

Вращение

Выполнили:

Аленович Анастасия Александровна (11А),
Мартинкевич Илья Валерьевич (11А)

Научный руководитель:

Матюк Анатолий Эдуардович, учитель
физики СШ №1 г. Лиды

Оглавление

Введение.....	2
Основная часть	5
Заключение	6
Литература	6

Введение

Вращающийся вертикальный стержень опущен в сосуд с жидкостью. Некоторые жидкости будут подниматься по стержню, другие, напротив, опускаться. Объясните это явление и исследуйте зависимость этого эффекта от различных параметров.

В данной ситуации, когда проявляются свойства вязкости жидкости, следует различать два типа жидкостей: ньютоновская и неньютоновская жидкости.

Жидкости и газы, состоящие из «легких» молекул с относительными молекулярными массами не более 1000, называют ньютоновскими. Ньютоновская жидкость (названная так в честь Исаака Ньютона) это вязкая жидкость, подчиняющаяся в своем течении закону вязкого трения Ньютона, то есть касательное напряжение, и градиент скорости линейно зависимы. Коэффициент пропорциональности между этими величинами известен как вязкость.

Простое уравнение, описывающее поведение Ньютоновской жидкости:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy},$$

где

τ — касательное напряжение, вызываемое жидкостью (лобовое сопротивление) [Па];

μ — динамический коэффициент вязкости — коэффициент пропорциональности [Па·с];

$\frac{du}{dy}$ — градиент скорости перпендикулярно направлению сдвига [с^{-1}].

Более правильно: дифференциал вектора силы трения равен коэффициенту вязкости, умноженному на векторное произведение дифференциала вектора площади соприкасающихся слоев жидкости и ротора скорости:

$$d\mathbf{F} = \mu d\mathbf{S} \times \text{rot}\mathbf{u}.$$

Простыми словами, это означает, что жидкость продолжает течение вне зависимости от сил, действующих на нее. Например, вода является ньютоновской жидкостью, потому что она продолжает демонстрировать свойства жидкости вне зависимости от скорости перемешивания, в противоположность неньютоновским жидкостям, вязкость которых изменяется в зависимости от скорости тока жидкости — к примеру, перемешивание может оставлять «дыру» позади (которая понемногу заполняется со временем — такое поведение наблюдается в таких веществах, как пудинг, суспензия крахмала в холодной воде и, в менее строгих рамках — песок), а при уменьшении толщины слоя жидкости происходит скачок вязкости из-за изменения скорости течения жидкости (это наблюдается у некоторых неподтекающих красок, которые легко наносятся, но становятся более вязкими на стенах).

Для ньютоновской жидкости вязкость, по определению, зависит только от температуры и давления (а также от химического состава, если жидкость не является беспримесной) и не зависит от сил, действующих на нее.

Если жидкость несжимаема и вязкость — константа по всему объему жидкости, то уравнением, выражающим касательное напряжение в прямоугольной системе координат, будет:

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

с сопутствующим тензором напряжения P (также обозначаемым как σ)

$$P_{ij} = -p\delta_{ij} + \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right),$$

где, согласно традиционным обозначениям тензора,

τ_{ij} — касательное напряжение на i -ой грани элемента жидкости в j -ом направлении;

u_i — скорость в i -ом направлении;

x_j — j -ая координата направления.

Если жидкость не подчиняется этим отношениям, то ее называют неньютоновской жидкостью.

Неньютоновские жидкости состоят из огромных молекул, каждая из которых представляет собой цепь из большого числа повторяющихся звеньев. Примером являются полимерные жидкости, молекулярная масса которых 10^5 - 10^8 : растворы синтетических и биологических полимеров и неразбавленные полимеры, называемые «расплавами». Сюда относятся полиэтилен $(-CH_2-)_n$, полистирол $(-CH_2-CH(C_6H_5)-)_n$, натуральный

каучук ($—CH_2—C(CH_3)=CH—CH_2—$)_n и т. д. (Здесь n — очень большое число порядка $10^3 - 10^6$.)

Неньютоновские жидкости обладают рядом особенностей. Например, они имеют память. Дело в том, что время, характерное для процесса перестройки длинных молекул, может превышать время наблюдения за течением жидкости. Течение не успевает перестроиться, имеет место эффект запаздывания, а значит, эффект памяти.

Если вращающийся вертикальный стержень опустить в сосуд с ньютоновской жидкостью (например, в сосуд с водой), то жидкость будет опускаться вдоль стержня. Если же жидкость будет неньютоновской (например, клей ПВА), то она будет подниматься по стержню вверх.

Вращающийся стержень заставляет вращаться жидкость, в которой он находится. Те слои жидкости, которые находятся вблизи стержня, вращаются с наибольшей скоростью. Слои жидкости, находящиеся по соседству со стенками сосуда задерживаются благодаря трению, так что угловая скорость их вращения будет практически равна нулю. В результате этого появляется круговое движение жидкости, которое возрастает до тех пор, пока под влиянием трения не станет стационарным.

Наряду с первичным потоком, скорость которого направлена по касательной к стержню, возникает вторичный поток в меридиональном направлении (красные линии на рисунке 1 и 2). В ньютоновской (рис.1) и неньютоновской (рис. 2) жидкостях направления вторичного течения противоположны. Этот факт и определяет поведение жидкости вблизи вращающегося стержня.

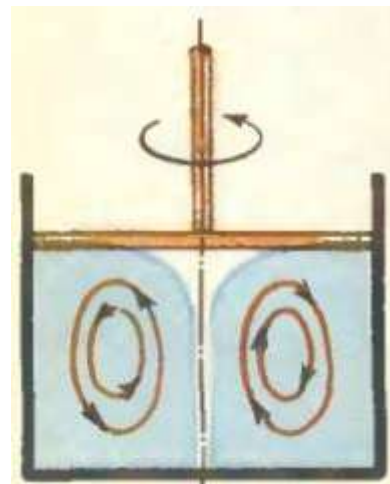


Рис. 1. Вращающийся стержень в ньютоновской жидкости

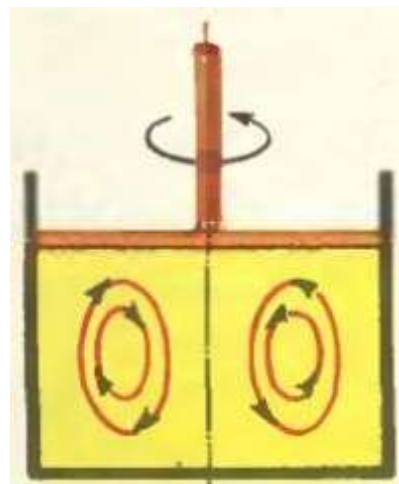


Рис. 2. Вращающийся стержень в неньютоновской жидкости

Основная часть

При проведении эксперимента в качестве ньютоновских жидкостей были взяты вода и этиловый спирт, в качестве неньютоновских – клей ПВА и крахмальный клейстер.

Жидкости наливались в небольшой стакан. В центр стакана помещалась стеклянная палочка, которая приводилась во вращение с помощью электродрели.

Наблюдения показали, что вода и этиловый спирт (ньютоновские жидкости) опускались вдоль стержня (рис. 3 и 4), а клей ПВА, крахмальный клейстер (неньютоновские жидкости) наоборот, поднимались (рис. 5 и 6).

Высота подъема (опускания) жидкости увеличивалась с увеличением скорости вращения стержня, так как при этом увеличивалась скорость вторичного потока жидкости, вызывающего изучаемый эффект.

Причем, при увеличении температуры жидкостей высота подъема неньютоновских жидкостей и высота опускания ньютоновских жидкостей уменьшалась. Мы полагаем, что это происходило из-за уменьшения коэффициента вязкости жидкостей.



Рис. 3. Вращающийся стержень в воде



Рис. 4. Вращающийся стержень в этиловом спирте



Рис. 5. Вращающийся стержень в клее ПВА



Рис. 6. Вращающийся стержень в крахмальном клейстере

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод о том, что существует два типа жидкостей: ньютоновские и неньютоновские. Ньютоновские жидкости опускаются вдоль вращающегося стержня, неньютоновские – поднимаются.

В результате проведенных нами экспериментов было показано, что вода и этиловый спирт относятся к ньютоновским жидкостям, так как они опускались вдоль стержня, а клей ПВА и крахмальный клейстер относятся к неньютоновским жидкостям, так как они поднимались вдоль стержня. При увеличении температуры жидкостей эффект опускания и поднятия жидкостей уменьшается.

Литература

1. Kvant. Вращающаяся жидкость.
http://www.physbook.ru/index.php/Kvant._Вращающаяся_жидкость.
2. Неньютоновская жидкость. Материал из Википедии — свободной энциклопедии. http://ru.wikipedia.org/wiki/Неньютоновская_жидкость.
3. Ньютоновская жидкость. Материал из Википедии — свободной энциклопедии. http://ru.wikipedia.org/wiki/Ньютоновская_жидкость.
4. Ньютоновские и неньютоновские жидкости.
<http://wapedia.mobi/ru/Вязкость>.