

Архимедова сила и киты

Н.РОДИНА

НА СУШЕ гусь производит впечатление малоподвижной, неуклюжей птицы. «На красных лапках гусь тяжелый...» – так писал А.С.Пушкин, применяя очень выразительное слово «тяжелый» для характеристики птицы. Но вот гусь вошел в воду и поплыл... Теперь мы видим уже легкую, грациозную птицу, движущуюся быстро и свободно. Даже дуновения ветра достаточно, чтобы изменить скорость ее движения. Отчего такая перемена?

Особенности поведения тел в воде связаны с малым трением и наличием выталкивающей – архимедовой – силы.

*Эта статья была опубликована в «Кванте» №8 за 1982 год.
(Прим. ред.)*

Положите на стол пробку или пластмассовую крышечку от банки и подуйте на нее сбоку. Она не сдвинется с места. Поместите пробку на поверхность воды – от дуновения она легко начнет двигаться. Вы убедитесь, что сила трения в воде намного меньше силы трения между твердыми телами.

А плавает пробка на поверхности воды потому, что равны друг другу две действующие на нее в противоположных направлениях силы: сила тяжести и архимедова сила.

В совершенстве приспособлено для жизни в воде тело самого большого животного на Земле – кита. Наиболее крупные представители отряда китообразных – голубые киты. Масса голубого кита достигает



130 тонн, но он способен развивать в воде скорость до 20 узлов (узел – скорость, равная одной морской миле в час, т.е. 1,852 км/ч). Для сравнения укажем, что моторная лодка развивает скорость до 30 км/ч, т.е. около 16 узлов. Кит кашалот, имеющий массу приблизительно 60 тонн, выскакивая из воды, поднимается над ее поверхностью на несколько метров.

Многое в поведении морских животных мы с вами можем объяснить на основании законов и понятий физики. Но сначала познакомимся с некоторыми данными о китах.

Знаменитый исследователь морских глубин французский ученый Жак Ив Кусто (это он изобрел акваланг) в своей книге «Могучий властелин морей» пишет: «Трудно описать ощущение человека, который впервые встречается в воде с китом... Прежде всего вас ошеломляют размеры кита. Они превосходят все, что человек привык видеть в мире животных, превосходят все, что он себе представлял». И действительно, длина голубого кита достигает 33 м, он почти на 10 м длиннее пассажирского вагона! (Недаром в русских сказках упоминается «чудо-юдо рыба-кит», у которого «на спине село стоит».)

О массе китов мы уже говорили. Самый большой из добытых китов имел массу 150 000 кг, а самое большое наземное животное – слон – имеет массу от 3000 до 6000 кг (как язык некоторых китов!). Рассчитано, что если бы слон имел в два раза большую массу, то ему нужны были бы ноги вдвое толще, а они и так имеют площадь по 4 дм² каждая. (Подумайте и объясните, почему были бы необходимы такие ноги наземному животному.)

Тело плавает в воде, если действующие на него архимедова сила и сила тяжести равны между собой. Давайте рассчитаем архимедову силу, действующую на кита, и сравним ее с силой тяжести.

Архимедова сила равна весу жидкости, вытесненной погруженным в нее телом, т.е.

$$F_A = g\rho_{ж}V,$$

где $g \approx 10$ Н/кг, $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, V – объем тела. Как нам вычислить объем кита? Сделаем это так: предположим, что тело кита имеет форму цилиндра. Тогда объем равен $V = \pi d^2 h / 4$, где d – диаметр цилиндра, h – его высота. В нашем случае высота h – это длина кита. Чему равен диаметр нашего кита-

цилиндра? Будем считать, что это средний диаметр тела кита, который примерно в 10 раз меньше его длины.

Прodelайте дальше все расчеты сами, и вы убедитесь, что архимедова сила, которая поддерживает кита в воде, исчисляется миллионами ньютонов. (Разумеется, вычисления ваши очень приближенны, и нельзя сказать точно, сколько именно ньютонов; но то, что это число между одним и десятью миллионами, – точно.) Понятно, что такая сила спокойно удерживает в равновесии тело массой в сотни тонн, а именно такую массу и имеет голубой кит. Кит в воде невесом – ведь сила тяжести, действующая на него, тоже исчисляется миллионами ньютонов.

Конечно, кит не сможет находиться на суше. Известны случаи, когда киты по неизвестным пока до конца причинам выбрасываются на берег океана. Громадная сила тяжести прижимает животное к земле. Скелет кита не приспособлен к тому, чтобы выдерживать эту тяжесть; даже дышать кит не может, так как для вдоха он должен расширить легкие, приподнять мышцы, окружающие грудную клетку, а в воздухе эти мышцы весят несколько десятков тысяч ньютонов.

Жак Ив Кусто пишет: «...на суше перед гигантами вставали неразрешимые проблемы... дыхание требовало огромных усилий... на суше скелет кита не выдерживает веса мышц и жирового слоя, между тем как в плотной водной среде он отлично служит киту».

Как-то во время экспедиции Кусто и его помощники пытались спасти попавшего на мель китенка, масса которого была «всего» две тонны. Чтобы поднять его на борт судна, пришлось применить специальный гамак, так как даже новорожденный китенок может «сломаться» под действием силы тяжести, если под ним нет равномерной опоры.

Если посмотреть на спящего в воде кита, то вы увидите, что он не полностью погружен в воду. Значит, действующая на него выталкивающая сила должна быть меньше, чем в случае полного погружения (ведь эта сила равна весу жидкости, вытесненной китом). А сила тяжести осталась прежней. Казалось бы, равновесие должно нарушиться. Но кит спокойно спит на воде, он не тонет. Следовательно, выталкивающая сила и сила тяжести по-прежнему равны друг другу. Как объяснить это кажущееся противоречие?

Теперь самое время рассказать о том, как кит ныряет и как всплывает.

Хвост кита имеет горизонтальные лопасти и развивает мощность до 500 лошадиных сил (одна лошадиная сила – это единица мощности, равная 736 Вт). Для сравнения скажем, что эта мощность только в два раза меньше мощности двигателя самолета АН-2 и в семь раз больше мощности двигателя трактора ДТ-75. Когда аквалангиста задевает корпусом плывущий кит, то «впечатление такое, словно толкнул мчащийся паровоз».

Могучим движением хвоста кит направляет свое тело в глубину океана – ныряет. Глубина погружения

равна нескольким десяткам метров, а кашалот достигает глубины в 1000–1200 метров. На такой глубине давление воды велико (рассчитайте его сами, учитывая, что плотность морской воды равна 1030 кг/м^3). Легкие кита под этим давлением сжимаются до так называемого остаточного объема. (У человека на глубине 30 м, где давление в четыре раза больше атмосферного, объем легких уменьшается в четыре раза – от 6 л на поверхности до 1,5 л; следовательно, для легких человека на глубине 30 м остаточный объем составляет 1,5 л.) От сжатия легких объем тела кита уменьшается, а с ним уменьшается и выталкивающая сила.

По мере того как кит выплывает из глубины на поверхность воды, архимедова сила немного увеличивается (почему?). Вынырнув на поверхность, кит вдыхает воздух, объем его тела увеличивается; значит, увеличивается и выталкивающая сила. Сила тяжести уравнивается такой же выталкивающей силой, какая действовала на кита, плавающего внутри жидкости, но теперь уже для создания такой же выталкивающей силы киту не нужно полностью погружаться в воду – ведь его объем стал больше. Итак, при вдыхании воздуха объем тела кита увеличивается настолько, что ему уже не нужно полностью погружаться в воду, чтобы вес вытесненной им воды равнялся силе тяжести, действующей на кита.

И в заключение нашего рассказа – несколько вопросов.

Если массу кита разделить на его объем, то мы получим среднюю плотность его тела. Можно ли утверждать, что, где бы ни плавал кит – в глубине океана, в его средних слоях или на поверхности, средняя плотность тела кита всегда равна плотности воды? За счет чего изменяется средняя плотность?

Известно, что киты заплывают иногда в сильно опресненные лагуны у побережья Чукотского полуострова. Что изменяется в расположении кита в этом случае, если считать, что все данные, кроме состава воды, не меняются?

Для наблюдений и съемок китов использовали воздушный шар, наполняемый горячим воздухом при помощи газовой горелки. Почему такой шар – монгольфьер – поднимается в воздух?

По мере подъема шара пламя горелки регулировали, и оказалось, что шар может быть уравновешен в воздухе так, что в безветренную погоду он будет сколько угодно долго висеть над одной точкой моря. Что можно в этом случае сказать о соотношении между массой вытесненного шаром воздуха и массой самого шара вместе с наблюдателем?

Попробуйте объяснить такое явление, наблюдавшееся Кусто: «...вода впереди пузырилась, словно газированная. Это стая рыбешек то уходила вглубь, то снова поднималась к поверхности и выпускала воздух из плавательных пузырей». Зачем рыбешки выпускают воздух из плавательных пузырей и когда именно они это делают: уходя вглубь или поднимаясь на поверхность?