

ПОПЛАВОК В БУТЫЛКЕ

(Начало см. на 4-й странице обложки)

Проделав эксперименты, вы, будем надеяться, убедились, что поплавок всякий раз отклоняется *по ускорению*, а не против, как это наблюдается в случае грузика на нити. (Теперь вам понятно, почему слова «наводящий» и «наводящая» были взяты в кавычки?) Попробуем разобраться, в чем тут дело.

Начнем с грузика на нити. На ускоряющийся грузик действуют две силы — сила тяжести и сила натяжения нити (рис. 1). Горизонтальное ускорение грузику сообщает горизонтальная состав-

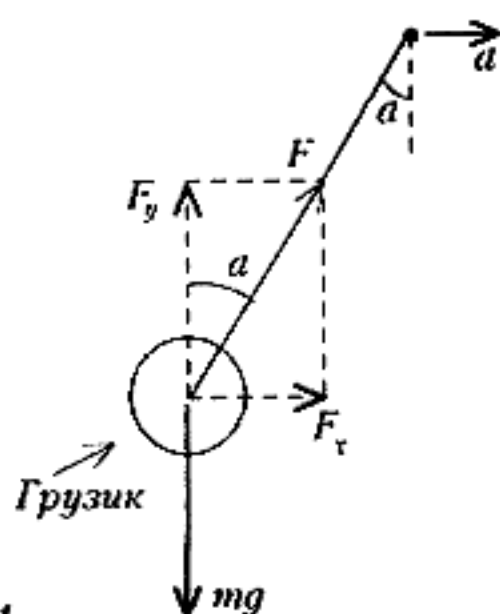


Рис. 1

ляющая силы натяжения, из чего ясно, что нить отклоняется против ускорения (чтобы эта составляющая была направлена по ускорению). Запишем второй закон Ньютона в проекциях на горизонтальное и вертикальное направления:

$$F_x = ma, \quad F_y - mg = 0,$$

откуда найдем угол отклонения нити:

$$\alpha = \arctg \frac{F_x}{F_y} = \frac{a}{g}.$$

Вернемся к поплавку. На него, кроме силы тяжести и силы натяжения нитки, действует еще со стороны воды сила Архимеда. Читателю, который раньше не сталкивался с подобными ситуациями, может показаться, что эта сила не должна влиять на направление отклонения поплавка. «Действительно, — рассуждает он, — ведь известно, что выталкивающая сила *выталкивает*, т.е. действует вверх, и горизонтальное ускорение опять создается только натяжением нити; значит, поплавок тоже должен отклоняться против ускорения». Ошибка заключается в том, что читатель привык применять закон Архимеда к телам, находящимся в *покоящейся* жидкости. Если же жидкость (газ) с погруженным в нее телом сама движет-

ся с ускорением, то закон Архимеда видоизменяется. Чтобы выяснить, как именно, воспользуемся известным методом «подмены».

Мысленно заменим погруженное тело жидкостью. На выделенный элемент жидкости (в объеме тела) действуют только две силы — сила тяжести и сила Архимеда (рис. 2, а). Под действием этих сил он вместе со всей жидкостью дви-

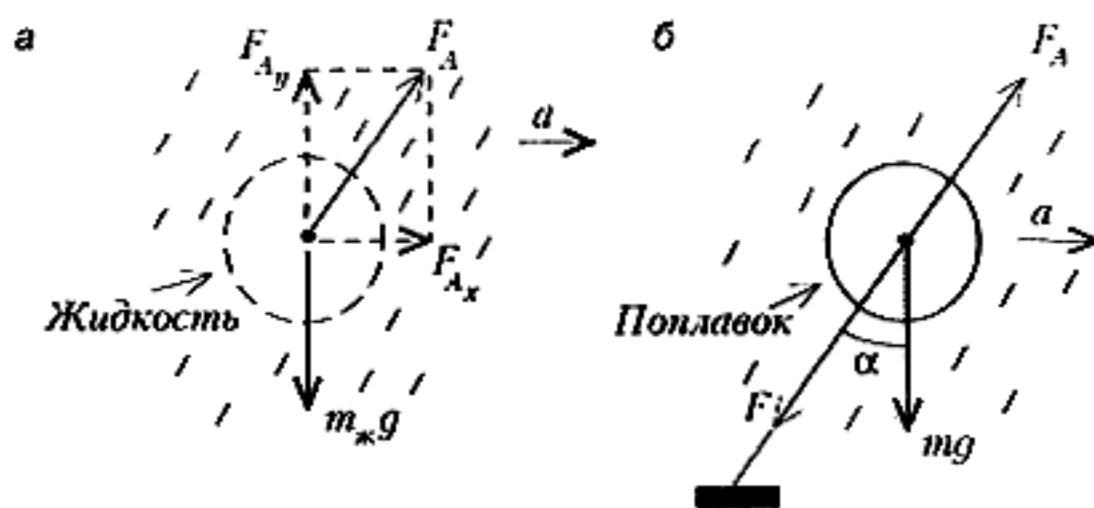


Рис. 2

жется с ускорением a ; следовательно, сила Архимеда, кроме вертикальной составляющей $F_{Ay} = m_j g$, должна иметь и горизонтальную составляющую $F_{Ax} = m_j a$. Но сила Архимеда, действующая на выделенный объем, не зависит от того, что находится в этом объеме — жидкость или погруженное тело. Значит, в жидкости, движущейся с ускорением, изменяется как величина, так и направление силы Архимеда. И происходит это потому, что распределение давлений в объеме жидкости устанавливается таким, чтобы обеспечить ускоренное движение всех элементов жидкости.

Теперь мы можем записать второй закон Ньютона для поплавка (рис. 2, б) в проекциях на горизонтальное и вертикальное направления:

$$m_j a - F_x = ma, \quad m_j g - F_y - mg = 0.$$

Отсюда получаем

$$\alpha = \arctg \frac{F_x}{F_y} = \frac{(m_j - m)a}{(m_j - m)g} = \frac{a}{g},$$

т.е. угол отклонения нити оказался таким же, как в случае грузика на нити.

Чтобы сделать этот результат более наглядным, запишем закон Ньютона для грузика, жидкости и поплавка в векторном виде:

$$\begin{aligned} m \vec{g} + \vec{F} &= m \vec{a}, \text{ или } \vec{F} = -m(\vec{g} - \vec{a}), \\ \vec{F}_A + m_j \vec{g} &= m_j \vec{a}, \text{ или } \vec{F}_A = -m_j(\vec{g} - \vec{a}), \\ m \vec{g} + \vec{F} + \vec{F}_A &= m \vec{a}, \\ &\text{или } \vec{F} = (m_j - m)(\vec{g} - \vec{a}). \end{aligned}$$

Видно, что все формулы выглядят так, как будто мы поместили покоящийся

сосуд с жидкостью в поле тяжести с ускорением свободного падения, равным (рис. 3)

$$\vec{g}^* = \vec{g} - \vec{a}.$$

Оказывается, это свойство является общим: переход в неинерциальную систему отсчета, движущуюся поступательно с ускорением a , сводится к перераспределению силы тяжести.

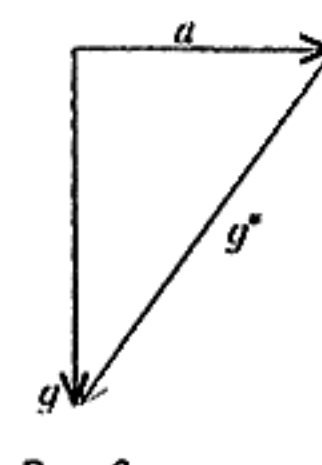


Рис. 3

Отметим, что такой же результат верен и для вращающейся системы отсчета, но только для тел, которые в этой системе покоятся. В этом случае под ускорением a надо понимать центростремительное ускорение той точки, где находится тело (т.е. ускорение самого тела относительно неподвижного наблюдателя).

В заключение (чтобы проверить, все ли вы поняли и насколько хорошо) попробуйте ответить на следующие вопросы:

1. Куда отклонится воздушный шарик над вашей головой, если вы, не выпуская из руки нить, начнете двигаться с ускорением?
2. Куда отклонится воздушный шарик, если вы находитесь в салоне самолета, быстро набирающего скорость перед взлетом?
3. Куда отклонится пламя свечи, если вы закроете ее колпаком и начнете перемещаться с ускорением? А если просто пойдете со свечой в руке, не накрывая ее?
4. Под каким углом наклонена поверхность жидкости в сосуде, движущемся горизонтально с ускорением a ?
5. Поплавок плавает на поверхности воды. Изменится ли глубина его погружения, если сосуд перемещать вверх или вниз с ускорением?
6. Чему равен период колебаний математического маятника, подвешенного к потолку лифта, поднимающегося с ускорением a ; к потолку вагона, ускорение которого равно a ? Длина нити маятника l .

С. Кротов, А. Черноуцан