

**ФИЗИКА ОКЕАНСКИХ ПРИЛИВОВ В КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЯХ****Е.И.Бутиков**

*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербургский государственный институт точной механики и оптики  
(технический университет), Санкт-Петербурга*

Тел.: (812) 542-37-63, e-mail: [butikov@spb.runnet.ru](mailto:butikov@spb.runnet.ru)

Почти все учебники по общей физике и теоретической механике, как и по астрономии, приводят явление океанских приливов в качестве интересного примера проявления всемирного тяготения. Статьи методического характера, появляющиеся время от времени в периодической литературе, свидетельствуют о том, что педагоги по-прежнему интересуются вечной темой океанских приливов, но не удовлетворены ясностью и корректностью общепринятых объяснений физических причин этого замечательного космического явления. Анализ учебников и педагогической литературы (в том числе многочисленных публикаций на эту тему в Интернете) показывает, что многие важные аспекты происхождения и свойств приливов часто трактуются неточно и даже ошибочно. Множество недоразумений в приводимых в учебной литературе объяснениях связано с ролью орбитальных движений Луны и Земли вокруг общего центра масс и осевого суточного вращения Земли в возникновении приливов. Во многих случаях неправильно трактуется вклад центробежных сил инерции в происхождение приливообразующих сил.

Физически корректное толкование приливных явлений не должно ограничиваться картиной приливообразующих сил и вызываемой ими статической деформации водной оболочки Земли. Правильная теория приливов должна быть динамической, т.е. учитывающей реакцию океана как динамической колебательной системы (способной совершать собственные колебания) на приливные силы, периодически зависящие от времени. Авторы, пишущие о приливах, обычно объясняют (более или менее убедительно), почему гравитационные силы приводят к появлению двух приливных «вздутий» покрывающей Землю водной оболочки, расположенных на противоположных сторонах земного шара. Но почти невозможно встретить в литературе правильное объяснение физического механизма, ответственного за фазовый сдвиг между кульминациями Луны и максимальными уровнями прилива. Наблюдения показывают, что в некоторых местах Земли этот сдвиг приближается к 90 градусам. Часто встречаются также недоразумения в объяснении роли приливного трения в замедлении осевых вращений и в эволюции орбитальных движений небесных тел, связанных гравитационным взаимодействием.

Чтобы максимально прояснить физические основы приливных явлений, в данном сообщении мы предлагаем весьма простое, но вполне строгое описание приливообразующих сил. Затем предлагается теоретический расчет производимой этими силами приливной волны, циркулирующей вокруг земного шара. При этом используется упрощенная модель мирового океана в виде сплошной водной оболочки, полностью покрывающей всю Землю слоем постоянной глубины. Для прояснения теоретических построений разработана моделирующая компьютерная программа, дающая наглядную динамическую картину приливных сил и вызываемой этими силами стационарной приливной волны в открытом океане. Упрощенная версия этой программы в виде интерактивных Java-апплетов (с необходимыми краткими пояснениями) доступна в Интернете по адресу <http://www.ifmo.ru/butikov/Projects/TidesR0.html>.

Подчеркнем, что данное сообщение, как и моделирующая программа, нацелены лишь на максимально ясное объяснение физических принципов, не претендуя на исчерпывающее описание приливных явлений. Чисто теоретическое количественное описание приливов на Земле на основе первых принципов едва ли возможно из-за сложной структуры береговой линии и рельефа дна мирового океана, т.е. из-за чрезвычайной сложности реальной динамической системы, реакция которой на хорошо известные приливные силы и проявляется в природе как приливные колебания уровня моря у берегов и приливные течения. В сообщении сначала приводится качественная картина физического происхождения приливных сил на Земле, порождаемых тяготением Солнца и

Луны. При этом используется неинерциальная система отсчета, связанная с Землей, но не участвующая в суточном вращении Земли вокруг собственной оси (не вращающаяся геоцентрическая система отсчета). Затем обсуждается статическая (равновесная) деформация поверхности океана под действием приливных сил. Далее мы доказываем, что полученные выражения для приливной силы в произвольной точке земной поверхности справедливы и при учете осевого вращения Земли, и обсуждаем характер зависимости приливных сил от времени на вращающейся Земле. В любой фиксированной точке на экваторе Земли вектор приливной силы равномерно вращается в вертикальной плоскости, совершая два полных оборота за то время, пока Луна (или Солнце) совершает один оборот в своем видимом движении вокруг Земли.

С помощью моделирующей программы мы показываем, что равномерное вращение системы приливных сил, конфигурация которой связана с положением Луны (или Солнца), видимым с вращающейся Земли, может быть представлено как суперпозиция двух квадрупольных систем осциллирующих сил. Оси симметрии этих систем осциллирующих сил неподвижны относительно Земли и образуют угол 45 градусов друг с другом. Каждая из этих систем приливных сил порождает вынужденное колебание океана в виде стоячей волны, в которой поверхность воды принимает эллипсоидальную форму. Приливную волну, циркулирующую вокруг Земли, можно трактовать как суперпозицию этих стоячих волн. При таком подходе получает ясное физическое объяснение сдвиг фаз между кульминациями Луны и наступлениями приливов. Затем мы кратко обсуждаем сложности наблюдаемой картины приливов, связанные с отличием реальной системы от принятой упрощенной модели, а также роль приливного трения в эволюции осевых вращений и орбитальных движений небесных тел.