

ности) деформаций. Чтобы пояснить сказанное, рассмотрим такой мысленный опыт. Имеется практически недеформируемое очень легкое кольцо. На него надето очень много маленьких (и очень легких) грузиков, соединенных невесомыми пружинками, которые без трения могут перемещаться по кольцу. Масса всей системы равна сумме масс грузиков. Кольцо, вращаясь с угловой скоростью  $\omega_0$  вокруг оси, параллельной стене, подлетает к стене под углом  $90^\circ$  и сталкивается со стеной (все как с мячиком в эксперименте 1). Будут ли проскальзывать грузики по стене? Вовсе не обязательно. Точнее, время проскальзывания может оказаться во много раз меньше времени соударения кольца со стеной. Ведь сила реакции опоры, а следовательно, и сила трения определяются изменением нормальной к стене составляющей импульса очень большого числа грузиков, а остановить надо один или несколько грузиков, которые касаются стены. Это может произойти за очень малое по сравнению со всем временем отскока время. Остальные

(не находящиеся в контакте со стеной) грузики продолжают двигаться по инерции, сжимая и растягивая соединяющие их с соседями пружинки. Это значит, что трение скольжения может быстро смениться трением покоя, и, следовательно, потери энергии вращения кольца на нагревание будут незначительными. За счет этой сэкономленной энергии кольцо в целом и приобретает большую, чем в случае недеформируемого и относительно долго проскальзывающего по стене кольца, вертикальную составляющую скорости.

Итак, гипотезу о причине расхождения «стандартного» решения задачи об угле отскока мяча с опытом можно сформулировать так: за счет тангенциальной деформации мяча в процессе удара о стену проскальзывание мяча прекращается существенно раньше, чем дают выведенные нами формулы, и значительная часть энергии вращения переходит в кинетическую энергию, связанную с составляющей скорости мяча вдоль стены. Попробуем проверить нашу гипотезу. Вычислим угол отскока мяча

в условиях эксперимента 1, предполагая, что вся энергия вращения переходит в энергию вертикального движения. Из равенства  $\frac{I\omega_0^2}{2} = \frac{mv_x^2}{2}$  получаем

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{v_x}{v_0} = \sqrt{\frac{2}{5}}, \text{ и } \alpha_1 = 32,3^\circ.$$

Этот результат немного больше экспериментально измеренного, что вполне естественно, так как кратковременное проскальзывание, видимо, все-таки есть. Во всяком случае, это довольно веский аргумент в пользу рассмотренной гипотезы.

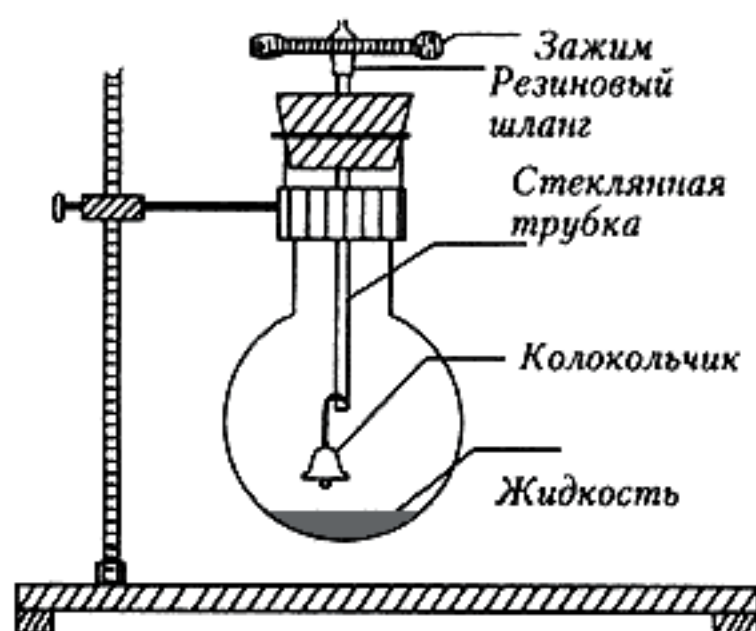
Стоит обратить внимание и на один любопытный результат в эксперименте 2 — мяч после второго отскока от стены вращается не против часовой стрелки, как можно было бы ожидать в «стандартной модели», а по часовой стрелке. Этот факт, по крайней мере на качественном уровне, тоже можно объяснить тангенциальными деформациями мяча в процессе удара о стену. Однако попыток сделать количественный расчет автор не предпринимал.

## ЛАБОРАТОРИЯ «КВАНТА»

# Звон колокольчика

Н. ПАРАВЯН

САМОСТОЯТЕЛЬНО или на занятиях физического кружка можно провести такой эксперимент. Соберите установку, изображенную на рисунке. В обычном металлическом штативе с помощью лапки *неплотно* укрепите широкогорлую круглодонную колбу емкостью 250—300 мл, плотно закрытую резиновой пробкой с проходящей сквозь нее стеклянной трубкой длиной 15—20 см. (Все эти приборы можно, например, взять на время из кабинета химии.) К нижнему концу трубки на



короткой нитке подвесьте маленький колокольчик — типа тех, что используют рыболовы-любители, — а на верхний конец трубки наденьте небольшой отрезок резинового шланга длиной 5—10 см, перекрытый зажимом. Налейте в колбу 20—25 мл воды. Вот наша экспериментальная установка и готова.

Выньте пробку вместе с трубкой и колокольчиком из горла колбы, а под дно колбы подставьте электрическую плитку с *закрытой* спиралью. (В крайнем случае можно использовать и обыкновенную спиртовку, но только внимательно проследите, чтобы во время нагревания колбы фитиль *ни в коем случае* не коснулся стенки колбы — она тут же лопнет!)

Нагревайте колбу, пока вода в ней не закипит, а минуты через три после этого плотно вставьте пробку с трубкой и колокольчиком обратно в колбу и быстро уберите нагреватель. Подождите, пока колба полностью не остынет, осторожно выньте колбу из штатива и слегка раскачайте ее. Вы услышите *очень слабый* звон.

Что ж, это понятно: при нагревании колбы с водой часть воздуха, вытесненная паром, ушла из нее, а после конденсации пара в герметически закрытой колбе образовался относительно невысокий вакуум (точнее — разреженная среда). Вот почему вы почти не слышали звучания колокольчика.

Теперь снимите зажим и через несколько секунд снова наденьте его. Раскачайте колбу, вы услышите значительно усиленный звон колокольчика. Почему? Тоже понятно: мы впустили в колбу воздух, и плотность среды, проводящей звук, существенно увеличилась.

Продолжим эксперимент. Выньте из колбы пробку с колокольчиком, слейте остатки воды и вместо нее налейте 20—25 мл *безводного* глицерина или этиленгликоля. (Их тоже можно позаимствовать из кабинета химии.) У этих жидкостей плотность паров при комнатной температуре в несколько десятков раз меньше плотности паров воды. В результате разреженность среды в колбе будет еще выше, и, по идее, эксперимент должен дать еще лучший эффект. И действительно, звон колокольчика не будет слышен уже на расстоянии одного метра от колбы.