



§ 31.

Давление жидкости, обусловленное ее весом

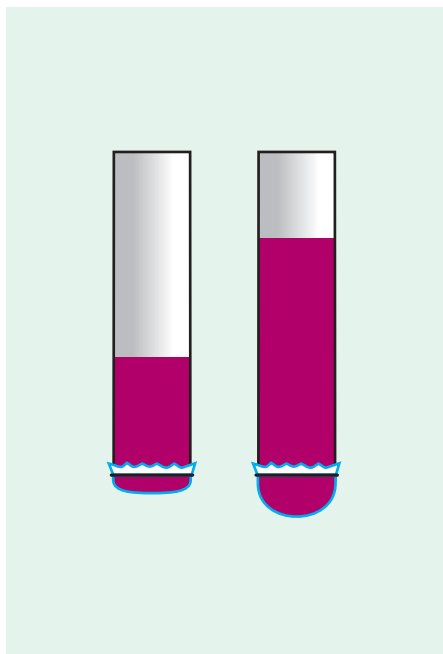


Рис. 182

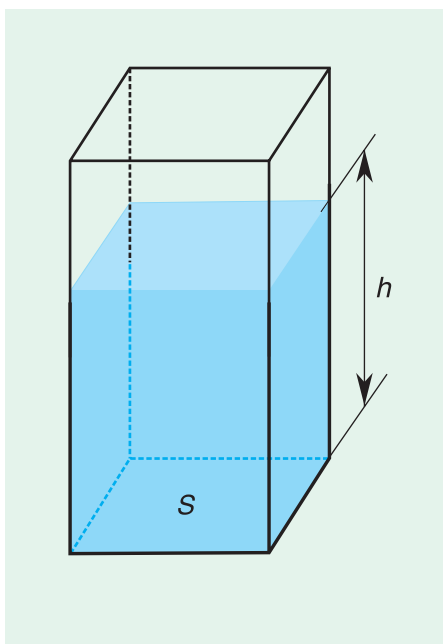


Рис. 183

Благодаря подвижности частиц (атомов, молекул) жидкость принимает форму того сосуда, в который она налита. Если на жидкость действует внешняя сила давления, то жидкость передает созданное этой силой давление во все точки. Но жидкость создает давление и за счет своего веса, причем не только на дно сосуда, но и на стенки.

В том, что жидкость давит на дно сосуда, можно убедиться, используя эластичный полиэтиленовый пакет или трубку, нижний конец которой закрыт резиновой пленкой. Постепенно наливая подкрашенную воду в сосуд, мы обнаружим увеличивающийся прогиб пленки (рис. 182).

Причиной увеличения прогиба является рост давления воды на пленку. Притягиваясь к Земле, жидкость давит своим весом на пленку подобно тому, как давит на стол стопка книг. **Давление неподвижной жидкости, обусловленное ее весом, называют гидростатическим** (от лат. *hydros* — вода, *statis* — неподвижный).

Гидростатическое давление можно рассчитать. Так, давление столба жидкости высотой h на дно сосуда с вертикальными стенками и площадью дна S (рис. 183) равно $p = \frac{F}{S}$. Силой давления F является вес жидкости. Для неподвижной жидкости ее вес численно равен силе тяжести:

$$F = P = gm.$$

Выразим массу m жидкости через плотность ρ и объем V . Масса $m = \rho V$. Объем $V = Sh$, тогда $m = \rho Sh$. Подставим в формулу давления, получим: $p = \frac{F}{S} = \frac{g\rho Sh}{S} = g\rho h$;

$$p = g\rho h.$$

Итак, давление жидкости на дно сосуда зависит от ее плотности и высоты столба жидкости.

Чем больше плотность жидкости и чем больше высота столба жидкости в сосуде, тем большее гидростатическое давление она оказывает на дно сосуда.

Выведенная формула справедлива для сосуда любой формы, даже если таким «сосудом» является пруд или океан.

Чтобы подтвердить формулу, к сосуду с эластичным дном присоединим измерительную систему (рис. 184). При замене цилиндрического сосуда (а) на конические (б и в) (сосуды имеют одинаковую площадь дна и равные высоты столбов жидкости) прибор показывает равные силы давления. Значит, давления жидкости на дно всех сосудов равны, хотя масса жидкости в сосудах разная.

Формула $p = g\rho h$ позволяет найти давление не только на дно, но и на боковые стенки.

Действительно, давление на стенку на данной глубине, как и на дно, зависит от высоты столба жидкости. Подтвердим это опытом. Нальем в пластиковую бутылку с проколотыми в стенке отверстиями подкрашенную воду (рис. 185). Наблюдения за вытекающими струями показывают, что гидростатическое давление действует и на стенку бутылки. Его величина возрастает по мере увеличения высоты столба воды в бутылке над отверстием. По этой причине струя III падает дальше, чем струя I.

Чтобы объяснить это явление, разделим мысленно жидкость на слои 1, 2, 3, 4. На каждый нижний слой жидкости действует вес верхних ее слоев. Сила тяжести, действующая на слой 1, прижимает его к слою 2. Слой 2 передает производимое на него давление слоя 1 по всем направлениям. На слой 3 действует вес слоев 1, 2. Следовательно, давление в слое 3 больше, чем в слое 2. Наибольшим оно будет у дна сосуда.

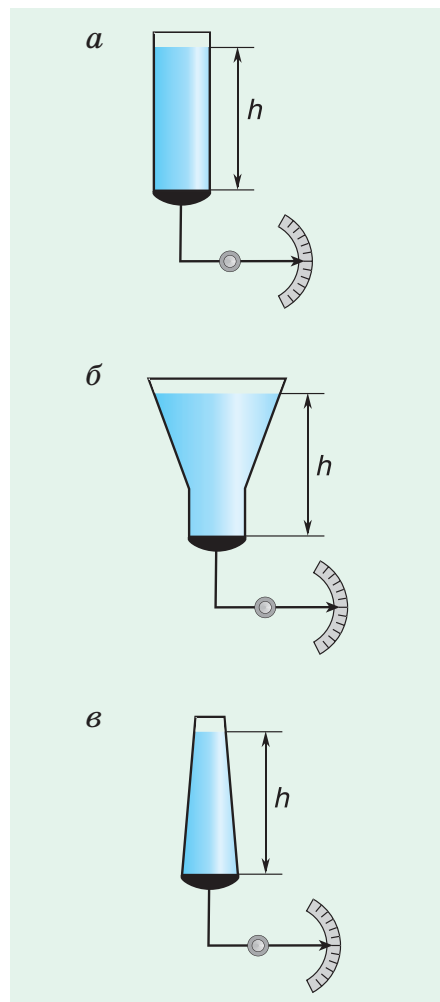


Рис. 184

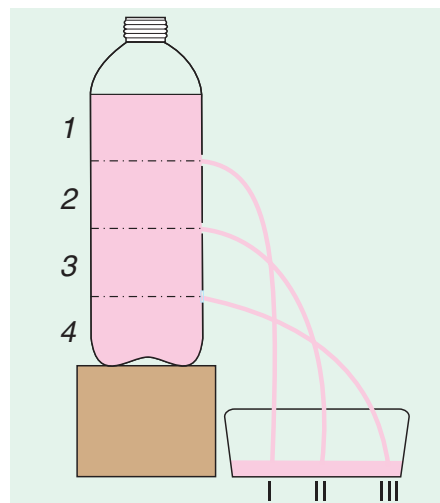


Рис. 185

■ Главные выводы

1. Гидростатическое давление обусловлено весом покоящейся жидкости.
2. Гидростатическое давление на данной глубине зависит от плотности жидкости и высоты столба жидкости.
3. Гидростатическое давление на боковую стенку сосуда и на поверхность находящегося в жидкости тела на глубине h равно gph .

? Контрольные вопросы

1. Что такое гидростатическое давление?
2. От каких величин зависит значение гидростатического давления?
3. Почему гидростатическое давление не зависит от площади дна сосуда?
4. Как определить давление на дно сосуда, в который налиты слой воды и слой керосина?
5. Можно ли создать большое гидростатическое давление, имея небольшое количество жидкости?
6. Возможно ли гидростатическое давление в космическом корабле, на других небесных телах (Луне, Марсе)?



Для любознательных

Гидростатическое давление — главное препятствие для проникновения людей в глубины Мирового океана. Уже на глубине 2,5 м нетренированный ныряльщик испытывает боль в ушах из-за давления воды на барабанные перепонки.



Корпуса подводных лодок, изготовленные из прочнейших сталей, на глубине в несколько сотен метров находятся на грани превышения допустимой прочности. Тогда почему рыбы на большой глубине чувствуют себя комфортно? Оказывается, вода давит на рыб не только извне, но и изнутри, т. е. происходит компенсация сил давления.



Пример решения задачи

Определите глубину водоема, если давление воды на его дне $p = 100$ кПа. Какая сила давления воды действует на ракушку с площадью поверхности $S = 10$ см², лежащую на дне? Коэффициент g примите равным $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Дано:	Решение
$p = 100 \text{ кПа} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$	Давление воды на глубине h равно:
$S = 10 \text{ см}^2 = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$	$p = \rho g h$, откуда $h = \frac{p}{\rho g}$,
$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$	где $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ (плотность воды).
$h = ?$	$h = \frac{1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 10 \text{ м.}$
$F = ?$	
Сила давления:	$F = p \cdot S;$
	$F = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 100 \text{ Н} = 0,10 \text{ кН.}$
Ответ: $h = 10 \text{ м}; F = 0,10 \text{ кН.}$	

Упражнение 13

1. Одинаково ли давление на дно двух сосудов, в которые налиты до одинаковой высоты вода и керосин? Почему?

2. Какое гидростатическое давление действует на ныряльщика, погружившегося на глубину $h = 20,0 \text{ м}$? Какова там сила давления воды на барабанную перепонку, если площадь перепонки $S = 0,80 \text{ см}^2$? Коэффициент g в этой и последующих задачах примите равным $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

3. Определите толщину слоя воды, который оказывает давление $p_1 = 1,0 \text{ Па}$; $p_2 = 100 \text{ 000 Па}$.

4. Резиновая камера заполнена водой и соединена со стеклянной трубкой (рис. 186). На камеру положена доска массой $m_1 = 1,0 \text{ кг}$ и гиря массой $m_2 = 5,0 \text{ кг}$. Определите площадь доски, если высота столба воды в трубке $h = 1,0 \text{ м}$.

5. В цилиндрический сосуд налиты вода и машинное масло, массы которых равны. Найдите высоту каждого из столбов, если полное гидростатическое давление на дно $p = 1,8 \text{ кПа}$. Решите задачу для случая, когда равны не массы жидкостей, а их объемы.

6. Сосуд в форме куба с ребром $a = 1 \text{ м}$ заполнен доверху водой. Во сколько раз различаются силы давления воды на дно и на одну из стенок?

7. В сосуде с водой плавает кусок льда. Что произойдет с уровнем воды в сосуде, когда лед растает? Указание: при таянии льда образуется вода, масса которой в точности равна массе растаявшего льда.

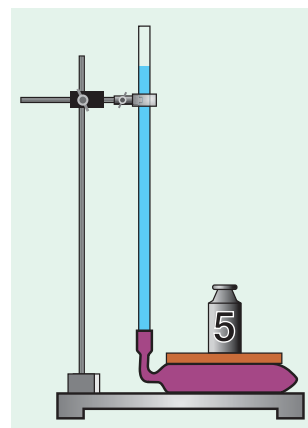


Рис. 186



§ 32.

Сообщающиеся сосуды

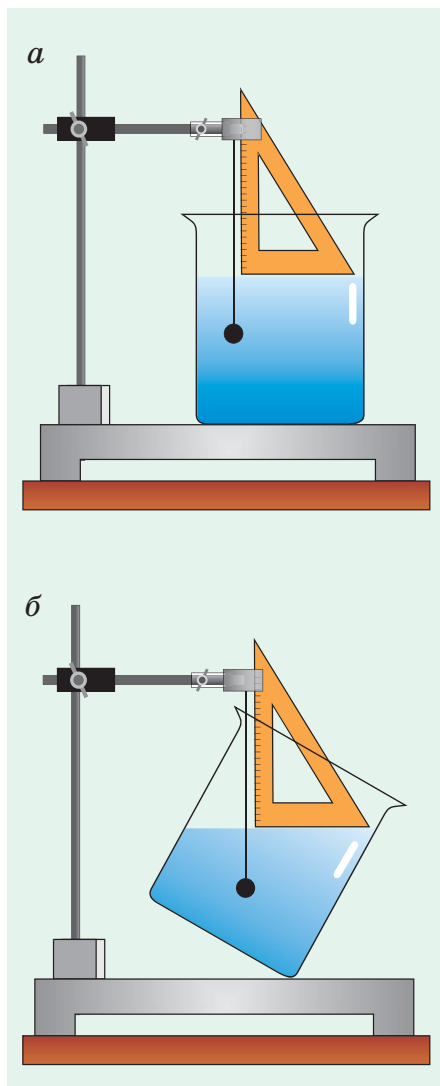


Рис. 187

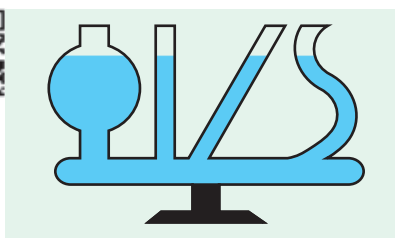


Рис. 188

Действие на жидкость силы тяжести и подвижность ее молекул приводят к тому, что в широких сосудах поверхность жидкости устанавливается горизонтально. Это легко проверить с помощью прямоугольного треугольника (рис. 187, *а*, *б*). Горизонтальной будет поверхность жидкости и в сосудах, соединенных между собой, независимо от их формы.

Возьмем несколько соединенных между собой открытых сосудов. Их называют *сообщающимися*. Будем наливать в один из них воду. Вода перетечет в остальные сосуды и установится во всех сосудах на одном уровне (рис. 188) (если сосуды не очень узкие). Почему это происходит?

Рассмотрим самые простые сообщающиеся сосуды (рис. 189). Выделим внутри тонкий слой жидкости AA' . Как и вся жидкость, он неподвижен. Значит, слева и справа на него действуют силы, имеющие равные модули, но противоположные направления. Это силы давления столбов жидкости $F_{д1} = F_{д2}$. Но, чтобы модули этих сил были равны, необходимо, чтобы были одинаковыми давления, создаваемые левым и правым столбами жидкости, т. е. $g\rho h_1 = g\rho h_2$.

После сокращения получим: $h_1 = h_2$.

В открытых сообщающихся сосудах поверхности однородной жидкости устанавливаются на одинаковом уровне.

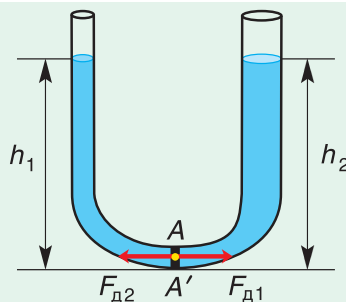


Рис. 189

С сообщающимися сосудами вы встречаетесь постоянно: это чайники, лейки для полива (рис. 190, а), водомерные трубки в больших емкостях с водой или топливом (рис. 190, б). На принципе действия сообщающихся сосудов работает, к примеру, безнасосный фонтан (рис. 190, в).

Сложную систему сообщающихся сосудов используют в дачных поселках и деревнях в башенном водопроводе. Схема простейшего водопровода представлена на рисунке 191. Вода из артезианского источника насосом 1 подается в бак водонапорной башни 2. От бака идут трубы с ответвлениями, вводимыми в дома на все этажи. Концы ответвлений труб закрываются кранами. Давление воды в кране определяется высотой столба воды в башне над уровнем крана. Поэтому чем выше этаж, тем давление воды в кране меньше. Чтобы вода смогла достигать всех этажей, башни строят высокими.

А если вам потребуется строго горизонтально установить поверхность стола? Как в этом случае вам смогут помочь сообщающиеся сосуды? Приведите еще примеры использования сообщающихся сосудов.

Все полученные в этом параграфе закономерности справедливы для широких сосудов, в которых поверхности жидкости плоские. В очень узких сосудах (капиллярах) поверхности жидкости искривляются (рис. 192), и данные закономерности не выполняются.

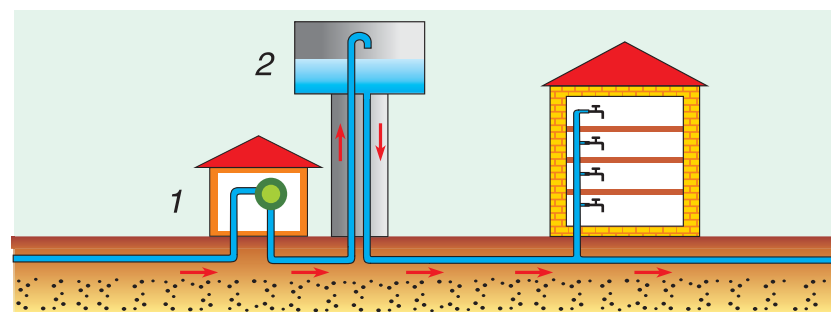


Рис. 191

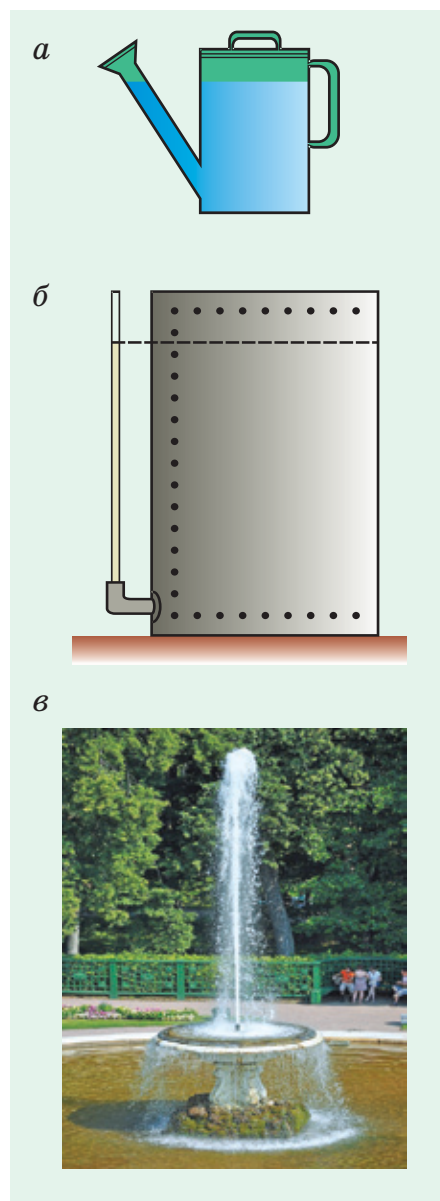


Рис. 190

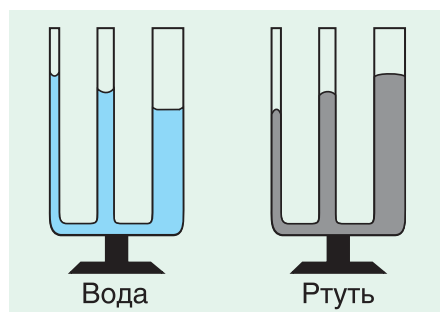


Рис. 192

■ Главные выводы

1. В широких неподвижных сосудах поверхность жидкости всегда горизонтальна.
2. Уровень поверхностей однородной жидкости в открытых сообщающихся сосудах одинаков и не зависит от формы сосудов.

? Контрольные вопросы

1. Какие сосуды называются сообщающимися?
2. Как доказать равенство уровней поверхности однородной жидкости в открытых сообщающихся сосудах?
3. Где находят практическое применение сообщающиеся сосуды?
4. Как располагаются поверхности различных несмешивающихся жидкостей в сообщающихся сосудах? Почему?



▼ Для любознательных

Что мы будем наблюдать, если в сообщающиеся сосуды налиты разные жидкости, например ртуть и вода (см. рис.)? В таком случае для равновесия тонкого слоя AA' нужно, чтобы давление, создаваемое левым (ртутным) столбом высотой $h_{\text{рт}} + h_0$, было равно давлению правого столба воды и ртути высотой $h_{\text{в}} + h_0$, т. е. $g\rho_{\text{рт}}(h_{\text{рт}} + h_0) = g\rho_{\text{в}}h_{\text{в}} + g\rho_{\text{рт}}h_0$, откуда $\rho_{\text{рт}}h_{\text{рт}} = \rho_{\text{в}}h_{\text{в}}$. Используя свойства пропорции, запишем окончательно:

$$\frac{h_{\text{рт}}}{h_{\text{в}}} = \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{рт}}}.$$

Посмотрите в таблицу плотностей жидкостей (с. 73). Плотность ртути в 13,6 раза больше плотности воды. Значит, $h_{\text{рт}}$ будет в 13,6 раза меньше $h_{\text{в}}$.

В открытых сообщающихся сосудах высоты столбов несмешивающихся жидкостей над уровнем их раздела обратно пропорциональны плотностям жидкостей.

