

Глава 3. ДАВЛЕНИЕ ТВЁРДЫХ ТЕЛ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

§ 40(33). ДАВЛЕНИЕ. ЕДИНИЦЫ ДАВЛЕНИЯ

На лыжах или без лыж, человек действует на снег с одной и той же силой F_d , равной своему весу P . Однако действие этой силы в этих двух случаях будет разным (рис.1.3), так как различна *площадь* поверхности, на которую давит человек с лыжами S и без лыж $s \approx (1/10)S$, рис.2.3. Поэтому, стоя на лыжах, человек действует на *каждый квадратный сантиметр* площади поверхности снега с силой, в ≈ 10 раз меньшей, чем стоя на снегу без лыж.

Если вы прикалываете кнопками газету к доске, нажимая на каждую кнопку с одинаковой силой, в дерево легче входит кнопка, имеющая более острый конец, рис. 3.3.

Таким образом, *результат действия силы зависит от того, какая сила действует на каждую единицу площади поверхности.*

В рассмотренных примерах силы действовали *перпендикулярно* \perp поверхности тела.

Сила веса человека перпендикулярна \perp поверхности снега; сила, действовавшая на кнопку, перпендикулярна \perp поверхности доски.

Величина, равная отношению силы F_d , действующей перпендикулярно \perp поверхности, к площади этой поверхности S (или s), называется давлением p .

Чтобы определить давление, надо силу, действующую перпендикулярно \perp поверхности, разделить на площадь поверхности:

$$\text{давление} = \frac{\text{сила}}{\text{площадь}} \quad \text{или} \quad p = \frac{F_d}{S} \quad [1.3]$$

Здесь обозначено: p – давление, F_d – сила, действующая на поверхность S .

Понятно, что большая по значению сила F_d , действующая на ту же площадь S , будет производить большее давление p .

На рис. 1.3 со снегом взаимодействуют подошвы и лыжи (рис. 2.3) соответственно. Во втором примере (рис. 3.3) с деревом взаимодействует острый конец кнопки.

Общая часть поверхности взаимодействующих тел S (или s) называется пятном контакта, рис.4.3а,б.

Очевидно, что при данном значении силы F_d , площадь S пятна контакта определяет величину давления p . Например, пятно контакта автомобильных шин и дороги во многом определяет безопасность езды, скорость износа шин и самой дороги, рис. 4.3.

За единицу давления принимается такое давление, которое производит сила в 1 Н, действующая на поверхность площадью 1 м² перпендикулярно \perp этой поверхности.

Единица давления - *ньютон на квадратный метр* ($1 \frac{Н}{м^2}$). В честь французского ученого

Блеза Паскаля она называется **паскалем** (Па). Таким образом,

$$1 \text{ Па} = 1 \frac{Н}{м^2}.$$

Используются также другие единицы давления: *гектопаскаль* (гПа), *килопаскаль* (кПа), *мегапаскаль* (МПа).

$$\begin{aligned} 1 \text{ гПа} &= 100 \text{ Па}; & 1 \text{ Па} &= 0,01 \text{ гПа}; \\ 1 \text{ кПа} &= 1000 \text{ Па}; & 1 \text{ Па} &= 0,001 \text{ кПа}. \\ 1 \text{ МПа} &= 1000 \text{ 000 Па}; & 1 \text{ Па} &= 0,000 \text{ 001 МПа}. \end{aligned}$$



Рис.1.3. На рыхлом снегу глубоко проваливаешься при каждом шаге... если не наденешь лыжи. Почему?

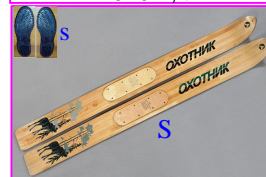


Рис.2.3. Площадь S поверхности лыжи в ≈ 10 раз больше площади подошвы s : $S \approx 10 s$.



Рис. 3.3. Кнопка, имеющая более острый конец (меньшую s), легче входит в дерево. У кнопок $s \approx 0,03-0,1 \text{ мм}^2$.

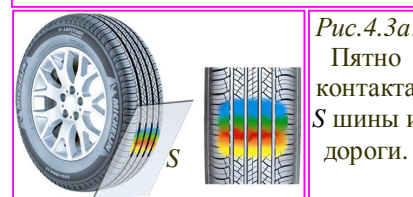


Рис.4.3а. Пятно контакта S шины и дороги.

Пример 1. Рассчитать давление, производимое на пол мальчиком, масса которого 45 кг, а площадь подошв его ботинок (*контактное пятно*), соприкасающихся с полом, равна $S = 300 \text{ см}^2$.

Запишем условие задачи и решим ее.

Дано: $m=45 \text{ кг}$
 $S = 300 \text{ см}^2 = 0,03 \text{ м}^2$
 $p = ?$

Решение:

$$p = \frac{F_{\text{д}}}{S},$$

$$F_{\text{д}} = P,$$

$$P = gt, \quad P = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 45 \text{ кг} = 450 \text{ Н}.$$

$$p = \frac{450 \text{ Н}}{0,03 \text{ м}^2} = 15000 \text{ Па} = 15 \text{ кПа}.$$

Ответ: $p = 15 \text{ кПа}$



Рис. 4.3б. Следы – контактные пятна.

Если же мальчик стоит на лыжах (длиной 1,5 м; шириной 10 см каждая), площадь которых $S_{\text{л}} = 3000 \text{ см}^2 = 0,3 \text{ м}^2$, то давление будет всего $p = 450/0,3 = 1,5 \text{ кПа}$.

Пример 2. Ну а какое давление окажет острый кончик кнопки на доску, если площадь контактного пятна $s \approx 0,05 \text{ мм}^2$, а сила давления на кнопку $F_{\text{д}} = 45 \text{ Н}$?

Запишем условие задачи и решим ее.

Дано: $F_{\text{д}} = 45 \text{ Н}$
 $s = 0,1 \text{ мм}^2 = 1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$;
 $p = ?$

Решение:

$$p = \frac{F_{\text{д}}}{s} = \frac{45 \text{ Н}}{1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2} = 4,5 \cdot 10^8 \text{ Па} = 450 \text{ МПа},$$

Ответ: $p = 450 \text{ МПа}$

Это очень большое давление. Такое же давление испытывает тело, опущенное в воду на глубину 4,5 км.



? Вопросы

1. Приведите примеры, показывающие, что действие силы зависит от площади опоры, на которую действует эта сила.
2. Почему человек, идущий на лыжах, не проваливается в снег?
3. Почему острая кнопка легче входит в дерево, чем тупая?
4. На каком опыте можно показать, что действие силы зависит от площади опоры?
5. Что называют давлением?
6. Как определяют давление?
7. Какие вы знаете единицы давления?



Упражнение

1. Выразите в паскалях давление: 5 гПа; $0,02 \frac{\text{Н}}{\text{см}^2}$; 0,4 кПа; $10 \frac{\text{Н}}{\text{см}^2}$.

Выразите в гектопаскалях и килопаскалях давление: 10 000 Па; 5800 Па.

2. Гусеничный трактор ДТ-75М массой 6610 кг имеет опорную площадь обеих гусениц $S = 1,4 \text{ м}^2$. Определите давление этого трактора на почву. Во сколько раз оно больше давления, производимого мальчиком (см. **Пример 1**)?

3. Человек нажимает на лопату силой 600 Н. Какое давление оказывает лопата на почву, если ширина ее лезвия 20 см, а толщина режущего края 0,5 мм? Зачем лопаты остро затачивают?



Рис. 5.3. Гусеничный трактор ДТ-75М.



§ 41 (34). СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ И УВЕЛИЧЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Тяжелый гусеничный трактор производит на почву давление $p=40\div 50$ кПа, т. е. всего в ≈ 3 раза больше, чем давление мальчика массой 45 кг. Это объясняется тем, что вес трактора распределяется на большую площадь S . А мы установили, что *чем больше площадь опоры S , тем меньше давление p , производимое одной и той же силой F_0 на эту опору.*

В зависимости от того, хотят ли получить малое или большое давление, площадь опоры увеличивают или уменьшают. Например, для того чтобы грунт мог выдержать давление возводимого здания, увеличивают площадь нижней части фундамента. Так же строились и пирамиды в Египте *рис. 6.3*. В природе горы всегда имеют широкое основание, *рис. 7.3*.

Шины грузовых автомобилей и шасси самолетов делают значительно шире, чем легковых, *рис. 8.3*. Сани имеют достаточно широкие полозья, чтобы не проваливаться в снег *рис. 9.3*. Тяжелые машины, такие, как трактор, танк или болотоход (*рис. 10.3*), имея большую опорную площадь гусениц, проходят по болотистой местности, по которой не пройдет человек.

Часто опоры большой площади делают не из твердого материала, из гибких веток, резины (шины автомобилей, велосипедов). Это позволяет максимально увеличить пятно контакта, приспособившись к не совсем ровной поверхности. Например, для ходьбы по болотистой местности используется самодельная обувь из веток, *рис. 11.3*. Почти все животные имеют широкие ступни с мягкими «подушечками», также обеспечивающие увеличение площади контактного пятна, *рис. 12.3*.



Рис. 6.3. Пирамиды имеют широкое основание.



Рис. 7.3. Горы всегда имеют широкое основание.

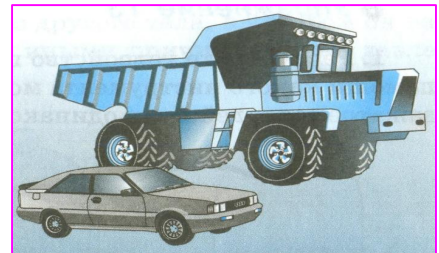


Рис. 8.3. Пятно контакта шин грузовых автомобилей значительно больше, чем легковых



Рис. 9.3. Сани имеют широкие полозья, чтобы не проваливаться в снег.



Рис. 10.3. Болотоход имеет широкие гусеницы.

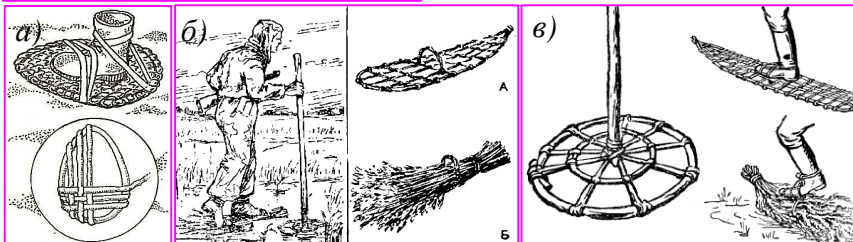


Рис. 11.3. Самодельная обувь – болотоступы (а; б; в) и опоры для ходьбы по болотистой местности применялась в советских войсках во время войны 1941 – 1945 гг.



Рис. 12.3. Конечности животных имеют широкие ступни с «подушечками», уменьшающие давление при ходьбе: а) след дикобраза; б) лапа медведя; в) лапа кошки; г) лапа собаки; д) ступня слона; е) улитка.

С другой стороны, при уменьшении площади поверхности даже относительно небольшой силой можно создать очень большое, *разрушающее* давление. Примеры использования такого способа достижения большого и очень большого давления можно встретить и в природе и в том, что создано человеком, рис. 13.3 – 17.3.



Рис. 13.3. Острые органы животных, позволяющие создавать большое давление, используются как грозное оружие при нападении и обороне. а) иглы дикобраза; б) рыба-игла; в) зубы пирании; г) зуб акулы; д) акула.



Рис. 14.3. а) морской ёж защищается иглами; б) зубы ядовитой змеи.

Рис. 15.3. Колючки и острые шипы растений хорошо защищают их от животных. Обычно эти шипы гораздо острее кнопок или шила.

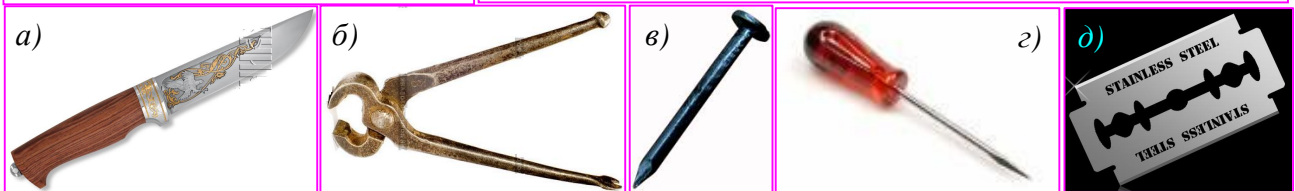


Рис. 16.3. Хорошо известные вам острые предметы. Если они затупятся, ими становится трудно что-либо делать. а) нож; б) клещи-кусачки; в) гвоздь; г) шило; д) лезвие бритвы.



Рис. 17.3. Оружие прошлого: а) лук и стрелы; б) булава; в) охотничье копьё и нож; г) секира-топор.

Рубящее, колющее, режущее оружие использовалась для защиты, охоты и в сражениях человеком с давних времён.

Всё острое должно быть сделано из твёрдого прочного материала, иначе оно быстро затупится или просто сломается.



Вопросы

1. Приведите примеры использования больших площадей опоры для уменьшения давления.
2. Зачем у сельскохозяйственных машин делают колеса с широкими ободами?

3. Почему режущие и колющие инструменты оказывают на тела очень большое давление?



Упражнение

1. Рассмотрите лезвия ножа и бритвы (рис. 17.3, а, д). При помощи какого инструмента можно произвести большее давление, действуя одинаковой силой?

2. Зачем при бороновании плотных почв на бороны кладут тяжелые предметы?

3. На рис. 18.3 изображены пары зубчатых колёс с внешним и внутренним зацеплением зубьев. Предполагая, что маленькие и большие колёса в случаях (а) и (б) имеют одинаковые диаметры и толщины, скажите, при каком зацеплении (внешнем или внутреннем) пятна контакта больше? В каком случае (при равных действующих силах) больше контактное давление? Какое зацепление проработает дольше? Почему?

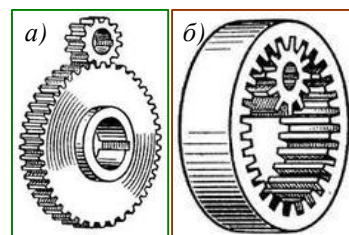


Рис. 18.3. Зубчатые колёса с внешним (а) и внутренним (б) зацеплением.



Задание

Зная свою массу и площадь пятна контакта ботинка, вычислите, какое давление вы производите при ходьбе и стоя на месте.

Указание. Площадь опоры ботинка определите следующим образом. Поставьте ногу на лист клетчатой бумаги и обведите контур той части подошвы, на которую опирается нога (рис. 19.3). Сосчитайте число полных квадратиков, попавших внутрь контура, и прибавьте к нему половину числа неполных квадратиков, через которые прошла линия контура. Полученное число умножьте на площадь одного квадратика

(площадь квадратика на листе, взятом из школьной тетради равна $\frac{1}{4}$ см²) и найдите площадь подошвы.

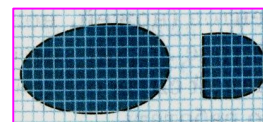


Рис. 19.3. Так можно определить площадь пятна контакта ботинка.

§ 42 (35). ДАВЛЕНИЕ ГАЗА

Мы уже знаем, что газы, в отличие от твердых тел и жидкостей, заполняют весь сосуд, в котором они находятся, см. §11. Например, стальной баллон для хранения газов, камера автомобильной шины или волейбольный мяч. При этом газ оказывает давление на стенки, дно и крышку баллона, камеры или воздушного шарика, в котором он находится. Давление газа обусловлено иными причинами, чем давление твердого тела на опору.

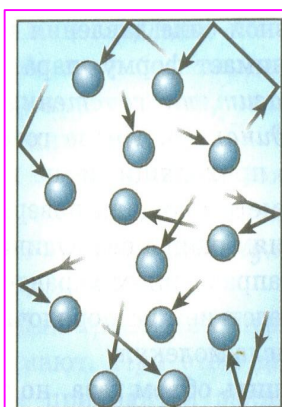


Рис. 20.3. Ударяясь о стенки сосуда, молекулы оказывают на них давление

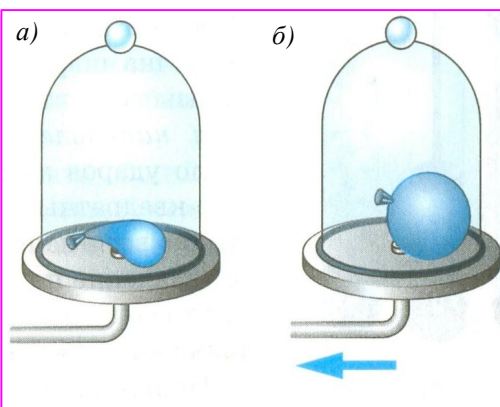


Рис. 21.3. а) Оболочка шарика под колоколом содержит небольшое количество воздуха. б) Из-под колокола откачивают воздух и шарик раздувается.

Известно (вспомните МКТ!), что молекулы газа беспорядочно движутся. При своем движении они сталкиваются друг с другом, а также со стенками сосуда, в котором находится газ (рис. 20.3). Молекул в газе много, потому и число их ударов очень велико. Например, число ударов молекул воздуха, находящегося в комнате, о поверхность площадью всего в 1 см² за 1 с выражается 23-значным числом! Хотя сила удара отдельной молекулы очень мала;

но действие всех молекул на стенки сосуда значительно, оно и создает давление газа.

Итак, **давление газа на стенки сосуда (и на помещенное в газ тело) вызывается ударами молекул газа.**

Рассмотрим следующий опыт. Под колокол воздушного насоса помещают завязанный резиновый шарик. Он содержит небольшое количество воздуха (рис. 21.3,а) и имеет неправильную форму. Затем насосом откачивают воздух из-под колокола. Оболочка шарика, вокруг которой воздух становится все более разреженным, постепенно раздувается и принимает форму шара (рис. 21.3,б).

Наблюдаемое объясняется следующим образом.

Внутри колокола движущиеся молекулы газа непрерывно ударяют о стенки шарика внутри и снаружи. При откачивании воздуха число молекул в колоколе вокруг оболочки шарика уменьшается. Но внутри завязанного шарика их число не изменяется. Поэтому число ударов молекул о внешние стенки оболочки становится меньше, чем число ударов о внутренние стенки. Шарик раздувается до тех пор, пока сила упругости его резиновой оболочки не станет равной силе давления газа. Оболочка шарика принимает форму шара.

Это показывает, что **газ давит на ее стенки по всем направлениям одинаково.** Иначе говоря, число ударов молекул, приходящихся на каждый квадратный сантиметр площади поверхности, по всем направлениям одинаково. Одинаковое давление по всем направлениям характерно для газа и является следствием беспорядочного движения огромного числа молекул.

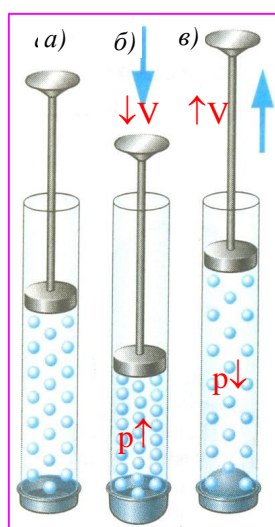


Рис. 22.3. Сжатие газа увеличивает давление; расширение — уменьшает давление.

Покажем, что **при сжатии газа, его давление увеличивается.**

Рассмотрим ещё один опыт. Возьмём прозрачную трубку с поршнем, конец которой закрыт тонкой резиновой пленкой, рис. 22.3,а. Под поршнем находится воздух. Уменьшим объем газа $\downarrow V$ так, чтобы его масса осталась неизменной ($m = \text{const}$) — сожмём его поршнем в прозрачном цилиндре. Это значит, что в каждом кубическом сантиметре газа молекул станет больше, плотность газа увеличится. Тогда число ударов молекул о стенки сосуда возрастет, т. е. возрастет давление газа. Резиновая пленка при этом выгибается наружу, указывая на то, что давление воздуха в трубке увеличилось $p \uparrow$, рис. 22.3,б.

Наоборот, при увеличении объема $\uparrow V$ этой же массы газа число молекул в каждом кубическом сантиметре уменьшится. От этого уменьшится число ударов о стенки сосуда — давление газа станет меньше $p \downarrow$. Действительно, при вытягивании поршня из трубки объем воздуха увеличивается, пленка прогибается внутрь сосуда рис.22,в. Это указывает на уменьшение давления воздуха в трубке.

Такие явления наблюдались бы, если бы вместо воздуха в трубке находился любой другой газ.

Итак, **при уменьшении объема $\downarrow V$ газа его давление увеличивается $p \uparrow$, а при увеличении объема $\uparrow V$ давление уменьшается $p \downarrow$ при условии, что масса и температура газа остаются неизменными ($m = \text{const}$; $T = \text{const}$).**

А как изменится давление газа, если его нагреть, увеличить его температуру $\uparrow T$ при постоянном объеме $V = \text{const}$? Известно, что скорость движения молекул газа при нагревании увеличивается, см. § 9.3. Двигаясь быстрее, молекулы будут ударять о стенки сосуда чаще. Кроме того, каждый удар молекулы о стенку сосуда станет сильнее. Вследствие этого стенки сосуда будут испытывать большее давление $\uparrow p$.

Следовательно, **давление газа в закрытом сосуде тем больше $\uparrow p$, чем выше температура $\uparrow T$ газа,** при условии, что масса газа и объем не изменяются $m = \text{const}$; $V = \text{const}$.

Из этих опытов можно сделать общий вывод, **что давление газа тем больше, чем чаще и сильнее молекулы ударяют о стенки сосуда.**

Для хранения и перевозки газов их сильно сжимают $\downarrow V$. При этом давление их возрастает $p \uparrow$, и газы приходится заключать в специальные, очень прочные стальные баллоны (рис. 23.3). В таких баллонах, например, содержат сжатый воздух в подводных лодках, кислород, используемый при сварке металлов.



Вопросы

1. Какие свойства газов отличают их от твердых тел и жидкостей?
2. Как объясняют давление газа на основе учения МКТ о движении молекул?
3. Как можно на опыте показать, что газ производит давление на стенки сосуда, в котором он находится?
4. Из чего можно заключить, что газ производит одинаковое давление по всем направлениям?
5. Почему давление газа увеличивается при сжатии и уменьшается при расширении?
6. В каком состоянии газ производит большее давление: в холодном или нагретом? Объясните почему.
7. Почему сжатые газы содержат в специальных баллонах?
8. Почему не рекомендуется хранить баллоны со сжатым газом на солнце?

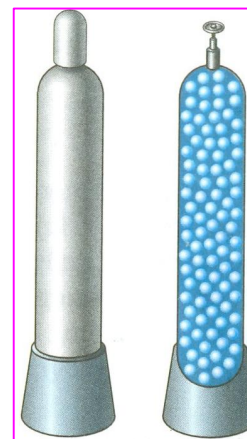


Рис. 23.3. Газы хранят в прочных сосудах при высоком давлении.



Паскаль Блез (1623 – 1662). Открыл и исследовал важные свойства жидкостей и газов. Опытами подтвердил существование атмосферного давления, открытого итальянским учёным Торичелли.

§ 43 (36). ПЕРЕДАЧА ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТЯМИ И ГАЗАМИ. ЗАКОН ПАСКАЛЯ

В отличие от твердых тел отдельные слои и мелкие частицы жидкости и газа могут свободно перемещаться относительно друг друга по всем направлениям. Достаточно, например, слегка подуть на поверхность воды в стакане, чтобы вызвать движение воды. На реке или озере при малейшем ветерке появляется рябь.

Подвижностью частиц газа и жидкости объясняется, **что давление, производимое на них, передается не только в направлении действия силы, а в каждую точку жидкости или газа.**

Рассмотрим это явление подробнее.

На рис. 24.3,а изображен сосуд, в котором содержится газ (или жидкость). Молекулы газа равномерно распределены по всему сосуду. Сосуд закрыт поршнем, который может перемещаться вверх и вниз.

Прилагая некоторую силу, заставим поршень немного войти в сосуд и сжать газ, находящийся непосредственно под ним.

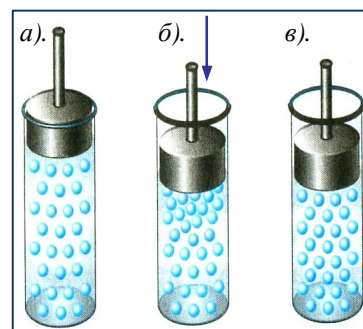


Рис. 24.3. Сосуд с газом, закрытый поршнем. Молекулы газа под поршнем хаотически двигаются.

Тогда молекулы расположатся в этом месте более плотно, чем прежде (рис. 24.3, б). Благодаря подвижности молекулы газа будут перемещаться по всем направлениям. Вследствие этого очень быстро их расположение опять станет равномерным, но более плотным, чем раньше (рис. 24.3, в). Поэтому давление газа всюду возрастет. Отсюда следует, что добавочное давление передаётся всем частицам газа (или жидкости).

Например, если давление на газ около самого поршня увеличится на 1 Па, то во всех точках **внутри** газа давление станет больше прежнего на столько же. На 1 Па увеличится давление и на стенки сосуда, и на дно, и на поршень.

Давление, производимое на жидкость или газ, передается в любую точку одинаково во всех направлениях.

Это утверждение называют **законом Паскаля**.

На основе закона Паскаля легко объяснить следующие опыты.

На рис. 25.3 изображена Трубка Паскаля. Это полый шар, имеющий в различных местах маленькие отверстия. К шару присоединена трубка, в которую вставлен поршень.

Если набрать воды в шар и вдвинуть в трубку поршень, то вода польется из всех отверстий шара, рис. 25.3,а. В этом опыте поршень давит на поверхность воды в трубке. Частицы воды, находящиеся под поршнем, уплотняясь, передают его давление другим слоям, лежащим глубже. Таким образом, давление поршня передается в каждую точку жидкости, заполняющей шар. В результате часть воды выталкивается из шара в виде одинаковых струек, вытекающих из всех отверстий.

Если шар заполнить дымом, то при вдвигании поршня в трубку из всех отверстий шара начнут выходить одинаковые струйки дыма (рис. 25.3,б).

Это подтверждает, что **жидкости и газы передают производимое на них давление во все стороны одинаково.**

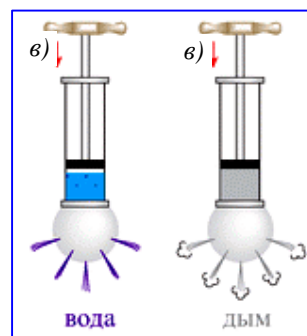


Рис. 25.3. Трубка Паскаля



Рис. 26.3. Фонтан «Солнышко» - разновидность трубки Паскаля.



Вопросы

1. Как передают давление жидкости и газы?
2. Чем объясняется, что жидкости и газы передают давление во все стороны одинаково?
3. Как читается закон Паскаля?
4. На каком опыте можно показать особенность передачи давления жидкостями и газами?

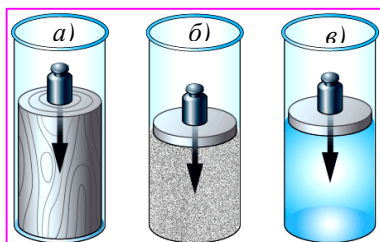


Рис. 27.3. Тела: а) твёрдое; б) сыпучее; в) жидкое.



Упражнение

1. По рис. 27.3 объясните передачу давления твердым, сыпучим телами и жидкостью. Изобразите стрелками, как передается давление.
2. При изготовлении бутылок через трубку вдвывают воздух, и расплавленное стекло принимает нужную форму (см. рис. 22.1). Какое физическое явление здесь используют?
3. Изменяется ли давление в камерах колес автомашины при её загрузке и разгрузке? Одинаково ли оно в верхних и нижних частях

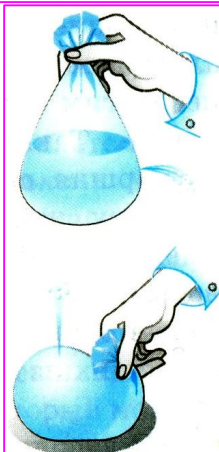


Рис. 29.3. Полиэтиленовый мешочек с водой



Рис. 28.3. Изменится ли давление в шинах после разгрузки машины?

камер, рис. 28.3?

4. Объясните явление, показанное на рис. 29.3. Как изменится наблюдаемое явление, если увеличить сжатие мешочка с водой?



Задание

1. Рассмотрите рис. 30.3 и ответьте на поставленный вопрос.

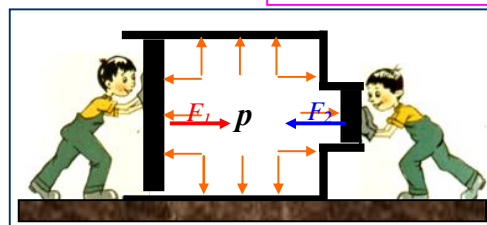


Рис. 30.3. Мальчики начинают давить на поршни сосуда, в котором находится воздух, с одинаковыми по величине силами $F_1 = -F_2$. Что будет происходить, если эти силы будут увеличиваться?

2. Из пластмассовой бутылочки с завинчивающейся пробкой изготовьте прибор для демонстрации закона Паскаля (придумайте сами, как это сделать, опробуйте прибор).

§ 44 (37). ДАВЛЕНИЕ В ЖИДКОСТИ И ГАЗЕ

На жидкости, как и на все тела на Земле, действует сила тяжести. Поэтому каждый слой жидкости, налитой в сосуд, своим весом создает давление на другие слои, которое по закону Паскаля передаётся по всем направлениям. Следовательно, внутри жидкости существует давление. В этом можно убедиться на опыте.

В стеклянную трубку, нижнее отверстие которой закрыто тонкой резиновой пленкой, нальем воду. Под действием веса жидкости дно трубки прогнется. При этом чем выше столб воды над резиновой пленкой, тем больше она прогибается (рис. 31.3). Но после того как резиновое дно прогнулось, вода в трубке приходит в равновесие (останавливается), так как, кроме силы тяжести, на воду действует сила упругости растянутой резиновой пленки.

Опустим трубку с резиновым дном, в которую налита вода, в другой, более широкий сосуд с водой (рис. 32.3, а). Мы увидим, что по мере опускания трубки резиновая пленка постепенно выпрямляется.

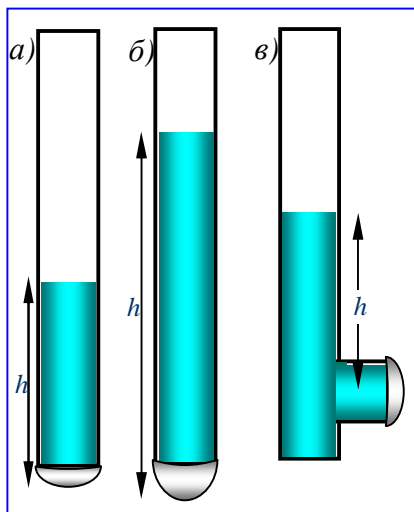


Рис. 31.3. Под действием веса жидкости резиновое дно трубки прогнется, уравновешивая вес столба h жидкости в трубке

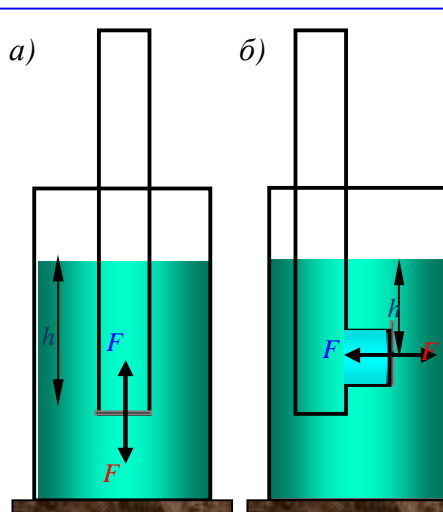


Рис. 32.3. а), б) вес воды в трубке полностью уравновешивается давлением воды в сосуде на данной глубине h в плёнке.

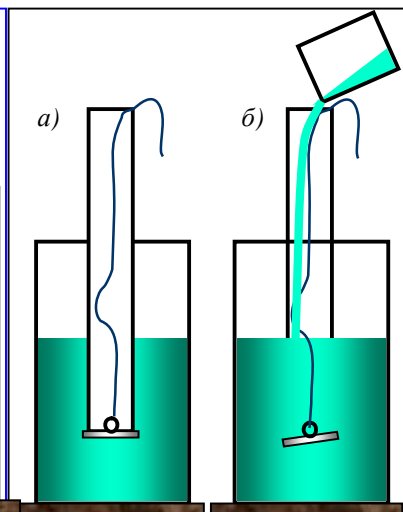


Рис. 33.3. а) дно трубки прижато давлением воды; б) уровни воды и давления выравниваются, крышка отпадает.

Полное выпрямление пленки наступает тогда, когда уровни воды в трубке и сосуде совпадают. Полное выпрямление пленки показывает, что силы, действующие на нее сверху и снизу, равны (рис. 32.3, а).

Такой же опыт можно провести с трубкой, в которой резиновая пленка закрывает боковое отверстие, рис. 31.3, в. Погрузим эту трубку с водой в другой сосуд с водой. Мы заметим, что пленка снова выпрямится, как только уровни воды в трубке и в сосуде становятся одинаковы, рис. 32.3, б. Это означает, что силы, действующие на резиновую пленку, одинаковы с обеих сторон.

Возьмём трубку-сосуд, дно которого может отпадать. Опустим его в банку с водой (рис. 33.3, а). Дно при этом окажется плотно прижатым к краю сосуда и не отпадет. Его прижимает сила давления воды, направленная снизу вверх.

Будем осторожно наливать в сосуд воду, и следить за его дном. Как только уровень воды в сосуде совпадёт с уровнем воды в банке, дно отпадет от сосуда (рис. 33.3, б).

В момент отрыва на дно давит сверху вниз столб жидкости в сосуде, а снизу вверх на дно передается давление такого же по высоте столба жидкости, но находящейся в банке. Оба эти давления одинаковы, дно же отходит от цилиндра вследствие действия на него силы тяжести.

Выше были описаны опыты с водой, но если взять вместо воды другую жидкость, то результаты опыта будут те же.

Итак, опыты показывают, что **внутри жидкости существует давление и на одном и том же уровне оно одинаково по всем направлениям. С глубиной давление увеличивается.**

Газы в этом отношении не отличаются от жидкостей, ведь они тоже имеют вес. Но здесь есть серьёзное отличие: надо помнить, что **плотность газа в сотни раз меньше плотности жидкости.** Вес газа, находящегося в сосуде, мал, и его весовое давление во многих случаях можно не учитывать.



Вопросы



1. Как на опытах показать, что давление внутри жидкости на разных уровнях разное, а на одном и том же уровне во всех направлениях одинаково?
2. Почему во многих случаях не принимают во внимание давление газа, созданное его весом?
3. Почему воздушные шарики стремятся принять шарообразную форму?

§ 45 (38). РАСЧЕТ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ НА ДНО И СТЕНКИ СОСУДА

Рассмотрим, как можно рассчитать давление p жидкости на дно и стенки сосуда. Решим сначала задачу для сосуда, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда (рис. 34.3).

Сила F , с которой жидкость, налитая в этот сосуд, давит на его дно, равна весу P жидкости, находящейся в сосуде. Вес жидкости можно определить, зная ее массу m .

Массу, как известно, можно вычислить по формуле:

$$m = \rho V.$$

Объем жидкости, налитой в выбранный нами сосуд, легко рассчитать. Если высоту столба жидкости, находящейся в сосуде, обозначить буквой h , а площадь дна сосуда S , то:

$$V = Sh.$$

Тогда масса жидкости:

$$m = \rho V = \rho Sh,$$

а её вес:

$$P = mg = g\rho Sh. \text{ (здесь } g \text{ – ускорение силы тяжести).}$$

Так как вес столба жидкости равен силе, с которой жидкость давит на дно сосуда, то, разделив вес P на площадь S , получим давление жидкости p :

$$p = \frac{P}{S}, \text{ или } p = \frac{g\rho Sh}{S},$$

т. е.

$$p = g\rho h. \quad [2.3]$$

При расчете давления по этой формуле надо плотность ρ выражать в килограммах на кубический метр ($\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$), а высоту столба жидкости h – в метрах (м), $g = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$, тогда давление p будет выражено в паскалях (Па).

Мы получили формулу для расчета давления жидкости на дно сосуда. Из этой формулы видно, что **давление жидкости на дно сосуда зависит только от плотности ρ и высоты столба h жидкости.**

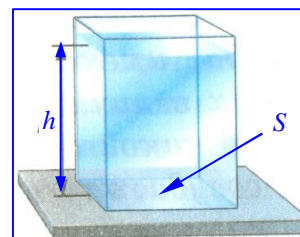


Рис. 34.3. Сосуд в виде прямоугольного параллелепипеда с жидкостью.

Пример. Определите давление нефти на дно цистерны, если высота столба нефти 10 м, а плотность ее 800 кг/м^3 .

Запишем условие задачи и решим ее.

Дано:	Решение:
$h = 10 \text{ м}$	$p = \rho gh,$
$\rho = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$p = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \text{ м} = 80000 \text{ Па}$
$p - ?$	$= 80 \text{ кПа}$
	Ответ: $p = 80 \text{ кПа}$

По формуле (2.3) можно рассчитывать давление жидкости, налитой в сосуд **любой формы**. Кроме того, по ней можно вычислить и давление на стенки сосуда. Давление внутри жидкости, в том числе давление снизу вверх, также рассчитывается по формуле (2.3), так как давление на одной и той же глубине одинаково по всем направлениям.



Опыт Паскаля.
 По указанию Паскаля, крепкую дубовую бочку до краев наполнили водой и наглухо закрыли крышкой. В маленькое отверстие в крышке заделали конец вертикальной стеклянной трубки, конец которой оказался на уровне второго этажа. Выйдя на балкон, Паскаль стал наполнять трубку водой. Не успел он вылить и десятка стаканов, как бочка с треском лопнула. Ее разорвала сила давления, которая зависит не от количества жидкости, а от высоты её столба: $p = \rho gh$, см. Приложение 1.



Вопросы

1. Выведите формулу для расчета давления жидкости на дно сосуда, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда.
2. От каких величин и как зависит давление жидкости на дно сосуда?
3. По какой формуле рассчитывают давление жидкости на стенки сосуда, давление внутри жидкости?
4. В каких единицах надо выразить величины, входящие в эту формулу?



Упражнение

1. Определите давление на глубине 0,6 м в воде, керосине, ртути.
2. Вычислите давление воды на дно одной из глубочайших морских впадин, глубина которой 10900 м. Плотность морской воды 1030 кг/м^3 .
3. На рис. 35.3 изображена футбольная камера, соединенная с вертикально расположенной стеклянной трубкой. В камере и трубке находится вода. На камеру положена дощечка, а на нее – гиря массой 5 кг. Высота столба воды в трубке 1 м. Определите площадь соприкосновения дощечки с камерой.

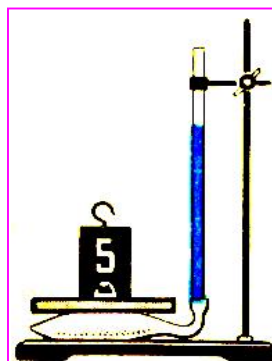


Рис.35.3.Нагруженная футбольная камера.

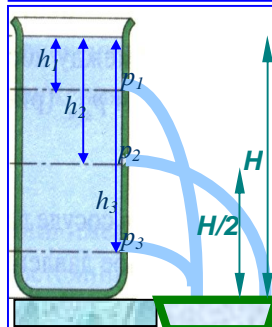


Рис. 36.3. Сосуд с водой и отверстиями на разных высотах.



Задание

1. Возьмите высокий сосуд. В боковой поверхности его на разной высоте от дна сделайте три небольших отверстия. Закройте отверстия спичками и наполните сосуд водой. Откройте отверстия и проследите за струйками вытекающей воды (рис. 36.3). Почему вода вытекает из отверстий? Из чего следует, что давление увеличивается с глубиной? Почему струя на высоте $H/2$ бёт дальше всего?

2. Налейте в стеклянный сосуд (стакан или банку) произвольное количество воды. Сделайте необходимые измерения и рассчитайте давление воды на дно сосуда.

§ 46 (39). СООБЩАЮЩИЕСЯ СОСУДЫ

На рис. 37.3 изображены два сосуда в виде стеклянных трубок, соединенные между собой резиновой трубкой. Такие сосуды называют *сообщающимися*. Из опыта мы знаем, что вода, налитая, например, в чайник или лейку, стоит всегда в резервуаре чайника или лейки и в боковой трубке на одном уровне (рис. 38.3).

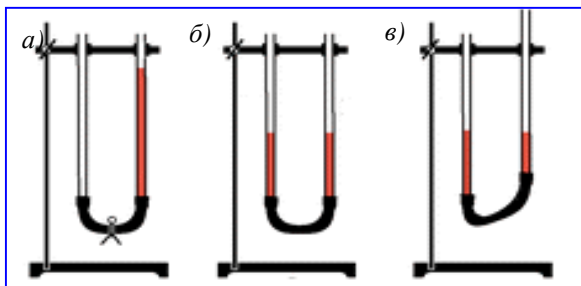


Рис. 37.3. Сообщающиеся сосуды в виде трубок, соединенных резиновой трубкой.

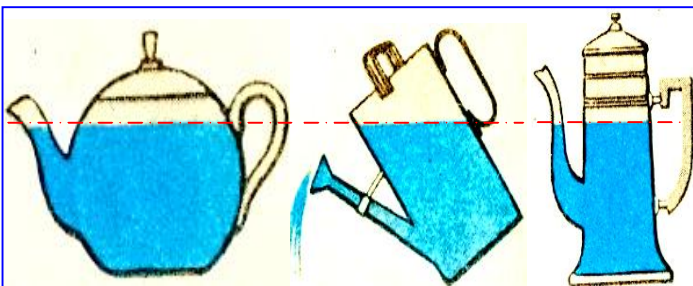


Рис. 38.3. Лейка, чайник, кофейник – примеры бытовых сообщающихся сосудов.

С сообщающимися сосудами можно проделывать интересные опыты.

Например, в начале опыта (см. рис. 36.3,а) зажмём резиновую трубку в середине и в одну из трубок нальём воду. Затем зажим откроем. Вода начнёт перетекать в другую трубку до тех пор, пока поверхности воды в обеих трубках не установятся на одном уровне (рис. 36.3,б). Можно закрепить одну из трубок в штативе, а другую поднимать, опускать или наклонять в стороны. И в этом случае, как только жидкость успокоится, её уровни в обеих трубках будут одинаковыми (рис. 36.3,в). На этом и основано устройство бытовых сообщающихся сосудов, рис. 38.3.

В сообщающихся сосудах любой формы и сечения поверхности однородной жидкости устанавливаются на одном уровне (при условии, что давление воздуха над жидкостью одинаково) (рис. 39.3).

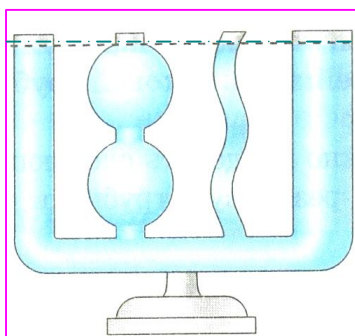


Рис. 39.3. Сообщающиеся сосуды различной формы

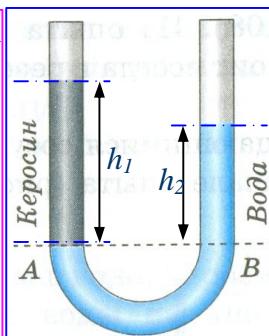


Рис. 40.3. Сосуды с разными жидкостями

Это можно обосновать следующим образом.

Жидкость покоится, не перемещаясь из одного сосуда в другой (см. рис. 36.3,б). Значит, давления в обоих сосудах на любом уровне одинаковы. Жидкость в обоих сосудах одна и та же, т. е. имеет одинаковую плотность ρ . Следовательно, должны быть одинаковы и ее высоты h . Когда мы поднимаем один сосуд или доливаем в него жидкость, то давление p в нем увеличивается и жидкость перемещается в другой сосуд до тех пор, пока давления не станут одинаковыми.

Если в один из сообщающихся сосудов налить жидкость одной плотности ρ_1 , а во второй – другой ρ_2 , то при равновесии уровни этих жидкостей не будут одинаковыми. И это понятно. Мы ведь знаем, что давление жидкости на дно сосуда прямо пропорционально высоте столба h и плотности жидкости ρ . А в этом случае плотности жидкостей различны $\rho_1 < \rho_2$, поэтому высоты столбов этих жидкостей будут различны $h_1 > h_2$.

Если в один из сообщающихся сосудов налить жидкость одной плотности ρ_1 , а во второй – другой ρ_2 , то при равновесии уровни этих жидкостей не будут одинаковыми. И это понятно. Мы ведь знаем, что давление жидкости на дно сосуда прямо пропорционально высоте столба h и плотности жидкости ρ . А в этом случае плотности жидкостей различны $\rho_1 < \rho_2$, поэтому высоты столбов этих жидкостей будут различны $h_1 > h_2$.

При равенстве давлений высота столба жидкости с большей плотностью будет меньше высоты столба жидкости с меньшей плотностью. Например, если: $\rho_1 < \rho_2$, то $h_1 > h_2$, (рис. 40.3).



Вопросы

1. Какие примеры сообщающихся сосудов вы можете привести?
2. Как располагаются поверхности однородной жидкости в сообщающихся сосудах?
3. Как располагаются поверхности разнородных жидкостей в сообщающихся сосудах?



Упражнение

1. На рис. 41.3 показано водомерная трубка парового котла. Объясните действие этого прибора.

2. На рис. 42.3 изображен артезианский колодец. Объясните действие такого колодца.

3. Докажите, что в сообщающихся сосудах высоты столбов над уровнем раздела двух разнородных жидкостей (см. рис. 40.3) обратно пропорциональны плотностям жидкостей.

Указание. Используйте формулу (2.3) для расчета давления жидкости.

4. Изменится ли расположение жидкости (см. рис. 36.3), если правый сосуд будет шире левого? уже левого? если сосуды будут иметь разную форму?

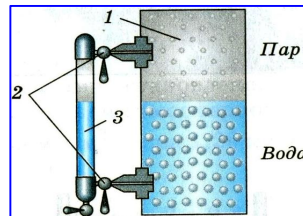


Рис. 41.3. Водомерная трубка парового котла. 1 – паровой котёл; 2 – краны; 3 – водомерная трубка.

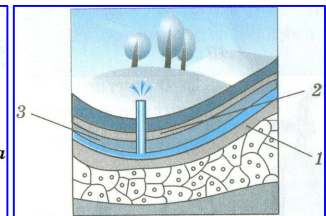


Рис. 42.3. Артезианский колодец. 1 и 3 – слои водонепроницаемые; 2 – слой, легко пропускающий воду (песок).



Задание

1. Подумайте, как можно было бы наиболее простыми средствами устроить фонтан где-нибудь в парке или во дворе. Начертите схему такого устройства и объясните принцип его действия. Изготовьте модель фонтана.

2. На рис. 43.3,а дана схема устройства шлюза, а на рис. 43.3,б – схема шлюзования судов. Рассмотрите рисунки и объясните принцип действия шлюзов. Какое явление используется в работе шлюзов?

3. В два цилиндрических сосуда налита вода (рис. 44.3). Площади сечений сосудов $S_1 = 1 \text{ см}^2$ и $S_2 = 4 \text{ см}^2$

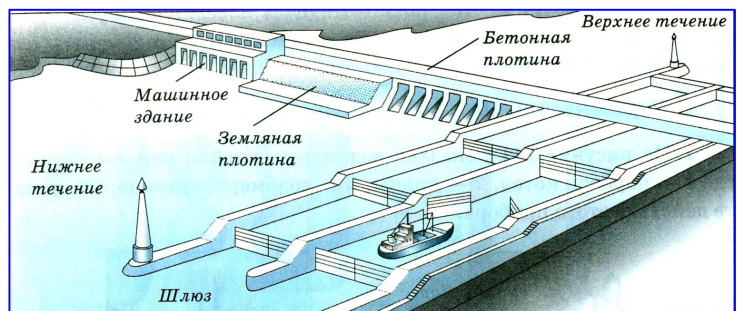


Рис. 43.3,а. Схема устройства шлюзов у

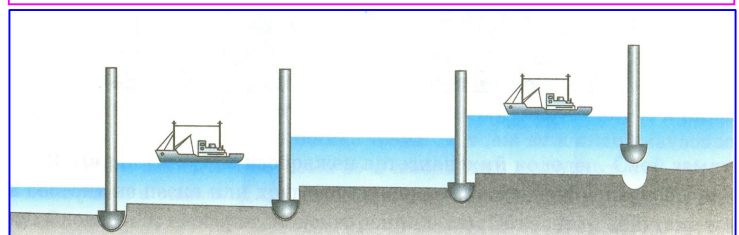


Рис. 43.3,б. Схема шлюзования судна.

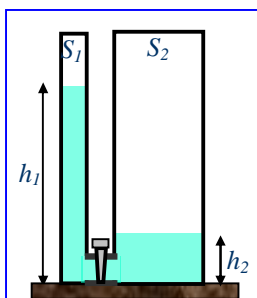


Рис. 44.3. Сообщающиеся сосуды с краном.

соответственно. В каком сосуде давление воды на дно больше и на сколько, если $h_1 = 40 \text{ см}$, а $h_2 = 10 \text{ см}$? В каком направлении и до каких пор будет переливаться вода, если открыть кран? (Ответ: $h^* = 16 \text{ см}$).

§ 47 (40). ВЕС ВОЗДУХА. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ p_a

На воздух, как и на всякое тело, находящееся на Земле, действует сила тяжести, и, следовательно, воздух обладает весом.

Вес воздуха легко измерить.

Для этого возьмём прочный стеклянный шар с пробкой и резиновой трубкой с зажимом (рис. 45.3). Выкачаем насосом из него воздух,

зажмем трубку зажимом и уравновесим на весах. Затем, открыв зажим на резиновой трубке, впустим в шар воздух. Равновесие весов при этом нарушится. Для его восстановления придется положить на другую чашку весов гири, масса которых и будет равна массе воздуха m в объеме шара.

Вес этого воздуха легко вычислить по известной формуле (см. § 37):

$$P = gm$$

Воздушную оболочку, окружающую Землю, называют **атмосферой** (от греч. *атмос* – пар и *сфера* – шар). Атмосфера, как показали наблюдения за полетом искусственных спутников Земли, простирается на высоту нескольких тысяч километров, рис. 46.3.

Вследствие действия силы тяжести верхние слои воздуха, подобно воде океана, сжимают нижние слои. Воздушный слой, прилегающий непосредственно к Земле, сжат больше всего и, согласно закону Паскаля, передает производимое на него давление по всем направлениям.

В результате этого земная поверхность и тела, находящиеся на ней, испытывают давление всей толщи воздуха, или, как обычно говорят, испытывают **атмосферное давление P_a** .

Существованием атмосферного давления P_a могут быть объяснены многие явления, с которыми мы встречаемся в жизни. Рассмотрим некоторые из них.

На рис. 47.3 изображена стеклянная трубка, внутри которой находится поршень, плотно прилегающий к стенкам трубки. Конiec трубки опущен в воду. Если поднимать поршень, то за ним будет подниматься и вода. Происходит это потому, что при подъеме поршня между ним и водой образуется **безвоздушное пространство**. В это пространство под давлением наружного воздуха P_a и поднимается вслед за поршнем вода.

Это явление используется в водяных насосах и некоторых других устройствах.

На рис. 48.3 показан цилиндрический сосуд. Сосуд закрыт пробкой, в которую вставлена трубка с краном. Из сосуда насосом откачивают воздух. Затем конiec трубки погружают в воду. Если теперь открыть кран, то вода фонтаном брызнет внутрь сосуда. Вода поступает в сосуд потому, что атмосферное давление P_a больше давления разреженного воздуха в сосуде.

Опытами установлено, что масса 1 м^3 воздуха – **плотность ρ воздуха при нормальных условиях** (при $p=101325 \text{ Па}$ и $t=0^\circ \text{ С}$, см. § 51) равна $\rho_{\text{ов}} = 1,29 \text{ кг/м}^3$, а вес 1 м^3 – **удельный вес γ воздуха**, соответственно $\gamma_{\text{ов}} = 13 \text{ Н/м}^3$.

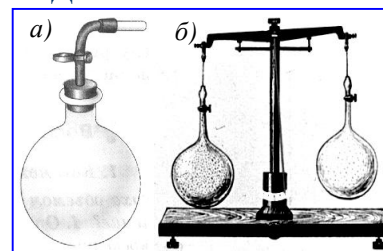


Рис. 45.3. Определение массы m газа. а – сферический сосуд; б – определение веса газа в сосуде.

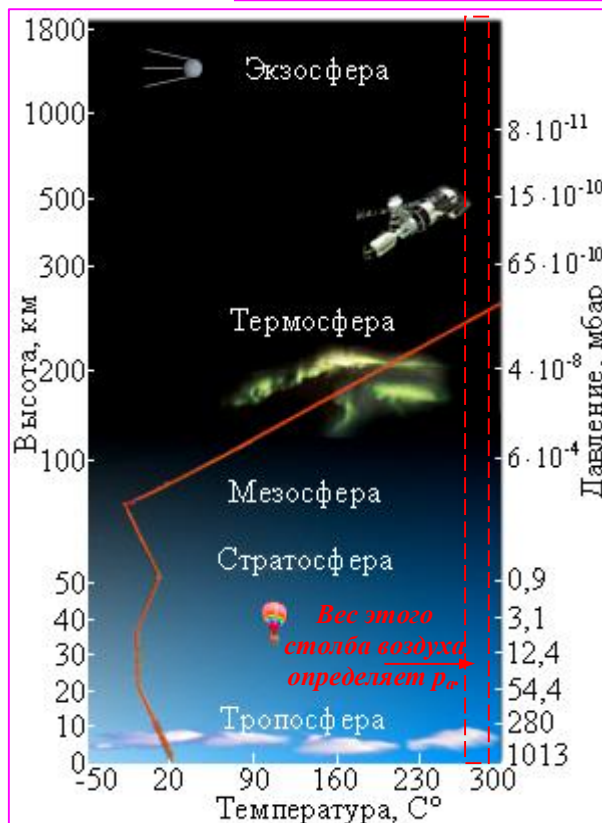


Рис. 46.3. Строение атмосферы – воздушной оболочки Земли. Вес столба воздуха создает P_a

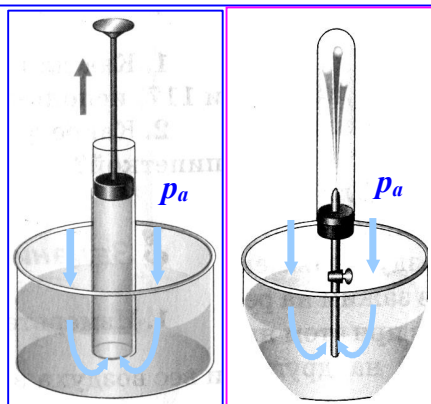


Рис. 47.3. Воду заставляет подниматься за поршнем атмосферное давление

Рис. 48.3. Воду выталкивает в верхний сосуд атмосферное давление



Вопросы

1. Как можно определить массу воздуха?
2. Чему равен вес воздуха объемом 1 м^3 ?
3. Вследствие чего создается атмосферное давление?
4. Какие опыты доказывают существование атмосферного давления?



Упражнение

1. Как для объяснения явлений, изображенных на рис. 47.3, 48.3 и 49.3, используется закон Паскаля?
2. Какое физическое явление мы используем, набирая лекарства пипеткой?

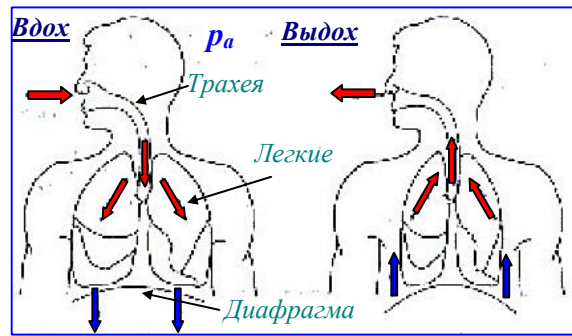


Рис. 49.3. Процесс дыхания.

Вдох: Диафрагма увеличивает объем легких. Давление воздуха в легких уменьшается. Оно становится меньше атмосферного.

Атмосферный воздух проникает в легкие.

Выдох: Диафрагма сжимает легкие, объем легких уменьшается. Давление воздуха в легких увеличивается. Оно становится выше атмосферного. Атмосферный воздух выходит наружу.

Задание

1. Измерьте объем комнаты в вашей квартире и вычислите массу и вес воздуха в ней, считая, что его плотность равна $1,29 \text{ кг/м}^3$.

2. Объясните действие шприца, рис.47.3а.
3. Автоматическая поилка для птиц (рис. 50.3) состоит из бутылки, наполненной водой и опрокинутой в корытце так, что горлышко находится немного ниже уровня воды в корытце. Почему вода не выливается из бутылки? Если уровень воды в корытце понизится и горлышко бутылки выйдет из воды, часть воды из бутылки выльется. Почему?

Изготовьте такой прибор и проделайте с ним указанные опыты.

4. На рис. 51.3 изображен прибор ливер, служащий для взятия проб различных жидкостей. Ливер опускают в жидкость, затем закрывают пальцем верхнее отверстие и вынимают из жидкости. Когда верхнее отверстие открывают, из ливера начинает вытекать жидкость. Проделайте опыт и объясните действие этого прибора.

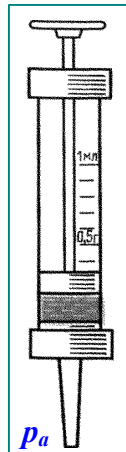


Рис. 47.3а. Шприц поршневой

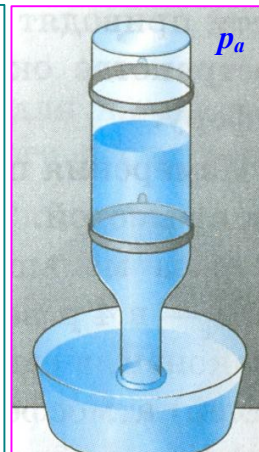


Рис. 50.3. Автопоилка для птиц.

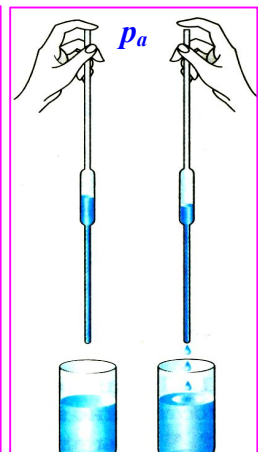


Рис. 51.3. Прибор для взятия проб жидкости.

§ 48 (41). ПОЧЕМУ СУЩЕСТВУЕТ ВОЗДУШНАЯ ОБОЛОЧКА ЗЕМЛИ?

Как и все тела, молекулы газов, входящих в состав воздушной оболочки Земли, притягиваются к Земле.

Но почему же тогда все они не упадут на поверхность Земли? Каким образом сохраняется воздушная оболочка Земли, ее атмосфера? Чтобы понять это, надо учесть, что молекулы газов, составляющих атмосферу, находятся в непрерывном и беспорядочном движении. Но тогда возникает другой вопрос: почему эти молекулы не улетают в мировое пространство?

Чтобы совсем покинуть Землю, молекула, как и космическая ракета, должна иметь скорость не меньше 11,2 км/с. Это так называемая *вторая космическая скорость*, см. **Приложение №3 гл. 2**. Скорость большинства молекул атмосферы Земли значительно меньше. Поэтому большинство их «привязано» к Земле силой тяжести, лишь ничтожно малое число молекул улетает в космическое пространство, покидает Землю.

Беспорядочное движение молекул и действие на них силы тяжести приводят в результате к тому, что молекулы газов «парят» в пространстве около Земли, образуя воздушную оболочку, или атмосферу.

Измерения показывают, что *давление p_a и плотность ρ_a воздуха быстро уменьшается с высотой h* , рис. 52.3; 53.3. Так, на высоте $h = 5,5$ км над Землей плотность воздуха в 2 раза меньше его плотности у поверхности Земли, на высоте 11 км - в 4 раза меньше и т. д. Чем выше, тем воздух разреженнее. И наконец, в самых верхних слоях (сотни и тысячи километров над Землей) атмосфера постепенно переходит в безвоздушное пространство. Четкой границы воздушная оболочка, окружающая Землю, не имеет, рис. 47.3.

Строго говоря, вследствие действия силы тяжести плотность газа в любом закрытом сосуде неодинакова по всему объему сосуда. Внизу сосуда плотность газа больше, чем в верхних его частях, поэтому и давление в сосуде неодинаково. На дне сосуда оно больше, чем сверху.

Однако это различие в плотности и давлении газа, содержащегося в сосуде, столь мало, что его можно во многих случаях совсем не учитывать. Но для атмосферы, простирающейся на несколько тысяч километров, различие это существенно.

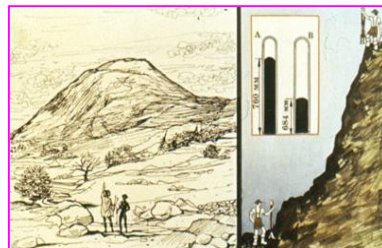


Рис. 52.3. Давление воздуха уменьшается при подъёме на высоту, например, на гору.



Рис. 53.3. Плотность воздуха уменьшается при подъёме на высоту, например, на гору. Становится трудно дышать.

Вопросы



1. Почему молекулы газов, входящих в состав атмосферы, не падают на Землю под действием силы тяжести?
2. Почему молекулы газов, входящих в состав атмосферы, двигаясь во все стороны, не покидают Землю?
3. Как изменяется давление и плотность атмосферы с увеличением высоты?



Торричелли
Эванджелиста
(1608 - 1647).

Измерил
атмосферное
давление,
разработал ряд
вопросов по
физике и
математике.



Упражнение

1. Предполагают, что Луна когда-то была окружена атмосферой, но постепенно потеряла ее. Чем это можно объяснить?
2. Чтобы вдохнуть воздух, человек при помощи мышц расширяет грудную клетку. Почему воздух входит при этом в легкие? как происходит выдох?

§ 49 (42). ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ. ОПЫТ ТОРРИЧЕЛЛИ

Рассчитать атмосферное давление по формуле 2.3 (см. § 44) для вычисления давления столба жидкости нельзя. Для этого надо знать высоту атмосферы и плотность воздуха. Но определенной границы у атмосферы нет, а плотность воздуха на разной высоте различна. Однако измерить атмосферное давление можно с помощью опыта, предложенного в XVII в. итальянским ученым *Эванджелиста Торричелли*, учеником Галилея.

Опыт Торричелли состоит в следующем: стеклянную трубку длиной около 1 м, запаянную с одного конца, наполняют ртутью. Затем, плотно закрыв другой конец трубки, ее переворачивают, опускают в чашку с ртутью и под ртутью открывают конец трубки (рис. 54.3). Часть ртути при этом выливается в чашку, а в трубке остаётся столб её около 760 мм.

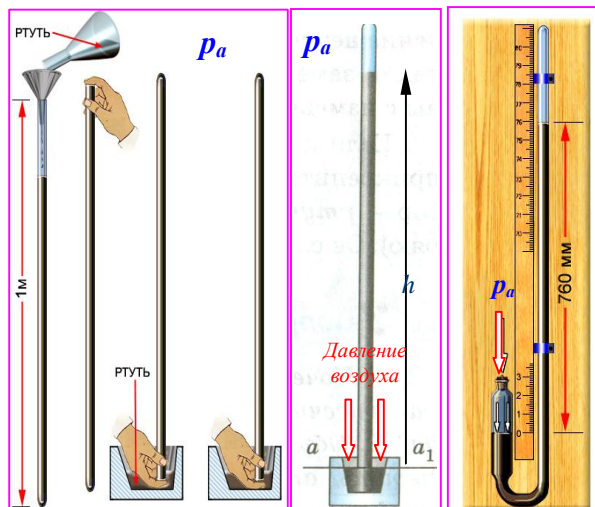


Рис. 54.3. Трубка Торричелли – стеклянная, запаянная сверху, заполненная и опущенная в ртуть.

Рис. 55.3. Ртутный барометр.

Над ртутью в трубке воздуха нет, там безвоздушное пространство – так называемая «торричеллиева пустота».

Торричелли, предложивший описанный выше опыт, дал и его объяснение. Атмосфера давит на поверхность ртути в чашке. Ртуть находится в равновесии. Значит, давление в трубке на уровне aa_1 (рис. 54.3) равно атмосферному давлению. Если бы оно было больше атмосферного, то ртуть выливалась бы из трубки в чашку, а если меньше, то поднималась бы в трубке вверх.

Давление в трубке на уровне aa_1 создается весом столба ртути в трубке, так как в верхней части трубки над ртутью воздуха нет. Отсюда следует, что **атмосферное давление равно давлению столба ртути в трубке**, т. е.:

$$p_a = p_{\text{ртути}}$$

Измерив высоту h столба ртути и зная плотность ртути $\rho_{\text{ртути}} = 13600 \text{ кг/м}^3$, можно (по формуле 2.3) рассчитать давление $p_{\text{ртути}}$, которое производит ртуть. Оно и будет равно атмосферному давлению p_a .

Если атмосферное давление уменьшится $p_a \downarrow$, то столб ртути в трубке Торричелли понизится $h \downarrow$. Чем больше атмосферное давление p_a , тем выше столб ртути h в трубке Торричелли. Если, например, атмосферное давление равно 780 мм рт. ст., то это значит, что воздух производит такое же давление, какое производит вертикальный столб ртути высотой 780 мм.

Следовательно, в этом случае за единицу атмосферного давления принимают 1 миллиметр ртутного столба (1 мм рт. ст.). Соотношение между этой единицей и известной нам единицей давления – **паскалем** (Па) можно найти, используя формулу (2.3): $p = gh$. Давление столба ртути высотой 1 мм будет равно:

$$p = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 13600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,001 \text{ м} = 133,3 \text{ Па}.$$

Итак, 1 мм рт. ст. = 133,3 Па.

В настоящее время атмосферное давление принято измерять и в гектопаскалях. Например, в сводках погоды может быть объявлено, что давление равно 1013 гПа, это то же самое, что 760 мм рт. ст.

Наблюдая за высотой ртутного столба в трубке, Торричелли обнаружил, что она меняется – атмосферное давление непостоянно, оно увеличивается или уменьшается. Эти изменения связаны с изменением погоды, рис. 56.3.

Если к трубке Торричелли прикрепить вертикальную шкалу, то получится **ртутный барометр**, рис. 55.3.

Барометр – прибор для измерения атмосферного давления (слово *барометр* происходит от греческих слов *барос* – тяжесть и *метрео* – измеряю).

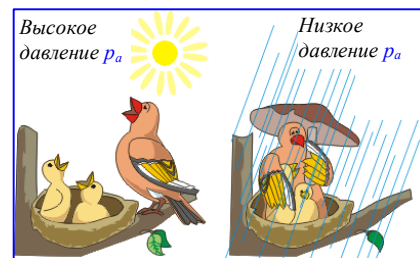


Рис. 56.3. Повышение атмосферного давления ведёт к ясной погоде, а понижение – к осадкам к, ухудшению погоды.

Вопросы



1. Почему нельзя рассчитывать давление воздуха так же, как рассчитывают давление жидкости на дно или стенки сосуда?
2. Как с помощью трубки Торричелли можно измерить атмосферное давление?
3. Что означает запись: «Атмосферное давление равно 780 мм рт. ст.»?
4. Как называют прибор для измерения атмосферного давления? Как он устроен?
5. Скольким гектопаскалям равно давление ртутного столба высотой 1 мм?



Упражнение

1. На рис. 57.3 изображен водяной барометр, созданный Паскалем в 1646 г. Какой высоты был столб воды в этом барометре при атмосферном давлении, равном 760 мм рт. ст.?

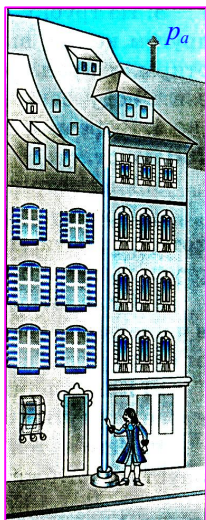


Рис. 57.3.
Водяной
барометр
Паскаля

2. В 1654 г. Отто Герике в г. Магдебурге, чтобы доказать существование атмосферного давления, произвел такой опыт. Он выкачал воздух из полости между двумя металлическими полушариями, сложенными вместе. Давление атмосферы так сильно прижало полушария друг к другу, что их не могли разорвать восемь пар лошадей (рис. 58.3). Вычислите силу F , сжимающую полушария, если считать, что она действует на площадь, равную $S=2800 \text{ см}^2$, а атмосферное давление равно $p_a=760 \text{ мм рт. ст.}$

3. Из трубки длиной 1 м, запаянной с одного конца и с краном на другом конце, выкачали воздух. Поместив конец с краном в ртуть, открыли кран. Заполнит ли ртуть всю трубку? Если вместо ртути взять воду, заполнит ли она всю трубку?

4. Выразите в гектопаскалях давление, равное: 740 мм рт. ст.; 780 мм рт. ст.

5. Рассмотрите рис. 54.3. Ответьте на вопросы:

а) Почему для уравнивания давления атмосферы, высота которой достигает десятков тысяч километров, достаточно столба ртути высотой около 760 мм?

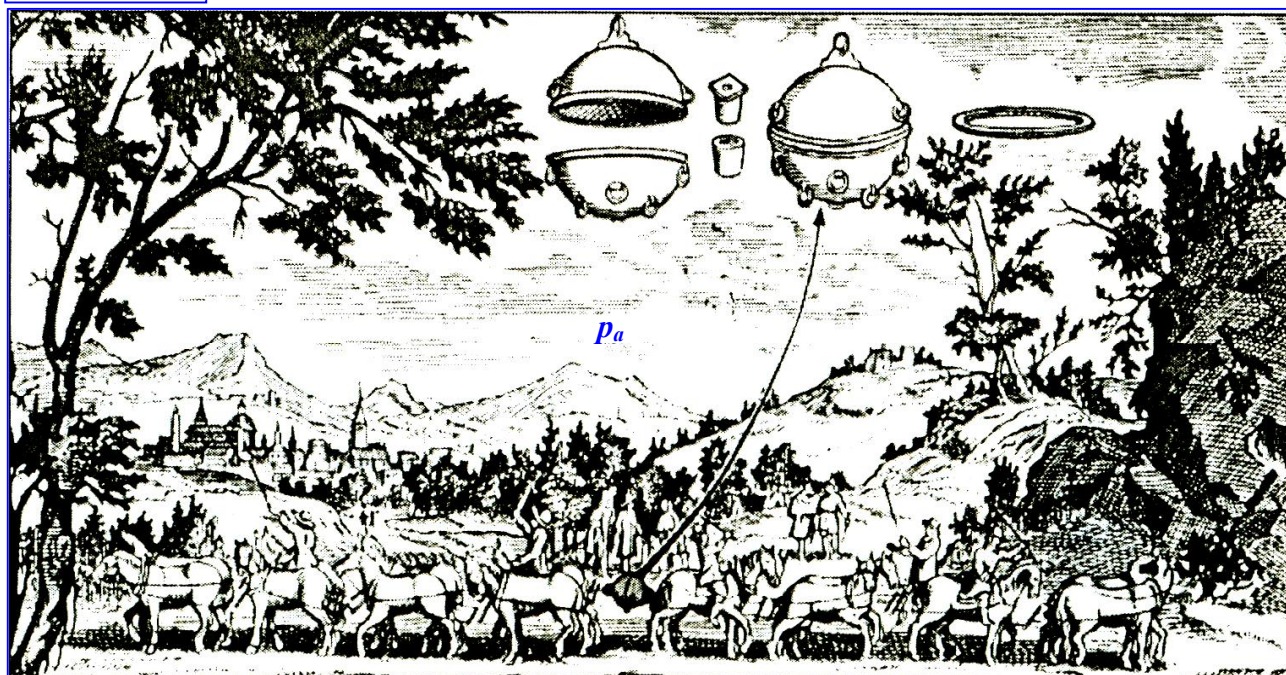


Рис. 58.3. Опыт Отто Герике в г. Магдебурге, доказывающий существование атмосферного давления.

б) Сила атмосферного давления действует на ртуть, находящуюся в чашечке, сверху вниз. Почему же атмосферное давление удерживает столб ртути в трубке?

в) Как повлияло бы наличие воздуха в трубке над ртутью на показания ртутного барометра?

г) Изменится ли показание барометра, если трубку наклонить, *рис. 59.3*? опустить глубже в чашку с ртутью?



Задание

1. Погрузите стакан в воду, переверните его под водой вверх дном и медленно вытаскивайте из воды. Почему, пока края стакана находятся под водой, вода остается в стакане (не выливается)?

2. Налейте в стакан воды, закройте листом бумаги и, поддерживая лист рукой, переверните стакан вверх: дном. Если теперь отнять руку от бумаги (*рис. 60.3*), то вода из стакана не выльется. Она остается как бы приклеенной к краю стакана. Почему? Ответ обоснуйте.

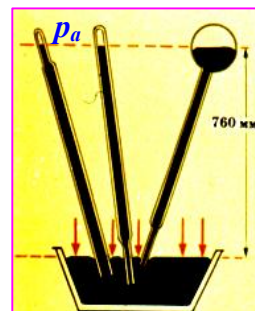


Рис.59.3. Изменится ли показание барометра, если трубку наклонить?

§ 50 (43). БАРОМЕТР-АНЕРОИД

Обычно атмосферное давление измеряют не ртутным, а *металлическим* барометром – *анероидом*. Так этот барометр называют потому, что он не содержит ртути (в переводе с греческого *анероид* – *безжидкостный*).

Анероид показан на *рис. 61.3,а*. Главная его часть – металлическая коробочка **1** с волнистой (гофрированной) поверхностью (*рис. 61.3,б*). Из этой коробочки выкачан воздух, а чтобы атмосферное давление крышку её не раздавило, пружина **2** оттягивает её вверх. При увеличении атмосферного давления крышка прогибается вниз и натягивает пружину. При уменьшении давления пружина выпрямляет крышку. К пружине с помощью передаточного механизма **3** прикреплена стрелка-указатель **4**, которая передвигается вправо или влево при изменении давления. Под стрелкой укреплена шкала, деления которой нанесены по показаниям ртутного барометра.

Так, число **760**, против которого стоит стрелка анероида (см. *рис. 59.3,а*), показывает, что в данный момент в ртутном барометре высота ртутного столба **760 мм**. Следовательно, атмосферное давление равно **760 мм рт. ст.**, или **1013 гПа**.

Знание атмосферного давления весьма важно для предсказания погоды на ближайшие дни, так как изменение атмосферного давления связано с изменением погоды. Барометр – необходимый прибор при метеорологических наблюдениях.

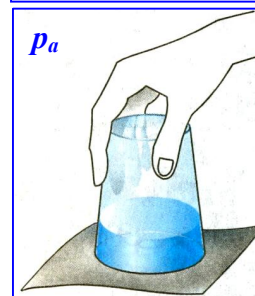


Рис.60.3. Почему вода не выливается из стакана?

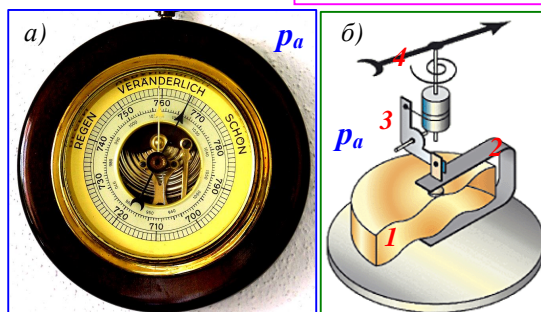
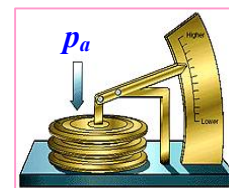


Рис. 61.3. Барометр-анероид: а) внешний вид; б) устройство барометра: 1 – металлическая коробочка; 2 – пружина; 3 – передаточный механизм; 4 – стрелка-указатель.



Вопросы

1. Как устроен барометр-анероид?
2. Как градуируют шкалу барометра-анероида?
3. Для чего необходимо систематически и в разных местах земного шара измерять атмосферное давление?
4. Какое значение это имеет в метеорологии?



§ 51 (44). АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ НА РАЗЛИЧНЫХ ВЫСОТАХ



Рис. 62.3. Такой увидел советский космонавт Г. Титов атмосферу Земли из кабины космического корабля.

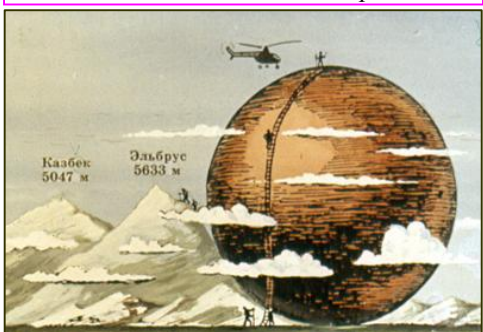


Рис. 63.3. По подсчетам Паскаля атмосфера Земли весит столько же, сколько весил бы медный шар диаметром 10км. Это составляет $5,15 \times 10^{15} = 5\,000\,000\,000\,000\,000$ тонн!

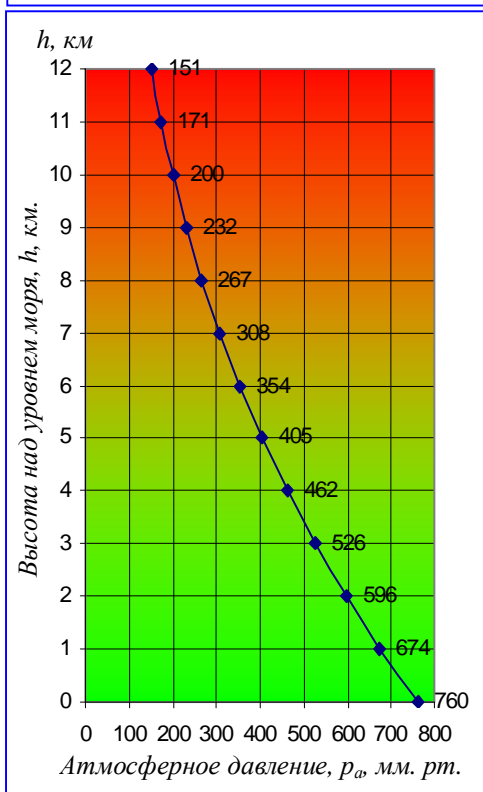


Рис. 64.3. Уменьшение величины атмосферного давления с высотой над уровнем моря.

В жидкости давление p , как мы знаем (§ 44); зависит от плотности жидкости ρ и высоты h ее столба (формула 2.3). Вследствие малой сжимаемости плотность жидкости на различных глубинах почти одинакова. Поэтому, вычисляя давление, мы считаем ее плотность постоянной ($\rho_{ж} \cong const$) и учитываем только изменение высоты h .

Сложнее обстоит дело с газами. Газы сильно сжимаемы ($\rho_g \neq const$). А чем сильнее газ сжат, тем больше его плотность и тем большее давление он производит. Ведь давление газа создается ударами его молекул о поверхность тела.

Слои воздуха у поверхности Земли сжаты всеми вышележащими слоями воздуха, находящимися над ними. Но чем выше от поверхности слой воздуха, тем слабее он сжат, тем меньше его плотность. Следовательно, тем меньшее давление он производит. Если, например, воздушный шар поднимается над поверхностью Земли, то давление воздуха на шар становится меньше. Это происходит не только потому, что высота столба воздуха над ним уменьшается, но еще и потому, что уменьшается плотность воздуха. Вверху она меньше, чем внизу. Поэтому зависимость давления воздуха от высоты сложнее, чем жидкости.

Наблюдения показывают, что атмосферное давление в местностях, лежащих на уровне моря, в среднем равно 760 мм рт. ст.

Атмосферное давление $p_{атм}$, равное давлению столба ртути высотой 760 мм при температуре 0°C , называется нормальным атмосферным давлением.

Нормальное атмосферное давление равно 101300 Па = 1013 гПа.

Чем больше высота над уровнем моря, тем давление меньше, рис. 64.3. При *небольших* подъемах в среднем на каждые 12 м подъема давление уменьшается на 1 мм рт. ст. (или на 1,33 гПа).

Зная зависимость давления от высоты, можно по изменению показаний барометра определить высоту над уровнем моря. Anerоиды, имеющие шкалу, по которой непосредственно можно отсчитать высоту, называют **высотомерами**. Их применяют в авиации и при подъемах на горы.



Вопросы

1. Как объяснить, что атмосферное давление уменьшается по мере увеличения высоты подъема над уровнем Земли?
2. Какое атмосферное давление называют нормальным?

3. Как называют прибор для измерения высоты по атмосферному давлению? Что он собой представляет? Отличается ли его устройство от устройства барометра?



Упражнение

1. Почему воздушный шарик, наполненный водородом, при подъеме над Землей увеличивается в объеме?
2. У подножия горы барометр показывает 760 мм рт. ст., а на вершине 722 мм рт. ст. Какова примерно высота горы?
3. Выразите нормальное атмосферное давление в гектопаскалах (гПа).
4. При массе 60 кг и росте 1,6 м площадь поверхности тела человека равна примерно $1,65\text{ м}^2$. Рассчитайте силу, с которой атмосфера давит на человека (при нормальном атмосферном давлении).



Задание

С помощью барометра-анероида измерьте атмосферное давление на первом и последнем этажах здания школы. Определите по полученным данным расстояние между этажами.

Как переносит человек различную высоту над уровнем моря?

Высота над уровнем моря	Зона и её характеристика
1,3 – 2 км (Ай-Петри)	Безопасная зона ; существенных изменений физиологических функций организма не наблюдается.
2 – 4 км	Зона полной компенсации ; некоторые нарушения деятельности сердечно-сосудистой системы, органов чувств, которые исчезают при мобилизации сил организма.
4 – 5 км (Эдльбрус, Ключевая сопка)	Зона неполной компенсации ; ухудшение общего самочувствия.
6 – 8 км	Критическая зона ; серьезные функциональные расстройства жизнедеятельности организма.
Более 8 км	Смертельная зона ; без дыхательного аппарата человек может находиться не более 3 мин. На высоте 16 км – 9 с, после чего наступает смерть.

§ 52 (45). МАНОМЕТРЫ

Мы уже знаем, что для измерения атмосферного давления применяют барометры. Для измерения давлений, больших или меньших атмосферного, используют манометры (от греческого *манос* - редкий, неплотный, *метрео* - измеряю). Манометры бывают жидкостные и металлические.

Рассмотрим сначала устройство и действие открытого жидкостного U-образного манометра. Он состоит из двухколенной стеклянной трубки, в которую наливают какую-нибудь жидкость (обычно воду, спирт (а) или ртуть (б)). Жидкость устанавливается в обоих коленах на одном уровне, так как на ее поверхность в коленах сосуда действует только атмосферное давление, рис. 65.3, 66.3, а.

Об отличии давления p в сосуде, к которому подключён U-образный манометр, от атмосферного p_a можно судить по разности высот Δh жидкости в его правой и левой трубках (рис. 66.3). При этом

$$\Delta h = (p - p_a) / \rho g \quad \text{или} \quad p = \Delta h \rho g + p_a,$$

где ρ - плотность жидкости в манометре.

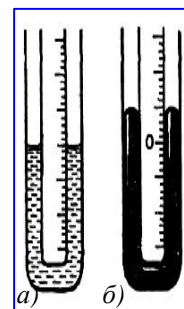


Рис. 65.3. Открытые жидкостные манометры (U-образные).

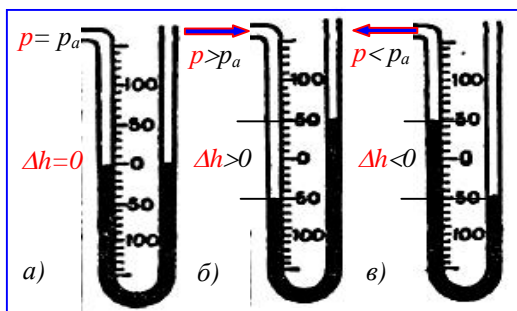


Рис. 66.3. Открытый жидкостный U-образный манометр: а) манометр не подключён; б) давление p избыточное, выше p_a ; в) давление p ниже атмосферного p_a .

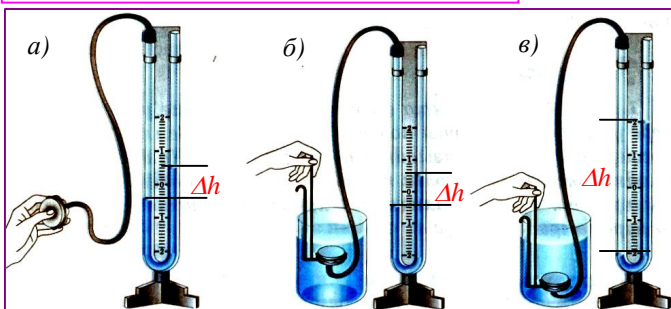


Рис. 67.3. Открытые жидкостные U-образные манометры. Во всех случаях измеряемое давление p больше атмосферного давления p_a .

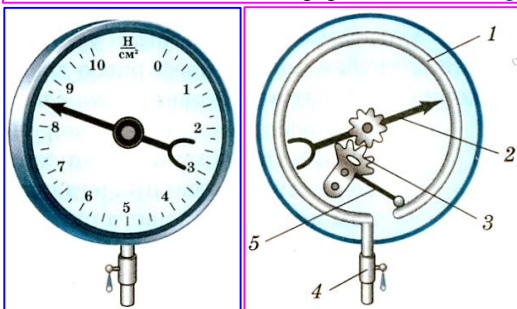


Рис. 68.3. Металлический манометр: внешний вид и внутреннее устройство. 1 – чувствительная трубка; 2 – стрелка-указатель; 3, 5 – передаточный механизм; 4 – кран.

Чтобы понять, как работает U-образный манометр, сделаем опыт. Соединим левую трубку манометра резиновой трубкой с круглой плоской коробкой, одна сторона которой затянута резиновой пленкой (рис. 67.3,а). Если слегка надавить пальцем на пленку, уровень жидкости в колене манометра, соединенном с коробкой, понизится, а в другом колене повысится. Возникнет разность уровней жидкости Δh .

Происходит следующее. При надавливании на пленку увеличивается давление воздуха p в коробке. По закону Паскаля это увеличение давления передается и жидкости в том колене манометра, которое присоединено к коробке. Поэтому давление на жидкость в этом колене будет больше, чем в другом, где на жидкость действует атмосферное давление p_a . Под действием силы этого избыточного давления жидкость начнет перемещаться.

В колене со сжатым воздухом жидкость опустится, в другом (правом) – поднимется (рис. 67.3,б). Образуется разность уровней Δh . Это значит, что избыточное давление $(p - p_a)$ сжатого воздуха уравновесилось давлением, созданным столбом жидкости Δh .

Чем глубже погружают в жидкость коробочку, тем больше возрастает давление на пленку и разность высот Δh увеличивается.

Если установить коробочку на какой-нибудь глубине внутри жидкости и поворачивать ее пленкой вверх, вбок, вниз, показания манометра меняться не будут. Так и должно быть, ведь на одном и том же уровне внутри жидкости давление по всем направлениям одинаково.

На рис. 68.3 изображен **металлический манометр**. Основная часть такого манометра – согнутая в дугу чувствительная металлическая трубка 1 (рис. 68.3), один конец которой закрыт, а другой конец с помощью крана 4 сообщается с сосудом, в котором измеряют давление p . При увеличении давления p трубка разгибается. Движение закрытого конца ее при помощи рычага 5 и зубчатки 3 передается стрелке 2, движущейся около шкалы прибора.

При уменьшении давления трубка, благодаря своей упругости, возвращается в прежнее

положение, а стрелка – к нулевому делению шкалы.



Вопросы

1. Как называют приборы для измерения давлений, больших или меньших атмосферного?
2. Как устроен и действует открытый жидкостный манометр?
3. Почему в открытом манометре уровни однородной жидкости в обоих коленах одинаковые?
4. Что доказывает опыт, изображенный на рис. 67.3,б,в?
5. Как показать, что давление в жидкости на одной и той же глубине одинаково по всем направлениям?
6. Как устроен и действует металлический манометр?

§ 53 (46). ПОРШНЕВОЙ ЖИДКОСТНЫЙ НАСОС

В опыте, рассмотренном нами ранее (§ 47), было установлено, что вода в стеклянной трубке под действием атмосферного давления поднималась за поршнем. На этом основано действие **поршневых насосов**.

Насос схематически изображен на *рис. 69.3*. Он состоит из цилиндра, внутри которого

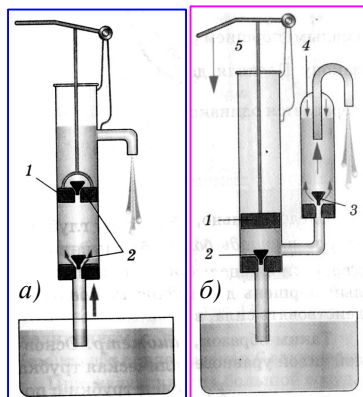


Рис. 69.3. Поршневой насос: а) без воздушной камеры; б) с воздушной камерой.

ходит вверх и вниз плотно прилегающий к стенкам поршень **1**. В нижней части цилиндра и в самом поршне установлены клапаны **2**, открывающиеся только вверх. При движении поршня вверх вода под действием атмосферного давления входит в трубу, поднимает нижний клапан и движется за поршнем.

При движении поршня вниз вода, находящаяся под поршнем, давит на нижний клапан, и он закрывается. Одновременно под давлением воды открывается клапан внутри поршня, и вода переходит в пространство над поршнем. При последующем движении поршня вверх вместе с ним поднимается и находящаяся над ним вода, которая и выливается в отводящую трубу. Одновременно за поршнем поднимается новая, порция воды, которая при последующем опускании поршня окажется над ним, и т. д.



Вопросы

1. Какое явление используют в устройстве поршневого водяного насоса?
2. Как устроен и действует такой насос?



Упражнение

1. На какую предельную высоту можно поднять воду поршневым насосом (см. *рис. 69.3, а*) при нормальном атмосферном давлении?
2. На какую наибольшую высоту можно поднять спирт, ртуть поршневым насосом (см. *рис. 69.3, а*) при нормальном атмосферном давлении?
3. Объясните работу поршневого насоса с воздушной камерой (*рис. 69.3, б*), где **1** – поршень, **2** – всасывающий клапан, **3** – нагнетательный клапан, **4** – воздушная камера, **5** – рукоятка. Сравните работу насосов *а*) и *б*). Что происходит при движениях их поршней вверх и вниз? Какую роль играет воздушная камера? Можно ли поднять каким-нибудь из этих насосов воду с глубины большей 10,3 м? Может для этого надо что-то изменить в конструкции?

§ 54 (47). ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРЕСС

Закон Паскаля позволяет объяснить действие многих **гидравлических машин**¹. Гидравлический пресс – одна из них.

Основной частью гидравлического пресса служат два цилиндра разного диаметра, снабженные поршнями и соединенные трубкой (*рис. 70.3*). Пространство под поршнями и трубку заполняют жидкостью (обычно минеральным маслом). Высоты столбов жидкости в обоих цилиндрах одинаковы, пока на поршни не действуют силы.

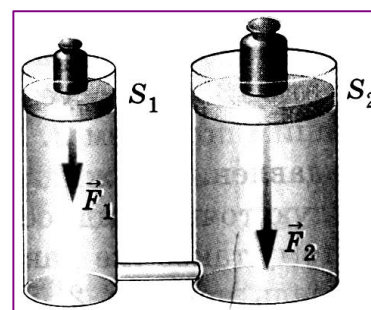


Рис. 70.3. Цилиндры с поршнями разного диаметра, соединенные трубкой (сообщающиеся).

¹ Гидравлические машины (от греческого слова *гидравликос* – водяной). Это машины, действие которых основано на законах движения и равновесия жидкостей.

Допустим теперь, что F_1 и F_2 – силы, действующие на поршни. S_1 и S_2 – площади поршней. Давление под первым (малым) поршнем равно $p_1 = \frac{F_1}{S_1}$, а под вторым (большим)

$p_2 = \frac{F_2}{S_2}$. По закону Паскаля давление покоящейся жидкостью во все стороны передается

одинаково, т. е. $p_1 = p_2$ или $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$, откуда:

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

Следовательно, **сила F_2 во столько раз больше силы F_1 , во сколько раз площадь большого поршня больше площади малого.**

Например, если площадь большого поршня 500 см^2 , а малого 5 см^2 и на малый поршень действует сила 100 Н , то на большой поршень будет действовать сила, в 100 раз большая, т. е. 10000 Н .

Таким образом, с помощью гидравлической машины можно малой силой уравновесить большую силу.

Отношение $\frac{F_2}{F_1}$ показывает выигрыш в силе.

Например, в приведенном примере выигрыш в силе равен $10\,000 \text{ Н} / 100 \text{ Н} = 100$.

Гидравлическую машину, служащую для прессования (сдавливания), называют **гидравлическим прессом**.

Гидравлические прессы применяются там, где требуется большая сила. Например, для выжимания масла из семян на маслобойных заводах, для прессования фанеры; картона, сена. На металлургических заводах гидравлические прессы используют при изготовлении стальных валов машин, железнодорожных колес и многих других изделий. Современные гидравлические прессы могут развивать силу в десятки и сотни миллионов ньютонов.

Устройство гидравлического прессы схематически показано на рис. 71.3. Прессуемое тело 1 кладут на платформу, соединенную с большим поршнем 2 . При помощи малого поршня 3 создается большое давление на жидкость. Это давление без изменения передается в каждую точку жидкости, заполняющей цилиндры (закон Паскаля). Поэтому такое же давление действует и на поршень 2 . Но так как площадь поршня 2 больше площади поршня 3 , то и сила, действующая на него, будет больше силы, действующей на

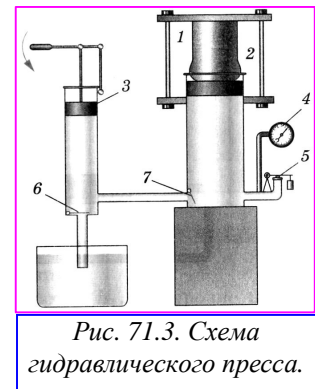


Рис. 71.3. Схема гидравлического прессы.

поршень 3 . Под действием этой силы поршень 2 будет подниматься. При подъеме поршня 2 тело упирается в неподвижную верхнюю платформу и сжимается. Манометр 4 , при помощи которого измеряют давление жидкости, 5 – предохранительный клапан, автоматически открывающийся, когда давление превышает допустимое значение.

Из малого цилиндра в большой жидкость перекачивается повторными движениями малого поршня 3 . Это осуществляется так. При подъеме малого поршня клапан 6 открывается, и в пространство, находящееся под поршнем, засасывается жидкость. При опускании малого поршня под действием давления жидкости клапан 6 закрывается, а клапан 7 открывается, и жидкость переходит в большой сосуд.



Вопросы

1. Какой закон используют в устройстве гидравлических машин?
2. Какой выигрыш в силе дает гидравлический пресс (при отсутствии трения)?



Упражнение

1. На рис. 72.3 изображена упрощенная схема гидравлического подъемника (гидравлического домкрата), где 1 – поднимаемое тело, 2 – малый поршень, 3 – клапаны, 4 – клапан для опускания груза, 5 – большой поршень. Груз какой массы можно поднять такой машиной, если известно, что площадь малого поршня $1,2 \text{ см}^2$, большого – 1440 см^2 , а сила, действующая на малый поршень, может достигать 1000 Н ? Трение не учитывать.

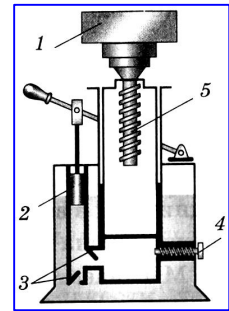


Рис. 72.3. Схема гидродомкрата

2. В гидравлическом прессе площадь малого поршня 5 см^2 , площадь большого – 500 см^2 . Сила, действующая на малый поршень, 400 Н , на большой – 36 кН . Какой выигрыш в силе дает этот пресс? Почему пресс не дает максимального (наибольшего) выигрыша в силе? Какой выигрыш в силе должен был бы давать этот пресс при отсутствии силы трения между поршнем и стенками прессы?

3. Можно ли создать машину, подобную гидравлической, используя вместо воды воздух? Ответ обоснуйте.

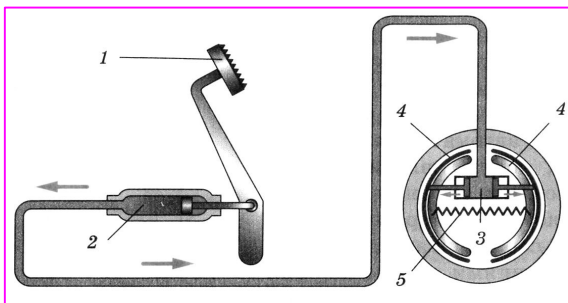


Рис. 73.3. Схема автомобильного гидравлического тормоза.



Задание

На рис. 73.3 изображена схема автомобильного гидравлического тормоза, где 1 – тормозная педаль, 2 – цилиндр с поршнем, 3 – тормозной цилиндр, 4 – тормозные колодки, 5 – пружина, 6 – тормозной барабан. Цилиндры и трубки заполнены специальной жидкостью. Расскажите по этой схеме, как действует тормоз.

§ 55 (48) ДЕЙСТВИЕ ЖИДКОСТИ И ГАЗА НА ПОГРУЖЕННОЕ В НИХ ТЕЛО. СИЛА АРХИМЕДА

Под водой мы можем легко поднять камень, который с трудом поднимаем в воздухе. Если погрузить пробку под воду и выпустить ее из рук, то она всплывет. Как можно объяснить эти явления?

Мы знаем (§ 45), что жидкость давит на дно и стенки сосуда, а если внутрь ее поместить какое-нибудь твердое тело, то оно также будет подвергаться давлению.

Рассмотрим силы, которые действуют со стороны жидкости на погруженное в нее тело. Чтобы легче было рассуждать, выберем тело, которое имеет форму параллелепипеда с основаниями, параллельными поверхности жидкости (рис. 74.3). Силы, действующие на боковые грани тела, попарно равны и уравновешивают друг друга. Под действием этих сил тело только сжимается. А вот силы, действующие на верхнюю и нижнюю грани тела, неодинаковы. На верхнюю грань давит сверху с силой F_1 столб жидкости высотой h_1 . На уровне нижней грани тела давление производит столб жидкости высотой h_2 . Это давление, как мы знаем (§ 37), передается внутри жидкости во все стороны. Следовательно, на нижнюю грань тела снизу вверх с силой F_2 давит столб жидкости высотой h_2 . Но h_2 больше h_1 , следовательно, и модуль силы F_2 больше модуля силы F_1 . Поэтому тело выталкивается из жидкости с силой $F_{\text{выт}}$, равной разности сил $F_2 - F_1$, т.е.

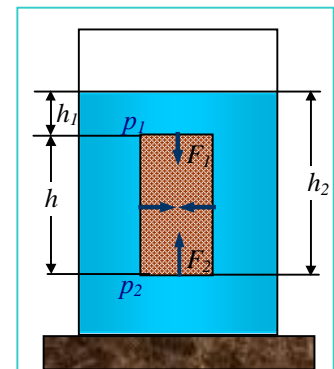


Рис. 74.3. Силы давления, действующие на тело, погруженное в жидкость.

$$F_{\text{выт}} = F_2 - F_1.$$

Рассчитаем эту выталкивающую силу. Силы F_1 и F_2 , действующие на верхнюю и нижнюю грани параллелепипеда, можно вычислить, зная их площади (S_1 и S_2) и давление жидкости на уровнях этих граней (p_1 и p_2). Отсюда получаем:

$F_1 = p_1 S_1$, а $F_2 = p_2 S_2$, так как $p_1 = \rho_{жс} g h_1$, $p_2 = \rho_{жс} g h_2$ а $S_1 = S_2 = S$, где S - площадь основания параллелепипеда.

Тогда

$$F_{\text{выт}} = F_2 - F_1 = \rho_{жс} g h_2 S - \rho_{жс} g h_1 S = \rho_{жс} g S (h_2 - h_1) = \rho_{жс} g h S,$$

где h – высота параллелепипеда.

Но $Sh = V$, где V – объем параллелепипеда, а $\rho_{жс} V = m_{жс}$ – масса жидкости в объеме параллелепипеда. Следовательно:

$$F_{\text{выт}} = g m_{жс} = P_{жс},$$

т. е. **выталкивающая сила равна весу жидкости в объеме погруженного в нее тела.**

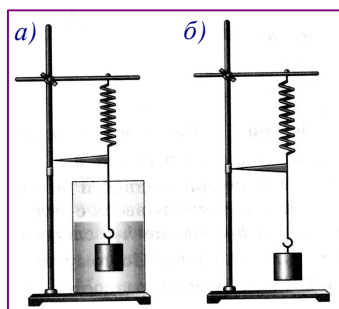


Рис. 75.3. Погруженное в воду тело (а), растягивает пружину с меньшей силой, чем то же тело, но находящееся в воздухе (б).

Существование силы, выталкивающей тело из жидкости, можно обнаружить на опыте.

На рис. 75.3,а изображено тело, подвешенное к пружине со стрелкой-указателем на конце. Растяжение пружины отмечает на штативе стрелка. При опускании тела в воду пружина сокращается (рис. 75.3,б). Такое же сокращение пружины получится, если действовать на тело снизу вверх с некоторой силой, например нажать рукой.

Следовательно, опыт подтверждает, что **на тело, находящееся в жидкости, действует сила, выталкивающая это тело из жидкости.**

К газам, как мы знаем, также применим закон Паскаля. Поэтому и **на тела, находящиеся в газе, действует сила, выталкивающая их из газа.** Под действием этой силы воздушные шары поднимаются вверх. Существование силы, выталкивающей тело из газа, можно также наблюдать на опыте.

К укороченной чашке весов подвешивают стеклянный шар или большую колбу, закрытую пробкой. Весы уравнивают. Затем под колбу (или шар) ставят широкий сосуд так, чтобы он окружал всю колбу. Сосуд наполняют углекислым газом, плотность которого больше плотности воздуха. При этом равновесие весов нарушается. Чашка с подвешенной колбой поднимается вверх (рис. 76.3.). На колбу, погруженную в углекислый газ, действует большая выталкивающая сила по сравнению с той, которая действует на нее в воздухе.

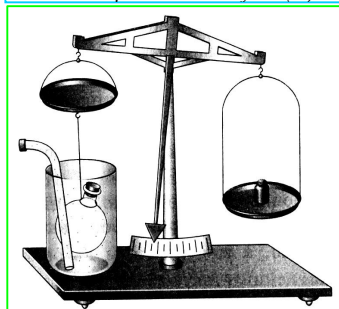


Рис. 76.3. Если колбу поместить в сосуд с углекислым газом, то равновесие весов нарушается.

нее в воздухе.

Сила, выталкивающая тело из жидкости или газа, направлена противоположно силе тяжести, приложенной к этому телу. Эта сила называется силой Архимеда.

Поэтому если какое-либо тело взвесить в жидкости или газе, то его вес окажется меньше веса в вакууме (пустоте). Именно этим объясняется, что в воде мы иногда легко поднимаем тела, которые с трудом удерживаем в воздухе.



Вопросы

1. Какие известные вам явления указывают на существование выталкивающей силы?
2. Как, основываясь на законе Паскаля, доказать существование выталкивающей силы, действующей на погруженное в жидкость тело?
3. Как показать на опыте, что на тело, находящееся в жидкости, действует выталкивающая сила?

4. Как показать на опыте, что на тело, находящееся в газе, действует выталкивающая сила? Как называется эта сила?

§ 56 (49). ЕЩЁ О СИЛЕ АРХИМЕДА. ВЕС ТЕЛА, ПОГРУЖЕННОГО В ЖИДКОСТЬ (ГАЗ)

Силу, с которой тело, находящееся в жидкости, выталкивается ею, можно рассчитать, как это сделано в § 55. А можно определить ее значение на опыте, используя для этого прибор, изображенный на рис.77.3.

К пружине подвесим небольшое ведерко и тело цилиндрической формы. Растяжение пружины отмечает стрелка на штативе (рис. 77.3, а). Она показывает вес тела в воздухе. Приподняв тело, под него подставляют отливной сосуд, наполненный жидкостью до уровня отливной трубки. После чего тело погружают целиком в жидкость (рис. 77.3,б). При этом *часть жидкости, объем, которой равен объему тела, выливается* из отливного сосуда в стакан. Указатель пружины поднимается вверх, пружина сокращается, показывая уменьшение веса тела в жидкости. В данном случае на тело, кроме силы тяжести, действует еще и сила, выталкивающая его из жидкости. Если в ведерко вылить жидкость из стакана (т. е. ту, которую вытеснило тело), то указатель пружины возвратится к своему начальному положению (рис. 77.3,в).

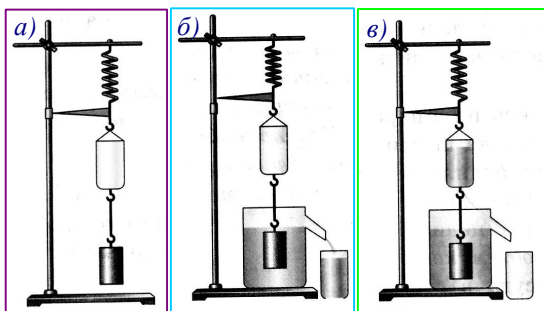


Рис. 77.3. Подвешено ведёрко и тело (а); жидкость в объёме тела сливается, вес уменьшается (б); слитая жидкость, налитая в ведёрко, восстанавливает начальный вес (в).

На основании этого опыта можно заключить, что **сила, выталкивающая целиком погруженное в жидкость тело, равна весу жидкости в объеме этого тела**. Такой же вывод мы получили и в § 55.

Если бы подобный опыт проделать с телом, погруженным в какой-либо газ, то он показал бы, что **сила, выталкивающая тело из газа, также равна весу газа, взятого в объеме тела**.

Силу, выталкивающую тело из жидкости или, газа, называют **архимедовой силой**, в честь древнегреческого ученого **Архимеда**, который впервые указал на ее существование и рассчитал ее значение.

Итак, опыт подтвердил, что архимедова (или выталкивающая) сила равна весу жидкости в объеме тела, т. е. $F_A = P_{ж} = g m_{ж}$. Массу жидкости $m_{ж}$, вытесняемую телом, можно выразить через ее плотность ($\rho_{ж}$) и объем тела (V_T), погруженного в жидкость (так как $V_{ж}$ – объем вытесненной телом жидкости равен V_T – объему тела, погруженного в жидкость), т. е. $m_{ж} = \rho_{ж} V_T$. Тогда получим:

$$F_A = g \rho_{ж} V_T. \quad [3.3]$$

Следовательно, архимедова сила зависит от плотности жидкости, в которую погружено тело, и от объема этого тела. Но она не зависит, например, от плотности вещества тела, погружаемого в жидкость, так как эта величина не входит в полученную формулу.

Определим теперь вес тела, погруженного в жидкость (или в газ). Так как две силы, действующие на тело в этом случае, направлены в противоположные стороны (сила тяжести вниз, а архимедова сила вверх), то вес тела в жидкости P_I будет меньше веса тела в вакууме $P = g m$ (m – масса тела) на архимедову силу $F_A = g m_{ж}$ ($m_{ж}$ – масса жидкости (или газа), вытесненной телом), т. е.



Архимед (287 — 212 год до н. э.) великий древнегреческий математик, физик, механик и инженер из Сиракуз. Сделал множество открытий в геометрии. Заложил основы механики, гидростатики, автор ряда практически важных изобретений.

$$P_1 = P - F_A, \text{ или } P_1 = gm - gm_{\text{жс}} = g(m - m_{\text{жс}}).$$

Таким образом, **если тело погружено в жидкость (или газ), то оно теряет в своем весе столько, сколько весит вытесненная им жидкость (или газ).**

Сила Архимеда всегда равна весу жидкости (газа) в объеме погруженного в нее тела.

Пример. Определить выталкивающую силу, действующую на камень объемом $1,6 \text{ м}^3$ в морской воде.

Запишем условие задачи и решим ее.

Дано: $V_T = 1,6 \text{ м}^3$ $\rho_{\text{жс}} = 1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ $g = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ $F_A = ?$	Решение: $F_A = g\rho_{\text{жс}} V_T$ $F_A = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 1,6 \text{ м}^3 = 16480 \text{ Н} =$ $= 16,5 \text{ кН}$ Ответ: $F_A = 16,5 \text{ кН}$
---	--



А так читается закон Архимеда по-украински:
«Всяко тело, вперто в воду, вылезает из туды с силой выпертой воды»



Вопросы

1. Как можно на опыте определить, с какой силой тело, погруженное целиком в жидкость, выталкивается из жидкости?
2. Чему равна эта сила?
3. Как называют силу, которая выталкивает тела, погруженные в жидкости и газы?
4. Как подсчитать архимедову силу?
5. От каких величин зависит архимедова сила? От каких величин она не зависит?



Упражнение

1. К коромыслу весов подвешены два цилиндра одинаковой массы: свинцовый и алюминиевый. Весы находятся в равновесии. Нарушится ли равновесие весов, если оба цилиндра одновременно погрузить в воду? спирт? Ответ обоснуйте. Проверьте его на опыте. Как зависит выталкивающая сила от объема тела?

2. К коромыслу весов подвешены два алюминиевых цилиндра одинакового объема. Нарушится ли равновесие весов, если один цилиндр погрузить в воду, другой – в спирт? Ответ обоснуйте. Зависит ли выталкивающая сила от плотности жидкости?

3. Объем куска железа $0,1 \text{ дм}^3$. Какая выталкивающая сила будет на него действовать при полном его погружении в воду? в керосин?

4. Бетонная плита объемом 2 м^3 погружена в воду. Какую силу необходимо приложить, чтобы удержать ее в воде? в воздухе?



Задание

Предположив, что золотая корона царя Гиерона в воздухе весит 20 Н , а в воде $18,75 \text{ Н}$, вычислите плотность вещества короны.

Полагая, что к золоту было подмешано только серебро, определите, сколько в короне было золота и сколько серебра.

Указание. При решении задачи плотность золота считайте равной $20\,000 \text{ кг/м}^3$, плотность серебра – $10\,000 \text{ кг/м}^3$. Каков был бы объем короны из чистого золота?



Архимед и Гиерон.

§ 57 (50). ПЛАВАНИЕ ТЕЛ

На тело, находящееся внутри жидкости, действуют две силы: сила тяжести $F_{тяж}$, направленная вертикально вниз, и архимедова сила F_A , направленная вертикально вверх. Рассмотрим, что будет происходить с телом под действием этих сил, если вначале оно было неподвижно. При этом возможны три случая, рис. 78.3:

1) если сила тяжести $F_{тяж}$ меньше архимедовой силы F_A , то тело будет подниматься из жидкости, всплывать, т. е. если $F_{тяж} < F_A$, то тело всплывает.

2) если сила тяжести $F_{тяж}$ равна архимедовой силе F_A , то тело может находиться в равновесии в любом, месте жидкости, т. е. если $F_{тяж} = F_A$ то тело плавает;

3) если сила тяжести $F_{тяж}$ больше архимедовой силы F_A , то тело будет опускаться на дно, тонуть, т. е. если

$F_{тяж} > F_A$, то тело тонет;

Рассмотрим первый случай.

Когда всплывающее тело достигнет поверхности жидкости, то при дальнейшем его движении вверх архимедова сила F_A будет уменьшаться, рис.78.3,а. Почему? Да потому, что будет уменьшаться объем части тела, погруженной в жидкость, а архимедова сила равна весу жидкости в объеме погруженной в нее части тела.

Когда архимедова сила F_A станет равной силе тяжести $F_{тяж}$, тело остановится и будет плавать на поверхности жидкости, частично погружившись в нее, рис. 79.3.

Полученный вывод легко проверить на опыте.

В отливной сосуд наливают воду до уровня боковой трубки. После

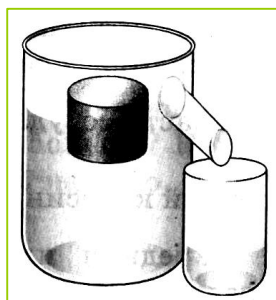


Рис. 80.3. Отливной сосуд.

этого в сосуд погружают плавающее тело (рис. 80.3), предварительно взвесив его в воздухе. Опустившись в воду, тело вытесняет объем воды, равный объему погруженной в нее части тела. Взвесив эту воду, находят, что ее вес (архимедова сила F_A) равен силе тяжести $F_{тяж}$, действующей, на плавающее тело, или весу этого тела в воздухе P .

Проделав такие же опыты с любыми другими телами, плавающими в разных жидкостях – в воде, спирте, растворе соли, можно убедиться, что если тело плавает в жидкости, то вес вытесненной им жидкости равен весу этого тела в воздухе.

Легко доказать, что если плотность сплошного твердого тела больше плотности жидкости, то тело в такой жидкости тонет. Тело, с меньшей плотностью всплывает в этой жидкости.

Кусок железа, например, тонет в воде, но всплывает в ртути. Тело же, плотность которого равна плотности жидкости, остается в равновесии внутри жидкости. Плавает на поверхности воды и лед, так как его плотность меньше плотности воды.

Чем меньше плотность тела по сравнению с плотностью жидкости, тем, меньшая часть тела погружена в жидкость (рис. 81.3).

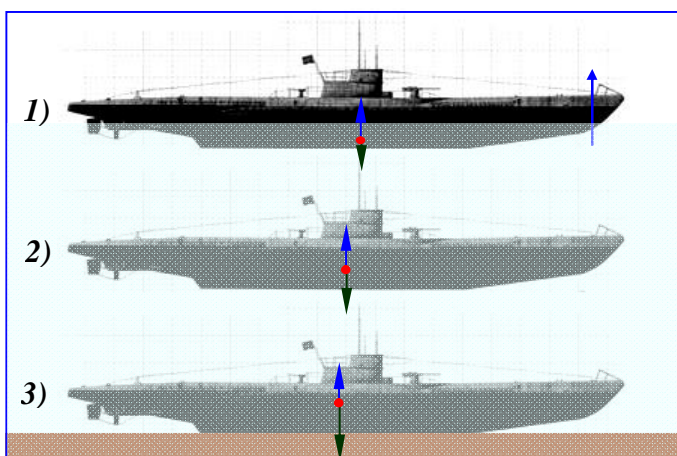


Рис. 78.3. Подводная лодка может изменять своё положение, продувая или заполняя балластные ёмкости, если 1) $F_{тяж} < F_A$, лодка всплывает; 2) $F_{тяж} = F_A$ плавает; 3) $F_{тяж} > F_A$, тонет.

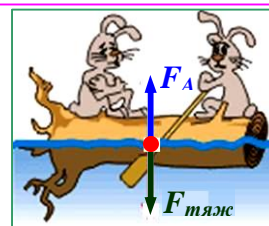


Рис. 79.3. Здесь нет балластных ёмкостей, но плотность дерева значительно меньше, чем воды.

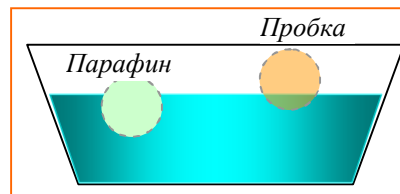


Рис. 81.3. Чем меньше плотность тела по сравнению с плотностью жидкости, тем, меньшая часть тела погружена в жидкость.

$$\rho_{воды} = 10^3 \text{ кг/м}^3; \rho_{парафин} = 0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3; \rho_{пробка} = 0,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

При равных плотностях тела и жидкости тело плавает внутри жидкости на любой глубине.

Две несмешивающиеся жидкости, например вода и керосин, располагаются в сосуде в соответствии со своими плотностями: в нижней части сосуда - более плотная вода ($\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$), сверху - более легкий керосин ($\rho = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$).

Средняя плотность живых организмов, населяющих водную среду, мало отличается от плотности воды, поэтому их вес почти полностью уравновешивается архимедовой силой. Благодаря этому водные животные не нуждаются в столь прочных и массивных скелетах, как наземные. По этой же причине эластичны стволы водных растений.

Плавательный пузырь рыбы легко меняет свой объем. Когда рыба с помощью мышц опускается на большую глубину и давление воды на нее увеличивается, пузырь сжимается, объем тела рыбы уменьшается и она не выталкивается вверх, а плавает в глубине. При подъеме плавательный пузырь и объем всего тела рыбы увеличивается и она плавает уже на меньшей глубине. Таким образом, рыба может в определенных пределах регулировать глубину своего погружения. Киты регулируют глубину своего погружения за счет уменьшения и увеличения объема легких.



Вопросы

1. При каком условии тело, находящееся в жидкости, тонет? плавает? всплывает?
2. Как показать на опыте, что вес жидкости, вытесненной плавающим телом, равен весу тела в воздухе?
3. Чему равна выталкивающая сила, которая действует на тело, плавающее на поверхности жидкости?
4. Как зависит глубина погружения в жидкость плавающего тела от его плотности (рис. 82.3)?
5. Почему водные животные не нуждаются в прочных скелетах?
6. Какую роль играет плавательный пузырь у рыб? Балластные ёмкости подводной лодки?
7. Как регулируют глубину погружения киты?

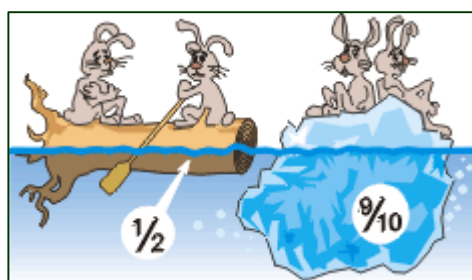


Рис. 82.3. Плавание на дереве и на льдине. В чём различие?



Упражнение

1. На весах уравновесили отливной сосуд с водой (рис. 84.3, а). В воду опустили деревянный брусок. Равновесие весов сначала нарушилось (рис. 84.3, б). Но когда вся вода, вытесненная плавающим бруском, вытекла из сосуда, равновесие весов восстановилось (рис. 84.3, в). Объясните это явление.

2. На рис.85.3 изображено одно и то же тело, плавающее в двух

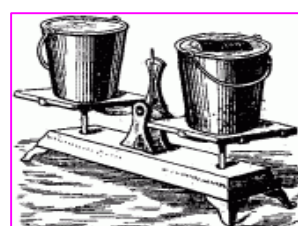


Рис. 83.3. Оба ведра одинаковы и наполнены водой до краев; в одном плавает кусок дерева. Которое перетянет?

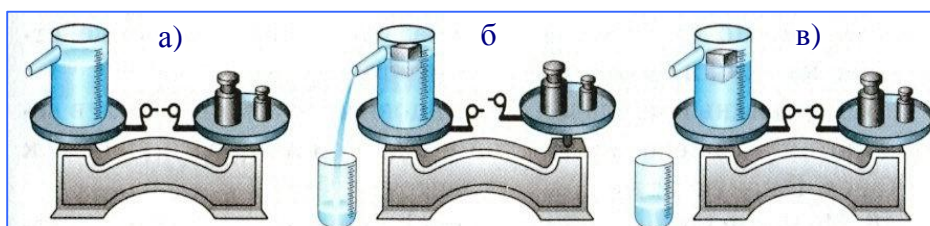


Рис. 84.3. Сосуд с водой уравновешен (а). Вытесненная бруском вода сливается (б). После слива воды, равновесие восстанавливается (в).

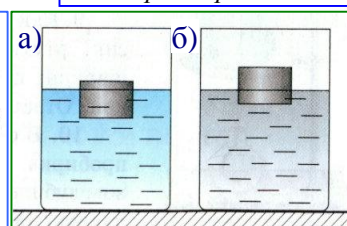


Рис. 85.3. Одно и то же тело в различных жидкостях.

разных жидкостях. Плотность какой жидкости больше? Почему? Что можно сказать о силе тяжести, действующей на тело, и архимедовой силе в том и другом случае?

3. Яйцо (или картофелина) тонет в пресной воде, но плавает в соленой. Объясните почему. Пронаблюдайте это сами на опыте.

4. Изобразите графически силы, действующие на тело, плавающее на воде, всплывающее на поверхность воды, тонущее в воде.

5. Пользуясь таблицами плотности, определите, тела из каких металлов будут плавать в ртути, а какие – тонуть.

Задание



1. НЫРЯЛЬЩИК (ИЛИ КАРТЕЗИАНСКИЙ ВОДОЛАЗ) ДЕКАРТА

Этот интересный прибор-игрушку придумал французский математик XVI века Рене Декарт (1596-1650) для демонстрации закона Паскаля в жидкостях.

Такой прибор легко изготовить самому. В качестве ныряльщика можно использовать обычную глазную пипетку.

Реквизит

1. Глазная пипетка
2. Пластиковый стакан
3. Водопроводная вода
4. Пустая чистая пластиковая бутылка ёмкостью 2 л с завинчивающейся крышкой

Настройка пипетки-ныряльщика

Опустите пипетку в стакан с водой, чтобы убедиться, что она плавает. Нажмите на резиновый кончик и наберите в неё столько воды, чтобы над поверхностью в стакане выступал кончик приблизительно на 2 мм, *рис. 86.3*.

Налейте в бутылку воды до самого верха. Убедись, что в ней не осталось пузырьков воздуха.

Опустите пипетку в бутылку, и плотно завинти крышку.

Всё готово.

Результат

Когда вы сжимаете бутылку, пипетка тонет, опускается вниз. Когда ослабляете сжатие, пипетка снова всплывает, *рис. 87.3*.

Можно демонстрировать волшебство!

Объявите зрителям: «Я могу заставить пипетку в бутылке подчиняться моим командам, не дотрагиваясь до неё».

Произнесите несколько волшебных слов, и незаметно слегка сожмите бутылку в руке. Пипетка начнёт опускаться вниз.

Скажи ещё какие-нибудь волшебные слова, и ослабьте давление на бутылку. Пипетка всплывёт.

Объяснение

Молекулы воды постоянно находятся в движении. Их удары создают давление воды. Когда вы сжимаете бутылку, молекулы оказываются ближе друг к другу. Давление воды внутри бутылки возрастает и заставляет сжиматься воздух внутри пипетки, заполняя её (можно увидеть, как поднимается уровень воды в пипетке). Пипетка становится тяжелее и начинает тонуть. Когда вы отпускаете бутылку, давление воды внутри неё падает. Воздух в пипетке возвращается к первоначальному объёму, выталкивая воду. Пипетка становится легче вытесняемой ею воды, и всплывает к поверхности.

Рис. 86.3

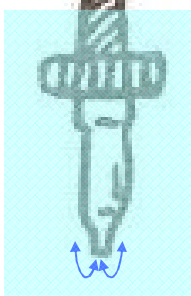


Рис. 87.3



2. ОБЪЯСНИТЕ ДЕЙСТВИЕ АРЕОМЕТРА И ИЗГОТОВЬТЕ ЕГО.

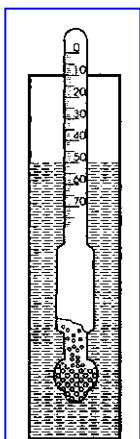


Рис. 88.3. Ареометр

а) **Ареометр** — прибор для измерения плотности жидкости рис. 88.3. Он представляет собой стеклянную трубку, нижняя часть которой заполнена дробью или ртутью для удержания **ареометра** в вертикальном положении во время измерений. Для измерения плотности жидкости, ареометр помещают в сосуд с этой жидкостью так, чтобы он свободно плавал в нем, рис. 89.3. Значения плотности снимают по шкале ареометра.

б) Используя пробирку или деревянную палочку и кусочки свинца, изготовьте ареометр для жидкостей, имеющих плотности большую и меньшую, чем вода.

Опустите изготовленный ареометр последовательно в воду, раствор соли, в растительное масло. Что можно сказать о плотностях этих жидкостей.

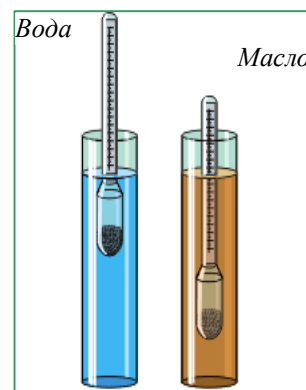


Рис. 89.3. Измерение плотности жидкости ареометром.

§ 58 (51). ПЛАВАНИЕ СУДОВ

Суда, плавающие по рекам, озерам, морам и океанам, построены из разных материалов с различной плотностью. Корпус судов обычно делают из стальных листов. Все внутренние крепления, придающие судам прочность, также изготавливают из металлов. Для постройки судов используют различные материалы, имеющие по сравнению с водой как большую, так и меньшую плотность.

Благодаря чему же суда держатся на воде, принимают на борт и перевозят большие грузы?

Опыт с плавающим телом (§57) показал, что тело вытесняет своей подводной частью столько воды, что вес этой воды равен весу тела в воздухе. Это справедливо и для любого судна.

Вес воды, вытесняемой подводной частью судна, равен весу судна с грузом в воздухе или силе тяжести, действующей на судно с грузом.

Глубину, на которую судно погружается в воду, называют **осадкой**. Наибольшая допускаемая осадка отмечена на корпусе судна красной линией, называемой **ватерлинией** (от голландского слова *ватер* - вода), рис. 90.3.

Вес воды, вытесняемой судном при погружении до ватерлинии, равный силе тяжести, действующей на судно с грузом, называется водоизмещением судна.

Сейчас для перевозки нефти строят суда водоизмещением $5\,000\,000\text{ кН}$ ($5 \cdot 10^6\text{ кН}$) и больше, т. е. имеющие вместе с грузом массу $500\,000\text{ т}$ ($5 \cdot 10^5\text{ т}$) и более.

Если из водоизмещения вычесть вес самого судна, то получим грузоподъемность этого судна. Грузоподъемность показывает вес груза, перевозимого судном.

Судостроение существовало еще в Древнем Египте, в Финикии, Древнем Китае.

В России судостроение зародилось на рубеже XVII-XVIII вв. Сооружались главным образом военные корабли, но именно в России созданы первый ледокол, суда с двигателем внутреннего сгорания, первый атомный ледокол «Ленин».

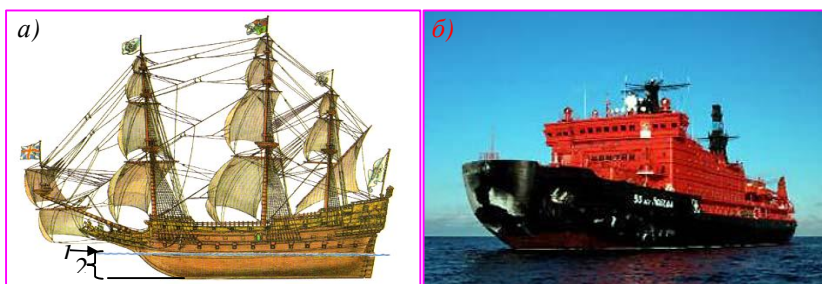


Рис. 90.3. Средневековое судно (а) и современный атомный ледокол (б). 1 – ватерлиния; 2 – осадка (подводная часть) корпуса судна.



Атомный ледокол «Ленин» спущен 5 декабря 1957 г



Вопросы

1. На чем основано плавание судов?
2. Что называют осадкой, судна?
3. Что такое ватерлиния?
4. Что называют водоизмещением судна?



Упражнение

1. Как изменится осадка корабля при переходе из реки в море? Почему?
2. Сила тяжести, действующая на судно, 100000 кН. Какой объем воды вытесняет это судно?
3. Плот, плывущий по реке, имеет площадь 8 м². после того как на него поместили груз, его осадка увеличилась на 20 см. Каков вес помещенного на плот груза?



Рис. 91.3. С увеличением высоты архимедова сила уменьшается.

§ 59 (52). ВОЗДУХОПЛАВАНИЕ

Воздухоплавание – это полёт на аппаратах легче воздуха.

С давних времен люди мечтали о возможности летать над облаками, плавать в воздушном океане, как они плавали по морю. Для воздухоплавания вначале использовали воздушные шары (рис. 91.3).

Для того чтобы шар поднялся в воздух, необходимо, чтобы архимедова (выталкивающая) сила F_A , действующая на шар, была больше силы тяжести $F_{тяж}$, т. е. $F_A > F_{тяж}$. Шар должен быть легче вытесняемого им воздуха.

Самые первые шары наполняли нагретым воздухом – ведь он имеет меньшую плотность, чем холодный. Потом стали использовать газы, которые легче воздуха – водород (H_2) и гелием (He_2). Но от водорода пришлось отказаться из-за его взрывоопасности (рис. 30, а.1, гл.1).

По мере поднятия шара вверх архимедова сила, действующая на него, уменьшается ($F_A = \rho V$), так как плотность верхних слоев атмосферы меньше, чем у поверхности Земли. Чтобы подняться выше, с шара сбрасывают специально взятый для этой цели груз (балласт) и этим облегчают шар. В конце концов, шар достигает своей предельной высоты подъема.

В горизонтальном направлении воздушный шар перемещается только под действием ветра, поэтому он называется **аэростатом** (от греческого *аэр* – воздух, *статос* – стоящий). Для исследования верхних слоев атмосферы, стратосферы еще не так давно применялись огромные воздушные шары – **стратостаты**.

До того как научились строить большие самолеты для перевозки по воздуху пассажиров и грузов, применяли управляемые аэростаты – **дирижабли**, рис.92.3. Они имеют удлиненную форму, под корпусом подвешивается гондола для пассажиров и гондола с двигателем, который приводит в движение пропеллер (винт).



Рис. 92.3. Дирижабль

Воздушный шар не только сам поднимается вверх, но может поднять и некоторый груз: кабину, людей, приборы. Поэтому, для того чтобы узнать, какой груз может поднять воздушный шар, необходимо определить его **подъемную силу**.

Пусть, например, в воздух запущен шар объемом 40 м³, наполненный гелием. Масса гелия, заполняющая оболочку шара, будет равна: $m_{г} = \rho_{г}V = 0,1890 \frac{кг}{м^3} \cdot 40 м^3 = 7,2 кг$, а его вес равен: $P_{г} = g m_{г}; P_{г} = 9,8 \frac{кг}{м^3} \cdot 7,2 кг = 71 Н$. Выталкивающая (архимедова)

сила, действующая на этот шар в воздухе, равна весу воздуха объемом 40 м^3 , т.е.

$$F_A = g\rho_{\text{возд}}V; F_A = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} 40\text{ м}^3 = 520\text{ Н}.$$

Значит, этот шар может поднять груз весом $520\text{ Н} - 71\text{ Н} = 449\text{ Н}$. Это и есть его подъемная сила.

Шар такого же объема, но наполненный водородом, может поднять груз весом 479 Н . Значит, подъемная сила его больше, чем шара, наполненного гелием. Но все же используют гелий, так как он не горит и поэтому безопаснее.

Гораздо проще осуществить подъем и спуск шара, наполненного горячим воздухом. Для этого под отверстием, находящимся в нижней части шара, располагают горелку. При помощи газовой горелки можно регулировать температуру воздуха, а значит, его плотность и выталкивающую силу. Чтобы шар поднялся выше, достаточно сильнее нагреть воздух в нем, увеличив пламя горелки. При уменьшении пламени горелки температура воздуха в шаре уменьшается и шар опускается вниз, рис. 93.3.



Рис. 93.3. Воздух в оболочке шара подогревается газовой горелкой.

Можно подобрать такую температуру шара, при которой вес шара и кабины будет равен выталкивающей силе. Тогда шар повиснет в воздухе и с него будет легко проводить наблюдения.

По мере развития науки происходили и существенные изменения в воздухоплавательной технике. Появилась возможность создания новых оболочек для аэростатов, которые стали прочными, морозоустойчивыми и легкими.

Сейчас широко используются беспилотные аэростаты для изучения воздушных течений, для географических и медико-биологических исследований в нижних слоях атмосферы.



Вопросы

1. Почему воздушные шары наполняют водородом или гелием? 2. Как рассчитать подъемную силу шара, наполненного гелием? 3. Почему уменьшается выталкивающая сила, действующая на шар, по мере его подъема? 4. Как регулируют высоту подъема воздушного шара, наполненного горячим воздухом?

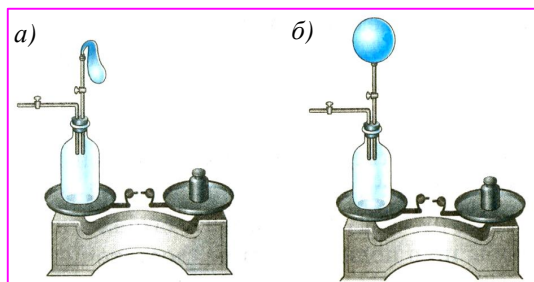


Рис. 94.3. а) в бутылке сжатый воздух; б) воздух из бутылки наполнил шарик, равновесие весов нарушилось. Почему?



Упражнение

1. На весах уравновешена бутылка, внутри которой находится сжатый воздух. Через пробку бутылки пропущена стеклянная трубка с краном, к наружному концу которой привязана оболочка резинового шара (рис. 94.3, а). Если часть воздуха из бутылки перейдет в

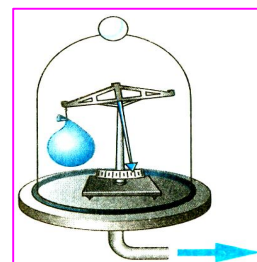


Рис. 95.3. Из под колокола откачали воздух. Равновесие нарушается. Почему?

оболочку и раздует ее (рис. 94.3, б), то равновесие весов нарушится. Объясните наблюдаемое явление.

2. На весах уравновешен легкий стеклянный шар. Если поместить весы под колокол воздушного насоса и откачать воздух, то равновесие весов нарушится (рис. 95.3). Почему?

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПАРАДОКС.

Свойством жидкости передавать во все стороны производимое на нее давление объясняется явление, известное в физике как «**гидростатический парадокс**» (этим словом называют неожиданное явление, не соответствующее обычным представлениям). Рассмотрим его.

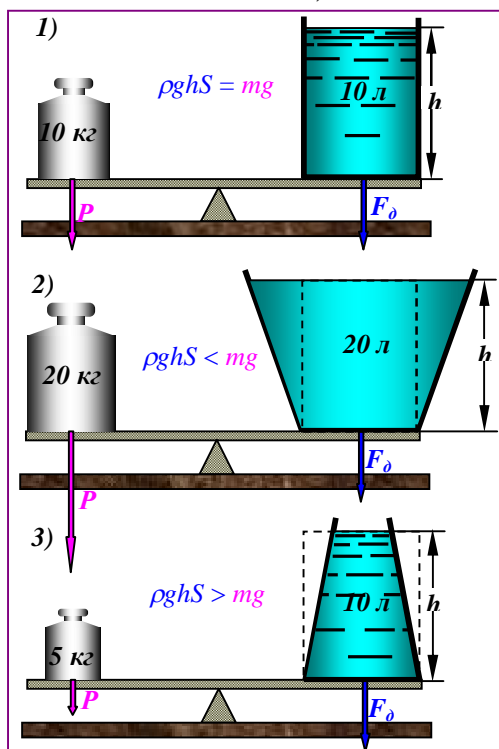


Рис. 1.1п. **Гидростатический парадокс.** Вес $P=mg$ сосудов различный, но сила давления на дно $F_{\delta} = \rho ghS$ каждого сосуда одинаковая.

На рис.1.1п изображены три сосуда *различной формы*, но с одинаковой площадью S дна и одинаковой высотой столба жидкости h в них. Масса жидкости m (а, следовательно, и вес $P=mg$) в этих сосудах, очевидно, различна, но давление p на дно S во всех трех сосудах одинаково, его можно рассчитать по формуле:

$$p = \rho gh.$$

А так как площадь дна S у всех сосудов одинакова, то и сила F_{δ} , с которой жидкость **давит на дно** этих сосудов, *одна и та же*:

$$F_{\delta} = \rho ghS.$$

Полученный вывод легко проверить на опыте с прибором, изображенным на рис. 2.1,п. Здесь дном трех сосудов (1,2,3) служит резиновая пленка, укрепленная в стойке прибора. Сосуды поочередно ввинчивают в стойку прибора и наливают в них воду. Дно при этом прогибается, и его движение передается стрелке. Опыт показывает, что *при одинаковых высотах столбов h воды в сосудах стрелка отклоняется на одно и то же число делений шкалы*. А это означает, что сила F_{δ} , с которой жидкость **давит на дно** сосуда, не зависит от формы сосуда.

Объясняется гидростатический парадокс тем, что, поскольку гидростатическое давление p всегда перпендикулярно к стенкам сосуда, сила давления на наклонные стенки имеет

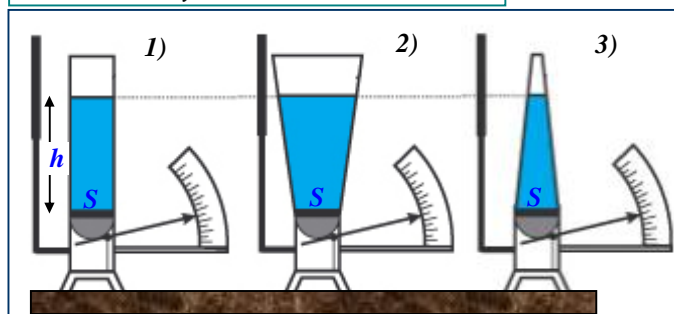


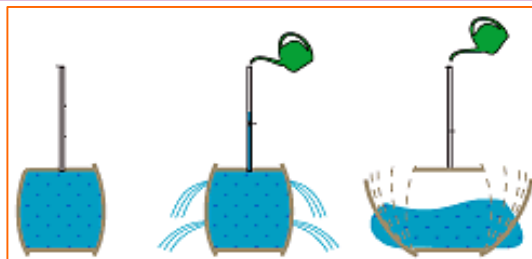
Рис 2.1п. Сила давления $F_{\delta} = \rho ghS$ на дно сосудов во всех случаях одинакова, но масса m , а следовательно и вес $P=mg$ жидкости в них – различный.

Гидростатический парадокс заключается в том, что вес жидкости P , налитой в сосуд, может отличаться от силы давления F_{δ} , оказываемой ею на дно сосуда.

В расширяющихся кверху сосудах (2) сила давления на дно F_{δ} меньше веса жидкости P , а в суживающихся (3) – больше. В цилиндрическом сосуде силы одинаковы (1).

вертикальную составляющую, которая компенсирует вес излишнего (против цилиндра 1) объема жидкости в сосуде 3 и вес недостающего объема жидкости в сосуде 2.

Это явление, обнаруженное Б. Паскалем (в 1654), многим казалось странным – **парадоксальным**. Паскаль особенно эффектно демонстрировал гидростатический парадокс в опыте с бочкой, описанном в § 45:



Приложение №2

ДАВЛЕНИЕ НА ДНЕ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ. ИССЛЕДОВАНИЕ МОРСКИХ ГЛУБИН

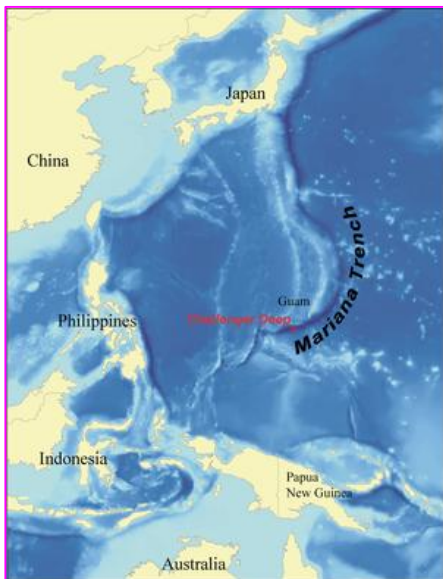


Рис. 1.2п. Западная часть Тихого океана. Местонахождение Марианской впадины и её глубочайшей точки – «Бездны Чалленджера» (Challenger Deep).

Большая часть поверхности земного шара (около 2/3) покрыта морями и океанами. Глубины океанов достигает нескольких километров. Поэтому там огромное давление. Так, например, на глубине 10 км давление составляет около $100000000 \text{ Па} = 100 \text{ МПа}$. Марианская впадина на западе Тихого океана – глубочайшая из известных на Земле, имеет глубину около 11 км, рис. 1.2п.

Несмотря на это, вследствие малой сжимаемости воды, плотность ее на дне океанов лишь немного больше, чем вблизи поверхности.

Как показывают специальные исследования, и на таких больших океанских глубинах живут рыбы и некоторые другие живые существа. Организм этих рыб приспособлен к существованию в условиях большого

давления. Их тела способны выдержать давление в миллионы *паскалей*. Понятно, что такое же давление существует и внутри самих рыб.

Человек при специальной тренировке может без особых предохранительных средств погружаться на глубины до 80 м, давление воды на таких глубинах около 800 кПа. На больших глубинах, если не принять специальных мер защиты, грудная клетка человека может не выдержать давления воды.

При очистке дна рек, ремонте подводных частей кораблей, плотин, при подъеме затонувших судов людям приходится работать под водой на разной глубине. Для этого применяют специальные *водолазные костюмы* (рис. 2.2п). Водолазный костюм изготавливают из прорезиненной ткани и надевают его поверх теплой одежды. На верхнюю часть костюма навинчивают металлический шлем с окошками из толстого стекла. Ботинки водолаза имеют свинцовые подошвы, а на его грудь и спину надевают свинцовые грузы, иначе водолаз в своем костюме не погрузится в воду. В шлем по шлангу непрерывно подают воздух для дыхания. Водолазы могут осуществлять под водой самые разные работы: производить осмотр и ремонт подводной части корабля, готовить к подъему затонувшие суда, производить сварку, бурение скважин и т. д. Однако шланг стесняет движения водолаза под водой и уменьшает расстояние, на которое он может удалиться от места погружения.

Среди исследователей Мирового океана следует назвать французского учёного, одного из изобретателей акваланга, **Жака Ива Кусто**, рис 2.2л; 3.2п. В снаряжение аквалангиста входят прорезиненный костюм, баллоны со сжатым воздухом, маска, ласты. Значительно расширяет возможности аквалангиста подводный двигатель небольших

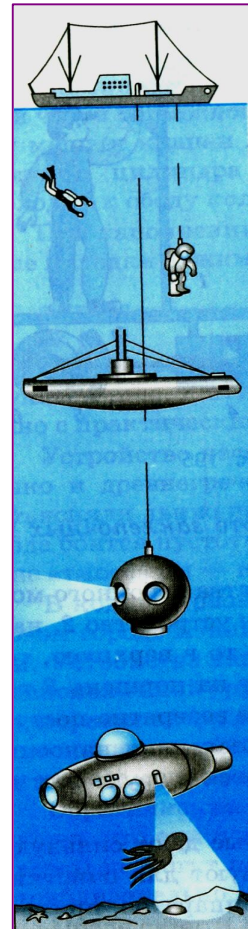
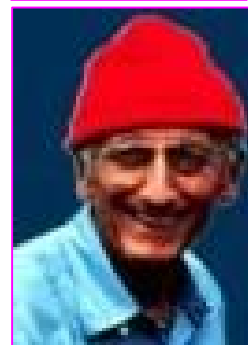


Рис. 2.2п. Исследование морских глубин.



Жак-Ив Кусто (1913-1997) французский океанограф. Его книга "Мир Безмолвия" и её экранизация открыли мир океана для широкой публики.

размеров. Акваланг очень удобен, т. к. не требует воздушного шланга. В зависимости от глубины погружения (до 90 м) аквалангисты могут находиться под водой до часа и более.

Для подводных работ некоторые экспедиции используют *водолазный колокол*, *рис. 3.2п, г*). Это настоящий подводный дом на морском дне. Но про него нельзя сказать, что он утонул: воды в нем нет (принцип его работы понятен из *рис. 3.2п, д*). С исследовательского судна его опускают на дно. Зная глубину в данном месте, можно заранее определить высоту, на которую войдет вода в колокол. На этом уровне сооружается пол. В таком доме есть научные и бытовые отсеки. В нем живут и работают исследователи. Облачаясь в гидрокостюмы или водолазные костюмы, через двойную дверь они могут покидать колокол для выполнения необходимых работ. В течение нескольких суток акванавты не поднимаются на поверхность. Они имеют

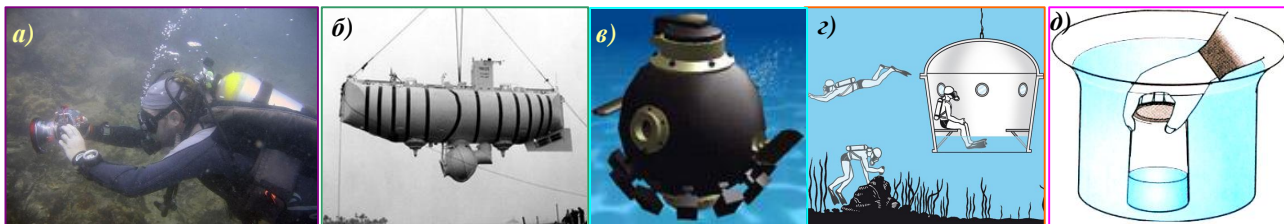


Рис. 3.2п. Устройства для исследования подводного мира: а) плавание с аквалангом; б) батискаф Триест, на котором в 1960 г. было совершено погружение в Марианскую впадину; в) батисфера; г) аквалангисты и водолазный колокол; д) принцип работы водолазного колокола.

телефонную связь с сушей или судном, по шлангу в колокол подается воздух, в отсеках есть освещение, созданы все бытовые условия. Но воздух в колоколе сжат, и люди непрерывно находятся под давлением, которое существует на глубине погружения.

Но больше чем на 250 м человек даже в жестком скафандре погружаться не может.

Для исследования моря на больших глубинах используют *батискафы* и *батисферы* (см. *рис. 2.2п; 3.2п*). Батискаф имеет собственный двигатель и может передвигаться на большой глубине в любом направлении, может удаляться от места погружения. Первый батискаф создал швейцарский ученый *Огюст Пикар*.

Батисферу опускают в море на стальном тросе со специального корабля.



Рис. 4.2п. Так выглядит дно океана.

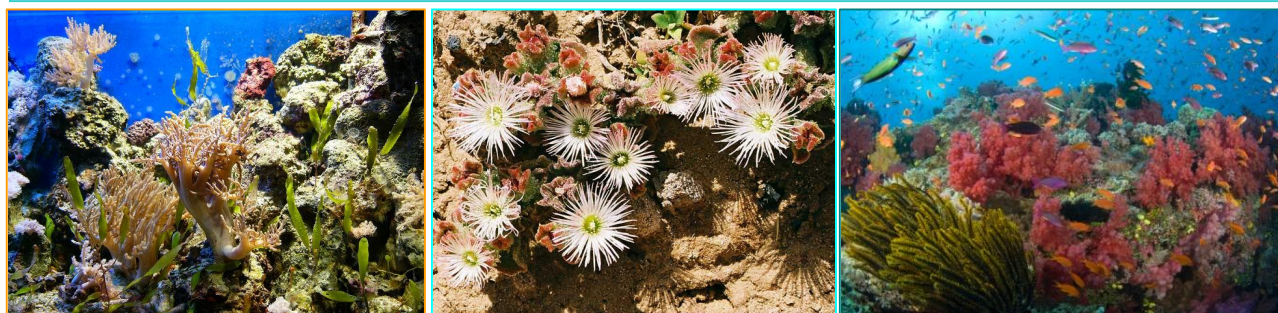


Рис. 5.2п. Так выглядит дно морей.

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ИНСТРУМЕНТЫ

Свойство газов передавать давление используют в технике при устройстве различных пневматических машин (от латинского *пневматикос* – воздушный; это машины, работающие посредством сжатого воздуха) и инструментов.

На *рис.1.3п* показано устройство простейшего насоса для накачивания мячей, велосипедных и автомобильных камер. Воздух поступает в цилиндрический корпус насоса через впускное отверстие. При вытягивании рукоятки поршень-клапан (он выполнен из кожи) поднимается вверх, свободно пропуская воздух в нижнюю часть цилиндра, под поршень. При опускании поршня воздух под ним сжимается, плотно прижимая его кожаный ободок к стенкам цилиндра, так что воздух через ниппель выталкивается в камеру.



Рис. 1.3п. Устройство велосипедного насоса.

Ниппель представляет собой тонкую металлическую трубку с отверстием в боковой стенке. Он либо расположен на конце шланга, либо вмонтирован в камеру (мяча, велосипеда). На него плотно надета узенькая резиновая трубочка. Когда воздух под давлением выталкивается из насоса, трубочка раздувается и пропускает его в камеру. Обрато воздух через трубочку пройти не может.

Обратите внимание, что свойством *пропускать воздух только в одном направлении* – из области высокого давления в область низкого давления, но не пропускать его в обратную сторону, в данном устройстве обладают поршень (из кожи) и ниппель (с резиновой трубкой). Такие элементы в технике называют *обратными клапанами*. Они используются почти во всех пневматических механизмах.

На *рис. 2.3п* изображена схема устройства пневматического тормоза железнодорожного вагона. Когда *магистраль*, *тормозной цилиндр* и *резервуар* заполнены сжатым воздухом, его давление на поршень *тормозного цилиндра* справа и слева одинаково, тормозные *колодки* при этом не касаются *колес*.

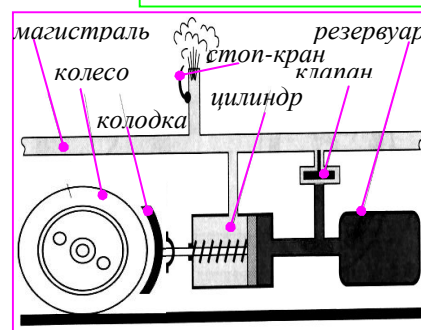


Рис. 2.3п. Схема пневматического тормоза вагона.

При открывании *стоп-крана* сжатый воздух выпускается из *магистральной трубы*, вследствие чего давление в правой части тормозного *цилиндра* уменьшается. Сжатый же воздух, находящийся в левой части тормозного *цилиндра* и в *резервуаре*, выйти не может. Этому мешает обратный *клапан*. Под действием сжатого воздуха поршень *тормозного цилиндра* перемещается вправо, прижимая тормозную *колодку* к ободу *колеса*, от чего и происходит торможение.

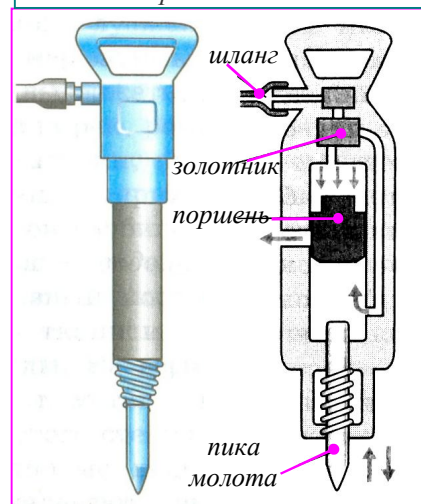


Рис. 3.3п. Схема устройства отбойного молотка

При наполнении *магистральной трубы* сжатым воздухом тормозные *колодки* отжимаются пружинами от *колес*.

Сжатый воздух используют для работы *заклёпочных* и *отбойных молотков*, *рис. 3.3п*. На этом рис. справа показана схема устройства *отбойного молотка*. Сжатый воздух подают по в него *шлангу*. Особое устройство, называемое *золотником*, направляет его поочередно то в верхнюю, то в нижнюю часть цилиндра. Поэтому воздух давит на *поршень* то с одной, то с другой стороны, что вызывает быстрое возвратно-поступательное движение *поршня* и *пика*

молота. Последняя наносит быстро следующие друг за другом удары, внедряется в грунт, асфальт или в уголь и откалывает его куски.

Существуют пескоструйные аппараты, которые дают сильную струю воздуха, смешанную с песком. Их используют для очистки стен. Нередко можно видеть работу специальных аппаратов для окраски стен, где краску распыляет сжатый воздух.

Сжатым воздухом открывают двери вагонов поездов метро, автобусов и троллейбусов.



Рис.4.3п. Пневматические машины: полировальная машина; дрель угловая; сверлильная машина.

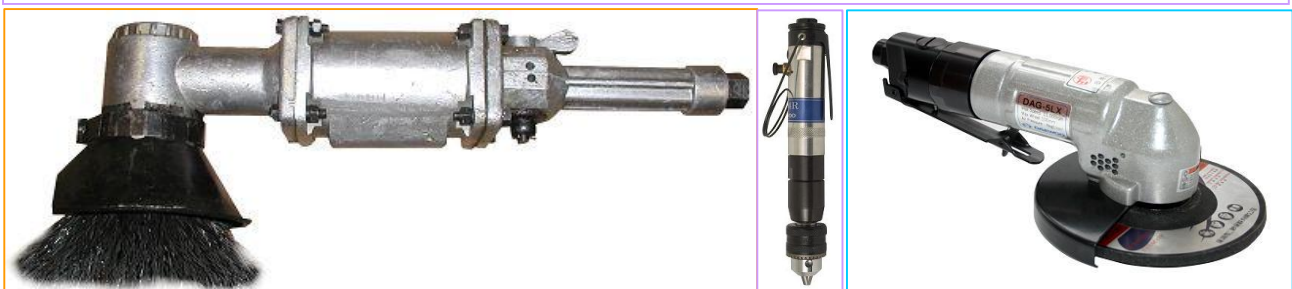


Рис. 4а.3п. Пневматические машины: щётка; дрель для мелких работ; отрезная машина.



Рис. 5.3п. Воздушные компрессоры для пневмоинструмента.



Рис. 6.4п. Надувная лодка; надувной бассейн; надувной матрас; надувные шины (не только у велосипедов автомобилей).



Рис. 6а.4п. Надувные игрушки; надувная мебель; роспись мобильных телефонов (автомобилей и многого другого), выполненная аэрографом (воздушным краскораспылителем).

Здесь упоминается лишь малая часть пневматических устройств, созданных человеком на основе закона Паскаля.

Приложение №4

АТМОСФЕРА ЗЕМЛИ.

Атмосфера Земли (от греч. *atmos* – пар и *sphaira* – шар) – воздушная оболочка вокруг Земли, вращающаяся вместе с нею. Воздух у поверхности Земли состоит, в основном, из азота и кислорода, *рис.1.4п.*

По своему строению атмосфера Земли напоминает многоэтажный дом, *рис.2.4п.*

Первый "этаж" – **тропосфера**: высотой 0–12 км над уровнем моря, содержит 4/5 массы всего воздуха, температура падает с высотой, здесь зарождаются облака. Тропосфера нагревается излучением земной поверхности.

Второй "этаж" – **стратосфера**: 12 – 55км над уровнем моря, содержит 1/5 всего воздуха; это царство стужи с температурой около минус 40 градусов Цельсия, здесь расположен озоновый слой. Озон поглощает ультрафиолетовое излучение в области, защищая жизнь на поверхности Земли.

Третий "этаж" – **мезосфера**: 50–85 км над уровнем моря, воздух сильно разрежен, давление составляет 1/25000 от нормального атмосферного давления.

Четвертый "этаж" – **термосфера**: 85–800 км Температура увеличивается с высотой. Днем на высоте 400 км около 1500° С. Плотность воздуха исключительно мала, здесь возгораются падающие метеоры. Ультрафиолетовое и рентгеновское излучение Солнца ионизует молекулы воздуха. Поэтому *термосферу* называют *ионосферой*. От ионосферы отражаются радиоволны.

Пятый "этаж" – **экзосфера**: Свыше 800 км. Это внешняя оболочка атмосферы, здесь самое сильное разрежение воздуха; признаки частиц воздуха прослеживаются до высоты более 1000 км. Молекулы движутся с огромными скоростями, иногда улетаю в межпланетное пространство.

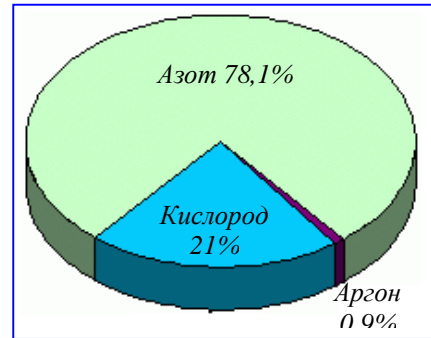


Рис. 1.4п. Состав атмосферы у поверхности Земли.



Рис. 3.4п. Без атмосферы на Земле не было бы закатов, радуг, снегов, облаков. Исчезли бы все формы жизни.

Приложение №5

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Изучение атмосферного давления имеет поучительную историю. Как и многие другие научные открытия, оно тесно связано с практическими потребностями людей.

Устройство *насоса* было известно еще в глубокой древности. Однако и древнегреческий ученый Аристотель, и его последователи объясняли движение воды за поршнем в трубе насоса тем, что «природа боится пустоты». Истинная же причина этого явления - давление атмосферы – им была неизвестна.

В конце первой половины XVII в. во Флоренции – богатом торговом городе Италии – строили так называемые *всасывающие насосы*.

Устройство такого насоса несложно: он состоит из вертикально расположенной трубы, внутри которой имеется поршень. При подъеме поршня вверх за ним поднимается вода, как в опыте, изображенном на *рис. 47.3.*

При помощи этих насосов хотели поднимать воду на большую высоту, но насосы отказывались это делать, *рис. 1.5п.*

На поверхность тела человека действует сила в 160000 Н! И человек не ощущает этого груза, так как большая часть тканей его организма содержит жидкости и газы, находящиеся под давлением, близким к атмосферному.

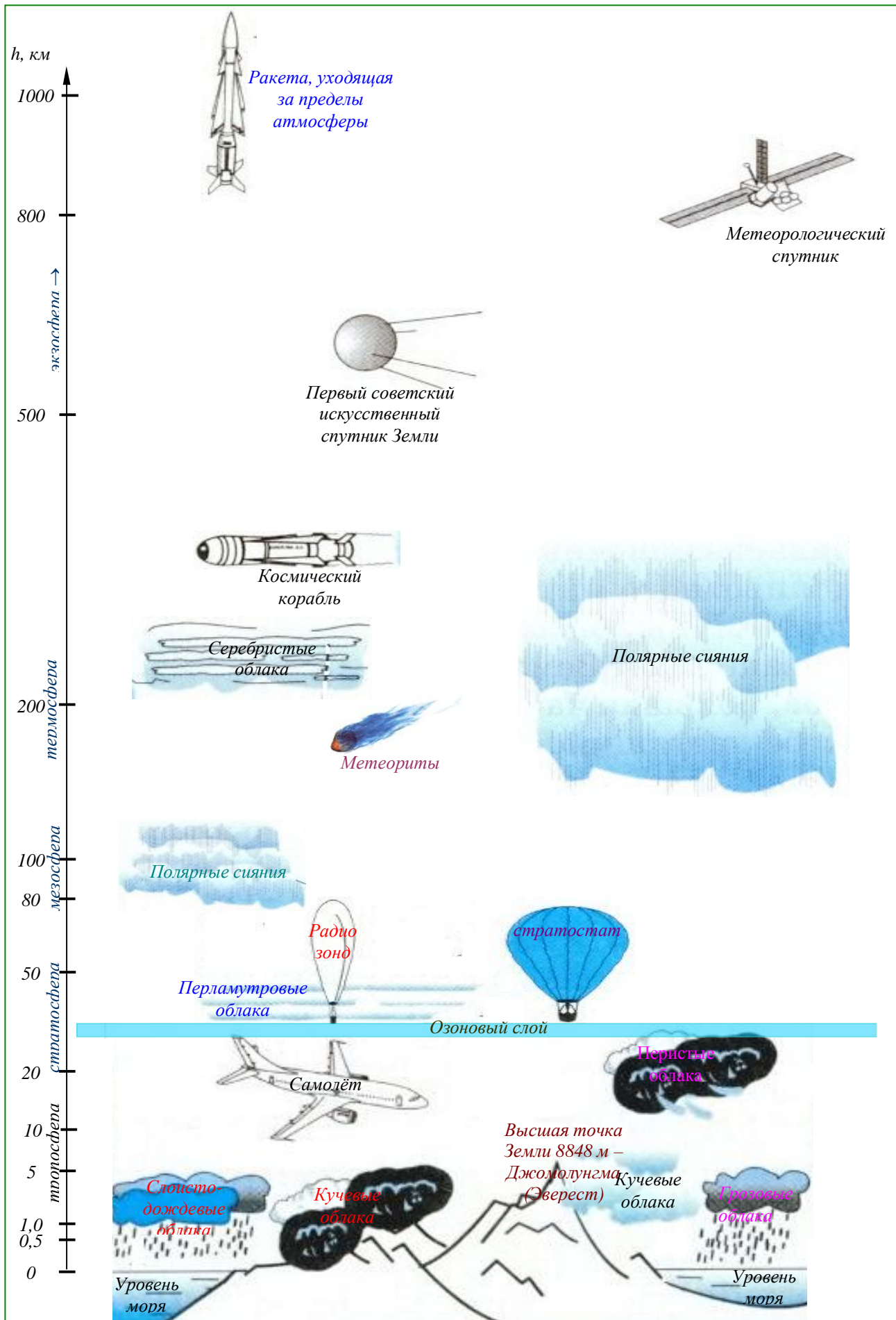


Рис. 2.4п. Пять «этажей» атмосферы Земли: тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера, мезосфера.

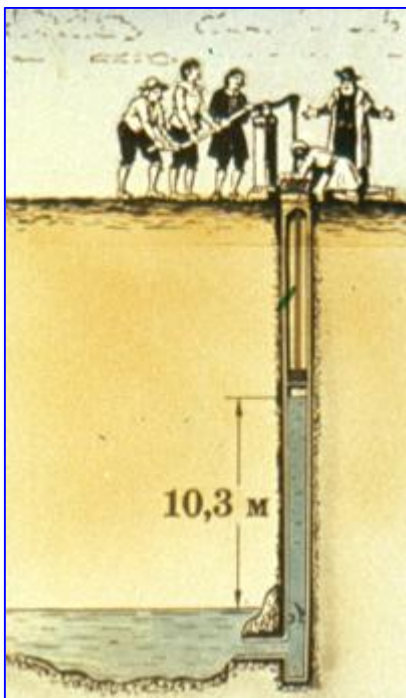


Рис. 1.5п. Впервые весомость воздуха привела людей в замешательство в 1638 году, когда не удалась затея герцога Тосканского украсить сады Флоренции фонтанами - вода не поднималась выше 10,3 м.

Обратились за советом к Галилею. Галилей исследовал насосы и нашел, что они исправны. Занявшись этим вопросом, он указал, что насосы не могут поднять воду выше, чем на 18 итальянских локтей (приблизительно 10 м). Но разрешить вопрос до конца он не успел.

После смерти Галилея эти исследования продолжил его ученик – Торричелли, который занялся изучением явления *поднятия воды за поршнем в трубе насоса*. Для опыта он предложил использовать длинную стеклянную трубку, а вместо воды взять ртуть. Впервые такой опыт (§ 49) был проделан его учеником Вивиани в 1643 г.

Раздумывая над этим опытом, Торричелли пришел к заключению, что истинной *причиной поднятия в трубке ртути является давление воздуха*, а не «боязнь пустоты». Это давление производит воздух своим весом (что воздух имеет вес – было уже доказано Галилеем).

Об опытах Торричелли узнал французский ученый Паскаль. Он повторил опыт Торричелли с ртутью и водой. Однако Паскаль считал, что для окончательного доказательства факта существования атмосферного давления необходимо проделать опыт Торричелли один раз у подножия какой-нибудь горы, а другой раз на вершине ее и измерить в обоих случаях высоту ртутного столба в трубке. Если бы на вершине горы столб ртути оказался ниже, чем у подножия

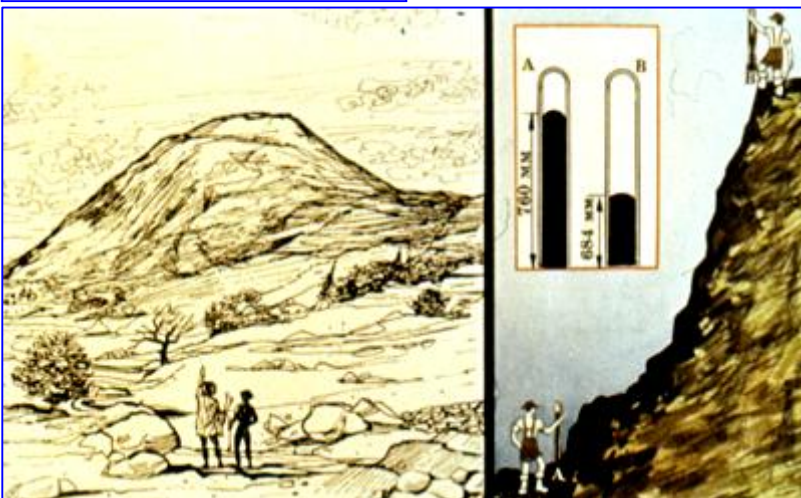


Рис. 2.5п. Правильность предположения Торричелли была подтверждена в 1648г. опытом Паскаля на горе Пью-де-Дом. Паскаль доказал, что меньший столб воздуха оказывает меньшее давление.

ее, то отсюда следовало бы заключить, что ртуть в трубке действительно поддерживается атмосферным давлением.

«Легко понять, – говорил Паскаль, – что у подножий горы воздух оказывает большее давление, чем на вершине ее, меж тем как нет никаких оснований предполагать, чтобы природа испытывала большую боязнь пустоты внизу, чем вверху».

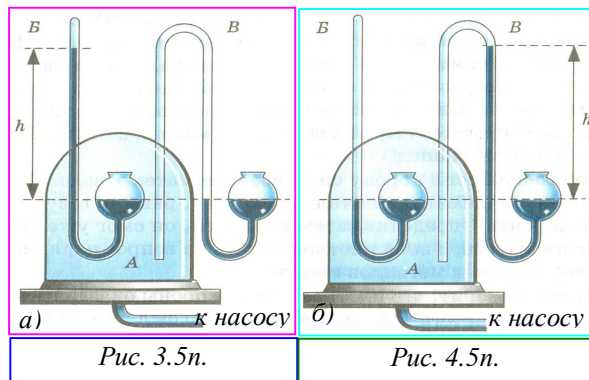
Такой опыт был проведен, он показал, что давление воздуха на вершине той горы, где проводились опыты, было почти

на 100 мм рт. ст. меньше, чем у подножия горы, рис. 2.5п. Но Паскаль этим опытом не ограничился. Чтобы еще раз доказать, что ртутный столб в опыте Торричелли удерживается атмосферным давлением, Паскаль поставил другой опыт, который он образно назвал доказательством пустоты в пустоте.

Опыт Паскаля можно осуществить с помощью прибора, изображенного на рис. 3.5п, где *A* – прочный полый стеклянный сосуд, в который пропущены и впаяны две трубки: одна – от барометра *B*, другая (трубка с открытыми концами) – от барометра *B*.

Прибор устанавливают на тарелку воздушного насоса. В начале опыта давление в сосуде *A* равно атмосферному, оно измеряется разностью высот *h* столбов ртути в барометре *B*. *B*

барометре же **B** ртуть стоит на одном уровне. Затем из сосуда **A** воздух выкачивается насосом. По мере удаления воздуха уровень ртути в левом колене барометра **B** понижается, а в левом колене барометра **B** повышается. Когда воздух будет полностью удален из сосуда **A**, уровень ртути в узкой трубке барометра **B** упадет и сравняется с уровнем ртути в его широком колене. В узкой же трубке барометра **B** ртуть под действием атмосферного давления поднимается на высоту h (рис. 4.5н). Этим опытом Паскаль еще раз доказал существование атмосферного давления.



Опыты Паскаля окончательно опровергли теорию Аристотеля «боязни пустоты» и подтвердили существование атмосферного давления.

Приложение №6

ОБ АРХИМЕДЕ – ОДНОМ ИЗ ВЕЛИЧАЙШИХ УЧЁНЫХ ДРЕВНЕЙ ГРЕЦИИ



Рис. 1.6п. Архимед (287-212 г. до н. э.) родился в г. Сиракузы на о. Сицилия на Средиземном море.

Архимед жил так давно, что память о нем обросла вымыслами и легендами. Одна из легенда повествует о том, как Архимед пришел к открытию выталкивающей силы, действующей на тела, погруженные в жидкость (или газ).

Он размышлял над задачей, заданной ему сиракузским царём Гиероном (250 лет до н. э.). Царь Гиерон поручил ему проверить честность мастера, изготовившего золотую корону. Хотя корона весила столько, сколько было отпущено на нее золота, царь заподозрил, что она изготовлена из сплава золота с другими, более дешевыми металлами. Архимеду было поручено узнать, не ломая короны, есть ли в ней примесь.

Достоверно неизвестно, каким методом пользовался Архимед, но можно предположить следующее. Сначала он нашел, что кусок чистого золота в 19,3 раза тяжелее такого же объема воды. Иначе говоря, плотность золота в 19,3 раза больше плотности воды.

Архимеду надо было найти плотность вещества короны. Если эта плотность оказалась бы больше плотности воды, не в 19,3 раза, а в меньшее число раз, значит, корона была изготовлена не из чистого золота.

Взвесить корону было легко, но как найти ее объем? Вот что затрудняло Архимеда, ведь корона была очень сложной формы. Много дней мучила Архимеда эта задача. И вот однажды, когда он, находясь в бане, погрузился в наполненную водой ванну, его внезапно осенила мысль, давшая решение задачи. Ликующий и возбужденный своим открытием, Архимед воскликнул: «Эврика! Эврика!», что значит: «Нашел! Нашел!», рис. 1.6п.

Архимед взвесил корону сначала в воздухе, затем в воде. По разнице в весе он рассчитал выталкивающую силу, равную весу воды в объеме короны. Определив затем объем короны, он смог уже вычислить ее плотность, а

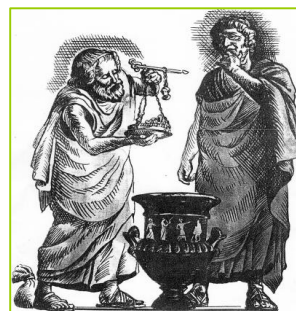


Рис. 2.6п. Архимед определяет объём короны Гиерона по изменению уровня воды в сосуде после погружения туда короны.

зная плотность, ответить на вопрос царя: нет ли примесей дешевых металлов в золотой короне?

Легенда говорит, что плотность вещества короны оказалась меньше плотности чистого золота. Тем самым мастер был изобличен в обмане, а наука обогатилась замечательным открытием.

Историки рассказывают, что задача о золотой короне побудила Архимеда заняться вопросом о плавании тел. Результатом этого было появление замечательного сочинения «*О плавающих телах*», которое дошло до нас.

В этом сочинении он впервые сформулировал свой бессмертный принцип: **"*Всякое тело при погружении в жидкость теряет в своем весе столько, сколько весит вытесненная им жидкость*"**.

Это положение, получившее название «закона Архимеда», наиболее часто вспоминают в связи с именем одного из величайших учёных далёкого прошлого. Но Архимед был ещё и крупнейшим инженером своего времени.

Ему принадлежит десятки изобретений, в том числе и чрезвычайно сложный по конструкции планетарий – механизм, который показывает движение небесных тел с геоцентрической точки зрения. Но основные его изобретения относятся к области военной техники. Им созданы метательные машины, способные бросать с большой скоростью камни массой около 250 кг; машины, которые с помощью крюков поднимали из воды суда противника и переворачивали их; механизмы, бросающие с берега на суда тяжелые бревна.

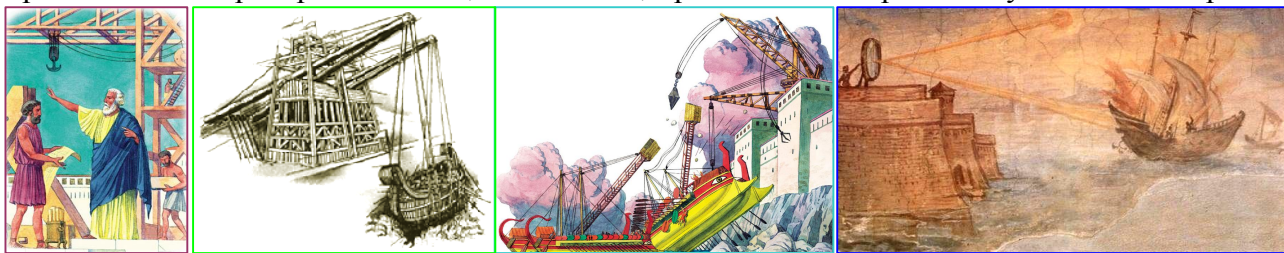


Рис. 3.6п. Основные изобретения Архимеда относятся к механизмам и военной технике, эффективно используемой при защите Сиракуз от римлян.

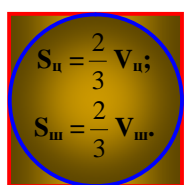
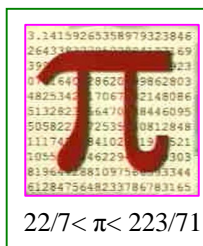
Вся созданная им военная техника нашла свое эффективное применение при защите Сиракуз от атаки римлян, возглавляемых полководцем Марцеллом. Приведенные в действие машины Архимеда привели в ужас атакующих римлян, а сам Марцелл вынужден был невесело пошутить: "Что же, придется нам прекратить войну против геометра". После чего он отвел флот и сухопутные войска от стен Сиракуз, перейдя к длительной осаде. И только предательство помогло римлянам захватить город. В ходе захвата Архимед, занятый своими вычислениями, погиб от меча римского воина, успев, как гласит предание, воскликнуть: "Не тронь чертежи!!!"

Как физик Архимед заложил основы статики, разработав теорию рычага. Им широко использовались блоки и их системы – полиспасты. Легенда утверждает, что он с помощью полиспастов одним движением руки спустил на воду огромный и тяжелый корабль "Сирокозия", построенный царем Гиероном. Это и послужило поводом для его крылатой фразы: "Дайте мне точку опоры, и я сдвину Землю!"

Знания Архимеда по оптике были также обширны. Сохранилась легенда о том, что в борьбе с римским флотом он использовал вогнутые зеркала, поджигая корабли противника солнечными лучами (на *рис 2.6п*, справа). По поводу возможности такого действия в наши дни было много споров, однако, греческими же физиками в 1973 г. экспериментально была доказана обоснованность этого предания об Архимеде. Интересно, что в качестве вогнутых зеркал, по мнению физиков, служили металлические щиты воинов.

Величие Архимеда как математика состоит в его фундаментальных работах по геометрии: им введено число "пи"; доказано, что объемы цилиндра, шара и конуса, имеющих одинаковую высоту и ширину, относятся, как 3:2:1. Считая последнюю теорему самым важным своим открытием, Архимед завещал начертить на своей надгробной плите цилиндр

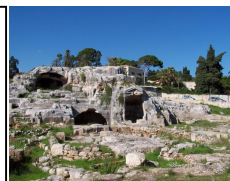
с вписанным в него шаром и конусом и подписать соотношение их объемов "3:2:1". Именно по изображению на надгробной плите указанных фигур через 137 лет после смерти могила Архимеда была найдена Цицероном.



Шар и цилиндр

Я вдруг обнаружил маленькую колонну, вершина которой поднималась из зарослей. На ней были изображены шар и цилиндр, которые я искал. Я тотчас же сказал сопровождавшим меня, что перед нами, несомненно, могильный памятник Архимеда.

Цицерон

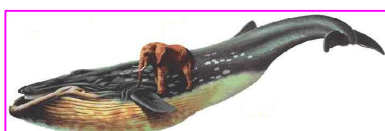


Гробница Архимеда

Архимед с высокой точностью вычислил отношение длины окружности к её диаметру (число π), впервые стал вычислять площади поверхностей и объёмы цилиндра, шара, конуса. Он изъявил желание иметь эпитафией на своем гробу шар, вписанный в цилиндр,

Это любопытно!

Знаешь ли ты, что:



Плотность организмов, живущих в воде, почти не отличается от плотности воды. Именно поэтому в воде живут самые крупные живые существа – киты. При этом даже им не нужны прочные скелеты!

Рыбы регулируют глубину погружения, меняя среднюю плотность своего тела. Для этого им необходимо лишь изменить объем плавательного пузыря, сокращая или расслабляя мышцы.



Плавательный пузырь красноперки



Крупнейшей медузой в мире считается арктическая гигантская медуза (Cyanea), обитающая в Северо-Западной Атлантике. Одна из таких медуз, выброшенная на берег в Массачусетском заливе, имела диаметр колокола 2,28 м, а ее щупальца простирались на 36,5 м. Каждая такая медуза в течение жизни съедает около 15 тыс. рыбок. Это самое длинное животное на Земле!

Чилим (водяной орех) после цветения дает под водой тяжелые плоды. Они настолько тяжелы, что способны увлечь на дно все растение. Однако в это время у чилима, растущего в глубокой воде, на черешках листьев возникают вздутия, придающие ему подъемную силу, и он не тонет.



Чилим (водяной орех): а) плод; б) летом; в) осенью.

Подумай и ответь

1. Плотность тела определяется взвешиванием его в воздухе и в воде. При погружении небольшого тела в воду на его поверхности удерживаются пузырьки воздуха, из-за которых получается ошибка в определении плотности. Больше или меньше получается при этом значение плотности?
2. Какое заключение можно сделать о величине архимедовой силы, проводя соответствующие опыты на Луне, где сила тяжести в шесть раз меньше, чем на Земле?
3. Действуют ли на искусственном спутнике Земли архимедова сила и закон Паскаля?