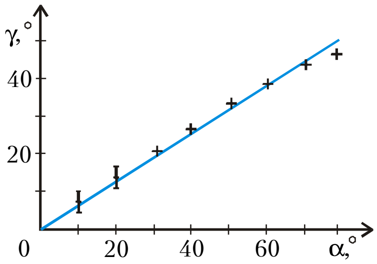

Рис. 9

дящих через все точки с наибольшим и наименьшим наклоном, дает возможность оценить ошибку полученного значения n. У нас получилось $n = 1,31 \pm 0,02$ для воды в бутылке и $n = 1,49 \pm 0,02$ для оргстекла. А у вас?

Теперь попробуем ответить на вопрос исследования: почему ошибался Птолемей? Птолемей измерил углы α и γ в 10 точках интервала 0 – 90° через каждые 10°. Построим теоретическую зависимость α от γ, считая известным коэффициент преломления воды n = 1,33 (рис.9). «Позволим» Птолемею ошибаться в измерении углов на 1 градус ($\pm 1^\circ$). При такой ошибке все точки, кроме углов $\alpha = 70^\circ$ и $\alpha = 80^\circ$, ложатся на прямую. А теперь вспомним, как Птолемей измерял угол γ. Попробуйте сами опустить в воду линейку так, чтобы угол между ней и поверхностью воды составил 70 – 80° (что соответствует птолемеевским углам $\alpha = 10 - 20^\circ$). «Излом» линейки, хорошо видный при больших углах, почти неразличим при малых. Поэтому скорее всего ошибка в измерении γ при малых α может быть увеличена до $\pm 3^\circ$. В таком случае все точки, кроме $\alpha = 80^\circ$, ложатся на прямую. Анализ дошедшей до нас оригинальной таблицы результатов Птолемея подтверждает, что точка $\alpha = 80^\circ$ действительно выпадает из линейной зависимости $\gamma = k\alpha$. Однако позволим великому естествоиспытателю самому решать, как интерпретировать зависимость, на которой девять точек из десяти ложатся на экспериментальную прямую, а одна «выпадает» из нее.

НАШИ НАБЛЮДЕНИЯ

«Утро туманное...»

Глядя на туманную толщу, зададим себе вопрос: какие физические факторы удерживают туман над поверхностью земли?

Хотя большинство частиц тумана имеют диаметр порядка 10 мкм (есть меньше, есть и больше), плотность воды в них обычная: $\rho = 10^3$ кг/м^3; следовательно, архимедова сила тут ни при чем. Ветер похоже тоже ни при чем, так как его скорость может иметь вертикальную составляющую, направленную и вверх и вниз, а также нулевую. А может, туманные капельки совершают в воздухе броуновское движение и оттого не падают? Тоже нет, поскольку наибольший диаметр броуновской частицы примерно 1 мкм и, значит, удары молекул воздуха о парящие капли воды для них нечувствительны. Если подумать, что капельки очень медленно падают в воздухе, испытывая его сопротивление, то вычисления не подтвердят эту мысль. Физически несложный расчет, связанный с вязкостью воздуха (а потому выходящий за школьные рамки), дает, что десятиметровый слой тумана осел бы почти весь за 56 минут – а этого не наблюдается.

Предположим теперь, что микрокапельки воды наэлектризовались положительно в процессе образования тумана и находятся в равновесии в двух вертикальных противонаправленных полях: в поле тяжести с напряженностью $g = 9,8$ м/с^2 и в электрическом поле Земли с напряженностью E = 130 В/м. Очевидно, что условие равновесия можно записать в виде $mg = qE$, где m и q – масса и заряд капельки соответственно. Капля не должна быть разорвана электрическими силами. В качестве простого условия ее стабильности разумно потребовать, чтобы электрическая энергия капли не превосходила ее поверхностную энергию, т.е.

$$\frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 R} \le 4\pi R^2 \sigma,$$

где R – радиус капли, $\sigma = 7,2 \cdot 10^{-2}$ Н/м – коэффициент поверхностного натяжения воды, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная. Из полученных соотношений (учитывая, что $m = 4\pi R^3 \rho/3$) находим диаметр капли:

$$d = 2R \le 2\sqrt[3]{18\varepsilon_0\sigma\left(\frac{E}{g\rho}\right)^2} \approx 25 \text{ мкм}.$$

Результат явно подтверждает наше предположение.

«Вошел: и пробка в потолок...»

Несомненно, по случаю ли Нового Года или по другому приятному поводу вам доводилось наблюдать такое физическое явление: из бутылки вместе с брызгами шампанского вылетает пробка и ударяет в потолок. Но вот потолок как раз и мешает установить, на какую высоту h она могла бы подняться. Можно, конечно, экспериментировать на открытом воздухе, но все равно высоту подъема пробки пришлось бы прикидывать «на глазок». Поэтому проведем оценочный расчет.

Сначала выполним измерения: масса пробки m = 8 г; внутренний диаметр «ствола» бутылки равен 18 мм, значит, площадь его сечения S = 254 мм^2; глубина погружения пробки l = 24 мм.

Часто сразу после снятия проволочной уздечки пробка несколько секунд остается неподвижной. Это означает, что сила давления газов и максимальная сила трения пробки о ствол примерно равны. Так как сила трения линейно убывает по мере выхода пробки из бутылки (покажите это), работу действующей на пробку силы можно записать в виде $A = pSl/2$, где p – давление в бутылке. А вот силой сопротивления воздуха пренебрегаем: ее учет, хотя и не создает проблемы, все же сильно утяжелит рассказ о вылетающей пробке.

В популярной энциклопедии «Алкогольные напитки» говорится, что «бутылка должна выдерживать в течение минуты давление 17 атмосфер». Примем запас прочности, страхующий бутылку от разрыва, пятикратным. Отсюда находим давление внутри бутылки: $p = 3,4 \cdot 10^5$ Па.

Пусть «ствол» бутылки направлен вертикально вверх. Тогда имеем очевидное соотношение

$$mgh \sim \frac{pSl}{2}, \text{ откуда } h \sim \frac{pSl}{2mg} \approx 13 \text{ м}.$$

Заметим, что начальная скорость пробки при этом составляет $v_0 \sim \sqrt{2gh} \approx 16$ м/с ≈ 60 км/ч. Этой средней автомобильной скорости вполне достаточно, чтобы травмировать, например, глаз. Поэтому целиться из бутылки в рядом стоящего не рекомендуется. Пусть уж лучше пробка летит в потолок!

Публикацию подготовил
В.Дроздов