

ПАРАДОКС ЗАКОНА АРХИМЕДА



"Смерть Архимеда". Гравюра XIX века.

Закон о плавучести и остойчивости плавающих тел назван в честь открывшего его древнегреческого учёного Архимеда, жившего в городе Сиракузы (на Сицилии) около 287-212 года до н.э. Известен исторический анекдот: Архимед открыл свой закон якобы во время купания в ванне и с криком «Эврика! Я нашёл!» выскочил из воды и помчался по городу в неприкрытом виде. На самом деле он был не карикатурным персонажем, а великим изобретателем, механиком и математиком. Архимед разработал математические методы, предвосхитившие интегральное исчисление, а также начальные принципы математической физики и механики; открыл закон рычага; создал основы гидростатики; изобрёл водоподъёмный механизм – архимедов винт, на основе которого позднее были созданы гребные винты и пропеллеры. В 212 году до н.э. во время 2-ой Пунической войны с римлянами, Архимед взял на себя техническую сторону обороны Сиракуз и сделал город неприступным благодаря изобретению нескольких видов военных механизмов. Лишь с большим трудом после длительной осады противник ворвался в обессиленный чумой и голодом город. Архимеда, рисовавшего чертёж новой машины, убил римский солдат.

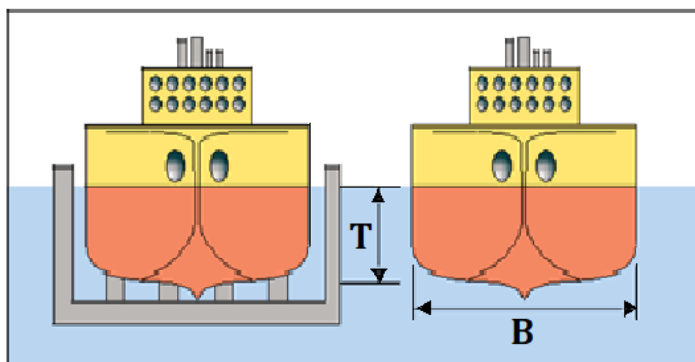
Кажется, в законе, открытом древним учёным две с лишним тысячи лет назад, не может быть никакого парадокса. Парадокс, однако, есть. Согласно распространённой формулировке закона, *на тело, погружённое в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу жидкости, вытесненной погружённым объёмом*. Но предположим, что судно в форме прямоугольного бруска (параллелепипеда), имеющее осадку T на открытой воде, поставлено в тесный док. Очевидно, что при заполнении дока водой её вес будет меньше водоизмещения судна (его погружённого объёма). Спрашивается, всплывёт ли

судно, когда вода поднимется до уровня T ? Ответ в большинстве случаев будет отрицательным, но он ошибочен!

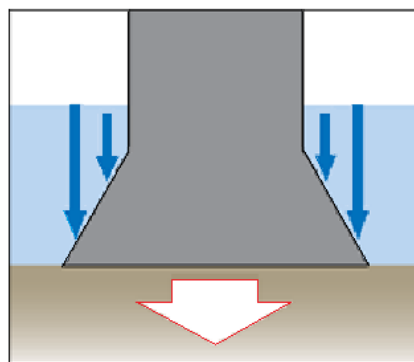
Дело в том, что приведённая формулировка закона Архимеда относится к судну, плавающему в открытой воде, а не к нашему случаю. Более правильное определение закона таково: *на тело, погружённое в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу жидкости в погружённом объёме тела*. Поэтому судно в доке всплывёт, хотя вес вытесненной воды значительно меньше веса судна. Так бывает всегда, когда в док ставят, соизмеримое с внутренним объёмом дока, только докмейстер (специалист, отвечающий за постановку судна в док) не задумывается о законе Архимеда.

Однако дело не в формулировке, а в физике явления. На тело, погружённое в воду, действует её гидростатическое давление. Давление воды (и воздуха тоже) приложено ко всей поверхности тела, но в горизонтальном направлении силы давления взаимно уравниваются, а по вертикали образуют выталкивающую силу. Равную водоизмещению судна.

Для доказательства этого утверждения рассмотрим прямоугольное судно длиной L , шириной B с осадкой T (рисунок вверху; длина L не указана). Его водоизмещение равно $L \times B \times T$. Гидростатическое давление на днище судна равно весу столба воды площадью 1 м^2 и высотой T , а сила давления – его произведению на площадь днища $L \times B$. Таким образом, выталкивающая сила $P = L \times B \times T$, то есть равна водоизмещению. Высказанное утверждение доказано. Что касается примера с доком, то, как известно, гидростатическое давление зависит исключительно от высоты столба воды. Поэтому, как только вода поднимется до уровня T , силы давления на днище в доке и на открытой воде будут равны и судно всплывёт.



Судно в тесном доке (слева) и на открытой воде (справа). Ватерлиния в доке отсекает такой же объём судна (выделен красным цветом), как и на открытой воде.



Гидростатическое давление с огромной силой прижимает платформу для добычи нефти к морскому дну.

Закон Архимеда действует, только когда тело окружено жидкостью. Если тело покоится на поверхности, препятствующей поступлению жидкости к его днищу, выталкивающая сила не возникнет. Наоборот – давление воды прижмёт тело к поверхности тем сильнее, чем глубже оно лежит. Этим объясняется, в частности, явление засасывания подводных лодок, лежащих на мягком грунте. Тоже происходит и с морскими платформами, установленными на морское дно. Правда, для надёжности днище платформы снабжают непроницаемой «юбкой», которая, врезаясь в грунт, препятствует поступлению к нему воды и повышает устойчивость платформы на грунте (рисунок вверху). Вместе с тем сила гидростатического давления платформы на грунт примерно равна её водоизмещению и достигает нескольких десятков тысяч тонн, что необходимо учитывать при расчёте устойчивости грунта.

Кандидат технических наук Станислав Климашевский.

ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ ПАРАДОКС



Модель судна (бутылка с подкрашенной водой), плавающего в тесном доке (стакан из обрезанной пластиковой бутылки).

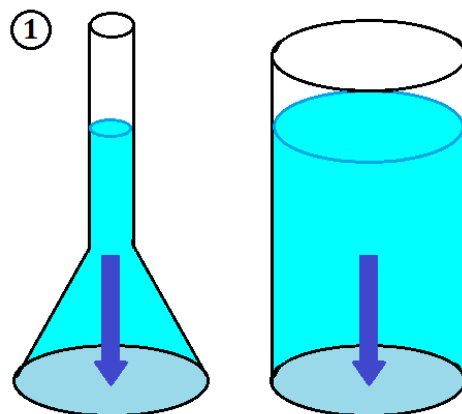
Давайте посмотрим, чем вызвано странное поведение судна в тесном доке, описанное в заметке «Парадокс закона Архимеда». Там же упоминается, что выталкивающая сила забортной воды, действующая на судно, зависит только от высоты столба воды, вытесненной этим судном, и не зависит от её количества. Неужели то небольшое количество воды, которое осталось между стенками дока и бортами судна, заставляет корабль плавать? Проверим это утверждение на опыте.

Опыт 1. Возьмём две пластиковые бутылки немного разного размера. В нашем случае, например, диаметр одной 7 см, а другой – 6 см. От большей бутылки отрежем верхнюю часть, чтобы получился высокий стакан. Он станет моделью дока. В меньшую бутылку нальём воды примерно до половины высоты – это будет модель корабля водоизмещением, равным весу, налитой в бутылку воды. Опустим «корабль» в стакан. В зазор между стенками, который составит 5 мм, начнём лить воду. Как только уровни воды в стакане и в бутылке сравняются, бутылка всплывёт (фото 1). Вынем бутылку из стакана и сравним количество воды в них. Сразу видно, что наш «корабль» плавает в воде, количество которой гораздо меньше его водоизмещения (фото 2).

В чём же всё-таки заключается столь парадоксальное отклонение от закона Архимеда? Представим себе два сосуда, один из них цилиндрический, а другой – в виде тонкой трубки, которая расширяется внизу до диаметра цилиндра (рис. 1). Неужели вода в сосудах, различаясь по массе во много раз, давит на дно одинаково? Как ни удивительно, но именно так ведёт себя жидкость (и газ тоже). Сей факт столь поразил учёных в давние времена, что они называли это свойство жидкости гидростатическим парадоксом.

Физическую суть парадокса объяснил французский учёный Блез Паскаль (1623-1662). Он сформулировал

закон, который теперь носит его имя: «Давление, производимое на жидкость или газ, передаётся без изменения в каждую их точку». Согласно этому закону, столбик воды в сосуде, каким бы тонким он ни был, оказывает совершенно одинаковое давление и на дно, и на стенки. Проверить это утверждение можно при помощи той же пластиковой бутылки.



Гидростатический парадокс: давление столбов воды на дно обоих сосудов одинаково.

Опыт 2. Возьмём бутылку, нальём в неё воды и завинтим крышку. В её стенках сверху, снизу и с боков пробьём дырочки шилом (лучше горячим – края стенки будут ровнее). Сразу же после этого (пока вода не вытекла) надавим на бутылку рукой. Из всех дырочек забьют фонтанчики, причём с равной длиной струек: давление руки переда лось воде и распространилось во все точки бутылки одинаково (рис. 2).

Из закона Паскаля и проделанного опыта следует ещё один важный вывод. Большинство известных физических величин делятся на две группы, именуемые векторами и скалярами (имеются ещё и так называемые тензоры, но мы о них умолчим). Векторы характеризуются величиной и направлением. Например, скорость – величина векторная: автомобиль едет из Петербурга со скоростью 80 км/ч в направлении Москвы. И сила тоже вектор: она приложена к телу в определённом направлении. А скаляры имеют только величину. Например, температура: воздух в комнате нагрет до 20 градусов. Температура никуда не направлена, вернее, она одинакова во всём объёме комнаты (если не учитывать горячей батареи отопления и холодного окна).

Сила, с которой рука оказывает давление на пластиковую бутылку, тоже распространяется во все точки жидкости (газа и твёрдого тела) одинаково. Поэтому давление – скаляр, что можно считать ещё одним парадоксом.



Судно при шлюзовании, как в тесном доке, плавает в воде, количество которой существенно меньше его водоизмещения.



В заключение приведём один из проектов «вечного двигателя» (рис. 3): вес воды в широкой части сосуда во много раз больше, чем в тонкой трубке. Кажется, вода будет из неё постоянно выливаться, «вечно» вращая турбинку. Как это ни удивительно, до сих пор находятся люди, которые всерьёз предлагают построить такой «двигатель».

Сергей Таранковский.