

# Фокус

Выполнили:

Торчилов Павел Робертович (11'А),  
Гулев Михаил Александрович (11'А)

Научный руководитель:

Матюк Анатолий Эдуардович,  
учитель физики СШ №1 г. Лиды

## Оглавление

Введение .....	2
Основная часть .....	4
Заключение .....	5
Литература .....	5
Приложение .....	6

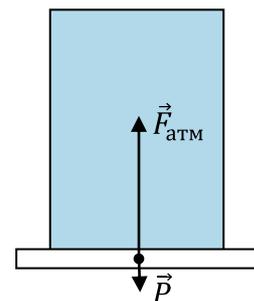
## Введение

Если доверху заполненный стакан накрыть листом бумаги, прижать бумагу ладонью, осторожно перевернуть стакан и убрать ладонь, то вода из стакана не выливается. Почему это происходит?

Рассмотрим силы, действующие на лист бумаги.

Во-первых, лист бумаги плотно прилегает к смоченным водой ровным краям стакана за счет сил поверхностного натяжения воды. Поэтому вода не просачивается между листом и краем стакана и воздух снаружи также не проникает внутрь стакана.

Во-вторых, на лист бумаги действует вес воды  $\vec{P}$  вертикально вниз и сила атмосферного давления  $\vec{F}_{\text{атм}}$  вертикально вверх.



$$P = mg = \rho gh \cdot S = p_{\text{воды}} \cdot S,$$

где  $p_{\text{воды}}$  – давление воды на лист бумаги;  $S$  – площадь поверхности листа бумаги, ограниченная краями стакана;  $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  – плотность воды;  $g \approx 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$  – ускорение свободного падения;  $h \approx 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$  – высота стакана.

$$F_{\text{атм}} = p_{\text{атм}} \cdot S,$$

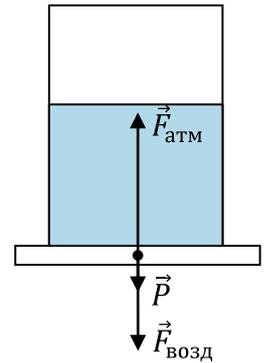
где  $p_{\text{атм}} \approx 10^5 \text{ Па}$  – атмосферное давление.

Для того, чтобы сравнить силы, действующие на лист бумаги, достаточно сравнить давления  $p_{\text{атм}}$  и  $p_{\text{воды}}$ .

$$p_{\text{воды}} = \rho gh = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0,1 \text{ м} = 1000 \text{ Па} = 10^3 \text{ Па}.$$

Как видим,  $p_{\text{атм}} > p_{\text{воды}}$ , или  $F_{\text{атм}} > P$ . Поэтому вода из стакана не выливается.

Однако, даже в полном стакане с водой есть хоть немного воздуха, который находится изначально при атмосферном давлении. Поэтому необходимо учитывать также давление воздуха  $p_{\text{возд}}$  внутри стакана на лист бумаги. Сила этого давления  $\vec{F}_{\text{возд}}$  будет направлена вертикально вниз.



Рассмотрим стакан, частично заполненный водой.

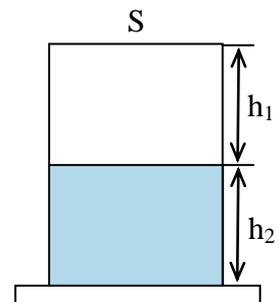
Для того, чтобы вода из стакана не выливалась, необходимо чтобы  $p_{\text{атм}} \geq p_{\text{воды}} + p_{\text{возд}}$ . Но если давление воздуха внутри стакана равно атмосферному, то вода должна выливаться из стакана под действием давления воды.

На самом деле, давление воздуха внутри стакана немного меньше атмосферного давления и вода из стакана не выливается. Это происходит из-за того, что во время переворачивания стакана мы ладонью прижимаем лист бумаги и немного вдавливаем его внутрь стакана. При этом некоторая часть воздуха выходит из стакана, а оставшийся воздух находится при атмосферном давлении.

Когда стакан перевернули, вода, которая давит на лист бумаги, пытается выпрямить лист бумаги, тем самым создает разрежение воздуха внутри стакана. Таким образом, происходит уравнивание сил давления на лист бумаги и вода не выливается.

Герметичность данной установки помогают создавать силы поверхностного натяжения воды, благодаря которым лист бумаги плотно прилипает к стенкам стакана.

Попробуем рассчитать минимальную величину прогиба  $\Delta h$  листа бумаги, при котором возможно равновесие.



Стакан будем считать цилиндрической формы с площадью сечения  $S$ .

Предположим, что стакан наполнен наполовину водой.

$$h_1 = 5 \text{ см} = 0,05 \text{ м} - \text{высота столбика воздуха в стакане.}$$

$$h_2 = 5 \text{ см} = 0,05 \text{ м} - \text{высота столбика воды в стакане.}$$

$$V_1 = S \cdot h_1 - \text{объем воздуха в стакане до переворачивания.}$$

$$V_2 = S \cdot (h_1 + \Delta h) - \text{объем воздуха в стакане после переворачивания.}$$

$p_1 = p_{\text{атм}} = 10^5 \text{ Па}$  – давление воздуха в стакане до переворачивания.

$p_2 = p_{\text{атм}} - \rho g h_2 = 10^5 \text{ Па} - 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0,05 \text{ м} = 99500 \text{ Па}$  – давление воздуха в стакане после переворачивания.

Если масса воздуха и его температура в стакане во время переворачивания не изменяются, то процесс для воздуха в стакане является изотермический.

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2;$$

$$p_1 \cdot S \cdot h_1 = p_2 \cdot S \cdot (h_1 + \Delta h);$$

$$p_1 \cdot h_1 = p_2 \cdot (h_1 + \Delta h);$$

$$h_1 + \Delta h = \frac{p_1 \cdot h_1}{p_2};$$

$$\Delta h = \left( \frac{p_1}{p_2} - 1 \right) \cdot h_1 = \left( \frac{10^5 \text{ Па}}{99500 \text{ Па}} - 1 \right) \cdot 5 \text{ см} \approx 0,025 \text{ см} = 0,25 \text{ мм};$$

Как видно, величина прогиба небольшая, поэтому, даже если ладонью руки не сделать прогиб во время переворачивания, то после переворачивания стакана под тяжестью воды лист бумаги сможет сам прогнуться на величину  $\Delta h$ , не отрываясь от стенок стакана и не нарушая герметичности.

Из этого всего можно сделать вывод, что в стакане может находиться любое количество воды, и она не будет выливаться.

Проверим это на опытах.

### Основная часть

Для проведения опытов мы взяли стакан объемом 0,2 литра. В стакан наливали воду комнатной температуры, накрывали небольшим листом бумаги и осторожно переворачивали. Лист бумаги брали небольшой для того, чтобы не отвисали края бумаги и не нарушали герметичность установки.

Объем воды измеряли при помощи мензурки.

Результаты опытов полностью подтвердили наши теоретические предположения. При любом количестве налитой воды в стакан фокус получался.

Если в стакан вообще не налить воды, но смочить края, положить лист бумаги и перевернуть, то фокус также получается, но лист бумаги теперь держится за счет сил поверхностного натяжения.

## Заключение

И теоретические расчеты, и экспериментальные опыты дают единственный ответ данной задачи: если опыт проводить правильно и аккуратно, то фокус получается при любом количестве налитой в стакан воды.

## Литература

1. Атмосферное давление. Материал из Википедии — свободной энциклопедии. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Атмосферное\\_давление](http://ru.wikipedia.org/wiki/Атмосферное_давление).
2. Гидростатическое давление. Викизнание - свободная бесплатная энциклопедия, использующая wiki-технологию. [http://www.wikiznanie.ru/ru-wz/index.php/Гидростатическое\\_давление](http://www.wikiznanie.ru/ru-wz/index.php/Гидростатическое_давление).
3. Жилко, В. В. Физика : учеб. пособие для 11-го класса общеобразоват. шк. с рус. яз. обучения / В. В. Жилко, А. В. Лавриненко, Л. Г. Маркович. Минск. : Нар. асвета, 2002, 2004.

## Приложение

