

# Параболическая поверхность вращающейся жидкости

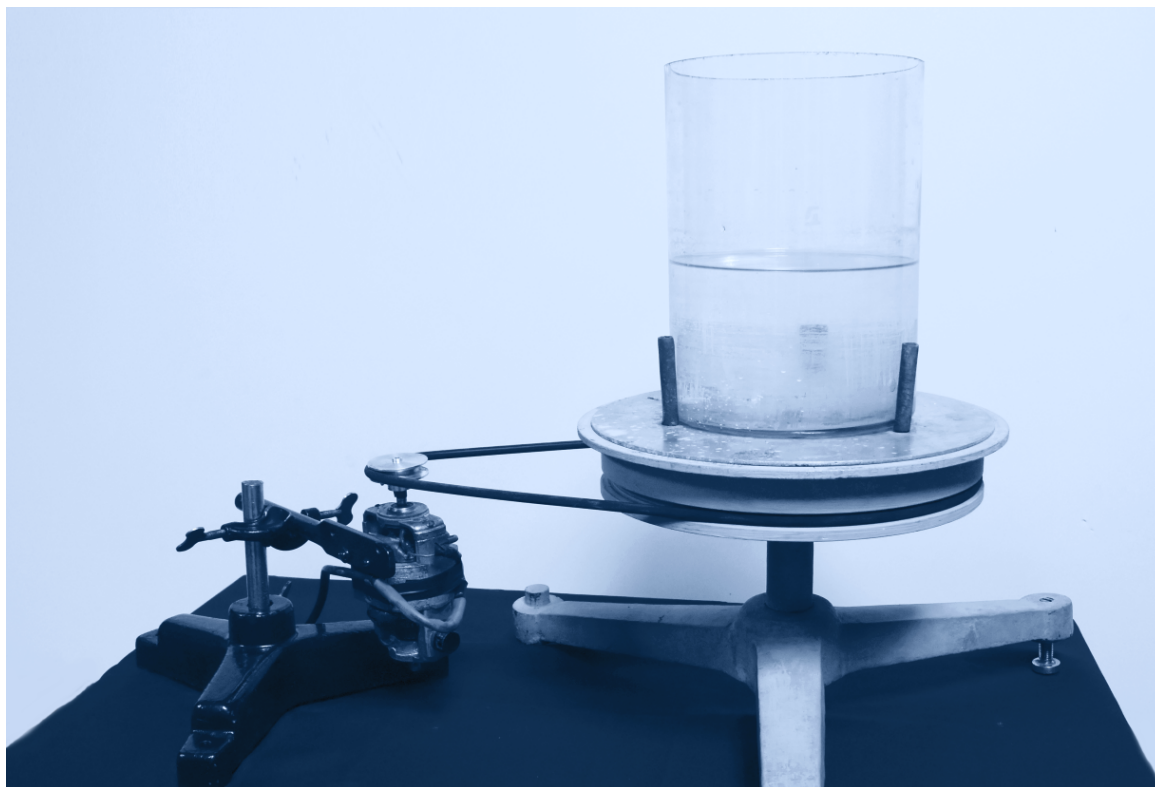


Рис. 1: Демонстрация параболического профиля при вращении жидкости

## Оборудование:

1. Стекланный цилиндрический сосуд диаметром 15 и высотой 30 см
2. Жидкость, подкрашенная флуоресцеином
3. Вращающаяся платформа
4. Электродвигатель с ременной передачей
5. Лампа накаливания

## **Основные определения:**

Поверхностями равного давления называются поверхности с одинаковыми во всех точках давлениями. Любая горизонтальная плоскость, проведенная в покоящейся жидкости, находящейся под действием силы тяжести, является поверхностью равного давления.

Свободной поверхностью называют плоскость раздела между жидкостью и газообразной средой. Равнодействующая всех сил, приложенных к каждой частице, лежащей на свободной поверхности покоящейся жидкости, нормальна к этой поверхности.

Относительным равновесием жидкости называется такое состояние, при котором отдельные ее частицы не смещаются одна относительно другой, а также стенок сосуда — и вся масса жидкости движется как твердое тело.

В абсолютно покоящейся жидкости (сосуд неподвижен) действующей массовой силой (в поле сил тяжести) является только сила тяжести. При относительном покое к ней добавляется еще одна массовая сила — сила инерции.

Законы относительного равновесия жидкости находят широкое применение в промышленности, а именно, в измерительной технике (жидкостные тахометры), в металлургии (центробежное литье) и других областях техники. При изучении относительного равновесия необходимо заниматься, во-первых, установлением закона распределения давления внутри жидкости, а, во-вторых, определением формы поверхности равного давления, т.е. такой поверхности, все точки которой испытывают одинаковое давление.

## Краткое описание:

На шкив центробежной машины устанавливается подставка с большим цилиндрическим стеклянным стаканом, в который примерно до  $1/3$  его высоты налита слегка подкрашенная вода. Стакан вращают вначале медленно, а затем, по мере того как вода приходит во вращение, скорость постепенно увеличивают. Через некоторое время поверхность воды принимает форму параболоида, что достаточно хорошо видно аудитории, если за стаканом поместить лист белого картона и освещать стакан сверху лампой. Для большей наглядности опыта рекомендуется пользоваться чистой водой, осветив вращающийся стакан сверху лампой с абажуром. Когда поверхность воды примет форму параболоида, следует налить на нее сверху немного раствора флюоресцеина. В этом случае параболоид ясно виден вследствие яркого свечения (рис.2).

При постепенном повышении скорости центробежная сила инерции становится сильнее силы тяжести, жидкость приходит в движение. В результате действия этой силы частицы жидкости прижимаются к стенкам сосуда и свободная поверхность начинает принимать вид параболоида.



Рис. 2: Демонстрация поведения жидкости при вращении. Под действием сил инерции свободная поверхность жидкости при ее вращении описывает параболоид. Благодаря вязкости и эффекту прилипания к стенкам сосуда жидкость движется как твердое тело и профиль свободной поверхности при равномерном вращении платформы со временем сохраняется

## Теория:

Можно установить связь между высотой столба жидкости  $h_0$  в сосуде при отсутствии вращения и величинами  $h_{min}$  и  $h_{max}$  при вращении с угловой скоростью  $\omega$  (рис.3). Простое вычисление объемов дает следующее

$$h_{max} = h_0 + \frac{\omega^2 r^2}{4g}, \quad (1)$$

$$h_{min} = h_0 - \frac{\omega^2 r^2}{4g}, \quad (2)$$

где  $r$  — радиус цилиндрического сосуда.

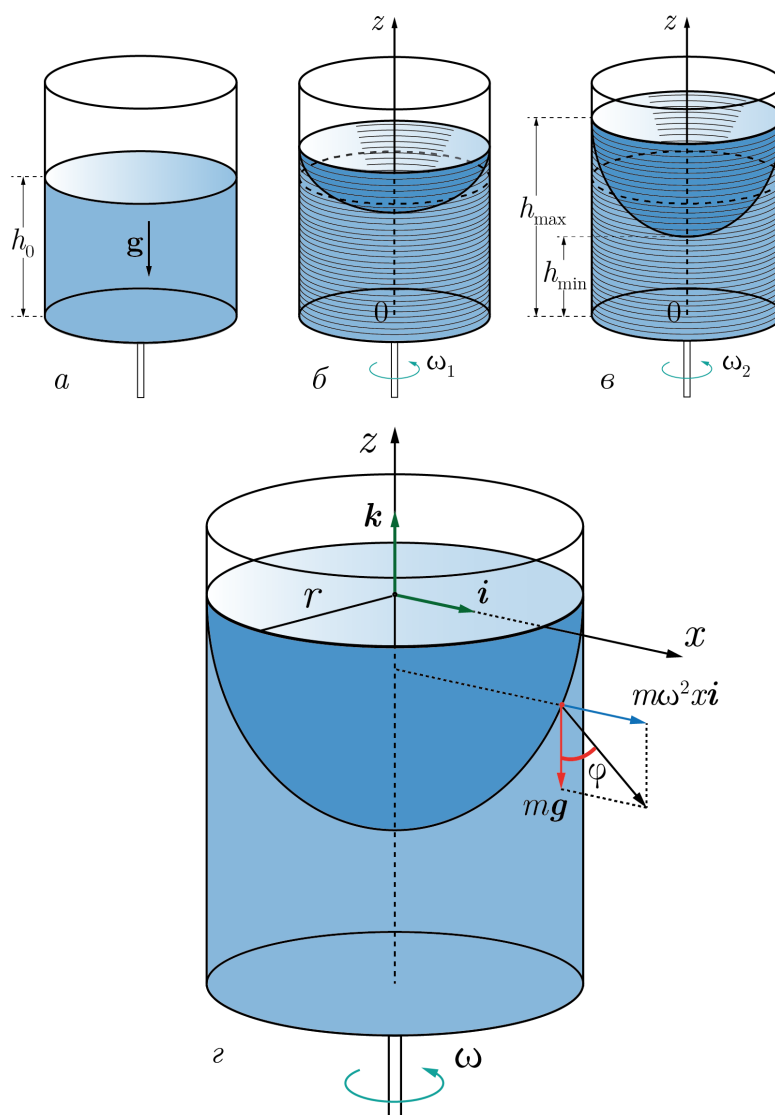


Рис. 3: Формирование параболоида в жидкости при различной угловой скорости вращения подставки

Таким образом, полную глубину воронки в жидкости

$$h_{max} - h_{min} = \frac{\omega^2 r^2}{2g}. \quad (3)$$

можно определить угловую скорость вращения цилиндра.

Подобный эффект, благодаря которому чайники при перемешивании воды собираются в центре образовавшейся воронки, заключается в следующем.

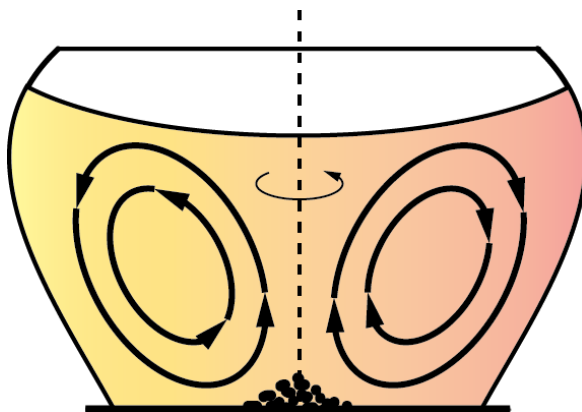


Рис. 4: Структура течения и поведение чаинок в чашке при вращении жидкости

Когда жидкость начинает вращаться, то благодаря вязкости ее частицы постоянно вовлекается во вращение с возрастающей угловой скоростью. Постепенно ускоренные слои жидкости достигают вращающихся чаинок, и тут проявляет себя то обстоятельство, что вода и чайники имеют разную плотность. Плотность чаинок больше, а значит, их труднее вовлекать в ускоренное движение, чем расположенные рядом слои жидкости. Чаинки отстают от окружающей их жидкости и, следовательно, перемещаются к оси цилиндра. Если же цилиндр не ускоряется, а тормозится, то все будет происходить наоборот.