

# Давление.

## Определение давления.

Как приятно зимняя прогулка на лыжах! Однако стоит выйти в снег без них, как ноги будут глубоко проваливаться при каждом шаге, идти будет трудно, и удовольствие будет испорчено.

Взгляните на рисунок. Вес лыжника примерно равен весу "пешехода". Поэтому силы, с которыми мальчики давят на снег, будем считать равными. Но заметьте: они действуют не на одну точку, а "распределяются" по некоторым площадям. У лыжника - по площади касания снега и лыж, а у пешехода - снега и подошв.

Понятно, что  $S_{\text{лыж}} > S_{\text{подошв}}$ .

Распределение силы по площади характеризуют специальной физической величиной - дробью  $F/S$ . При условии, что сила действует перпендикулярно поверхности, эту дробь называют **давлением**:

$$p = \frac{F_{\perp}}{S}$$

$p$  – давление, Па

$F$  – приложенная сила, Н

$S$  – площадь поверхности,  $\text{м}^2$

Вернемся к примеру с мальчиками. На рисунке не указаны числовые значения  $F$  и  $S$ . Значит, мы не можем подсчитать и *количественно* сравнить давления мальчиков. Однако мы можем сравнить их *качественно*, используя слова "больше" и "меньше". Сделаем это:

$$\frac{F_{\text{лыжник}}}{S_{\text{лыж}}} = \frac{F_{\text{пешех.}}}{S_{\text{подошв}}} \Rightarrow \frac{F_{\text{лыжник}}}{S_{\text{лыж}}} < \frac{F_{\text{пешех.}}}{S_{\text{подошв}}}$$

Правое неравенство гласит, что лыжник создает меньшее давление, чем пешеход. Поэтому лыжник меньше проваливается в снег.

Из определения давления (формула  $p=F/S$ ) видно, что  $\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$ , поэтому *числовое значение давления показывает силу, приходящуюся на единицу площади ее приложения*. Например, при давлении 5 паскалей на  $1 \text{ м}^2$  площади будет действовать сила 5 ньютонов.

## Давление жидкости.

Нас окружает много жидкостей. Одни из них движутся, например, вода в реках или нефть в трубах, другие – покоятся. При этом все жидкости давят на дно и стенки сосуда, в котором находятся. Наиболее простой случай – давление покоящейся жидкости. Оно называется **гидростатическим давлением** и вычисляется по формуле

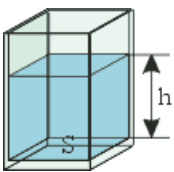
$$p = \rho g h$$

$p$  – давление слоя жидкости, Па

$\rho$  – плотность жидкости,  $\text{кг}/\text{м}^3$

$g$  – коэффициент,  $\text{Н}/\text{кг}$

$h$  – высота слоя жидкости, м



Рассмотрим, как получена эта формула.

Сила  $F$ , с которой жидкость давит на дно сосуда, является весом жидкости.

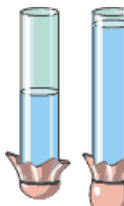
Причем,  $W = F_{\text{тяж}} = mg$ .



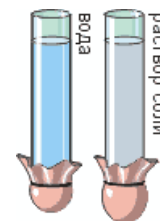
Вспомним также формулы:  $m = \rho V$  и  $V = Sh$ .  
Имеем равенство:

$$p = \frac{F_{\perp}}{S} = \frac{W}{S} = \frac{F_{\text{тяж}}}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{\rho V \cdot g}{S} = \frac{\rho \cdot Sh \cdot g}{S} = \rho gh$$

Формула  $p = \rho gh$  показывает, что *давление, создаваемое слоем жидкости, зависит от трех причин: плотности жидкости, высоты ее слоя и места наблюдения.* Этот вывод можно проверить опытами.

 Слева изображена стеклянная трубка, дно которой затянато тонкой резиновой пленкой. Увеличивая высоту слоя налитой жидкости, например воды, мы будем наблюдать увеличение растяжения пленки. Этот опыт подтверждает, что при увеличении высоты слоя жидкости создаваемое ею давление увеличивается.

На следующем рисунке изображены трубки с водой и "крепким" раствором соли. Видно, что уровни жидкостей находятся на одной и той же высоте, но давление на пленку в правой трубке больше. Это объясняется тем, что плотность раствора соли больше, чем плотность обычной воды.



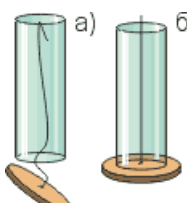
## Закон Паскаля.

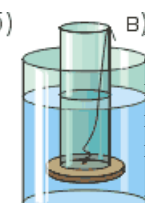
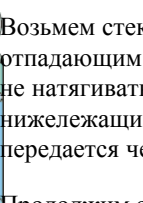
Прделаем опыт. В полиэтиленовый пакет наберем воды и завяжем. Если на пакет надавить рукой, то он прорвется, и вода вытечет. Однако заметьте: пакет прорывается не обязательно в том месте, где на него надавливают. Следовательно, давление, оказываемое на одну часть пакета, распространяется в другие его части.

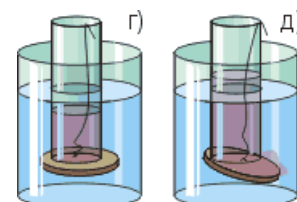
Этим опытом мы проиллюстрировали **закон Паскаля**: *давление, производимое на жидкость или газ, распространяется без изменения во все части жидкости или газа.*



Согласно этому закону, давление внутри жидкостей и газов распространяется по всевозможным направлениям. Следовательно, покоящиеся жидкости и газы оказывают давление во всех направлениях: влево, вправо и даже вверх. Это подтверждается опытами.

 а) Возьмем стеклянную трубку и легкий диск на нити (рис. "а"). Натянув нить, мы получим сосуд с отпадающим дном (рис. "б"). Погрузим этот сосуд в стакан с водой. Теперь дно не отпадет, даже если нить не натягивать (рис. "в"). Так происходит потому, что верхние слои воды в стакане создают давление на нижележащие слои, в том числе и на слой воды под диском. Согласно закону Паскаля давление передается через этот слой и действует на диск снизу вверх.

 б)  в) Продолжим опыт. Нальем в трубку столько подкрашенной воды, чтобы ее уровень оказался ниже, чем у воды в стакане (рис. "г"). Мы увидим, что диск не отпадает. Так происходит потому, что давление на диск снизу больше, чем сверху. Увеличим высоту слоя подкрашенной воды. Диск отпадет (рис. "д"). Значит, давление на диск сверху, созданное подкрашенной водой, превысило давление снизу, созданное водой в стакане.



## Давление газа.

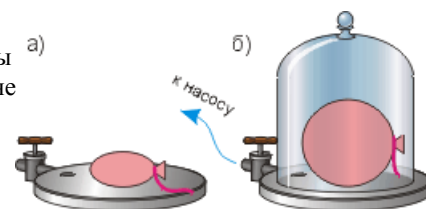
Давление может создаваться не только твердыми или жидкими телами. Например, парусный корабль плывет по морю именно потому, что на его паруса давит движущийся газ – ветер. Однако и покоящиеся газы тоже могут создавать давление. Для подтверждения этих слов прделаем опыт. Взгляните на рисунок.

Вы видите так называемые тарелку и колокол воздушного насоса. На тарелке лежит завязанный воздушный шарик (рис. "а"). Накроем его колоколом и откачаем из-под него воздух (рис. "б"). Мы увидим, что шарик "раздулся", будто давление внутри него возросло! На самом деле оно ничуть не увеличилось. В чем же разгадка противоречия?

Воздух внутри шарика постоянно давит на его оболочку изнутри. Но и воздух вокруг шарика давит на его оболочку – снаружи. Откачивая воздух из-под колокола, мы уменьшаем наружное давление. В результате внутреннее давление и "раздувает" оболочку сильнее.

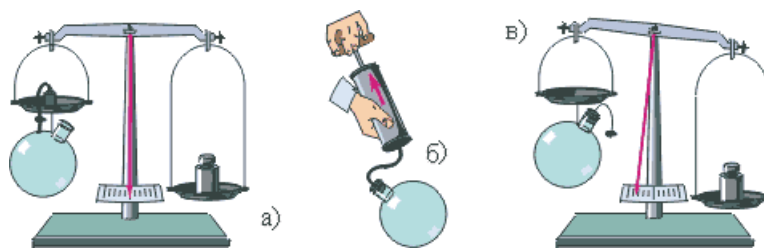
Итак, изменять давление газа можно, изменяя его плотность – накачивая или откачивая газ. Но можно изменять и температуру.

На этом рисунке вы видите котел для воды с прочным корпусом и плотной крышкой. На котле имеется прибор, отмечающий повышение или понижение давления пара (манометр). При увеличении температуры пара его давление возрастает. Об этом нам говорят сразу два признака. Во-первых – изменившееся положение стрелки на корпусе манометра. Во-вторых – струи пара, вырывающиеся из щелей между корпусом и крышкой. Их появление возможно лишь в том случае, если возрастает сила, с которой пар давит на котел изнутри.



## Атмосферное давление.

Как вы думаете, имеет ли воздух массу? Чтобы ответить на этот вопрос, проделаем опыт. Взгляните на рисунок "а". Вы видите, что к левой чаше весов подвешен стеклянный шар, а на самой чаше лежит пробка с трубкой и зажимом. На правой чаше стоит гиря, уравновешивающая вес предметов, находящихся слева.



Взгляните на рисунок "б". Шар отцепили от чаши и присоединили к насосу. Некоторое время воздух из шара откачивали. Затем трубку пережали зажимом, а шар опять подвесили к чаше (рис. "в"). Мы видим, что теперь гиря "перевешивает", следовательно, масса шара меньше массы гири. Другими словами, воздух обладает массой!

Как известно, воздух окружает всю Землю в виде шарообразного слоя, поэтому воздушную оболочку Земли называют **атмосферой** (греч. "атмос" - пар, воздух; "сфера" - шар). Как и всякое другое тело, имеющее массу, атмосфера притягивается к Земле. Действуя на тела своим весом, атмосфера создает давление, называемое *атмосферным давлением*. Согласно закону Паскаля оно проникает в дома, пещеры, шахты и действует на все тела, соприкасающиеся с атмосферным воздухом.

Космические полеты показали, что атмосфера возвышается над поверхностью Земли на несколько сотен километров, становясь все более разреженной (менее плотной). Постепенно она переходит в пустое пространство - вакуум, где давление равно нулю.

## Опыт Торричелли.

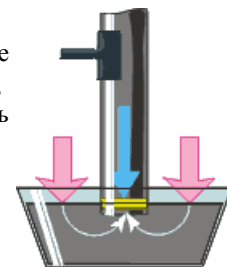
По телевидению или радио мы часто слышим, что атмосферное давление составляет, например, 760 мм рт.ст. (читается: 760 миллиметров ртутного столба). Это число бывает больше или меньше. Как это понимать? Для ответа на этот вопрос рассмотрим опыт, предложенный в XVII веке итальянским ученым Э.Торричелли.



Стеклянную трубку длиной около метра, запаянную с одного конца, наполняют доверху ртутью. Затем, плотно закрыв отверстие пальцем, трубку переворачивают и опускают в чашу со ртутью. После этого палец убирают. Ртуть из трубки начинает выливаться, но не вся! Остается ее "столбик" примерно 76 см высотой (считая от уровня ртути в чаше). Примечательно, что эта высота не зависит ни от длины трубки, ни от глубины ее погружения в ртуть.

Объясним этот опыт. Взгляните на рисунок. Желтым цветом мы поместили небольшой слой ртути внутри трубки. Вес вышележащих слоев действует вниз, толкая желтый слой в чашу. Причина этого - сила тяжести. А ртуть в чаше давит на желтый слой вверх, толкая его назад в трубку. Причина возникновения этой силы - атмосферное давление, действующее на поверхность ртути в чаше. Согласно закону Паскаля оно распространяется через ртуть даже внутрь трубки (см. синие стрелки). Так как ртуть покоится, то названные силы (обозначим их  $F_1$  и  $F_2$ ) уравновешивают друг друга.

Из формулы  $p=F/S$  следует, что  $F=pS$ . Так как  $F_1=F_2$ , то  $p_1S_1=p_2S_2$ . Здесь  $S_1$  и  $S_2$  - площади верхней и нижней поверхностей "желтого" слоя ртути. Так как они равны, то  $p_1=p_2$ . То есть *давление, создаваемое столбом ртути в трубке, равно атмосферному давлению*.

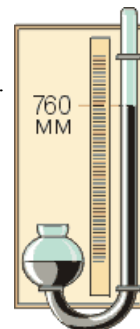


## Барометры и вакуумметры.

Трубка со ртутью и линейка могут служить в качестве простейшего **барометра** – прибора для измерения атмосферного давления. Эти измерения показывают, что атмосферное давление в местностях, лежащих на уровне мирового океана, в среднем около 760 мм рт.ст. Такое давление при температуре ртути 0°C называется **нормальным** атмосферным давлением. Выразим его в более привычных нам единицах давления – паскалях:

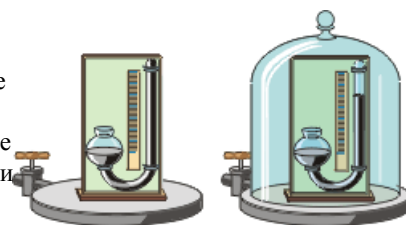
$$p = \rho g h = 13600 \text{ кг/м}^3 \cdot 10 \text{ Н/кг} \cdot 0,76 \text{ м} = 100 \text{ кПа}$$

Наблюдая за ртутным столбом, Торричелли обнаружил, что его высота меняется при перемене погоды. Перед ненастьем ртутный столб укорачивается, а перед ясной погодой становится длиннее. Так родилась **метеорология** – наука об атмосферных явлениях.



Кроме того, высота уровня ртути в барометре Торричелли зависит от места наблюдения. Чем больше высота местности над уровнем моря, тем атмосферное давление меньше.

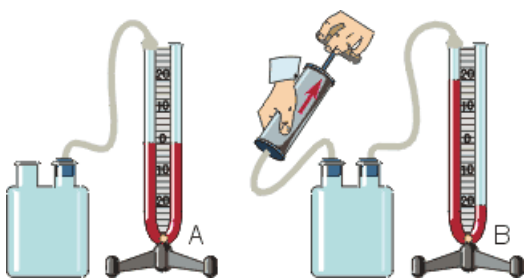
"вакуум" – пустота). Так называется прибор, измеряющий давление газа, близкое к нулю. Взгляните на рисунок. Трубка Торричелли помещена на тарелку воздушного насоса. Поскольку высота трубки гораздо меньше 76 см, то при атмосферном давлении ртуть заполняет трубку целиком. Накрыв трубку колоколом и откачивая воздух насосом, мы будем понижать давление. Уровень ртути будет понижаться, показывая, что под колоколом постепенно образуется вакуум.



## Манометры.

Барометры и вакуумметры измеряют так называемое *абсолютное давление*. Это значит, что в пространстве, где находится барометр или вакуумметр, давление именно такое, какое показывает прибор. Однако на практике часто бывает нужно знать и так называемое *относительное давление*. Для его измерения служат *манометры*.

На рисунке вы видите открытый U-образный манометр с подкрашенной водой. Открытым он называется потому, что правая его часть сообщается с атмосферой. При помощи шланга к манометру присоединен сосуд, который в начале опыта тоже сообщается с атмосферой. При этом уровни воды в манометре находятся около отметки 0 см. Затем присоединяют насос и начинают откачивать воздух, то есть уменьшать его давление в сосуде. При этом вода в манометре смещается влево. Выясним, почему это происходит.



В манометре на правую поверхность воды действует атмосферное давление, а на левую поверхность – меньшее давление. Под действием неравенства давлений, то есть неуравновешенных сил, вода и смещается влево.

Сместившись, вода останавливается, значит давление слева от точки В равно давлению справа от точки В. Приравняем эти давления:

$$p_{\text{в сосуде}} + \rho g h_{\text{лев.}} = \rho g h_{\text{прав.}} + p_{\text{атм}}$$

В левой части этого равенства записана сумма давления в сосуде и давления левого столбика воды. В правой части равенства мы записали сумму атмосферного давления и давления правого столбика воды. Подставим числовые значения и упростим равенство:

$$p_{\text{в сосуде}} + 1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 10 \text{ Н/кг} \cdot 50 \text{ см} = 1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 10 \text{ Н/кг} \cdot 10 \text{ см} + p_{\text{атм}}$$

$$p_{\text{в сосуде}} = p_{\text{атм}} - 4 \text{ кПа}$$

Это равенство показывает, что *относительно* атмосферного давления давление в сосуде на 4 кПа меньше. Легко подсчитать и *абсолютное* давление. Вычисляем: 100 кПа – 4 кПа = 96 кПа.

## А знаете ли вы, что ...

... втыкая пальцем иглу или булавку в ткань, мы создаем давление около 100 МПа.



... давление на морских глубинах очень велико, поэтому человек не может находиться на глубине без специальных аппаратов. С аквалангом человек может опуститься на глубину около 100 метров. Защитив себя корпусом подводной лодки, человек может опуститься уже до километра в глубь моря. И лишь специальные аппараты – батискафы и батисферы – позволяют опускаться до глубин нескольких километров.

... при глубоком погружении с аквалангом человек должен предохранить себя от кессонной болезни. Она возникает, если аквалангист быстро поднимается с глубины на поверхность. Давление воды резко уменьшается и растворенный в крови воздух расширяется. Образующиеся пузырьки закупоривают кровеносные сосуды, мешая движению крови, и человек может погибнуть. Поэтому аквалангисты всплывают медленно, чтобы кровь успевала уносить образующиеся пузырьки воздуха в легкие.

... атмосфера вращается вокруг земной оси вместе с Землей. Если бы атмосфера была неподвижна, то на Земле постоянно бы царил ураган со скоростью ветра свыше 1500 км/ч.

... плотность воздуха в атмосфере Земли падает приблизительно в 2 раза на каждые 5-6 км подъема.

... из-за давления атмосферы на каждый квадратный сантиметр нашего тела действует сила 10 Н.

... некоторые планеты солнечной системы тоже имеют атмосферы, однако их давление не позволяет человеку находиться там без скафандра. На Венере, например, атмосферное давление около 100 атм, на Марсе – около 0,006 атм.

... барометры Торричелли являются самыми точными среди барометров. Ими оборудованы метеорологические станции и по их показаниям проверяется работа барометров-анероидов.

... барометр-анероид – очень чувствительный прибор. Например, поднимаясь на последний этаж 9-ти этажного дома, из-за различия атмосферного давления на различной высоте мы обнаружим уменьшение атмосферного давления на 2-3 мм рт. ст.

... искусственное понижение или повышение атмосферного давления в специальных помещениях – барокамерах – используют в лечебных целях. Одним из методов баротерапии (греч. "терапия" – лечение) является постановка стеклянных медицинских банок в домашних условиях.

