

# ГЛАВА IV

## ДАВЛЕНИЕ. ЗАКОН АРХИМЕДА И ПЛАВАНИЕ ТЕЛ



## § 16. Давление твёрдых тел

### 1. Давление

Когда человек идёт по рыхлому снегу, он проваливается. Но когда он становится на лыжи, то может идти по такому же снегу (рис 16.1).



Рис. 16.1

1. Как изменяется сила, с которой человек давит на снег, когда он становится на лыжи?

Но если человек, стоя на лыжах, давит на снег с *большой силой*, то почему же он не проваливается в снег?

Дело в том, что при этом сила давления человека на снег хотя и увеличивается немного, но зато распределяется на значительно *большую площадь*.

2. Оцените: во сколько раз увеличивается площадь соприкосновения человека с опорой, когда он становится на лыжи? Для оценки примите, что подошвы взрослого человека имеют форму прямоугольников со сторонами 30 см и 10 см, а каждая лыжа имеет форму прямоугольника со сторонами 210 см и 10 см.

Мы говорим: стоящий на лыжах человек оказывает на снег *меньшее давление*.

Давлением  $p$  называют отношение модуля силы давления  $\vec{F}$ , действующей перпендикулярно поверхности, к площади  $S$  этой поверхности:

$$p = \frac{F}{S}.$$

Давление, в отличие от силы давления, характеризуется только числовым значением: *давление не имеет направления*. Физические величины, которые характеризуются только числовым значением, называют *скалярными*.

3. Приведите другие примеры скалярных величин.
4. Во сколько раз уменьшается давление, оказываемое человеком на снег, когда он становится на лыжи? Воспользуйтесь данными из предыдущих задач этого параграфа и примите, что массой лыж по сравнению с массой человека можно пренебречь.

## 2. Давление, оказываемое различными телами

### Ставим и решаем задачи

У нас появилась новая формула, а вместе с ней — новые задачи.

5. Используя формулу  $p = \frac{F}{S}$ , объясните, какими двумя способами можно: а) увеличить давление; б) уменьшить давление?
6. Изменяется ли сила давления человека на пол, когда он поднимает одну ногу? Изменяется ли при этом давление человека на пол, и если да, то как?
7. Почему вездеходы ставят на гусеницы или на очень большие колёса (рис. 16.2)?



Рис. 16.2

8. Почему острый нож режет, а тупой — не режет?
9. Поставьте вопрос по рисунку 16.3 и дайте ответ на него.



Рис. 16.3

10. Длина кирпича в 2 раза больше его ширины, а ширина — в 2 раза больше толщины (рис. 16.4).
- а) В каком из показанных положений кирпич оказывает на опору наименьшее давление? наибольшее?

- б) Во сколько раз отличаются наибольшее и наименьшее давление?

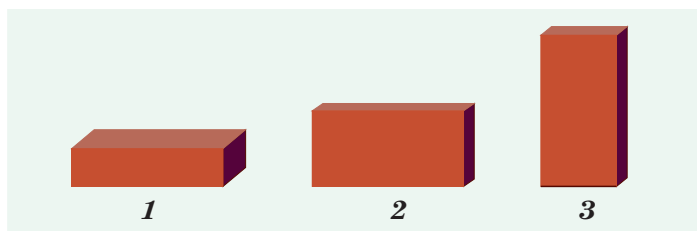


Рис. 16.4

### Единица давления

11. Докажите, что единицей давления в СИ является  $\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ .

Эту единицу давления называют *паскаль* (Па) в честь французского учёного Блеза Паскаля. Мы увидим далее на примерах, что давление 1 Па — очень малое по «человеческим» меркам.

### Ставим и решаем задачи



12. Используя формулу  $p = \frac{F}{S}$ , составьте и решите задачи:
- на нахождение давления по известным силе давления и площади, на которую действует эта сила;
  - на нахождение силы давления по известным давлению и площади, на которую действует сила давления;
  - на нахождение площади, на которую действует сила давления, по известным силе давления и давлению.
13. Человек массой 60 кг стоит на полу. Площадь одной подошвы человека 150 см<sup>2</sup>.
- С какой силой давит человек на пол? Как называется эта сила?
  - На какую площадь действует сила давления со стороны человека?
  - Чему равно давление человека на пол?
14. На столе лежит большой лист бумаги массой 100 г и площадью 1 м<sup>2</sup>, а рядом с ним — небольшой лист *такой же* бумаги.
- Одинаковое ли *давление* оказывают на стол большой лист и небольшой лист?
  - Чему равно это давление?

**Похожая задача**

15. Рядом с трактором массой 6 т стоит тракторист массой 80 кг. Площадь соприкосновения одной гусеницы трактора с почвой равна 200 дм<sup>2</sup>. Площадь одной подошвы тракториста равна 250 см<sup>2</sup>. Трактор или тракторист оказывает большее давление на грунт? Насколько большее?

**ХОЧЕШЬ УЗНАТЬ БОЛЬШЕ?****3. Давление и плотность****Ставим и решаем задачи**

16. Медный куб оказывает давление на стол, равное 4 кПа.
- Обозначьте плотность меди  $\rho$ , а длину ребра куба  $a$ . Выразите массу куба  $m$  через эти величины.
  - Выразите давление  $p$ , оказываемое кубом на стол, через  $\rho$  и  $a$ .
  - Вычислите длину ребра куба.
  - Чему равна масса куба?

**Похожая задача**

17. Как изменится давление куба на стол, если заменить куб другим кубом, длина ребра которого в 10 раз больше, если оба куба изготовлены из одного и того же вещества? Попробуйте решить задачу устно.
18. Алюминиевый куб оказывает на стол в 2 раза меньшее давление, чем медный.
- Чему равно отношение длины ребра алюминиевого куба к длине ребра медного куба?
  - Чему равно отношение массы алюминиевого куба к массе медного куба?

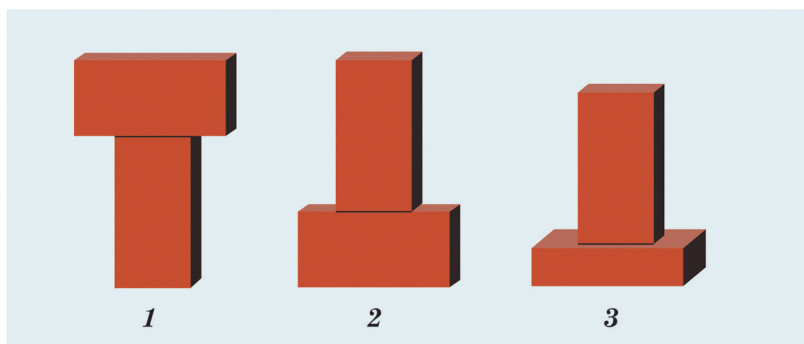
**ЧТО МЫ УЗНАЛИ**

- Давлением  $p$  называют отношение модуля силы давления  $\vec{F}$ , действующей перпендикулярно поверхности, к площади  $S$  этой поверхности:  $p = \frac{F}{S}$ .
- Единицей давления в СИ является *паскаль*:  $1 \text{ Па} = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2}$ .



**? ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ****Базовый уровень**

19. Предложите различные способы изменения давления. Приведите примеры применения этих способов.
20. С какой целью швея надевает напёрсток на палец? Поясните свой ответ, используя понятие давления.
21. Почему рюкзаки для дальних походов делают с широкими лямками?
22. Сравните нижний край лопаты для рытья земли с верхним краем (если у вас дома нет лопаты, найдите её изображение в Интернете). Какие отличия вы заметили? Чем они обусловлены?
23. Сравните значения давления, которое оказывают на стол кирпичи, изображённые на рисунке 16.5. Длина кирпича в 2 раза больше его ширины, а ширина — в 2 раза больше толщины.

**Рис. 16.5**

24. Как изменится давление, если увеличить силу давления в 2 раза, а площадь, на которую она действует, увеличить в 4 раза?
25. Какое давление на стол оказывает куб массой 5 кг с длиной ребра 10 см?
26. Насколько увеличится давление кастрюли на стол, если в неё налить воду объёмом 3,9 л? Площадь дна кастрюли 13 дм<sup>2</sup>.
27. Расположите в порядке возрастания значения давления: 0,05 Н/м<sup>2</sup>; 2 гПа; 3 кПа; 20 Н/см<sup>2</sup>; 50 Па.

**Повышенный уровень**

28. Стоящий на лыжах школьник массой 48 кг давит на снег с силой 2,5 кПа. Чему равна длина части лыж, соприкасающейся со снегом, если ширина одной лыжи 6 см?
29. Чему равно давление, которое оказывает на пол табурет массой 6 кг? Площадь опоры каждой ножки 10 см<sup>2</sup>.
30. Как изменится давление, оказываемое металлическим цилиндром на стол, если увеличить в 2 раза: а) высоту цилиндра; б) диаметр цилиндра; в) диаметр и высоту цилиндра одновременно?
31. Во сколько раз изменилось давление, оказываемое вазой массой 500 г на стол, после того как в неё налили 2 л воды?

**Высокий уровень**

32. Чему равно давление на грунт сосновой доски толщиной 5 см?
33. Чему равна толщина стеклянного листа, если он оказывает на стол давление 100 Па?
34. Чему равно давление, оказываемое гранитной колонной на грунт, если радиус колонны 30 см, а её высота равна 6 м?
35. Йог массой 60 кг ложится на доску, утыканную гвоздями остриями вверх. На скольких гвоздях должно находиться тело йога, чтобы опыт был безопасным? Площадь острия каждого гвоздя примите равной 0,1 мм<sup>2</sup>. Человеческая кожа выдерживает без повреждений давление, не превышающее 3 МПа.
36. Составьте задачу по теме «Давление», ответ которой «2 кПа».

**ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ**

37. Определите с помощью линейки и напольных весов, чему равно давление, которое оказывает на пол стул, когда вы на нём сидите, не касаясь ногами пола. Придумайте сами, как измерить необходимые величины.

## § 17. Давление жидкостей и газов. Закон Паскаля

### 1. Давление жидкости

Налитая в сосуд жидкость давит на *дно* сосуда — это *вес* жидкости. Однако мы сейчас убедимся, что жидкость давит *не только* на дно сосуда!





### Поставим опыт

Нальём воду в сосуд, в стенках и в дне которого проделаны отверстия, затянутые одинаковыми резиновыми плёнками (рис. 17.1). Все плёнки — как в дне сосуда, так и в его стенках — выгнутся наружу.

Это означает, что жидкость давит как на дно, так и на стенки сосуда.

Эта особенность жидкости объясняется её *текучестью*: если бы жидкость не удерживали стенки сосуда, она растеклась бы по плоскости под действием силы тяжести. Стенки удерживают жидкость от растекания, оказывая *давление* на неё, а жидкость вследствие этого *давит* на стенки.

1. Вы, наверное, заметили, что чем больше глубина, тем сильнее выгнуты плёнки (см. рис. 17.1). Какой вывод можно сделать из этого наблюдения?

Жидкость давит на любой участок поверхности дна или стенок сосуда с силой, направленной *перпендикулярно* поверхности, причём сила давления тем больше, чем больше глубина (рис. 17.2).

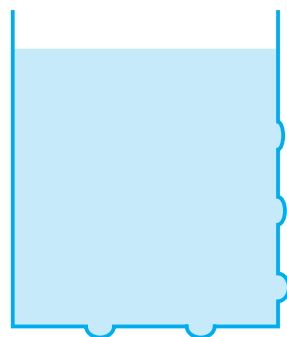


Рис. 17.1

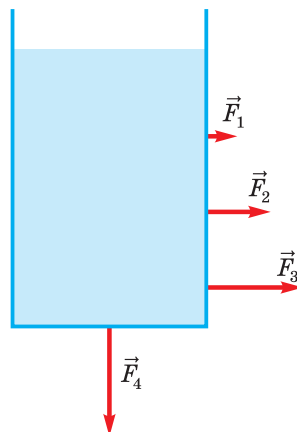


Рис. 17.2

## 2. Давление газа



### Поставим опыт

Сожмите надутый воздушный шарик (рис. 17.3): вы почувствуете, что воздух в шарике «сопротивляется» сжатию.

Это означает, что *газ давит на стенки сосуда, в котором он находится*.

Давление газа обусловлено хаотическим (тепловым) движением молекул: молекулы газа сталкиваются со стенками сосуда. Чрезвычайно частые удары молекул о стенку проявляют себя как непрерывное давление газа.



Рис. 17.3



### 3. Закон Паскаля

#### Поставим опыт



На рисунке 17.4 схематически изображено, как сделать фонтанчик, используя цилиндрический сосуд с поршнем<sup>1)</sup> и плотно соединённую с ним сферу с небольшими отверстиями.

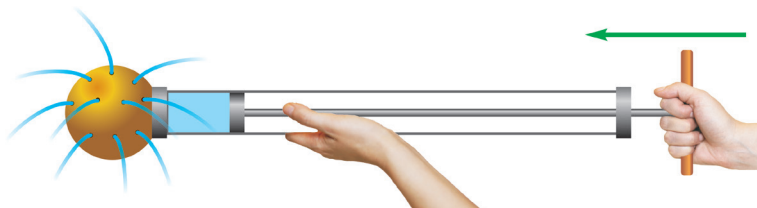


Рис. 17.4

Обратите внимание: струйки воды бьют *во все стороны примерно с одинаковой скоростью!*

Подобный опыт можно поставить и с газом (например, с воздухом): чтобы струйки газа были видны, в него добавляют дым.

Это означает, что

внешнее давление передаётся без изменения во все точки жидкости или газа.

Это утверждение называют *законом Паскаля* в честь французского учёного Блеза Паскаля, который его открыл.

2. Каждое утро мы используем закон Паскаля. Где, когда и как?
3. Используя закон Паскаля, объясните действие фонтанчика на рисунке 17.5.

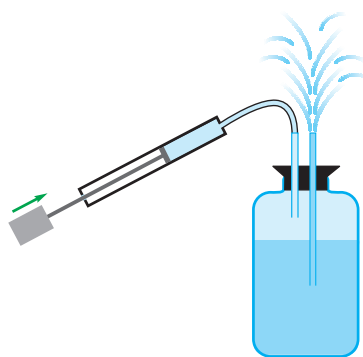


Рис. 17.5

<sup>1)</sup> Поршнем называют подвижный диск, плотно прилегающий к стенкам цилиндра.

## 4. Гидравлический пресс

### Ставим и решаем задачи

На рисунке 17.6 изображены два заполненных жидкостью цилиндрических сосуда, которые соединены трубкой. Диаметр второго сосуда намного больше, чем диаметр первого. Оба сосуда закрыты поршнями. Площади поршней равны  $S_1$  и  $S_2$ .

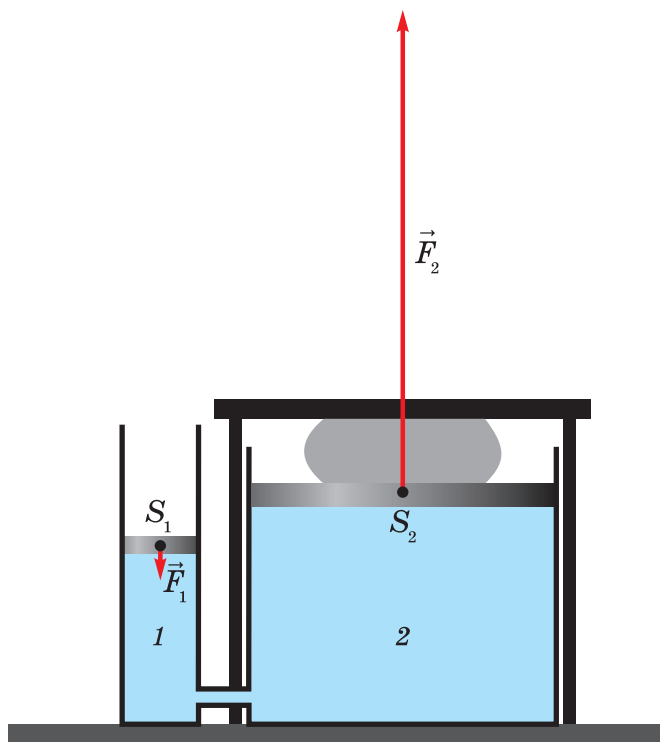


Рис. 17.6

4. Чему будет равно давление жидкости в узком сосуде, если надавить на поршень в нём силой  $\vec{F}_1$ ?
5. Равны ли давления в обоих сосудах? Обоснуйте свой ответ.
6. Чему равна сила  $\vec{F}_2$ , с которой жидкость давит на поршень в широком сосуде?
7. Чему равно отношение модулей сил  $\frac{F_2}{F_1}$ ?

Итак, модуль силы  $F_2$  во столько же раз больше модуля силы  $F_1$ , во сколько раз площадь поршня в широком сосуде больше площади поршня в узком сосуде:

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

Описанное устройство называют *гидравлическим прессом*. Мы видим, что с помощью гидравлического пресса можно получить *выигрыш в силе*.

### Похожие задачи

8. Во сколько раз можно выиграть в силе с помощью гидравлического пресса, если диаметр его широкого сосуда в 10 раз больше диаметра узкого сосуда?
9. Человек массой 70 кг, надавив всем своим весом на поршень в узком сосуде гидравлического пресса, поднимает с его помощью груз массой 2,52 т. Во сколько раз диаметр широкого сосуда пресса больше, чем диаметр узкого?

Гидравлические прессы используют, например, при штамповке металлических и пластмассовых изделий, а также для выжимания масел из семян растений.

Принцип действия гидравлического пресса используют в домкратах — устройствах для поднятия, например, грузовиков, а также в различных подъёмниках.

## 5. Манометры

Прибор для измерения давления называют *манометром*. Здесь мы рассмотрим устройство *мембранного* манометра, схема которого показана на рисунке 17.7. Небольшая коробочка 1, в которой

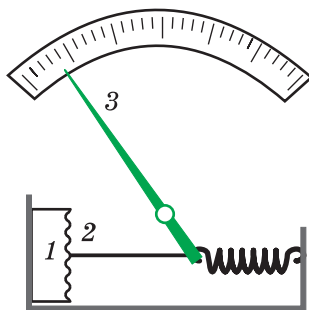


Рис. 17.7

содержится разрежённый воздух, плотно закрыта мембраной 2 (волнистой упругой пластиной).

Под давлением газа или жидкости мембрана прогибается внутрь и поворачивает прикреплённую к ней стрелку 3, которая указывает значение давления на шкале прибора.

## 6. Зависимость давления газа от объёма и температуры



### Поставим опыт

Повторим опыт, показанный на рисунке 17.3. *Сжимая* надутый шарик (не перестарайтесь!), можно почувствовать, что давление воздуха в шарике *увеличивается*.

Итак, *при уменьшении объёма давление газа увеличивается*.



10. Исходя из того, что давление газа обусловлено ударами молекул о стенку сосуда, объясните, почему при уменьшении объёма сосуда давление газа увеличивается.

11. Придумайте, как с помощью медицинского шприца без иглы убедиться на опыте в том, что *при увеличении объёма давление газа уменьшается*.



### Поставим опыт

Рассмотрим теперь, как зависит давление газа от температуры.

Нальём горячую воду в миску, в которой лежит слабо надутый воздушный шарик. Вскоре шарик немного увеличится в объёме — а это означает, что давление воздуха в шарике стало больше.

Итак, *при нагревании давление газа увеличивается*.



12. Придумайте, как убедиться, что *при охлаждении давление газа уменьшается*.



## ХОЧЕШЬ УЗНАТЬ БОЛЬШЕ?

### 7. Насосы

Рассмотрим насосы, предназначенные для того, чтобы увеличивать или уменьшать давление газа (обычно это воздух).

Насосы, которые используют для увеличения давления, называют *нагнетательными*. Таким является, например, велосипедный насос.

Рисунки 17.8, а, б иллюстрируют действие велосипедного насоса.

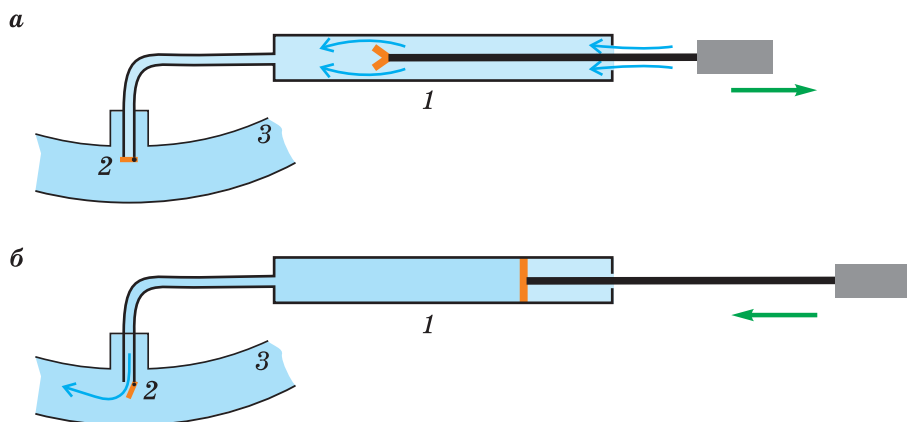


Рис. 17.8

Когда ручку насоса тянут *на себя* (рис. 17.8, а), поршень 1 пропускает наружный воздух внутрь насоса. Из велосипедной камеры 3 воздух в насос при этом не поступает, потому что отверстие в камере закрывает клапан 2 (его называют ниппелем).

А вот когда ручку насоса толкают *от себя* (рис. 17.8, б), поршень «запирает» воздух внутри насоса и сжимает его, увеличивая давление. Благодаря этому клапан 2 в велосипедной камере открывается, и воздух из насоса поступает в камеру.

Рассмотрим теперь действие насоса, с помощью которого уменьшают давление газа. Такой насос называют *разрезающим*.

13. На рисунке 17.9 изображён разрезающий насос, с помощью которого уменьшают давление под стеклянным колпаком. Объясните принцип действия этого насоса.

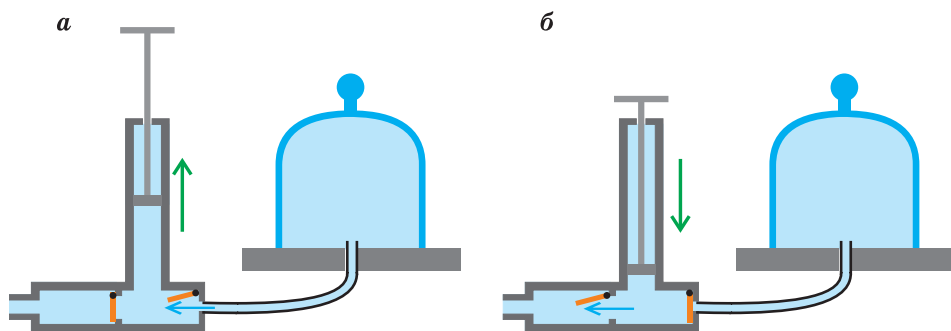


Рис. 17.9



### ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Жидкость давит на дно и стенки сосуда.
- Сила давления жидкости или газа на любой участок поверхности перпендикулярна этому участку.
- Давление газа на стенки сосуда обусловлено ударами хаотически движущихся молекул газа по стенке.
- *Закон Паскаля*: давление, производимое внешними силами на жидкость или газ, передаётся без изменения в каждую точку жидкости или газа.
- С помощью гидравлического пресса, действие которого основано на законе Паскаля, можно получить выигрыш в силе.
- Давление жидкостей и газов измеряют *манометрами*.
- При уменьшении объёма, а также при повышении температуры давление газа увеличивается. При увеличении объёма, а также при понижении температуры давление газа уменьшается.

### ? ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

#### Базовый уровень

14. Чем обусловлено давление жидкости на дно сосуда? на стенки сосуда?
15. Чем обусловлено давление газа на дно и стенки сосуда?
16. Почему закон Паскаля справедлив только для жидкостей и газов?
17. На рисунке 17.10 изображены сосуды, в которых содержится *один и тот же газ одинаковой массы*. В каком из сосудов давление газа наибольшее? наименьшее? Объясните свой ответ.

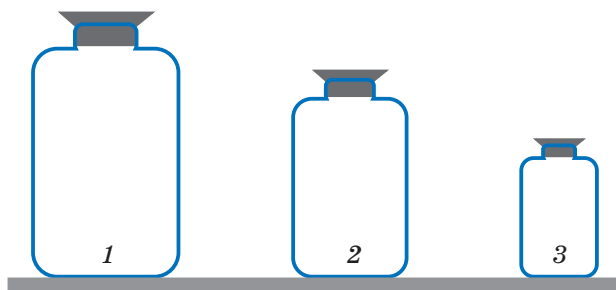


Рис. 17.10

18. Расскажите о принципе действия гидравлического пресса. Объясните, почему гидравлический пресс даёт выигрыш в силе.
19. Во сколько раз можно выиграть в силе, используя гидравлический пресс, если диаметр его широкого сосуда относится к диаметру узкого сосуда как  $5 : 1$ ?
20. Объясните принцип действия манометра.

### Повышенный уровень

21. Как изменяется давление газа при увеличении температуры? Поясните ваш ответ.
22. Объясните, почему при накачивании колеса велосипедным насосом толкать его ручку всё труднее и труднее.
23. Чему равна сила, действующая на большой поршень гидравлического пресса, если на малый поршень действует сила  $350 \text{ Н}$ , диаметр малого поршня равен  $5 \text{ см}$ , а диаметр большого —  $20 \text{ см}$ ?
24. С помощью гидравлического пресса, диаметр большого поршня которого равен  $15 \text{ см}$ , поднимают груз массой  $90 \text{ кг}$ , прикладывая силу  $100 \text{ Н}$ . Чему равен диаметр меньшего поршня?

### Высокий уровень

25. Расскажите, как можно использовать закон Паскаля в условиях невесомости.
26. В закрытой части сосуда над водой содержится воздух (рис. 17.11). Почему при повышении температуры уровень воды в закрытой части сосуда понижается?
27. Какие изменения надо сделать в конструкции разрезающего насоса (см. рис. 17.9), чтобы превратить его в нагнетательный?
28. Почему в гидравлическом прессе используют жидкость, а не газ, хотя закон Паскаля справедлив и для газов?
29. На малый поршень гидравлического пресса диаметром  $3 \text{ см}$  действуют силой  $200 \text{ Н}$ , при этом он опускается на  $16 \text{ см}$ . Чему равна масса груза, поднятого большим поршнем диаметром  $12 \text{ см}$ ? На какую высоту поднимают груз?

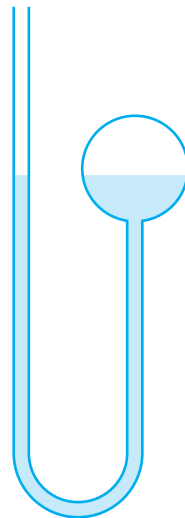


Рис. 17.11



30. Составьте задачу по теме «Гидравлический пресс», ответ которой «500 кг».



### ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

31. Поставьте опыт по изучению закона Паскаля. Можно использовать, например, пластиковую бутылку. Опыты лучше ставить в ванной или во дворе!

## § 18. Зависимость давления жидкости от глубины. Закон сообщающихся сосудов

### 1. Зависимость давления жидкости от глубины

В опыте, описанном в предыдущем параграфе, мы заметили, что плёнки у дна сосуда и вблизи дна выгнуты сильнее, чем плёнка вблизи поверхности жидкости (см. рис. 17.1). Следовательно, *давление жидкости с увеличением глубины возрастает*. Это обусловлено тем, что верхние слои жидкости давят на нижние.

Как же зависит давление в жидкости от глубины?

Найти ответ на этот вопрос можно с помощью опыта, а можно — с помощью рассуждений.

#### Ставим и решаем задачи

Жидкость плотностью  $\rho$  находится в цилиндрическом сосуде высотой  $h$ . Площадь дна сосуда равна  $S$ .

1. Выразите силу, с которой жидкость давит на дно сосуда, через заданные величины.
2. Выразите давление  $p$  жидкости на дно сосуда через заданные величины.

Итак, мы установили, что

*давление жидкости на глубине  $h$  выражается формулой*

$$p = \rho gh.$$

Это давление называют *гидростатическим*: оно создаётся *столбом жидкости*, находящимся над данной точкой.



Мы не учитывали пока внешнего давления на *поверхность* жидкости — например, давления окружающего воздуха. Как мы увидим далее, воздух оказывает давление, равное примерно давлению водяного столба высотой 10 м.

### Похожая задача

3. Чему равно давление в воде на глубине 10 м, обусловленное весом воды? Чему равно давление в воде с учётом давления воздуха над поверхностью воды?



## 2. Закон сообщающихся сосудов

### Поставим опыт



На рисунке 18.1, *а* изображена U-образная стеклянная трубка, в которую налита подкрашенная вода. Обратим внимание на то, что поверхность воды в левом и правом коленах трубки находится *на одном уровне*.

Наклоним трубку (рис. 18.1, *б*) — поверхность воды в коленах трубки снова будет *на одном уровне*!

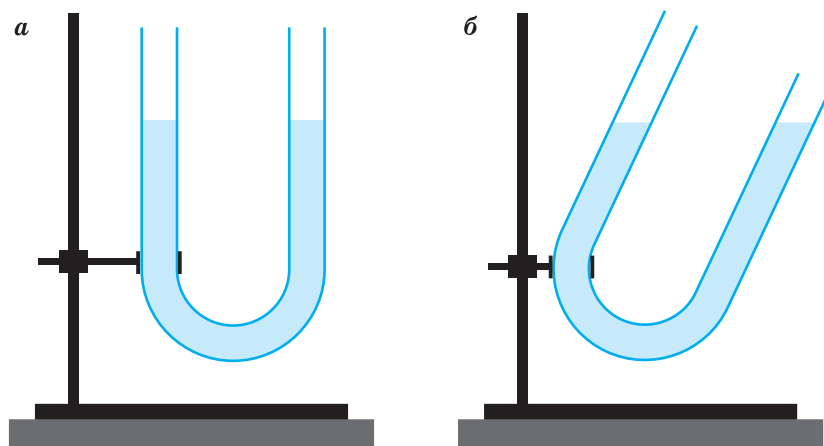


Рис. 18.1

Левое и правое колена трубки представляют собой *сообщающиеся* сосуды: жидкость может свободно перетекать из одного сосуда в другой. Наш опыт свидетельствует, что

в сообщающихся сосудах поверхность жидкости находится на одном уровне.

Это — *закон сообщающихся сосудов*.

То, что поверхность жидкости в сообщающихся сосудах находится на одном уровне, можно было *предсказать* до постановки опыта.

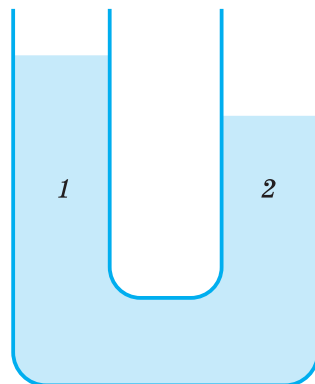


Рис. 18.2

4. Предположим, что поверхность жидкости в сообщающихся сосудах находится *не на одном уровне* (рис. 18.2). Докажите, что в таком случае жидкость будет перетекать из сосуда, где уровень жидкости выше, в сосуд, где уровень жидкости ниже, до тех пор пока уровни жидкости в обоих сосудах не выровняются.

### 3. Жидкостный манометр

В первых манометрах давление измеряли по *разности* уровней жидкости в коленах U-образной трубки. Такие манометры называют *жидкостными*.

#### Ставим и решаем задачи

На рисунке 18.3 изображены три сосуда с газом, соединённые с жидкостными манометрами, в которых находится *ртуть*. Правое колено каждого манометра открыто. Давление окружающего воздуха равно  $10^5$  Па.

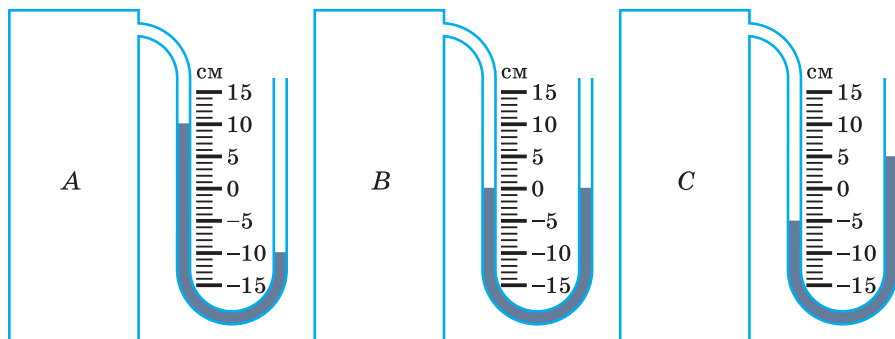


Рис. 18.3

5. В каком из трёх сосудов давление газа равно давлению окружающего воздуха?
6. В каком из трёх сосудов давление газа больше давления окружающего воздуха? Насколько больше?
7. В каком из трёх сосудов давление газа меньше давления окружающего воздуха? Насколько меньше?

### Похожая задача

8. Будем считать, что на рисунке 18.3 изображены три сосуда с газом, соединённые с жидкостными манометрами, в которых находится *вода*. Сравните давление в каждом сосуде с давлением окружающего воздуха.



## 4. Шлюзы

Для работы гидроэлектростанции реку перегораживают плотиной, вследствие чего на реке появляется перепад высот. Чтобы суда могли преодолевать этот перепад высот, строят *шлюзы*.

Шлюз состоит из нескольких камер, в каждой из которых может поместиться большое судно. Между камерами — огромные ворота, которые могут удерживать значительную разность уровней воды в соседних камерах. Под каждым воротами находится широкая труба: когда её открывают, соседние камеры становятся *сообщающимися сосудами*, и вода перетекает из одной камеры в другую, пока уровни воды в камерах не выровняются. Тогда ворота открывают, и судно переходит в соседнюю камеру. Затем ворота и трубу под ними закрывают, благодаря чему в соседних камерах можно снова создавать разность уровней воды. На рисунке 18.4 схематически изображены двое ворот шлюза, разделяющие три его камеры.

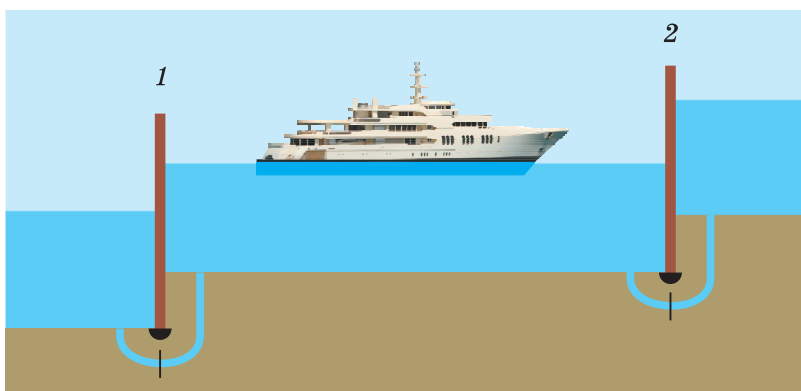


Рис. 18.4

9. Сделайте последовательность схематических рисунков, поясняющих работу изображённого на рисунке 18.4 шлюза при переходе судна через ворота 2.





## ХОЧЕШЬ УЗНАТЬ БОЛЬШЕ?

### 5. Сообщающиеся сосуды с различными жидкостями

#### Ставим и решаем задачи



10. В U-образную трубку сначала налили воду, а затем в правое колено трубки долили слой масла высотой 10 см (рис. 18.5). Плотность масла  $900 \text{ кг/м}^3$ .

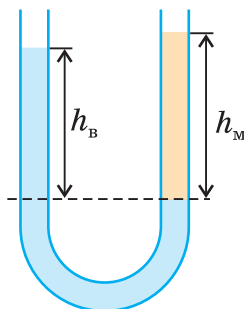


Рис. 18.5

- Объясните, почему, когда жидкости находятся в равновесии, на уровне раздела масла и воды (он показан на рисунке пунктиром) давление  $p$  в обоих коленах одинаково.
- Обозначьте высоту столба воды над этим уровнем  $h_в$ , высоту столба масла  $h_м$ , плотность воды и масла  $\rho_в$  и  $\rho_м$  соответственно. Выразите через эти величины давление  $p$  на упомянутом выше уровне.
- Вычислите, насколько уровень масла в правом колене выше уровня воды в левом колене.

Сделаем вывод: если в сообщающихся сосудах находятся две жидкости с различной плотностью, то *уровень жидкости выше в том сосуде, который содержит жидкость с меньшей плотностью*.

#### Похожая задача



11. В одно колено U-образной трубки со ртутью налит слой воды высотой 6,8 см.
- Насколько уровень ртути в одном колене выше, чем в другом?

- б) Насколько уровень поверхности воды выше уровня поверхности ртути?

### ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Давление жидкости увеличивается с глубиной: на глубине  $h$  давление жидкости  $p = \rho gh$ .
- *Закон сообщающихся сосудов*: в сообщающихся сосудах с одной и той же жидкостью поверхность жидкости находится на одном уровне.
- Если в сообщающихся сосудах находятся две жидкости с различной плотностью, то уровень жидкости выше в том сосуде, который содержит жидкость с меньшей плотностью.



### ? ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

#### Базовый уровень

12. Почему давление в жидкости увеличивается при увеличении глубины?
13. Запишите формулу, выражающую зависимость давления жидкости от глубины.
14. Одинаковое ли давление производит вода на дно сосудов, изображённых на рисунке 18.6? Одинаков ли вес воды в этих сосудах? Площадь дна всех сосудов одинакова.

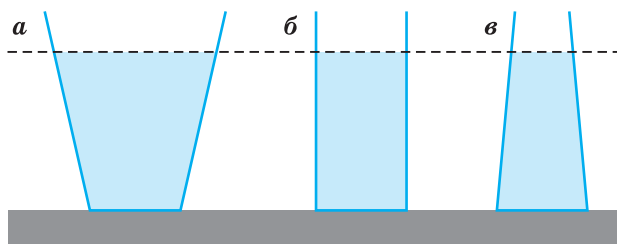


Рис. 18.6

15. Одна из леек вмещает меньше воды, чем другие (рис. 18.7). Какая? Поясните свой ответ.

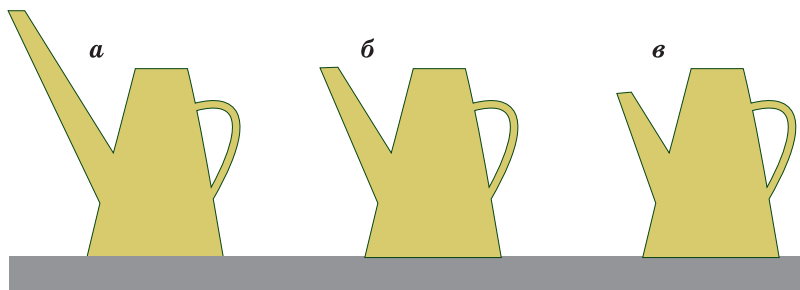


Рис. 18.7

16. Какая жидкость может быть налита в сосуд высотой 12 см, если она оказывает на дно давление, равное 852 Па?
17. Какое давление оказывают 3 л воды на дно цилиндрического сосуда с площадью дна  $100 \text{ см}^2$ ?
18. В расширяющуюся кверху вазу высотой 40 см с площадью дна  $50 \text{ см}^2$  налита доверху вода. С какой силой вода давит на дно вазы? Эта сила больше или меньше веса воды в вазе?
19. Ртуть, воду и машинное масло налили в цилиндрический сосуд. Толщина слоя каждой жидкости равна 10 см. Чему равно давление на дно сосуда?
20. Чему равно давление в озере Байкал на глубине 1200 м?
21. Объясните принцип работы фонтана (рис. 18.8).

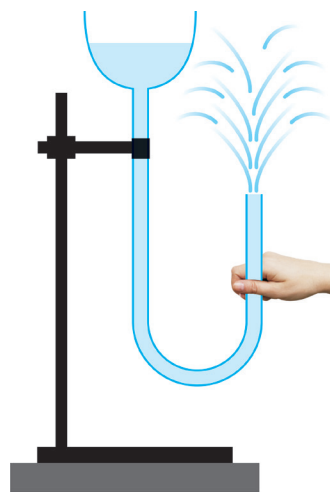


Рис. 18.8

### Повышенный уровень

22. Как изменятся сила давления и давление жидкости на дно, если перелить её из узкого цилиндрического сосуда в широкий?
23. Как изменяется давление воды на дно бака, когда на поверхность воды кладут накачанный мяч, если: а) бак заполнен на половину своего объёма; б) бак заполнен водой доверху?

24. Приведите примеры сообщающихся сосудов, которые вы используете в своей квартире и на даче.
25. Чему равна масса воды, налитой в бассейн длиной 25 м и шириной 5 м, если вода оказывает на дно давление, равное 20 кПа?
26. Выразите давление воды на дно сосуда в точках А, В, С через  $h$  (рис. 18.9).
27. Чему равна сила давления на пробку площадью  $10 \text{ см}^2$  в дне наполненной доверху цистерны с нефтью высотой 1,5 м?
28. Чему равно давление воды массой 64 г на дно сосуда кубической формы, если он доверху заполнен водой?
29. На рисунке 18.10 изображены сосуды с газами и жидкостный манометр со ртутью. Насколько давление газа в одном сосуде больше, чем в другом?
30. На рисунке 18.11 изображены сосуды с газами и жидкостный манометр с водой. Насколько давление газа в одном сосуде больше, чем в другом?

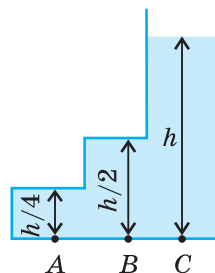


Рис. 18.9

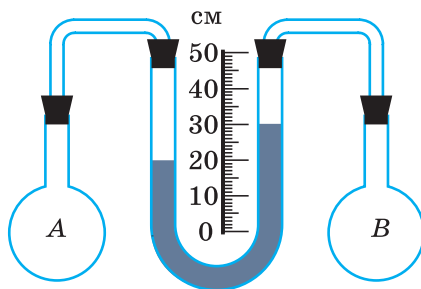


Рис. 18.10

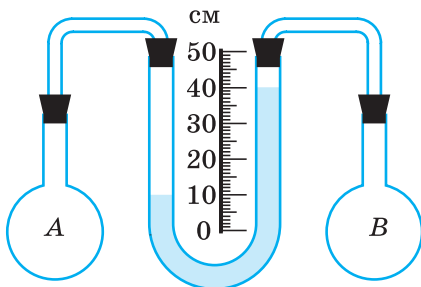


Рис. 18.11

### Высокий уровень

31. В измерительный цилиндр высотой 20 см налили ртуть, а поверх неё воду, так что цилиндр оказался заполненным доверху. Чему равно давление на дно сосуда, если одинаковы: а) объёмы жидкостей; б) массы жидкостей?
32. В один из заполненных водой сообщающихся сосудов долили керосин. Высота столба керосина 20 см. В каком из сосудов уровень жидкости выше и насколько?
33. На дне аквариума длиной 40 см и шириной 15 см находится полностью погружённая в воду каменная фигурка массой 0,39 кг. Когда фигурку вынули из аквариума, давление воды



на дно изменилось на 25 Па. Из чего могла быть сделана фигурка?

34. С какой силой давит вода на стенку аквариума высотой 40 см и шириной 60 см, если он залит водой доверху?
35. Составьте задачу по теме «Сообщающиеся сосуды», ответ которой «На 10 см».



### ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

36. Сделайте небольшой фонтан, используя закон сообщающихся сосудов.
37. Попросите родителей купить для вас в аптеке два одноразовых шприца и трубку для капельницы. Из них изготовьте сообщающиеся сосуды (иглы для шприцев не понадобятся) и проведите с ними несколько опытов. Опишите эти опыты, проиллюстрировав их фотографиями.

## § 19. Атмосферное давление

### 1. Атмосферное давление

Земной шар окружён воздушной оболочкой, которая не имеет чёткой верхней границы (рис. 19.1). Эту оболочку называют *атмосферой*<sup>1)</sup>.



Рис. 19.1

<sup>1)</sup> От греческого «атмос» — воздух.

Окружающий Землю воздух притягивается к Земле и поэтому оказывает давление на её поверхность. Это давление называют *атмосферным*.

Окружающий воздух давит не только на поверхность Земли — он оказывает давление на *все* тела, в том числе и на вас.

1. Почему под действием атмосферного давления наши тела не сжимаются?



### Поставим опыт

Чтобы почувствовать атмосферное давление, вытяните щёки. При этом вы уменьшаете давление воздуха во рту, в результате чего щёки не вытягиваются, а *вдавливаются* атмосферным давлением.

## 2. Опыт Торричелли

Первым измерил атмосферное давление итальянский учёный Эванджелиста Торричелли в середине 17-го века. Он догадался, как «уравновесить» атмосферное давление давлением столба ртути.

Заполнив ртутью запаянную с одного конца стеклянную трубку длиной около метра, учёный закрыл другой конец, перевернул трубку открытым концом вниз и опустил его в чашу со ртутью. Когда он открыл нижний конец трубки, из неё вылилась далеко не вся ртуть: *в трубке осталась столб ртути высотой примерно 760 мм* (рис. 19.2).

Торричелли понял, что ртуть удерживается в трубке *атмосферным давлением*, которое давит на поверхность ртути в чаше.

Свяжем давление атмосферы с высотой столба ртути в трубке. Для этого заметим, что атмосферное давление  $p_a$ , действующее на поверхность ртути в чашке, *равно* давлению ртути  $p_{рт} = \rho_{рт} g h_{рт}$ , создаваемому столбом

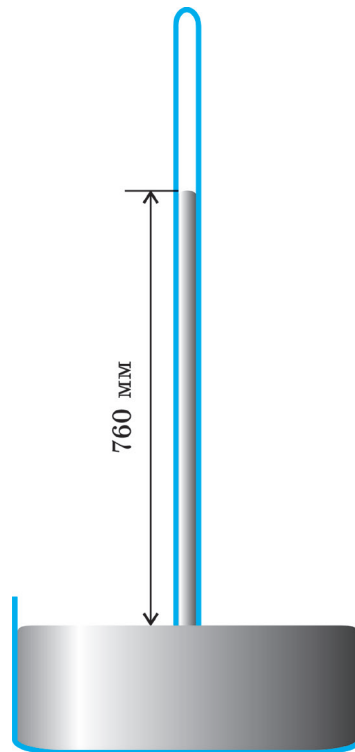


Рис. 19.2

ртути высотой  $h_{\text{рт}}$ , находящимся *над уровнем ртути в чаше*. Таким образом, можно записать:

$$p_a = \rho_{\text{рт}} g h_{\text{рт}}.$$

Память об опыте Торричелли сохранилась до сих пор: и сегодня давление атмосферы задают обычно в *миллиметрах ртутного столба* (обозначают мм рт. ст.). Например, когда говорят: «Атмосферное давление равно 760 мм рт. ст.», это означает, что давление атмосферы равно давлению, создаваемому столбом ртути высотой 760 мм. Такое давление называют *нормальным атмосферным давлением*.



2. Опыт показывает, что при наклоне трубки в опыте Торричелли ртуть в трубке остаётся на той же высоте, пока вся трубка не заполнится ртутью. Объясните этот опыт.
3. Выразите нормальное атмосферное давление в паскалях.

Запомните значение нормального атмосферного давления: в условиях задач атмосферное давление часто используется без указания его значения.



4. Можно ли в опыте Торричелли использовать вместо ртути воду? Если можно, то какой высоты трубку нужно взять для такого опыта?
5. До какой высоты можно поднять воду в трубке поршнем (рис. 19.3)?
6. Почему не удаётся поднять воду с помощью поршня из колодца глубиной больше 10 м?
7. Объясните, благодаря чему можно пить сок, втягивая его через трубочку.
8. Чему равно давление в озере на глубине 20 м?
9. Оцените силу давления воздуха на ваш стол в классе. Объясните, почему под действием такой силы стол не ломается и не вдавливаются в пол.

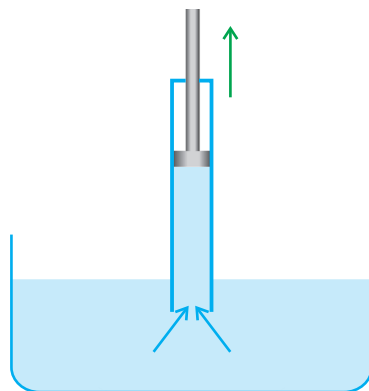


Рис. 19.3

### 3. Барометры

Прибор для измерения атмосферного давления называют *барометром*<sup>1)</sup>.

Сегодня используют в основном барометры-анероиды (в переводе с греческого — безжидкостные). Такой барометр и схема его устройства изображены на рисунке 19.4.

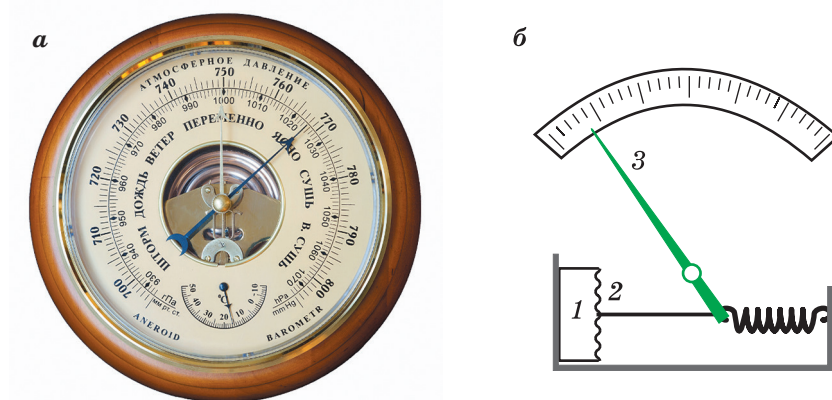


Рис. 19.4

Мембрана 2 плотно закрывает коробочку 1 с разрежённым воздухом. Под действием давления атмосферы мембрана прогибается, и прикрепленная к ней стрелка 3 показывает значение давления на шкале прибора.

10. Сравните устройство барометра-анероида с устройством манометра (§ 17, рис. 17.7). Чем объясняется это сходство?



### ХОЧЕШЬ УЗНАТЬ БОЛЬШЕ?



### 4. Зависимость атмосферного давления от высоты

11. Известно, что с увеличением высоты давление воздуха уменьшается. Почему?



Чтобы рассчитать уменьшение давления воздуха при подъёме на небольшую высоту (десятки метров), можно воспользоваться той же формулой, которую мы получили выше для зависимости

<sup>1)</sup> От греческого «барос» — тяжёлый.

давления жидкости от глубины, но в качестве плотности взять плотность воздуха вблизи поверхности Земли (см. справочные данные на форзаце под обложкой).

Из расчёта следует, что при подъёме на высоту  $h$  давление воздуха уменьшается на  $\rho_{\text{возд}}gh$ .



12. Насколько уменьшается давление воздуха при подъёме на десятый этаж (около 30 м)? Какую часть от нормального атмосферного давления составляет это изменение давления?

Для больших высот (исчисляемых километрами) рассчитывать уменьшение давления воздуха сложнее, потому что нужно учитывать, что плотность воздуха при подъёме уменьшается. Значения давления воздуха на вершине самой высокой горы в России (Эльбрус) и самой высокой горы в мире (Джомолунгма) приведены на рисунке 19.5.



Рис. 19.5

## 5. Когда барометр «падает»?

Давление окружающего воздуха не остаётся строго постоянным. Некоторое *понижение* атмосферного давления означает, что погода будет *ухудшаться*.

Объясняется это тем, что в область пониженного давления втягивается воздух из окружающих областей и устремляется вверх. Вместе с воздухом поднимается водяной пар, который при охлаждении превращается в облака и дождевые тучи.

### ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Земля окружена воздушной оболочкой — *атмосферой*. Она давит на поверхность Земли и на все тела, находящиеся у её поверхности.
- *Атмосферное давление* на уровне моря составляет около 100 кПа. Оно примерно равно давлению, создаваемому столбом воды высотой 10 м или столбом ртути высотой 760 мм.
- В опыте Торричелли ртуть не выливается из трубки, потому что её удерживает давление атмосферы.
- Атмосферное давление измеряют *барометрами*.
- С увеличением высоты давление атмосферы уменьшается.
- Уменьшение атмосферного давления предсказывает ухудшение погоды.



## ? ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

### Базовый уровень

13. Расскажите, чем обусловлено атмосферное давление.
14. Приведите примеры опытов, доказывающих существование атмосферного давления.
15. Расскажите об опыте Торричелли. Почему в этом опыте он использовал ртуть? Что удалось измерить в этом опыте?
16. Почему в жестяной банке со сгущённым молоком надо сделать два отверстия, чтобы его выпить?
17. Выразите нормальное атмосферное давление в паскалях и килопаскалях.
18. С какой силой воздух давит на поверхность стола длиной 1,2 м и шириной 60 см при нормальном атмосферном давлении? Чему равна масса тела, имеющего такой вес?

19. Объясните, почему при откачивании воздуха вода поднимается по трубке *B* и не поднимается по трубке *A* (рис. 19.6).
20. Если заполнить бутылку водой доверху, закрыть горлышко пальцем, перевернуть её вверх дном, опустить в сосуд с водой и убрать палец, то вода не выльется из бутылки (рис. 19.7). Объясните этот опыт.
21. Если пластиковую бутылку, доверху наполненную водой, плотно закрыть крышкой, а затем сделать шилом отверстие в её дне, то вода не будет выливаться из бутылки через это отверстие. Однако стоит слегка открутить крышку, и вода начнёт вытекать из отверстия в дне, пока вся не вытечет. Объясните этот опыт.

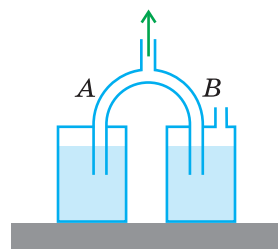


Рис. 19.6

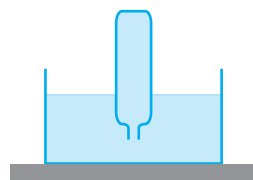


Рис. 19.7

### Повышенный уровень

22. Объясните, почему нельзя «спрятаться» от давления атмосферы, нырнув в море. Сделайте пояснительный схематический рисунок.
23. Если пластиковую бутылку ополоснуть горячей водой, плотно завинтить крышку и поместить под струю холодной воды, то бутылка сразу сожмётся. Почему? Сделайте пояснительный схематический рисунок.
24. На какой глубине давление в озере в 2,5 раза больше нормального атмосферного давления?
25. Чему равно (в миллиметрах ртутного столба) давление газа в каждом из сосудов *A*, *B*, *C* (рис. 19.8), если в жидкостном

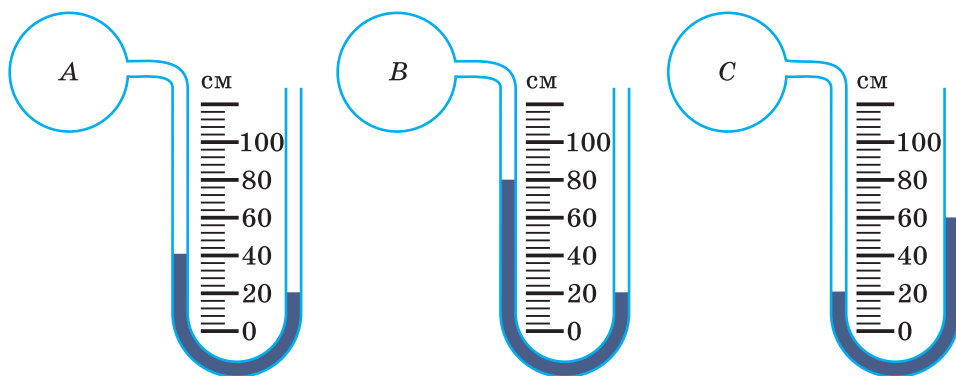


Рис. 19.8



манометре содержится ртуть, а давление окружающего воздуха равно нормальному атмосферному давлению?

26. На рисунке 19.9 изображён колокол воздушного насоса и помещённые под него закрытый и открытый сосуды, соединённые стеклянной трубкой. В закрытый сосуд налита вода. Что будет происходить, если из-под колокола начать откачивать воздух? Что произойдёт, если воздух снова впустить под колокол?

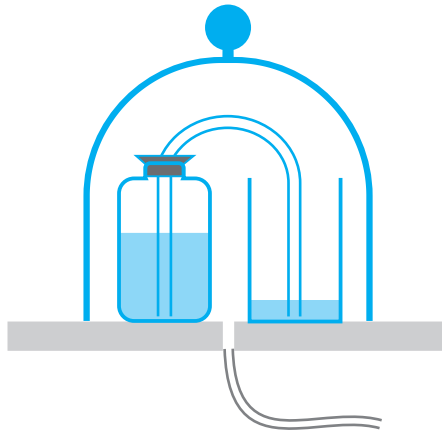


Рис. 19.9

27. Двигаясь по холму, туристы обратили внимание, что показания барометра изменились от 740 до 720 мм рт. ст. Вверх или вниз по склону двигались туристы? На какую высоту они поднялись или опустились?
28. Чему была бы равна высота столба ртути в опыте Торричелли, поставленном на вершине горы, если давление воздуха на ней в 2 раза меньше нормального атмосферного давления?
29. На какой глубине находится станция метро, если на её платформе барометр показывает 101,7 кПа, а при входе в метро — 101,3 кПа?

### Высокий уровень

30. Найдите в Интернете материал по теме «Магдебургские полушария». Чему была равна сила, с которой атмосферное давление действовало на каждое из полушарий, если их диаметр 35 см? Для упрощения расчётов замените полушария цилиндрами такого же радиуса<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Ответ для полушарий получается таким же. Обоснование этого утверждения выходит за рамки нашего курса.



31. Объясните принцип работы термоскопа Галилея (рис. 19.10). В какую сторону перемещается капля ртути при увеличении температуры? при её уменьшении? Влияет ли на результат измерения атмосферное давление? Если да, то как?

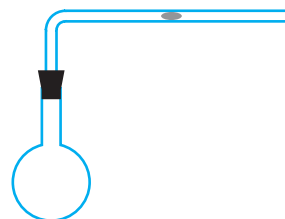


Рис. 19.10

32. Почему при взлёте и посадке самолёта у пассажиров иногда закладывает уши?

33. В стеклянной запаянной с одного конца трубке находится столбик ртути (рис. 19.11).

а) Почему ртуть не выливается из трубки?

б) Чему равно давление воздуха, находящегося над ртутью в трубке, если давление окружающего воздуха равно нормальному атмосферному давлению?



Рис. 19.11

34. Стеклоанная запаянная с одного конца трубка частично заполнена подсолнечным маслом и опущена открытым концом вниз в сосуд с этим маслом. Масло в трубке находится в равновесии, когда его уровень в трубке на 10 см выше, чем в сосуде. Давление воздуха в трубке над маслом больше или меньше давления окружающего воздуха? Насколько?

35. Составьте задачу по теме «Атмосферное давление», ответ которой «На 5 см рт. ст.».



## ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

36. Поставьте в домашних условиях опыты, доказывающие существование атмосферного давления. Опишите эти опыты и проиллюстрируйте их фотографиями или видеосъёмкой.

37. Возьмите стеклянную бутылку с широким горлышком, диаметром немного меньшим, чем куриное яйцо. Сварите куриное яйцо «в мешочек» и осторожно очистите его от скорлупы. Обдайте бутылку изнутри горячей водой из-под крана и сразу же поставьте яйцо на горлышко бутылки. Объясните, почему яйцо втягивается в бутылку. Постарайтесь достать яйцо из бутылки, не повредив его.

## § 20. Выталкивающая сила. Закон Архимеда

### 1. Выталкивающая сила

#### Поставим опыт

Попробуйте утопить в воде надутый воздухом шарик. Вы почувствуете, что вода *выталкивает* его вверх (рис. 20.1).



Рис. 20.1

1. Нетрудно заметить, что чем больше погружённая в воду часть шарика, тем больше выталкивающая сила. Какую *гипотезу* можно высказать на основе этого *наблюдения*?

А действует ли выталкивающая сила на тело, которое *тонет* в воде?

#### Поставим опыт

Если погрузить в воду подвешенный на пружине металлический шар, то удлинение пружины *уменьшится* (рис. 20.2). Это означает, что на погружённый в воду шар *действует* выталкивающая сила.

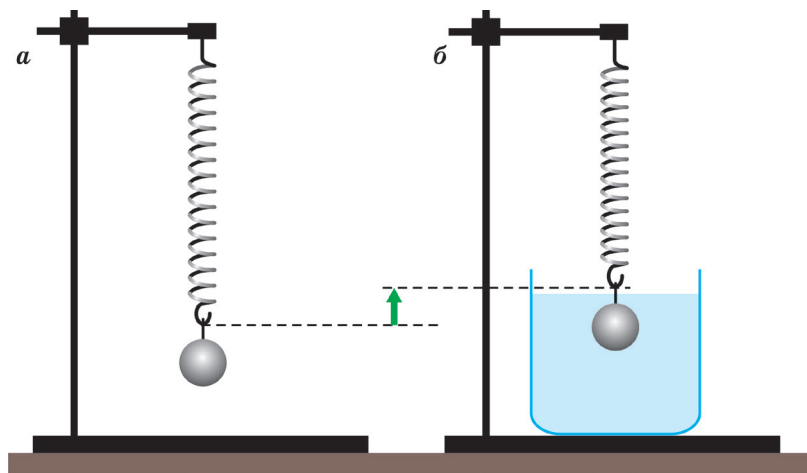


Рис. 20.2

## 2. Закон Архимеда

Расскажем об остроумном опыте, с помощью которого можно связать действующую на тело выталкивающую силу с весом вытесненной телом воды.



### Поставим опыт

Подвесим на пружине пустое ведро, а к нему подвесим тело произвольной формы, тонущее в воде (рис. 20.3, а).

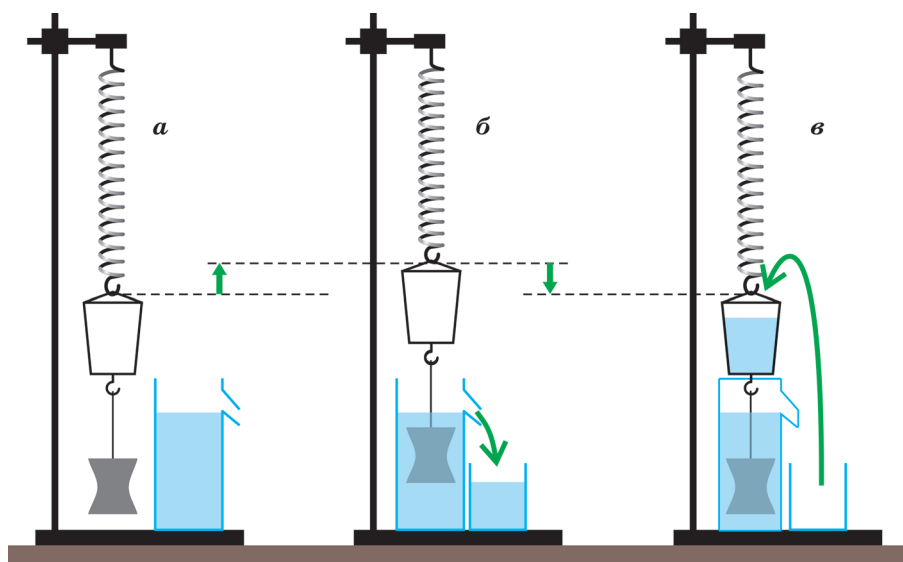


Рис. 20.3

Возьмём сосуд с отливной трубкой, в который налита вода как раз до уровня трубки.

Когда мы *полностью* погрузим тело в этот сосуд, произойдут одновременно два явления (рис. 20.3, б):

- 1) длина пружины *уменьшится* вследствие действия *выталкивающей* силы;
- 2) *вытесненная телом вода* выльется через трубку в подставленный стакан.

Перельём теперь вытесненную телом воду из стакана в ведро, находящееся над телом (рис. 20.3, в). Длина пружины снова стала *такой же*, какой она была *до погружения тела в воду*!

Это означает, что *на полностью погружённое в воду тело действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной им воды (то есть весу воды, объём которой равен объёму тела).*

Опыты показывают, что если тело погружено в воду не полностью, а частично, то *выталкивающая сила равна весу воды в объёме, равном объёму погружённой части тела.*

Например, если погрузить тело в воду до половины, выталкивающая сила будет равна весу воды в объёме, равном половине объёма тела.

Обобщим выводы, следующие из опытов:

на тело, полностью или частично погружённое в жидкость, действует *выталкивающая сила*, равная весу жидкости в объёме погружённой части тела.

Это утверждение называют *законом Архимеда* по имени древнегреческого учёного, который его открыл. А выталкивающую силу называют часто *силой Архимеда* и обозначают  $F_A$ .

2. Обозначим  $\rho_{\text{ж}}$  плотность жидкости, в которую погружено тело, а  $V_{\text{п}}$  — объём погружённой в жидкость части тела. Докажите, что закон Архимеда выражается формулой

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

3. В аквариум с водой полностью погрузили алюминиевый и медный шары. Сравните значения действующей на шары силы Архимеда, если:
- а) шары имеют равные радиусы;
  - б) шары имеют равные массы.
4. В озере плавает деревянный брусок, погружённый в воду наполовину, а на дне озера лежит камень. Объёмы бруска и камня равны. На какое тело действует бóльшая сила Архимеда? Во сколько раз бóльшая?

### Ставим и решаем задачи

5. Туго накачанный мяч массой 400 г и объёмом 4 дм<sup>3</sup> погружают в воду до половины и удерживают рукой в этом положении.
- а) Сделайте чертёж, на котором изобразите все приложенные к мячу силы. Внешнюю силу обозначьте  $\vec{F}$ , а силу Архимеда —  $\vec{F}_A$ .

- б) Чему равна действующая на мяч сила Архимеда?
- в) Какую силу надо прикладывать рукой к мячу, чтобы удерживать его в таком положении?
- г) Какую силу надо приложить рукой, чтобы утопить мяч в воде полностью?
- д) Какую силу надо прикладывать к мячу, чтобы удерживать его в воде на глубине 1 м?
- е) Какая часть объёма мяча погружена в воду, когда действующая на мяч сила Архимеда уравнивает силу тяжести?
- ж) Будет ли мяч находиться при этом в равновесии?

### Похожая задача



6. Для полного погружения в воду мяча массой 300 г надо прикладывать рукой силу, равную 20 Н. Чему равен объём мяча?

## 3. Чем обусловлена сила Архимеда?

Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим *силы давления* воды, действующие на грани погружённого в жидкость бруска.

### Ставим и решаем задачи



7. В жидкость плотностью  $\rho_{\text{ж}}$  полностью погружён брусок (рис. 20.4). Высота бруска  $d$ , а площадь основания  $S$ .

- а) Выразите силу  $F_{\downarrow}$  давления жидкости на верхнюю грань бруска через глубину  $a$ , на которой находится верхняя грань бруска,  $S$  и  $\rho_{\text{ж}}$ .
- б) Выразите силу  $F_{\uparrow}$  давления жидкости на нижнюю грань бруска через  $a$ ,  $d$ ,  $S$  и  $\rho_{\text{ж}}$ .
- в) Выразите равнодействующую  $F_{\text{А}}$  сил давления жидкости, приложенных ко *всем* граням бруска, через его объём  $V$  и  $\rho_{\text{ж}}$ .
- г) Почему мы предложили обозначить  $F_{\text{А}}$  равнодействующую сил давления жидкости, приложенных ко всем граням бруска?

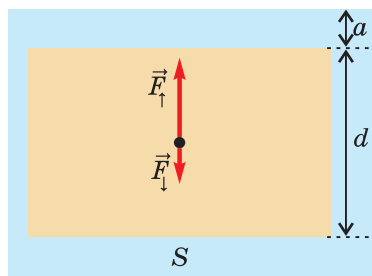


Рис. 20.4

Итак,

сила Архимеда — это равнодействующая сил давления жидкости, которые приложены ко всем участкам погружённой в жидкость поверхности тела.

Рассмотренный пример помогает понять природу силы Архимеда: на нижнюю грань бруска действует большая сила давления, чем на верхнюю.

## ХОЧЕШЬ УЗНАТЬ БОЛЬШЕ?



### 4. Легенда об Архимеде и гидростатическое взвешивание

Правитель города, в котором жил Архимед, усомнился в том, что сделанная для него корона изготовлена из *чистого* золота. И попросил Архимеда проверить это, не повредив короны.

Архимед день и ночь думал о том, как это сделать, — даже когда принимал ванну. Именно в ванне его и осенило: он заметил, что в ванне с водой его тело стало *легче*. И сообразил, что «потеря веса» тела при погружении его в воду — ключ к решению задачи о короне!



Рис. 20.5

Архимед выскочил из ванны с криком «Эврика!», что на русском означает «Нашёл!». Он взвесил корону в воздухе и при полном её погружении в воду. Это позволило ему определить плотность вещества, из которого она изготовлена!

Попробуем восстановить рассуждения великого древнего грека.

#### Ставим и решаем задачи

8. Обозначим  $\rho_v$  плотность воды,  $P$  — вес короны в воздухе, а  $P_1$  — её вес при полном погружении в воду.
- а) Выразите объём  $V$  короны через  $P$ ,  $P_1$  и  $\rho_v$ .
  - б) Выразите плотность  $\rho$  вещества, из которого изготовлена корона, через  $P$ ,  $P_1$  и  $\rho_v$ .



Этот способ измерения плотности называют *гидростатическим взвешиванием*.

**Похожая задача**

9. Вес короны в воздухе 20 Н, а при полном погружении в воду — 18,7 Н.

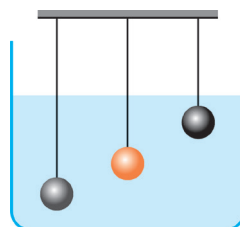
- а) Чему равна плотность вещества, из которого изготовлена корона?
- б) Может ли это вещество быть золотом?

**ЧТО МЫ УЗНАЛИ**

- На тело, полностью или частично погружённое в жидкость, действует направленная вверх выталкивающая сила (*сила Архимеда*). Эта сила — равнодействующая сил давления, действующих на все участки погружённой в воду поверхности тела.
- *Закон Архимеда*: на тело, полностью или частично погружённое в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу жидкости в объёме погружённой части тела.

**? ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ****Базовый уровень**

10. Приведите примеры, доказывающие существование выталкивающей силы, действующей на тело, погружённое в жидкость и газ.
11. Чем обусловлена сила Архимеда? Как она направлена?
12. Запишите выражение для силы Архимеда и объясните значение каждой из величин, входящих в это выражение.
13. От каких величин, характеризующих полностью погружённое в жидкость тело, *не зависит* действующая на это тело сила Архимеда?
14. В воду погружены подвешенные на нитях оловянный, медный и стальной шарики одинакового радиуса (рис. 20.6). Перенесите рисунок в тетрадь и изобразите на нём действующую на каждый шарик силу Архимеда.
15. Почему в море легче плавать, чем в озере?
16. Чему равна выталкивающая сила, которая действует на медный шар объёмом  $50 \text{ см}^3$ , полностью погружённый в воду? Зависит ли значение этой силы от того, лежит шар на дне сосуда с водой или подвешен на нити?

**Рис. 20.6**

17. Чему равен объём медного цилиндра, подвешенного к динамометру, если при полном погружении цилиндра в воду показания динамометра уменьшились на 1 Н? Есть ли в условии лишние данные?
18. Какая выталкивающая сила действует на железобетонную плиту размером  $3,5 \times 1,5 \times 0,2$  м, полностью погружённую в воду?

### Повышенный уровень

19. Во сколько раз отличаются выталкивающие силы, действующие на медный и алюминиевый бруски одинаковой массы, полностью погружённые в воду?
20. Когда подвешенный к динамометру цилиндр объёмом  $280 \text{ см}^3$  полностью погрузили в воду, показания динамометра уменьшились до 1,6 Н. Чему равна масса цилиндра?
21. На дне озера лежит гранитный камень массой 7 кг. Какую силу надо прикладывать, чтобы равномерно поднимать его в воде?
22. Пробковый куб с длиной ребра 0,5 м плавает на поверхности воды. Какую направленную вниз силу надо приложить к кубу, чтобы полностью утопить его?

### Высокий уровень

23. Чему равен объём полости в медной детали массой 8,9 кг, если при полном погружении детали в воду на неё действует выталкивающая сила, равная 30 Н?
24. Ученик ставит опыт: в стакан с водой он кладёт льдинку и наблюдает за уровнем воды в стакане. Предскажите, что он будет наблюдать. Объясните свой ответ.
25. Вес металлического шара равен 7,8 Н. При полном погружении подвешенного к динамометру шара в воду показания динамометра равны 6,8 Н, при полном погружении шара в подкрашенную красным жидкость показания равны 7 Н, а при полном погружении шара в подкрашенную зелёным жидкость показания равны 7,1 Н. При погружении в какую из трёх жидкостей сила Архимеда наибольшая? наименьшая? Чему равны плотности жидкостей?
26. Составьте задачу по теме «Закон Архимеда», ответ которой « $10 \text{ см}^3$ ».

### ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ



27. Исследуйте свойства выталкивающей силы в домашних условиях. В опытах можно использовать пружинные весы. Опишите свои опыты и сделайте фотографии.



28. Используя пружинные весы, определите с помощью гидростатического взвешивания плотность тела произвольной формы, например камня.

## § 21. Плавание тел

### 1. Условие плавания тел

Почему одни тела *плавают* на поверхности воды, а другие — *тонут*?

Поставим вопрос точнее: каким свойством должно обладать тело, чтобы оно могло плавать на поверхности воды?

#### Ставим и решаем задачи



1. Тело произвольной формы объёмом  $V$  и плотностью  $\rho$  плавает на поверхности воды (рис. 21.1). Обозначим объём погружённой части тела  $V_{\text{п}}$ , а плотность воды —  $\rho_{\text{в}}$ .

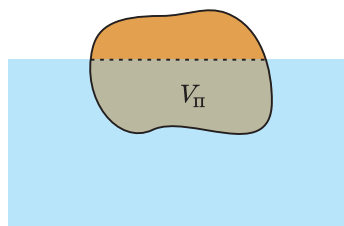


Рис. 21.1

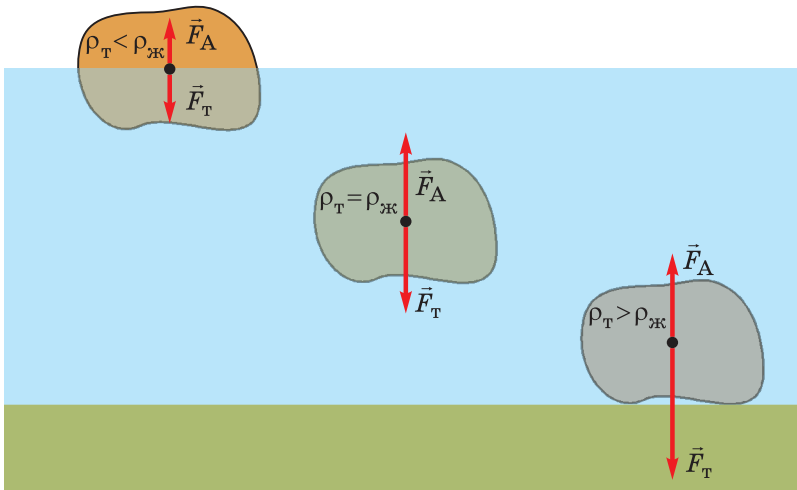
- а) Перенесите рисунок в тетрадь и изобразите на нём силы, действующие на тело. Уравновешивают ли друг друга эти силы? Какой вывод из этого можно сделать?
- б) Выразите действующую на тело силу тяжести  $F_{\text{т}}$  через  $\rho$  и  $V$ .
- в) Выразите действующую на тело силу Архимеда  $F_{\text{А}}$  через  $\rho_{\text{в}}$  и  $V_{\text{п}}$ .
- г) Выведите соотношение между плотностью тела  $\rho$ , плотностью воды  $\rho_{\text{в}}$ , объёмом тела  $V$  и объёмом погружённой части тела  $V_{\text{п}}$ .
- д) Какой должна быть плотность тела, чтобы оно плавало на поверхности воды?

Итак, *сплошное* тело плавает на поверхности воды, если его плотность меньше плотности воды. Если тело имеет полости, надо использовать понятие *средней* плотности, которая равна отношению массы тела ко всему его объёму, включая полости.

Обобщим этот вывод на другие жидкости: *тело плавает на поверхности жидкости, если его средняя плотность меньше плотности этой жидкости.*

**Похожая задача**

2. Сухая деревянная доска толщиной 5 см плавает на поверхности воды, при этом высота выступающей над водой части доски равна 2 см. Из какого дерева может быть изготовлена эта доска?
3. Один и тот же деревянный брусок опускают сначала на поверхность воды, а затем на поверхность керосина.
  - а) Одинаковая ли сила Архимеда действует на брусок в воде и в керосине?
  - б) В какую жидкость брусок погружён глубже?
4. Какая часть объёма айсберга погружена в воду (рис. 21.2)?
5. На рисунке 21.3 схематически изображены тела разной плотности, находящиеся в одной и той же жидкости. Прокомментируйте этот рисунок. Какая сила не изображена на рисунке? Запишите выражение для этой силы.

**Рис. 21.2****Рис. 21.3**

6. Человек может лежать на воде, погрузившись в неё почти полностью (рис. 21.4). Чему равна, исходя из этого наблюдения, средняя плотность человеческого тела?
7. Используя справочные данные, найдите жидкость, в которой будет плавать чугунная гиря при комнатной температуре. Будет ли в этой же жидкости плавать корона из чистого золота?



Рис. 21.4

## 2. Воздухоплавание

Воздушный шар (рис. 21.5) «плавает» в воздухе «благодаря» закону Архимеда, который справедлив не только для жидкостей, но и для газов: *находящееся в газе тело действует выталкивающая сила, равная весу газа в объёме тела.*



Рис. 21.5

8. Какова физическая природа силы Архимеда, действующей на тело, находящееся в воздухе?
9. Чему равна сила Архимеда, действующая на покоящийся воздушный шар, масса которого вместе с корзиной равна 260 кг? Чему равен объём такого шара вместе с оболочкой и грузом? Плотность воздуха примите равной  $1,3 \text{ кг/м}^3$ .

Ответ этой задачи объясняет, почему воздушные шары делают такими большими.

10. Оцените, чему равна действующая на вас сила Архимеда. Плотность воздуха примите равной  $1,3 \text{ кг/м}^3$ .

Сила Архимеда, действующая на покоящийся в воздухе воздушный шар, равна по модулю силе тяжести, действующей на газ, заполняющий шар, оболочку шара и груз — например, корзину с пассажирами.

С другой стороны, согласно закону Архимеда действующая на шар сила Архимеда равна *весу окружающего воздуха* в объёме, равном объёму шара вместе с оболочкой и грузом.

Отсюда следует, что *воздушный шар должен быть наполнен газом, плотность которого меньше плотности окружающего шар воздуха*. Иначе он не сможет поднять груз, плотность которого больше плотности окружающего воздуха.

Прогулочные воздушные шары наполняют горячим воздухом. Воздух нагревают газовой горелкой. Такой шар может подняться не выше нескольких сотен метров.

**11.** Почему плотность горячего воздуха меньше, чем холодного?

Чтобы воздушный шар поднялся на высоту в несколько километров, его наполняют газом, плотность которого во много раз меньше плотности воздуха, — *водородом* или *гелием*. На рисунке 21.6 изображён шар-зонд, который используют для исследования верхних слоёв атмосферы.



Рис. 21.6

## ХОЧЕШЬ УЗНАТЬ БОЛЬШЕ?

### 3. Плавание судов

**12.** Почему алюминиевая фольга тонет в воде, а сделанная из той же фольги лодочка — *плавает* (рис. 21.7)?

Ответ на этот вопрос делает понятным, почему могут плавать стальные корабли. В подводной части любого корабля есть большие полости — благодаря им металлический корабль вытесняет объём воды, во много раз превышающий объём металла, из которого изготовлен корабль. Вес вытесненной плавающим кораблём воды равен весу *всего* корабля.

Учитывая полости в корабле, можно сказать, что *средняя плотность корабля должна быть меньше плотности воды*.



Рис. 21.7



Глубину погружения судна в воду называют *осадкой*. На борту судна обычно наносят *ватерлинию*, отмечающую его наибольшую допустимую осадку (рис. 21.8).

*Водоизмещением* судна называют массу судна с наибольшим допустимым грузом. Например, водоизмещение большого круизного лайнера может превышать 100 000 т. Водоизмещение любительской яхты составляет обычно несколько тонн.

*Грузоподъёмностью* судна называют максимальную массу груза, который может перевозить это судно.



Рис. 21.8



### ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Чтобы тело плавало на поверхности жидкости, средняя плотность тела должна быть меньше плотности жидкости.
- *Закон Архимеда для газов*: на тело, находящееся в газе, действует выталкивающая сила, равная весу газа в объёме всего тела. Благодаря действию силы Архимеда возможно воздухоплавание.
- Воздушные шары наполняют газом, плотность которого меньше плотности окружающего воздуха: тёплым воздухом, водородом или гелием.
- Суда плавают благодаря тому, что в «подводной» части судна есть полости.

### ? ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

#### Базовый уровень

13. Сформулируйте условия плавания однородных тел и приведите примеры случаев, когда: а) тело плавает на поверхности воды; б) тело плавает, полностью погружившись в воду; в) тело тонет.
14. Приведите примеры металлов, из которых можно изготовить кольцо, тонущее в ртути.
15. Тело объёмом  $1 \text{ дм}^3$  и массой 900 г поочерёдно погружают в воду и в керосин. В какой жидкости тело будет плавать?

16. Утонет ли шар объёмом  $500 \text{ см}^3$  в воде, если его вес в воздухе равен  $4,2 \text{ Н}$ ? Пользуясь справочными данными на форзаце учебника, определите: в каких из указанных там жидкостей будет плавать этот шар?
17. Три бруска плавают на поверхности воды, как показано на рисунке 21.9. Какой из них изготовлен из ели, какой из сосны, а какой — из дуба?

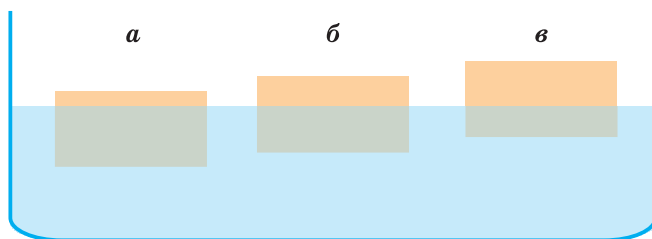


Рис. 21.9

18. Чему равна плотность пенопласта, если лист пенопласта толщиной  $10 \text{ см}$  плавает на поверхности воды, погрузившись в неё на  $2 \text{ см}$ ?
19. Какой должна быть плотность газа, заполняющего воздушный шар, чтобы он смог подняться: больше плотности окружающего воздуха, равна ей или меньше неё? Обоснуйте свой ответ.
20. Почему шар, наполненный горячим воздухом, не может подняться на большую высоту?

### Повышенный уровень

21. Плотность тела, плавающего на поверхности воды, в  $3$  раза меньше плотности этой жидкости. Чему равно отношение объёмов надводной и подводной частей тела?
22. Еловый брусок плавает в жидкости (рис. 21.10). Какая это может быть жидкость?
23. В цилиндрический сосуд налили ртуть, керосин и воду. Сделайте в тетради рисунок, схематически изображающий расположение этих жидкостей. Где будут находиться льдинка, пробка, свинцовая дробинка и золотое кольцо, опущенные в этот сосуд?
24. Какие газы можно использовать для воздушных шаров, поднимающихся в верхние слои атмосферы? Обоснуйте свой ответ.

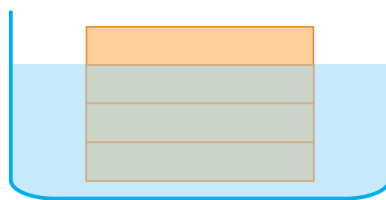


Рис. 21.10



25. Почему воздушные шары делают большими?
26. Когда на плоскую льдину взобрался белый медведь массой 0,5 т, она погрузилась в воду на 10 см глубже. Какова площадь льдины? Какова масса льдины?
27. Найдите в Интернете информацию об устройстве подводной лодки. Объясните, благодаря чему лодка способна изменять глубину погружения.

### Высокий уровень

28. Когда на льдине лежит белый медведь массой 500 кг, объём надводной части льдины равен 2 м<sup>3</sup>. Чему равен объём всей льдины?
29. Чему может быть равна масса плоской льдины, если она не погружается полностью в воду, когда на неё помещают груз массой 60 кг?
30. Чему равна максимальная масса груза, которую сможет поднять воздушный шар объёмом 60 м<sup>3</sup>, если его заполнить гелием? Масса оболочки шара равна 20 кг. Примите, что объёмом оболочки и груза можно пренебречь.
31. В романе Жюль Верн «Двадцать тысяч лье под водой», написанном во второй половине 19-го века, описана подводная лодка «Наутилус», внутри которой есть большие залы и даже сад. Сегодня в морях и океанах плавают большие подводные лодки, но ни в одной из них нет просторных залов и тем более — садов. Почему?
32. Почему затонувший корабль труднее поднять с илистого дна, чем такой же корабль — с каменистого дна?
33. Составьте задачу, ответ которой «В машинном масле будет плавать, а в нефти утонет».



### ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

34. Определите плотность древесины, из которой изготовлена линейка (удобно для этого воспользоваться трёхлитровой банкой с водой). Опишите свой опыт и проиллюстрируйте его фотографиями или видеосъёмкой.
35. Сделайте из фольги или слепите из пластилина лодочку, опустите её на поверхность воды и определите, груз какой наибольшей массы может «перевозить» ваша лодочка.
36. Налейте в стакан воду, опустите в воду льдинку и отметьте на стенке стакана уровень воды. Понаблюдайте за уровнем воды в стакане в процессе таяния льда. Сделайте несколько фотографий этого процесса. Объясните полученные результаты.

## ГЛАВНОЕ В ГЛАВЕ IV

- Давлением  $p$  называют отношение модуля силы давления  $\vec{F}$ , действующей перпендикулярно поверхности, к площади  $S$  этой поверхности:  $p = \frac{F}{S}$ .
- Единица давления в СИ — *паскаль* (Па):  $1 \text{ Па} = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2}$ .
- Давление газа на стенку сосуда обусловлено ударами хаотически движущихся молекул газа по стенке.
- *Закон Паскаля*: давление, производимое внешними силами на жидкость или газ, передаётся без изменения в каждую точку жидкости или газа.
- С помощью *гидравлического пресса*, действие которого основано на законе Паскаля, можно получить выигрыш в силе:  $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$ .
- Давление жидкостей и газов измеряют *манометрами*.
- При уменьшении объёма и при повышении температуры давление газа увеличивается.
- Давление жидкости увеличивается с глубиной: на глубине  $h$  давление жидкости  $p = \rho gh$ .
- *Закон сообщающихся сосудов*: в сообщающихся сосудах, в которые налита одна и та же жидкость, поверхность жидкости находится на одном уровне.
- Земля окружена воздушной оболочкой — *атмосферой*. Из-за притяжения к Земле атмосфера давит на её поверхность и на все тела, находящиеся у поверхности Земли.
- Атмосферное давление на уровне моря — около 100 кПа. Это значение давления называют *нормальным атмосферным давлением*. Оно примерно равно давлению, создаваемому столбом воды высотой 10 м или столбом ртути высотой 760 мм.



- В опыте Торричелли ртуть не выливается из трубки, потому что её удерживает давление атмосферы на поверхность ртути в чаше.
- Атмосферное давление измеряют *барометрами*.
- Уменьшение атмосферного давления предсказывает ухудшение погоды, а повышение атмосферного давления — улучшение погоды.
- С увеличением высоты давление атмосферы уменьшается.
- На тело, полностью или частично погружённое в жидкость, действует направленная вверх выталкивающая сила (*сила Архимеда*). Эта сила — равнодействующая сил давления, действующих на все участки погружённой в воду поверхности тела.
- *Закон Архимеда*: на тело, полностью или частично погружённое в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу жидкости в объёме погружённой части тела.
- Закон Архимеда для газов: на тело, находящееся в газе, действует выталкивающая сила, равная весу газа в объёме тела. Благодаря действию силы Архимеда возможно воздухоплавание.
- Воздушные шары наполняют газом, плотность которого меньше плотности окружающего воздуха: тёплым воздухом, водородом или гелием.