоянно, а разность давлений ΔP на двух уровнях жидкости AB и MN , отстоящих друг от друга по высоте на расстояние H (рис. 4), вычисляется по формуле $\Delta P = \rho g H$, которая аналогична формуле для гидростатического давления.

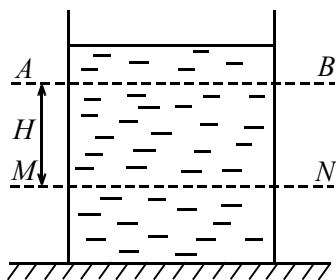


Рис. 4

(Справка: греческая буква Δ (дельта), стоящая перед любой величиной, обычно используется для обозначения изменения этой величины.)

§4. Сообщающиеся сосуды

Сообщающимися называются сосуды, которые имеют связывающие их каналы, заполненные жидкостью (рис. 5).

Можно показать, что справедлив **закон сообщающихся сосудов**: в сообщающихся сосудах, заполненных однородной жидкостью, давление во всех точках жидкости, расположенных в одной горизонтальной плоскости, одинаково, независимо от формы сосудов, а поверхности жидкости в сообщающихся сосудах (открытых вверх) устанавливаются на одном уровне (рис. 5).

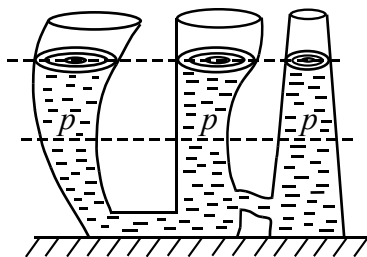


Рис. 5

§5. Атмосферное давление. Опыт Торричелли

Земля окружена воздушной оболочкой, состоящей из смеси газов. Эта оболочка называется атмосферой. Каждый горизонтальный слой атмосферы сжат весом более верхних слоёв. Поэтому давление в нижних слоях атмосферы больше, чем в верхних. При этом и плотность воздуха в нижних слоях значительно больше, чем в верхних. Это связано с тем, что газы под воздействием давления могут сильно уменьшить свой объём. Жидкости же обладают очень малой сжимаемостью и практически не изменяют своей плотности даже при больших давлениях. Атмосферное давление на уровне моря равно примерно 10^5 Па, т. е. 100000 Па. Это желательно помнить. С увеличением высоты над уровнем моря атмосферное давление уменьшается. На высоте примерно в 5,5 км оно уменьшается вдвое.

Значение атмосферного давления впервые определил экспериментально в 1634 г. итальянский учёный Торричелли, создав простейший ртутный барометр. Опыт Торричелли состоит в следующем. Стекло́нная трубка длиной около метра, запаянная с одного конца, заполняется полностью ртутью. Затем, закрыв отверстие трубки, её переворачивают и погружают открытым концом в чашу со ртутью (рис. 6). Часть ртути из трубки выливается, и в ней остаётся столб ртути высотой H . Давление в трубке над ртутью равно нулю (если пренебречь ничтожным давлением паров ртути), так как там – пустота (вакуум): $P_C = 0$. Давление P_B в точке B равно давлению P_A в точке A , поскольку в сообщающихся сосудах – чаше и трубке – точки A

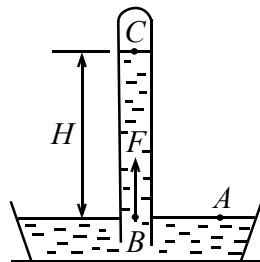


Рис. 6

и B находятся на одном уровне. Давление P_A равно атмосферному давлению $P_{\text{атм}}$. Поэтому $P_B = P_{\text{атм}}$. Разность давлений $P_B - P_C = \rho gH$, где ρ – плотность ртути. Так как $P_B = P_{\text{атм}}$ и $P_C = 0$, то $P_{\text{атм}} = \rho gH$. Измерив H и зная ρ , можно определить атмосферное давление в условиях опыта. Торричелли нашёл, что для уровня моря $H = 760$ мм.

В опыте Торричелли каждому значению H соответствует определённое значение $P_{\text{атм}}$. Следовательно, атмосферное давление можно измерять в миллиметрах ртутного столба. Эта единица давления получила специальное название «Торр»: $1 \text{ Торр} = 1 \text{ мм рт.ст.}$ При этом высота столба ртути берётся той, которую он имел бы при 0°C . Атмосферное давление в 760 Торр называется нормальным атмосферным давлением. Значение этого давления называется нормальной (физической) атмосферой и обозначается 1 атм . Зная плотность ртути $\rho = 13595 \text{ кг/м}^3$, находим по формуле $P_{\text{атм}} = \rho gH$:

$$1 \text{ атм} = 760 \text{ Торр} \approx 101325 \text{ Па} \approx 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Умножим равенство $P_{\text{атм}} = \rho gH$ на площадь S внутреннего сечения трубки: $P_{\text{атм}} S = \rho gHS$. Заметим, что последнее равенство можно получить и непосредственно, записав условие равновесия столба BC ртути (рис. 6). Произведение $P_{\text{атм}} S$ равно силе давления F на столб ртути BC снизу, вызванное наличием атмосферного давления, а ρgHS есть вес столба BC ртути в трубке. Поэтому говорят, что в опыте Торричелли давление, создаваемое весом столба ртути, уравнивается атмосферным давлением.

Замена ртути водой в опыте Торричелли требует высоты трубки более 10 м. Действительно, при нормальном атмосферном давлении 1 атм для значения плотности воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ из формулы $P_{\text{атм}} = \rho gH$ следует, что $H \approx 10,3 \text{ м}$. Это означает, что нормальное атмосферное давление уравнивается столбом воды высотой 10,3 м.

Несколько замечаний для решения задач. Полезно помнить, что плотность воды равна 1000 кг/м^3 и гидростатическое давление в 10^5 Па создаётся в воде на глубине приблизительно 10 м. Проверьте это, используя формулу для гидростатического давления.

Поскольку плотность воздуха намного меньше плотности воды, изменением атмосферного давления, связанным с перепадом высоты в несколько метров, можно в ряде случаев пренебречь по сравнению с гидростатическим давлением воды, вызванным таким же перепадом высоты.

Задача 2. В сосуд налита вода (рис. 7). Расстояние от поверхности воды до дна $H = 0,5$ м. Площадь дна $S = 0,1$ м². Найти гидростатическое давление P_1 и полное давление P_2 вблизи дна. Найти силу давления воды на дно.

Решение. Плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м³. Гидростатическое давление

$$P_1 = \rho g H = 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 0,5 \text{ м} \approx 5 \cdot 10^3 \text{ Па} = 5000 \text{ Па}.$$

Полное давление складывается из атмосферного $P_{\text{атм}} = 10^5$ Па и гидростатического: $P_2 = P_{\text{атм}} + P_1 = 100000 \text{ Па} + 5000 \text{ Па} = 105000 \text{ Па}$.

Интересно, что полное давление мало отличается от атмосферного, так как толщина слоя воды достаточно мала. Сила давления воды на дно $F = P_2 \cdot S = 105000 \text{ Па} \cdot 0,1 \text{ м}^2 = 10500 \text{ Н}$.

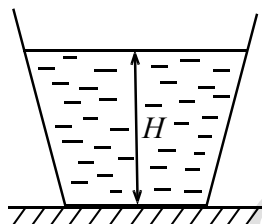


Рис. 7

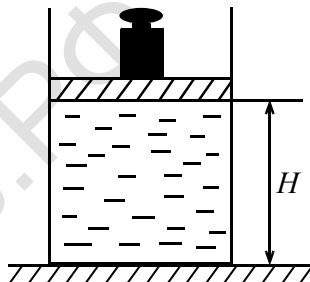


Рис. 8

Задача 3. На лёгкий поршень площадью S , касающийся поверхности воды, поставили гирию массой m (рис. 8). Высота слоя воды в сосуде с вертикальными стенками H . Определить давление в жидкости вблизи дна. Плотность воды ρ .

Решение. На поршень снизу со стороны воды действует направленная вверх сила $F_1 = P_1 S$, где P_1 давление вблизи поршня. Сверху на поршень действует гирия и атмосферный воздух с силой $F_2 = mg + P_{\text{атм}} S$, где $g = 9,8 \text{ м/с}^2$, $P_{\text{атм}} = 10^5$ Па – атмосферное давление. Поршень находится в равновесии. Поэтому $F_1 = F_2$. Итак, $P_1 S = mg + P_{\text{атм}} S$. Отсюда

$$P_1 = P_{\text{атм}} + \frac{mg}{S}.$$

Этот результат можно писать и сразу, говоря, что давление под поршнем равно атмосферному $P_{\text{атм}}$ и добавочному давлению mg/S , создаваемому гирей.

Разность давлений в воде у дна и вблизи поршня: $P_2 - P_1 = \rho gH$. Отсюда $P_2 = P_1 + \rho gH$. Окончательно, давление у дна

$$P_2 = P_{\text{атм}} + \frac{mg}{S} + \rho gH.$$

§6. Закон Архимеда

На поверхности твёрдого тела, погружённого в жидкость (газ), действуют силы давления. Эти силы увеличиваются с глубиной погружения (рис. 9), и на нижнюю часть тела будет действовать со стороны жидкости большая сила, чем на верхнюю. Равнодействующая всех сил давления, действующих на поверхность тела со стороны жидкости, называется *выталкивающей силой*. Другое название этой силы – *сила Архимеда*. Истинная причина появления выталкивающей силы – это наличие различного гидростатического давления в разных точках жидкости.

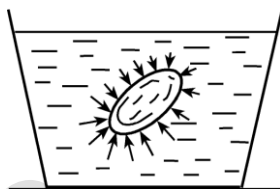


Рис. 9

Закон Архимеда: *выталкивающая сила, действующая на тело, погружённое в жидкость, равна по модулю весу вытесненной жидкости и противоположно ему направлена.*

Закон открыт величайшим механиком и математиком Древней Греции Архимедом (287 – 212 г.г. до н. э.).

Приведённая формулировка закона Архимеда справедлива, если вся поверхность тела соприкасается с жидкостью или если тело плавает в жидкости, или если тело частично погружено в жидкость через свободную (не соприкасающуюся со стенками) поверхность жидкости.

Если же часть поверхности тела плотно прилегает к стенке или дну сосуда так, что между ними нет прослойки жидкости, то закон Архимеда неприменим! Иллюстрацией к сказанному служит опыт, когда ровную нижнюю поверхность деревянного кубика натирают парафином и плотно приставляют ко дну сосуда (рис. 10). Затем осторожно наливают воду. Кубик не всплывает, т. к. со стороны воды на него действует сила, прижимающая его ко дну, а не выталкивающая вверх. Известно, что это представляет опасность для подводной лодки, лёгшей на грунт.

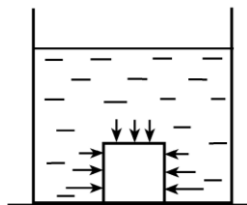


Рис. 10

Закон Архимеда применим и в случае погружения тела в газ.

Строго говоря, в законе Архимеда вес вытесненной жидкости надо брать в вакууме, а не в воздухе, так как вес жидкости в воздухе меньше веса этой жидкости в вакууме на величину веса воздуха, вытесненного этой жидкостью. Но это различие обычно мало, и им пренебрегают.

Если тело погружено в жидкость частично, то результирующая выталкивающая сила со стороны жидкости и воздуха равна сумме веса вытесненной жидкости и вытесненного этим телом воздуха. Здесь оба веса берутся в вакууме.

Задача 4. Железный предмет, полностью погружённый в воду, весит меньше, чем в воздухе на $F = 100$ Н. Определить вес предмета в воздухе. Плотность железа $\rho = 7900$ кг/м³.

Решение. Выталкивающей силой в воздухе можно пренебречь. Пусть вес тела в воздухе Q . Тогда его вес в воде $Q - \rho_v Vg$. Здесь V – объём тела, $\rho_v = 1000$ кг/м³ – плотность воды, $g = 9,8$ м/с². Разность этих весов равна F . Поэтому $Q - (Q - \rho_v Vg) = F$. Отсюда $V = \frac{F}{\rho_v g}$.

Вес тела в воздухе

$$Q = \rho g V = \frac{F \rho}{\rho_v} = \frac{100 \text{ Н} \cdot 7900 \text{ кг/м}^3}{1000 \text{ кг/м}^3} = 790 \text{ Н}.$$

§7. Плавание тел

Лодка из железа, спущенная на воду, плывёт, а эта же лодка, полностью погружённая в воду (затопленная), тонет. Из этого примера видно, что одно и то же тело может плавать, а может и тонуть. Всё зависит от того, как тело приведено в контакт с жидкостью. Поэтому имеет смысл рассмотреть два случая взаимодействия тела с жидкостью.

1-й случай. *Тело плавает в жидкости*, т. е. находится в покое, частично погрузившись в жидкость. Это может быть любое тело, например, кусок дерева или катер. Важен сам факт плавания. При этом тело соприкасается только с жидкостью и воздухом, плавая предоставленным самому себе, свободно. На начальном этапе рассмотрения вопроса о плавании не будем учитывать вес вытесненного воздуха. На тело действует направленная вниз сила тяжести F_T и направленная вверх сила Архимеда F_A . Поскольку сила тяжести F_T равна весу тела (в вакууме), а сила Архимеда F_A – весу (в вакууме) вытесненной жидкости, то можно сказать, что вес тела равен весу вытесненной жидкости. При более

строгом рассмотрении вопроса с учётом веса вытесненного воздуха можно показать, что вес тела в воздухе равен весу (тоже в воздухе) вытесненной жидкости.

Итак, если тело плавает в жидкости, то вес тела в воздухе равен весу в воздухе вытесненной им жидкости.

При решении задач, когда ситуация реальна, различием в весе в воздухе и вакууме обычно пренебрегают, приравнивая вес любого тела силе тяжести, действующей на тело.

Задача 5. Кусок льда объёмом $V = 0,1 \text{ м}^3$ плавает в воде. Найти объём V_1 надводной части льда. Плотность воды $\rho_1 = 1 \text{ г/см}^3$, плотность льда $\rho_2 = 0,9 \text{ г/см}^3$.

Решение. Вес льдины $\rho_2 V g$, вес вытесненной воды $\rho_1 (V - V_1) g$. По закону Архимеда $\rho_2 V g = \rho_1 (V - V_1) g$. Отсюда

$$V_1 = \frac{(\rho_1 - \rho_2)V}{\rho_1} = \left(1 - \frac{\rho_2}{\rho_1}\right) \cdot V = 0,01 \text{ м}^3.$$

2-й случай. *Тело полностью погружено в жидкость и отпущено.* Возьмём в руки какое-нибудь тело (кусочек дерева, стальной болт), погрузим его полностью в жидкость (например, воду) и будем удерживать неподвижно. На тело со стороны Земли действует вниз сила тяжести $F_T = \rho_T V g$, а со стороны жидкости – вверх выталкивающая сила по закону Архимеда $F_A = \rho_J V g$. Здесь V – объём тела, ρ_T и ρ_J – плотность тела и жидкости. Отпустим тело. Если окажется, что $F_T > F_A$, то тело начнёт двигаться вниз, т. е. тонуть. Если будет $F_T < F_A$, то тело станет двигаться вверх, т. е. всплывать. После всплытия, когда тело будет плавать, объём погружённой в жидкость части тела окажется таким, что будет обеспечено равенство силы Архимеда (уже меньшей, чем величина F_A) и силы тяжести F_T . Итак, тело будет плавать, если $\rho_T V g < \rho_J V g$, т. е. $\rho_T < \rho_J$.

Мы получили *условие плавания тела: тело, предварительно полностью погружённое в жидкость, плавает в жидкости, если плотность тела меньше плотности жидкости.*

Если плотности тела и жидкости равны, то полностью погружённое в жидкость тело может находиться в равновесии (покое) в любом месте жидкости, т. е. тело плавает внутри жидкости. Реально такая ситуация трудно осуществима, так как добиться строгого равенства плотностей нелегко.

Условие плавания сформулировано для тела, предварительно полностью погружённого в жидкость. Предварительное полное погружение важно, так как, например, металлическая миска, не полностью погружённая в воду, может плавать, а полностью погружённая утонет.

Условие плавания сформулировано для однородного тела, т. е. тела, плотность которого одинакова во всех точках тела. Это условие плавания справедливо и для неоднородного тела, например, куска льда с полостью внутри или стеклянной бутылки, заполненной частично водой и закрытой пробкой. В таком случае под плотностью тела надо понимать его среднюю плотность, т. е. отношение массы тела к его объёму.

§8. Воздухоплавание

На тело, удерживаемое неподвижно в воздухе, действует выталкивающая сила, равная по закону Архимеда весу вытесненного этим телом воздуха. Если вес тела (в вакууме) больше веса вытесненного телом воздуха, то отпущенное тело падает вниз. Если вес тела меньше веса вытесненного воздуха, то отпущенное тело поднимается вверх. Это и есть условие воздухоплавания.

Для осуществления воздухоплавания надо использовать газ, который легче воздуха. Это может быть нагретый воздух. Если суммарный вес оболочки воздушного шара, наполняющего его газа и полезного груза меньше веса вытесненного шаром воздуха, то шар будет подниматься.

Задача 6. Какой груз может поднять воздушный шар объёмом $V = 10 \text{ м}^3$, наполненный гелием? Плотность гелия $\rho_r = 0,18 \text{ кг/м}^3$, плотность воздуха $\rho_b = 1,29 \text{ кг/м}^3$. Масса оболочки шара $m_0 = 2,1 \text{ кг}$.

Решение. Объёмом груза по сравнению с объёмом шара пренебрегаем. Вес вытесненного воздуха $\rho_b Vg$, вес гелия $\rho_r Vg$. Максимальная масса груза найдётся из условия: $m_0 g + \rho_r Vg + mg = \rho_b Vg$. Отсюда

$$m = (\rho_b - \rho_r)V - m_0 = 9 \text{ кг}.$$

Контрольные вопросы

1. Чем объясняется текучесть жидкостей и газов?
2. Как направлены силы, с которыми жидкость или газ, неподвижные относительно сосуда, действуют на стенки сосуда?
3. Оценить, во сколько раз гидростатическое давление в Финском заливе в воде на глубине 20 м больше атмосферного давления P_0 на уровне моря? Во сколько раз полное давление на этой глубине больше P_0 ?
4. На столе стоят три сосуда с одинаковой площадью дна, (рис. 11). В сосуды налита вода до одного уровня.
 - 1) Сравнить силы гидростатического давления на дно этих сосудов.
 - 2) Сравнить для каждого сосуда вес налитой в него воды с силой гидростатического давления на его дно.
 - 3) Сравнить силу давления воды на дно среднего сосуда с весом налитой в него воды.
5. Как с помощью отрезка шланга из прозрачного материала и воды проверить горизонтальность кирпичной кладки при строительстве дома?
6. Будет или нет работать гидравлический пресс в космическом корабле в состоянии невесомости?
7. В сосуде с наклонными стенками плавает в воде кусок льда. Как изменится уровень воды в сосуде, когда лёд растает? Как при этом изменится сила давления воды на дно?

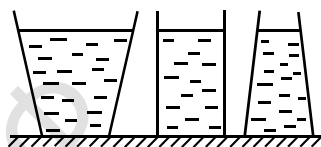


Рис. 11

Задачи

1. На сколько процентов уменьшится давление атмосферного воздуха при подъёме на высоту $H = 100$ м? Принять среднюю плотность воздуха $\rho = 1,3$ кг/м³, атмосферное давление вблизи поверхности Земли $P_0 = 10^5$ Па.
2. В подводной части судна на глубине $H = 2,5$ м образовалось отверстие площадью $S = 7$ см². Какую минимальную силу надо приложить для удержания заплаты, закрывающей отверстие с внутренней стороны судна? Как влияет на ответ величина атмосферного давления?

3. Герметичный сосуд полностью заполнен водой (рис. 12). На лёгкий поршень площадью S давят рукой с силой F .

Поршень может свободно перемещаться и находится на расстояниях H_1 от верхней части сосуда и H_2 от дна, считая по вертикали. Атмосферное давление равно $P_{\text{атм}}$.

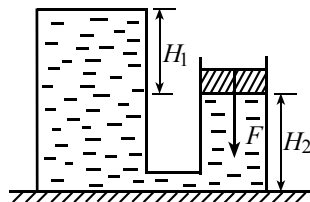


Рис. 12

Найти давление вблизи верхней части сосуда и вблизи дна.

4. Большой поршень гидравлического пресса площадью $S_1 = 100 \text{ см}^2$ развивает силу 5000 Н . С какой силой надо действовать на меньший поршень площадью $S_2 = 0,5 \text{ см}^2$? Как изменится ответ, если учесть атмосферное давление $P_0 = 100 \text{ кПа}$?

5. Плоская льдина возвышается над уровнем воды в реке на $h = 5 \text{ см}$. Определите толщину льдины. Плотность льда $\rho_1 = 900 \text{ кг/м}^3$, плотность воды $\rho_2 = 1000 \text{ кг/м}^3$.

6. Латунная статуэтка весит в воздухе $21,1 \text{ Н}$, а в воде $11,3 \text{ Н}$. Каков объём воздушной полости внутри статуэтки? Плотность латуни 8500 кг/м^3 .

Указание. Удобно предварительно найти численные значения объёма латуни и объёма статуэтки.

7. Масса шара-зонда вместе с газом в его оболочке $m = 30 \text{ кг}$, объём $V = 60 \text{ м}^3$. Шар удерживается верёвкой, привязанной к тяжёлому предмету на земле. Плотность воздуха равна $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$. Найти силу натяжения верёвки.