

Демонстрации и опыты



Ефимов Василий Васильевич
Заслуженный учитель РФ, Почётный работник общего образования РФ. Учитель физики Муниципальной общеобразовательной средней школы №3, г. Березники, Пермский край.

Водяной барометр Паскаля из современных материалов

В статье дано описание прибора для повторения опыта по обнаружению и измерению атмосферного давления с помощью водяного барометра, впервые проведённого Паскалем более 300 лет назад. Прибор простой и не содержит дефицитных материалов, поэтому может быть легко изготовлен как в школе, так и в домашних условиях. Особенно полезной эта статья будет для учителей физики и школьников, увлекающихся физическим экспериментом.

Впервые атмосферное давление было измерено учеником Галилея, итальянским учёным Торричелли, в первой половине XVII века. Запаянную с одного конца трубку длиной около метра до краёв заполняли ртутью. Закрыв незапаянное отверстие, трубку переворачивали и помещали в вертикальном положении в чашку со ртутью (рис.1).

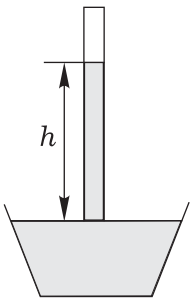


Рис. 1

Затем нижнее отверстие в трубке вновь открывали. Часть ртути из трубки перетекала в чашку. Оставшийся в трубке столбик ртути на уровне свободной поверхности ртути в чашке создавал давление, равное атмосферному. Его значение в паскалях можно вычислить по формуле:

$$P = \rho g h,$$

где $\rho = 13600$ кг/м^3 – плотность ртути, $g = 9{,}8$ м/с^2 – ускорение свободного падения, h – высота оставшегося в трубке столба ртути, измеренная в метрах.

Но с тех пор и по сей день атмосферное давление измеряют в миллиметрах ртутного столба.

В 1646 году французский физик Паскаль повторил опыт Торричелли, используя вместо ртути воду. Так как

плотность воды в 13,6 раза меньше, чем ртути, высота столба воды должна быть во столько же раз больше, примерно 10 метров. Именно поэтому опыт Паскаля в школе не показывают.



Однако в современных условиях опыт Паскаля легко воспроизвести как в школе, так и в домашних условиях, если есть возможность подняться на высоту 10 м (потолок 3-го этажа в школе, балкон или лестничная площадка 4-го этажа дома).

Для этого потребуется стеклянная трубка длиной 20-30 см диаметром 6-10 мм, резиновая или полихлорвиниловая трубка длиной 10,5-11 метров и пластиковая бутылка. Диаметр трубки может быть любым, но чем он меньше, тем легче и компактнее будет прибор. Стенки трубки не должны быть очень тонкими, иначе в верхней части её сожмёт атмосферным давлением. Объём пластиковой бутылки должен быть примерно в 2 раза больше объёма внутренней части трубок.

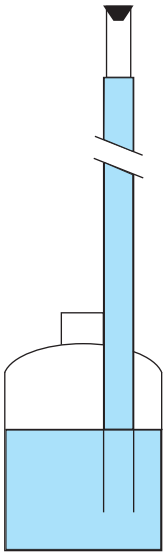


Рис. 2

Один конец резиновой или пластиковой трубки необходимо плотно соединить со стеклянной трубкой, а другой её конец опустить в пластиковую бутылку так, чтобы он на несколько миллиметров не доходил до её дна. Предварительно в верхней части бутылки паяльником сделайте отверстие чуть больше диаметра трубки. Трубку изолентой прикрепите к пробке и горлышку бутылки. Если использовать полихлорвиниловую трубку диаметром 3-4 мм, то хватит бутылки объёмом 250-300 мл. Такую трубку используют электрики для изоляции провода. Её можно купить в магазине электротоваров.

Схема прибора изображена на рисунке 2, а на рисунке 3 ученица 11-го класса демонстрирует его внешний вид.



Рис. 3. Ученица 11-го класса школы №3 г. Березники Постельняк Александра демонстрирует современный вариант водяного барометра Паскаля

Когда прибор собрали, его необходимо заполнить водой. Для этого пластиковую бутылку опустите в ведро с водой и заполните примерно две трети её объёма. Затем расположите трубки ниже уровня воды в бутылке, ртом создайте небольшое разрежение воздуха в трубке, после чего вода без вашей помощи заполнит обе трубки (принцип сифона).

Когда вода начнёт вытекать из стеклянной трубки, её отверстие необходимо закрыть резиновой пробкой.

Для измерения атмосферного давления с помощью такого барометра после заполнения трубок водой необходимо отмерить от свободной поверхности воды в бутылке 10 метров трубки и сделать на ней метку. Такая метка удобна, если атмосферное давление немного превышает 10 метров водяного столба. При проведении опыта, удерживая вертикально стеклянную трубку, пластиковую бутылку на шланге постепенно спускайте вниз до тех пор, пока вода в стеклянной трубке не оторвётся от пробки и не начнёт опускаться (рис. 4).



Рис. 4. При высоте столба воды больше 10 метров в верхней части трубки вода действительно отделяется от верхнего торца трубки

Над поверхностью воды образуется безвоздушное пространство, заполненное насыщенным водяным паром. Во время опыта измерьте, на сколько по вертикали свободная поверхность воды в стеклянной трубке выше нанесённой метки, и вычислите высоту h водяного столба, считая от поверхности воды в бутылке. Определить высоту h можно и непосредственным измерением с помощью нити и лёгкого груза. Учитывая, что над водой находится её насыщенный водяной пар, атмосферное давление $P_{\text{атм}}$ рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{атм}} = \rho g h + P_{\text{н.п.}}$$

Зная температуру, давление $P_{\text{н.п.}}$ насыщенного водяного пара можно определить из таблицы зависимости давления насыщенных паров воды от температуры. Заметим, что при комнатных температурах 10°C и 20°C из-за давления насыщенных паров воды уровень воды в трубке ниже (по сравнению со случаем, когда это давление было бы нулевым) всего на 12,5 см и 24 см соответственно.

Из-за растяжения трубки и изгибов на ней результат вычисления давления может оказаться не очень точным. Цель данного опыта не столько в измерении атмосферного давления, сколько в демонстрации его наличия и одного из первых способов его измерения.

Описанный в статье прибор изготовлен несколько лет назад учащимися школы №3 г. Березники Пермского края. Опыт с ним ежегодно демонстрируется в 7-х классах на уроке физики при изучении темы «Атмосферное давление».