

## Физика 9–11

Публикуемая ниже заметка «Удивительная бутылка» предназначена девятиклассникам, заметка «Как в землю казан закопали» – десятиклассникам и «Изотопные источники энергии» – одиннадцатиклассникам.

# Удивительная бутылка

**Е. РОМИШЕВСКИЙ**

**М**НОГО ЗАГАДОЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ явлений связано с обыкновенной стеклянной бутылкой и содержащейся в ней жидкостью. Например, можно спросить себя или друзей: как быстрее наполнить или опорожнить бутылку; как интереснее ее утопить или извлечь из нее плотную пробку? Сейчас мы рассмотрим несколько необычную проблему: как разбить такую бутылку с жидкостью голыми руками (не используя каких-либо других физических тел), при этом, естественно, не поранив руки?

Вообразим такой эксперимент. Возьмем для конкретности обычную поллитровую бутылку, имеющую форму двух цилиндров – основной части и горлышка. Масса пустой бутылки приблизительно равна  $m_0 = 0,5$  кг. Нальем в нее воды столько, чтобы почти полностью заполнить основную цилиндрическую часть. При этом масса воды будет такой же, как и бутылки:  $m_в = 0,5$  кг. Одной рукой возьмем бутылку за горлышко и поместим ее над пустым открытым ведром. Затем, размахнувшись, резко ударим по горлышку мягкой подушкой ладони... Дно бутылки и ее нижняя часть вместе с водой окажутся в ведре, а верхняя часть бутылки с охватываемым горлышком – в сухой руке. Весьма эффектное зрелище!

Теперь попробуем все это осмыслить и сделать количественные оценки.

Главным результатом опыта является разбитое стекло, имеющее довольно большую толщину (порядка нескольких миллиметров). Чтобы разбить такое стекло, нужно создать довольно большие силы. Откуда они берутся?

Представим себе письменный стол, покрытый толстым прозрачным стеклом. Пусть на стекле лежит стальной

упругий шарик массой 100 г. На шарик действуют две силы: сила притяжения  $m\vec{g}$ , приложенная в центре шарика, и сила реакции поверхности стола  $\vec{F}_p$ , равная силе притяжения по величине, но противоположно направленная и приложенная в месте касания поверхностей шарика и стола. Непосредственно к поверхности стекла в том же месте касания приложена сила давления  $\vec{F}_d$  со стороны шарика, равная (согласно третьему закону Ньютона) по величине силе реакции, но противоположная ей по направлению. Таким образом, в месте касания на стекло действует сила давления

$$F_d = F_p = mg = 0,1 \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с}^2 = 1 \text{ Н}.$$

Этой силы явно недостаточно, чтобы разрушить стекло на столе. Однако, если шарик поднять над поверхностью стола сантиметров на двадцать и отпустить, то он, ударившись, несомненно разобьет стекло.

Рассмотрим процесс подробнее. Направим ось  $Y$  вверх над поверхностью стекла и изобразим графически зависимости ускорения, скорости и высоты шарика от времени (рис.1). Особенно выделим отрезок времени удара  $\tau$ , в течение которого шарик взаимодействует со стеклом. Как известно, при свободном падении ускорение шарика  $a_y = -g$ , скорость  $v_y = -gt$  и высота  $y = h_0 - gt^2/2$ . Для рассматриваемого случая  $h_0 = 20$  см, время падения  $t_1 = \sqrt{2h_0/g} = 0,2$  с, максимальная скорость  $v_{\max} = gt_1 = \sqrt{2gh_0} = 2$  м/с.

Оценим время  $\tau$  соударения шарика с поверхностью стекла. Разрушение стекла наступает при некоторой величине деформации его поверхности в

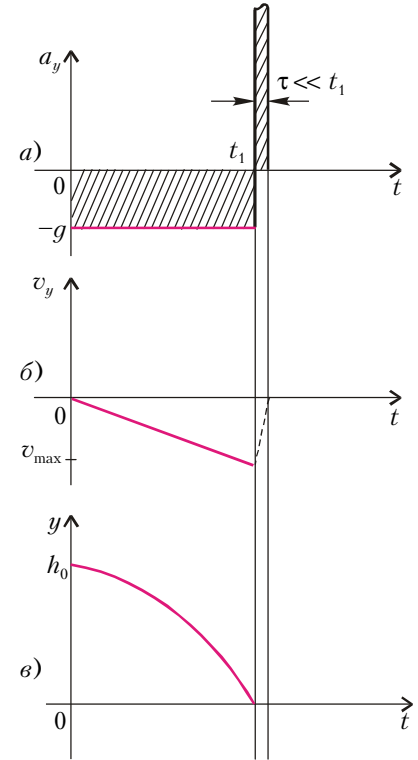


Рис. 1

месте контакта. На основании опытных данных можно принять в качестве такой величины  $\delta = 0,1$  мм =  $10^{-4}$  м. Значение скорости за время удара изменяется от  $v_{\max}$  до нуля, откуда время удара  $\tau = \delta/(v_{\max}/2) = 10^{-4}$  с (здесь считается, что скорость линейно падает со временем). Мы получили, что  $\tau$  приблизительно в тысячу раз меньше времени падения  $t_1$ . Легко понять, что два заштрихованных прямоугольника на рисунке 1, а имеют одну и ту же площадь, равную

$$v_{\max} = gt_1 = \sqrt{2gh_0}.$$

Изменение скорости в течение времени  $\tau$  (мы имеем в виду абсолютно неупругий удар, потому что стекло разрушится еще при его сжатии) тоже равно  $v_{\max}$ , а значит, связанное с этим среднее ускорение (замедление)  $\bar{a} = v_{\max}/\tau = 10^3 g$  окажется приблизительно в тысячу раз больше  $g$  – вот это «перегрузка»! Таким образом, на графике ускорения высота положительного пика, отвечающего величине  $\bar{a}$ , будет в тысячу раз выше  $g$ .

Теперь оценим силу удара шарика по стеклу. Она тоже будет в тысячу раз больше силы тяжести:

$$F_{\text{уд}} = m\bar{a} = \frac{mgt_1}{\tau} \approx 10^3 \text{ Н}.$$

Это уже вполне ощутимая величина.