§ 33. Газы и их вес

То, что жидкость имеет вес, никого не удивляет. Каждый из вас ощущал вес, держа в руке ведро воды (рис. 196), бутылку растительного масла или напитка. Однако мы не чувствуем изменения веса мяча при его накачивании воздухом. Почему?

Рис. 196

Посмотрите в таблицу плотностей (с. 73) и сравните плотность воздуха и воды. Плотность воздуха почти в 800 раз меньше плотности воды.

Расчеты показывают, что, например, в сильно накачанном мяче вес воздуха находится в пределах 0,1 Н, а его масса около 10 г.

Покажем на опыте наличие у воздуха массы, а следовательно, веса. Уравновесим на весах стеклянный сосуд, заполненный воздухом. Откачаем насосом воздух и взвесим сосуд повторно. Он стал легче (рис. 197). Добавляя на чашу с сосудом разновес, можно узнать массу откачанного воздуха и его вес.

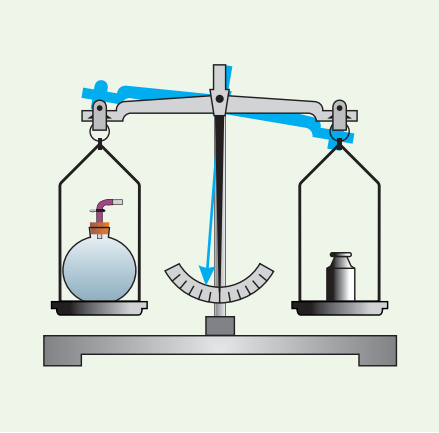


Рис. 197

Воздушный слой, окружающий Землю (земная атмосфера), тоже имеет вес. На каждую молекулу этого слоя действует Земля силой тяжести. Молекулы земной атмосферы, если бы на них не действовала сила тяжести, двигаясь хаотично, давно покинули бы нашу планету. Но тяготение Земли стремится расположить их у поверхности, что приводит к неоднородности атмосферы. Ее плотность заметно убывает с высотой. Так, на высоте $h_1 = 6$ км плотность воздуха уже в 2 раза меньше, чем у поверхности Земли. На высоте $h_2 = 40$ км плотность $\rho_2 = 0{,}004\ \frac{кг}{м^3}$, а на высоте $h_3 = 400$ км, где летают спутники, об атмосфере можно говорить лишь условно, так как ее плотность $\rho_3 = 3 \cdot 10^{-12}\ \frac{кг}{м^3}$.

Правообладатель Народная асвета

Главные выводы

1. Газы обладают массой и весом.
2. Земная атмосфера обладает весом вследствие действия на нее притяжения Земли.
3. Действие силы тяжести и хаотическое движение молекул приводят к неодинаковой плотности земной атмосферы.

Контрольные вопросы

1. Как доказать, что газ (воздух) имеет массу?
2. Почему при указании плотности газа оговаривают условия, при которых находится газ?
3. Почему газы чаще всего используют сжатыми?
4. Как изменяется плотность воздуха с изменением высоты? Почему?

Для любознательных

Обратите внимание, что приведенные в таблице 3 (с. 73) плотности газов указаны при нормальных условиях, т. е. при строго определенной температуре и давлении. При сжатии газов (и обычного воздуха) их плотности могут возрастать во много раз. Такие сильно сжатые газы, во-первых, очень удобны при транспортировке, например в баллонах с кислородом для сварки или в баллонах аквалангистов. Во-вторых, сжатые до высокого давления газы удобно использовать при работе отбойного молотка и пневматических (от греч. *pnéuma* — дуновение, дыхание) тормозов. Такие тормоза устанавливаются на мощных автомобилях, в том числе на автомобилях МАЗ и БелАЗ. Устройства для сжатия различных газов называют *компрессорами*.

Правообладатель Народная асвета

§ 34. Атмосферное давление

Вы знаете, что атмосфера Земли — газовая оболочка. В ее состав входят азот, кислород, углекислый газ, водяные пары и другие газы (рис. 198).

Всякий газ, если он находится в сосуде, производит давление на стенки сосуда, так как молекулы газа непрерывно бомбардируют эти стенки. А производит ли давление атмосфера Земли? Чем обусловлено это давление?

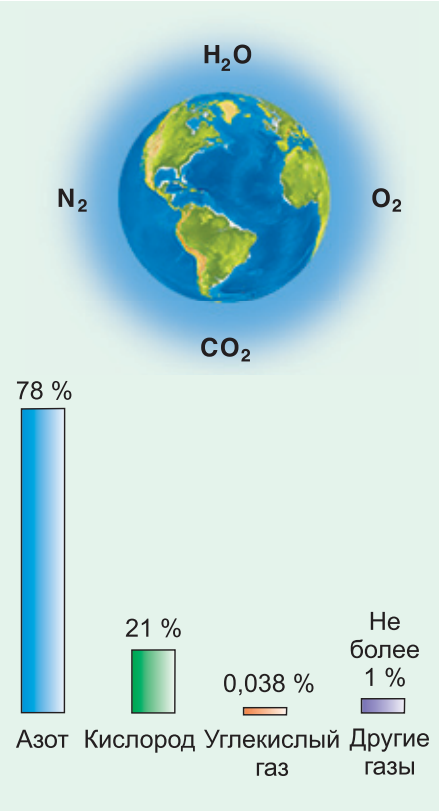


Рис. 198

Атмосфера Земли удерживается силой тяжести, действующей со стороны Земли. В результате действия этой силы верхние слои атмосферы давят на нижние. Поэтому нижний слой оказывается наиболее сжатым. Давление одного слоя атмосферы на другой по закону Паскаля передается по всем направлениям и действует на любое тело: на здания, на растения, на людей. Это давление называют *атмосферным*. Атмосферное давление по мере удаления от поверхности Земли уменьшается. Уменьшается толщина слоя воздуха и его плотность.

Атмосферное давление можно рассчитать. Результаты этих расчетов не могут не удивлять. Атмосферное давление равно примерно 100 000 $\frac{Н}{м^2}$. Значит, на каждый квадратный сантиметр нашего тела действует сила 10 Н, а на всю площадь поверхности тела (примем ее за 1 $м^2$) — сила 100 000 Н. Она равна весу десятитонного МАЗа! Как же мы живем под таким гигантским давлением?

Рис. 199

Вспомните глубоководных рыб (рис. 199). Подобно им, мы просто не замечаем этой огромной сжимающей силы. Она компенсируется равной расширяющей силой, создаваемой давлением воздуха внутри нас (он растворен даже в нашей крови).

Правообладатель Народная асвета

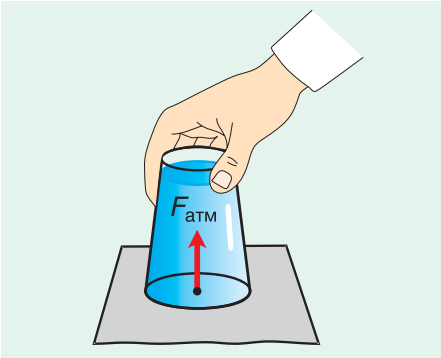


Рис. 200

Так что же, атмосферное давление вообще нельзя обнаружить? Для ответа на этот вопрос обратимся к опыту. Возьмем стакан с водой, накроем его листом бумаги, перевернем, придерживая рукой лист, а затем уберем руку (рис. 200). Мы видим, что вода из стакана не выливается, лист не отрывается. Сила атмосферного давления, приложенная к листу бумаги, компенсирует действие веса налитой воды и разреженного воздуха в стакане.

Рис. 201

Опустите иглу шприца в подкрашенную воду и поднимайте поршень вверх. Вы увидите, что жидкость поднимается вслед за поршнем (рис. 201) противоположно направлению действия силы тяжести. Сила атмосферного давления заставляет сок подниматься вверх по соломинке (рис. 202). Примеров проявления действия атмосферного давления много.

Как измерить атмосферное давление? Рассмотрим наиболее важный из опытов, проведенный в 1643 г. по предложению итальянского физика и математика Эванджелисты Торричелли (см. форзац 1).

Рис. 202

В этом опыте запаянная с одной стороны метровая стеклянная трубка (рис. 203, *а*) заполнялась ртутью. Верхний конец трубки закрывался. Трубка переворачивалась и опускалась в широкий сосуд со ртутью, после чего отверстие открывалось. Часть ртути вытекала из трубки в сосуд. В трубке оставался столб ртути высотой H около 76 см (760 мм) (рис. 203, *б*).

Что же удерживало от вытекания оставшуюся в трубке ртуть? Широкий сосуд и трубка — это, по сути, уже известные вам сообщающиеся сосуды. Над ртутью в трубке воздуха нет. На ртуть в широком сосуде действует атмосферное давление, которое жидкая ртуть передает по всем направлениям, в том числе вверх. Сила этого давления и поддерживает ртутный столб.

Правообладатель Народная асвета

Рассмотрим условия равновесия тонкого слоя ртути (на рисунке 203, *б* он обозначен желтым цветом). Это условие требует, чтобы сила атмосферного давления снизу и сила гидростатического давления столба ртути сверху были равны. А это значит, что $p_{атм} = p_{гидрост}$. Таким образом, измерив высоту столба ртути H, мы можем рассчитать его давление по формуле $p_{гидрост} = g\rho H$ и тем самым определить величину атмосферного давления.

Поскольку атмосферное давление определяется высотой столба ртути, то понятно, почему очень часто его измеряют не в международных единицах (паскалях), а в миллиметрах ртутного столба.

Выразим в паскалях внесистемную единицу давления 1 миллиметр ртутного столба (сокращенно 1 мм рт. ст.):

$$p_{1\ мм\ рт.\ ст.} = g\rho h =$$

$$= 9{,}8\ \frac{Н}{кг} \cdot 13\,600\ \frac{кг}{м^3} \cdot 0{,}001\ м\ \approx 133\ Па.$$

По договоренности атмосферное давление считают нормальным, если оно равно давлению столба ртути высотой $h = 760$ мм при температуре $t = 20$ °C. Такое давление называют *одной нормальной* или *физической атмосферой* (сокращенно 1 атм):

$$1\ атм = 760\ мм\ рт.\ ст. = 101\ 293\ Па.$$

В большинстве случаев мы будем использовать округленное значение: 1 атм ≈ 100 кПа.

Атмосферное давление играет важную роль в работе многих бытовых и технических устройств. Оно лежит в основе работы пипетки, шприца и др. Знакомые многим резиновые присоски (рис. 204) используются как в быту, так и на заводах для переноса сложнейших узлов электроники, прикосновение к которым (даже в перчатках) совершенно недопустимо.

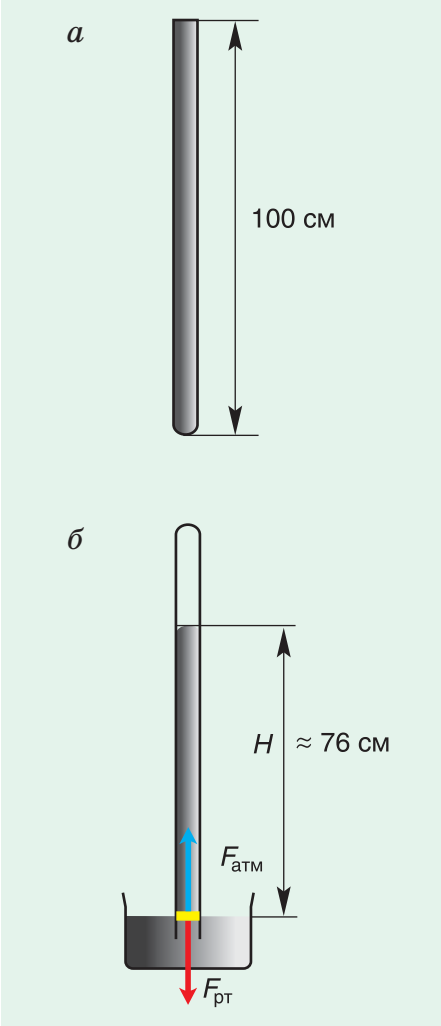


Рис. 203

Рис. 204

Правообладатель Народная асвета

Главные выводы

1. Удерживаемая земным притяжением атмосфера Земли производит давление.
2. Человек не ощущает атмосферного давления, так как оно действует как снаружи, так и изнутри него.
3. За нормальное атмосферное давление принято давление столба ртути высотой 760 мм.

Контрольные вопросы

1. Что называется атмосферным давлением?
2. Какова причина существования атмосферного давления?
3. В чем значение опыта Торричелли?
4. Назовите все известные вам единицы атмосферного давления.

Домашнее задание

Налейте в пластиковую бутылку горячей воды. Через минуту вылейте воду и закройте бутылку крышкой. Бутылку охладите. Объясните причину деформации бутылки.

Для любознательных

В середине XVII в. в немецком городе Магдебурге ученым Отто фон Герике был проведен опыт-спектакль. Из пространства между двумя одинаковыми медными полушариями был откачан воздух. Для разрыва полушарий, т. е. для преодоления сил атмосферного давления, потребовалось 8 пар самых сильных лошадей. Разрыв сопровождался сильным хлопком, подобным звуку выстрела.

Правообладатель Народная асвета

Упражнение 15

1. Почему трудно пить сок из бутылки или пакета, не впуская в них воздух?

2. Почему абсолютно недопустима потеря герметичности скафандра космонавта, работающего в открытом космосе?

3. Выразите в килопаскалях атмосферное давление:

а) p_1 = 10 м водяного столба;

б) p_2 = 750 мм рт. ст.

4. Определите высоту столба ртути, который уравновешивается атмосферным давлением p = 100 кПа.

5. Почему в опыте Торричелли использовалась ртуть, а не вода?

6. При каком значении атмосферного давления на обложку лежащей на столе книги площадью поверхности S = 4,0 дм^2 действует сила давления F = 3,6 кН?

7. Объясните принцип действия пипетки (рис. 205).

8. На рисунке 206 схематически изображено устройство всасывающего насоса: *1* — цилиндрическая трубка; *2* — поршень; *3*, *4* — металлические клапаны; *5* — шток и ручка. Как работает насос?

9. Кубик с ребром, равным a = 50 мм, массой m = 900 г лежит на дне сосуда (рис. 207), в который налита вода на высоту h = 15 см. Определите вертикальную силу, которую надо приложить в центре верхней грани кубика, чтобы оторвать его ото дна. Вода под кубик не проникает. Атмосферное давление равно p = 760 мм рт. ст. Коэффициент g примите равным 10 $\frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Рис. 205

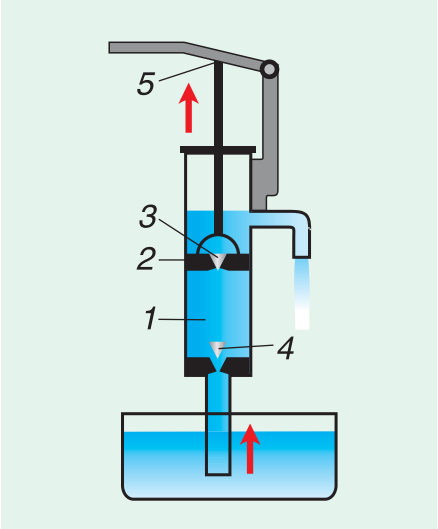


Рис. 206

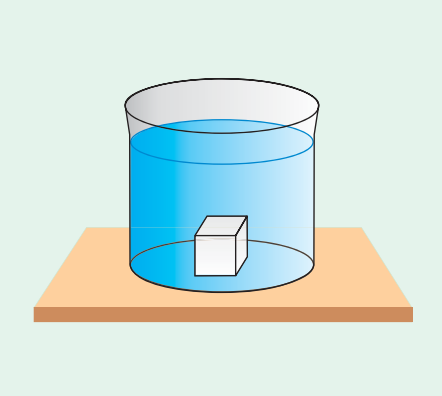


Рис. 207

Правообладатель Народная асвета

§ 35. Измерение атмосферного давления. Барометры и манометры

Рис. 208

Ежедневно мы получаем информацию о величине атмосферного давления и его изменении. Почему оно не является постоянным? Почему на разных территориях Земли давление разное? Как давление зависит от высоты?

Атмосферное давление зависит от состава воздуха. Так, например, при поступлении влажного воздуха, насыщенного водяными парами, давление уменьшается. Это обусловлено тем, что масса молекул воды заметно меньше массы других молекул атмосферы — азота, кислорода и др.

Наиболее сжатыми, а значит, более плотными являются прилегающие к поверхности Земли слои атмосферы. Следовательно, значение атмосферного давления зависит от высоты места над уровнем моря. На вершине самой высокой (h = 8848 м) горы Эверест (рис. 208) давление почти в 3 раза меньше, чем у ее подножия.

Вода, как и другие жидкости, практически несжимаема. Поэтому давление жидкости от высоты столба зависит прямо пропорционально ($p = g\rho h$). Зависимость же атмосферного давления от высоты описывается гораздо более сложной формулой. Однако для расчетов, не требующих большой точности (при не очень больших высотах), можно считать, что **при подъеме на каждые 12 м давление убывает на 1 мм рт. ст.** Зависимость давления от высоты можно использовать для измерения высоты подъема (альпинистов, летательных аппаратов).

Так, если при подъеме давление уменьшилось на 20 мм рт. ст., то это значит, что высота подъема:

$$h \approx 20 \text{ мм рт. ст.} \cdot 12 \ \frac{\text{м}}{\text{мм рт. ст.}} \approx 240 \text{ м}.$$

Рис. 209

Приборы, измеряющие высоту по такому принципу, называют *альтиметрами* (рис. 209) (от лат. *altus* — высокий и *metron* — мера).

Правообладатель Народная асвета

Атмосферное давление измеряют *барометрами* (от греч. *baros* — тяжесть и *metron* — мера). Простейшим барометром является сосуд со ртутью и трубка, используемые в опыте Торричелли (см. рис. 203). Однако ртутные барометры не находят широкого применения, хотя имеют высокую точность. Пары ртути вредны для человека. На практике в основном пользуются металлическим барометром — *анероидом*. Хотя он менее точен, чем ртутный, но совершенно безопасен.

Внешний вид и внутреннее устройство барометра-анероида представлены на рисунке 210, *а*, *б*. Главной частью анероида является металлическая коробочка *1* с волнистой (гофрированной) верхней и нижней поверхностями. Воздух из коробочки откачан до большого разряжения.

Когда повышается давление снаружи корпуса, т. е. атмосферное давление, то гофрированные поверхности коробочки прогибаются внутрь и тянут прикрепленную к ним упругую пластинку *2*. Уменьшение атмосферного давления возвращает гофрированную поверхность в исходное положение. Если давление далее уменьшается, то поверхность выпячивается вверх. Стрелка барометра *4* с помощью передаточного механизма *3* опускается по шкале против часовой стрелки, показывая уменьшение давления.

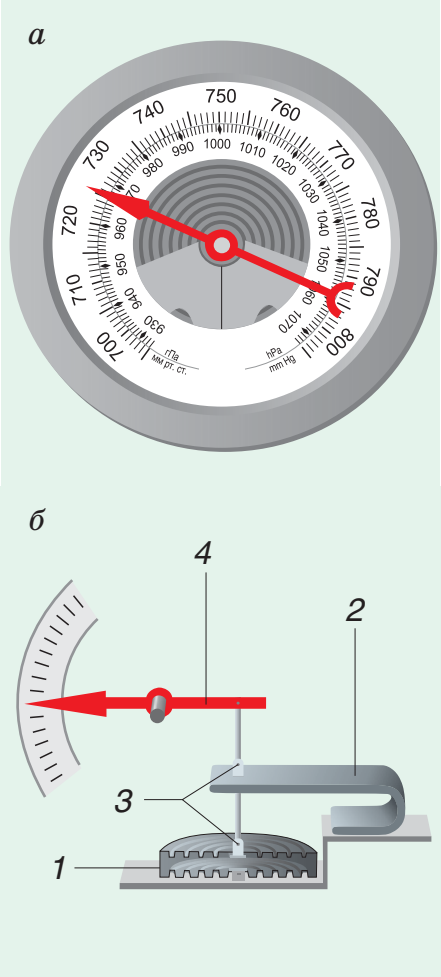


Рис. 210

Шкалу анероида предварительно градуируют, т. е. наносят деления по показаниям ртутного барометра. Значения давления на шкале выражены в миллиметрах ртутного столба и в гектопаскалях (гПа).

Для измерения разности давления в сосуде и атмосферного давления служат *манометры* (от греч. *manos* — неплотный и *metron* — мера). Простейший манометр — жидкостный. Он представляет собой U-образную трубку с жидкостью (рис. 211). Одно колено трубки присоединяется к сосуду, давление в котором необходимо измерить. Другое

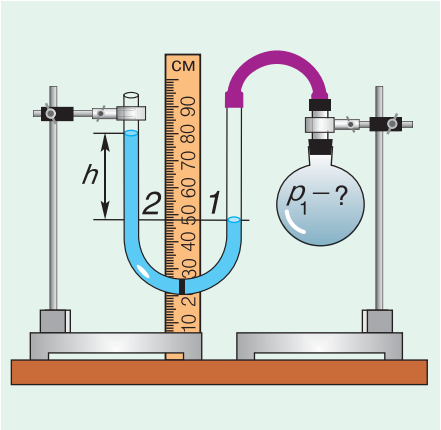


Рис. 211

Правообладатель Народная асвета

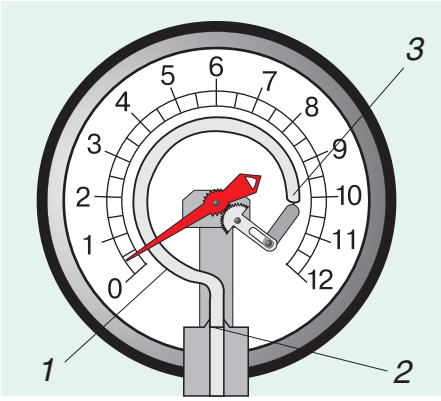


Рис. 212

Рис. 213

колено открыто. Если уровень поверхности жидкости в колене, соединенном с сосудом, ниже, чем в открытом, значит, давление газа p_1 в сосуде больше атмосферного p_0 на величину давления столба жидкости высотой h, т. е. $p_1 - p_0 = g\rho h$.

А если давление газа в несколько раз больше атмосферного? Для измерения высоких давлений применяют металлический манометр (рис. 212). Его основным элементом является полая тонкостенная металлическая трубка *1*, согнутая в дугу. Один конец трубки *3* закрыт, другой *2* присоединяется к сосуду с газом. Закрытый конец *3* через зубчатый механизм соединен со стрелкой, движущейся относительно шкалы. Чем больше давление в трубке (а значит, в сосуде), тем больше распрямляется трубка и тем больше отклоняется стрелка. Нуль на шкале соответствует атмосферному давлению. Значит, если стрелка стоит на цифре «8», давление в сосуде в 9 раз больше атмосферного. Именно так устроен манометр для контроля давления в автомобильных шинах (рис. 213).

Главные выводы

1. Атмосферное давление зависит от высоты местности и метеоусловий.
2. Зависимость атмосферного давления от высоты и метеоусловий можно использовать для измерения высоты и для прогноза погоды.
3. Атмосферное давление измеряют барометрами, а давление газов в сосудах — манометрами.

Контрольные вопросы

1. Почему, когда самолет набирает высоту или идет на посадку, пассажиры испытывают боль в ушах?
2. Какими приборами измеряется атмосферное давление?
3. Можно ли, имея барометр, измерить высоту горы? Что можно сказать о точности таких измерений? Почему?
4. Почему большие давления нельзя измерить жидкостным манометром?
5. Какой барометр измеряет давление точнее — ртутный или барометр-анероид? Почему?

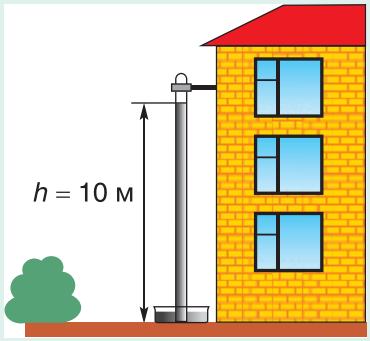
Правообладатель Народная асвета

Для любознательных

Жидкостными манометрами можно измерять давление, отличающееся от атмосферного лишь незначительно. Так, если в примере на страницах 127—128 давление в сосуде будет в 2 раза больше атмосферного, т. е. $p_1 = 2p_0$, то согласно формуле $p_1 = p_0 + g\rho h$ имеем:

$$g\rho h = 2p_0 - p_0, \text{ откуда}$$

$$h = \frac{p_0}{g\rho}.$$



При использовании в манометре воды

$$h = \frac{100\,000 \text{ Па}}{10\,\frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1000\,\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 10 \text{ м}.$$

Представьте размеры такого прибора! При использовании ртути размеры уменьшаются в 13,6 раза, но возникают новые проблемы — пары ртути ядовиты.

Пример решения задачи

У подножия горы барометр показывает давление $p_1 = 750$ мм рт. ст., а на ее вершине — $p_2 = 740$ мм рт. ст. Определите высоту данной горы.

Дано:
$p_1 = 750$ мм рт. ст.
$p_2 = 740$ мм рт. ст.

H — ?

Решение

Разность давлений у подножия горы и на ее вершине:

$$p_1 - p_2 = 750 \text{ мм рт. ст.} - 740 \text{ мм рт. ст.} = 10 \text{ мм рт. ст.}$$

Учтем, что на 1 мм рт. ст. давление уменьшается при подъеме примерно на высоту $h_0 = 12$ м. Тогда высота горы:

$$H = 12\,\frac{\text{м}}{\text{мм рт. ст.}} \cdot 10 \text{ мм рт. ст.} = 120 \text{ м}.$$

Ответ: $H = 120$ м.

Правообладатель Народная асвета

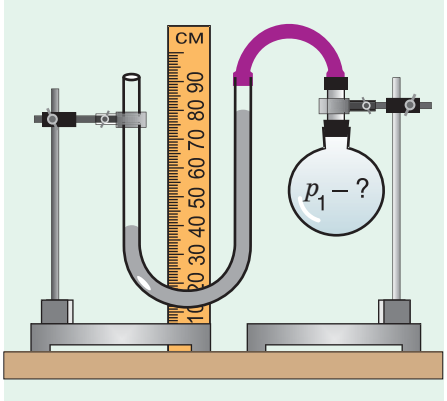


Рис. 214

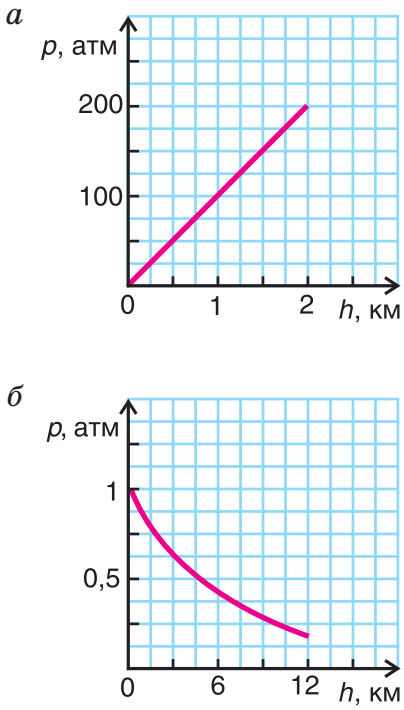


Рис. 215

Упражнение 16

1. Почему в Минске почти не бывает давления, принятого за нормальное? (Практически целый год в Минске давление меньше 760 мм рт. ст.)

2. В классе на первом этаже барометр показывает давление $p_1 = 750$ мм рт. ст., а на берегу озера — $p_2 = 753$ мм рт. ст. Определите, на какой высоте над уровнем озера расположена школа.

3. Здание имеет высоту $h = 189$ м. На сколько и в какую сторону будет отличаться атмосферное давление на последнем и первом этажах этого здания?

4. Определите давление газа в колбе (рис. 214), если бы в манометре была использована ртуть. Какие значения давления можно было бы измерять этим манометром? Атмосферное давление примите равным $p_{атм} = 100$ кПа.

5. На графиках представлено изменение давления с изменением расстояния от поверхности Земли в водном (рис. 215, *а*) и воздушном (рис. 215, *б*) океанах Земли. Какую информацию вы можете извлечь из данных графиков?

6. Внутри космических кораблей (в невесомости) космонавты дышат воздухом. Производит ли этот воздух давление? Можно ли это давление называть атмосферным?

Темы проектных заданий

1. Давление. Его проявление в природе и технике.
2. Почему рыбам находиться на глубине безопаснее, чем человеку и технике?
3. Атмосферное давление. Его проявление в технике и быту.

Правообладатель Народная асвета