

# Присоединенная масса

И. И. Кравченко

Олимпиадная физика      Physway

*Присоединенной массой* называют массу среды, которая вовлекается в движение, когда через эту самую среду движется тело. В общем случае среда взаимодействует с телом и второй закон Ньютона для тела можно записать так

$$\vec{F} = (m + \Delta m)\vec{a}, \quad (1)$$

где  $\Delta m$  — присоединенная масса.

Именно величина  $\Delta m$  характеризует силу *реакции* среды на тело при его движении в ней, так что в сумму сил  $\vec{F}$  входят внешние силы, действующие на тело, *за исключением* силы реакции среды на это тело.

Присоединенная масса зависит от размера и формы тела, направления его движения. Вычисления показывают, что, например, для шара присоединенная масса равна половине массы среды в объеме шара, а для цилиндра — массе среды в объеме цилиндра (если он движется перпендикулярно своей оси).

Литература:

- Г. Коткин. Всплывающий пузырёк и закон Архимеда. «Квант», 1976, № 1.
- К. Богданов. Вверх и вниз через атмосферу. «Квант», 2007, № 1.
- Стасенко А. Л. Физика полета. Библиотечка «Квант», 1988.

**ЗАДАЧА 1.** Из «модифицированного» второго закона Ньютона (1) убедитесь, что сила реакции среды равна  $-\Delta m\vec{a}$ .

**ЗАДАЧА 2.** («Квант», Ф2623) В воде глубокого озера на глубине  $h = 10$  м на тонкой нитке удерживается воздушный шарик с тонкой нерастяжимой пластиковой оболочкой. Радиус шарика  $R = 10$  см. Нитка рвется. Оцените: а) начальное ускорение шарика; б) скорость, которую он приобретет, приближаясь к поверхности воды.

а) 2g; б) 2,6 м/с

ЗАДАЧА 3. («Физтех.Инженер», 2026, отбор, 9) Подводный спецназ с подлодки выставил на якорях под водой в режиме ожидания герметичные жесткие капсулы с дронами-разведчиками. В нужный момент капсулы цилиндрической обтекаемой формы отсоединяются от якорей и всплывают за счет положительной плавучести никак не демаскируя себя. Эффективная плотность капсулы с содержимым равна  $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$ . Капсулы выскакивают из воды, распадаются на сегменты, которые разлетаются симметрично в стороны, и из них стартуют дроны. В момент распада капсулы скорость дрона не меняется. На раскрытие капсулы, освобождение дрона и запуск его электромоторов, чтобы дрон хотя бы мог зависнуть, требуется время  $t = 1 \text{ с}$ . Известно, что в результате поломки одна из капсул после запуска только чуть-чуть приоткрылась в воздухе, почти не изменив своей формы. Потом капсула упала в воду и быстро ею наполнилась, причем ее эффективная плотность достигла значения  $\rho_1 = 1400 \text{ кг/м}^3$ , и практически из состояния покоя с поверхности воды ушла под воду. На глубине  $H$  поврежденная капсула достигла той же скорости, что и при выпрыгивании из воды в начале. В воздухе силами сопротивления, действующими на капсулу и дрон, пренебречь. Воду считать маловязкой жидкостью, т. е. при перемещении капсулы под водой объем перетекающей воды примерно равен объему капсулы. Плотность воды и ускорение свободного падения  $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$  и  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

1. Найти минимальную необходимую глубину  $H$ , на которой капсулы должны находиться в режиме ожидания (ответ дать в целых метрах). Считать, что в воде на капсулу действует сила сопротивления, но капсула не успевает выйти на режим установившейся скорости.
2. Найти отношение модулей начальных ускорений всплывающей и тонущей капсул. Считать начальным для тонущей капсулы момент, когда она полностью наполнилась водой, а отличием скорости от нуля при этом пренебречь. Округлить до десятых.