

Механическая трактовка возникновения межфазных напряжений в переходных поверхностных слоях

Готовцев В.М., Пуговишников П.С.

Ярославский государственный Технический Университет

Нанотехнологии по заявлению президента В.В. Путина в настоящее время составляют одно из наиболее перспективных направлений современной науки. Наноэффекты, т. е. эффекты, возникающие в физических объектах с линейными размерами, сопоставимыми с размерами молекулы вещества, могут существенно сказаться на свойствах этих объектов. Чаще всего их проявление сказывается в дисперсных системах, где превалирующее влияние имеют поверхностные эффекты. В качестве примера можно рассмотреть пенную структуру, состоящую из жидкой и газовой фаз. Ни одна из составляющих фаз не обладает свойствами твердого тела, в данном случае способностью сохранять форму своего объема. Пена такой способностью обладает. Сказанное позволяет сделать вывод о том, что создание физических объектов с линейными размерами, сопоставимыми с размерами молекул вещества, может существенно сказаться на свойствах конечного продукта. В случае пены такими объектами являются тонкие жидкостные прослойки между пузырьками газа.

На первый взгляд проявление эффектов подобного рода выглядит как координальное изменение свойств вещества в системах подобного плана. Однако рассмотрение классических теорий строения жидкостей, в частности, теории Ван-Дер-Ваальса [1] предсказывает подобное поведение вещества в сверхтонких физических объектах, какими являются жидкостные прослойки пены.

Эффекты подобного плана являются объектом исследования физической химии. В настоящее время рассматривается достаточно большое количество механизмов для описания таких эффектов. В качестве примера можно привести монографию Дерягина Б.В. [2], в которой проявление поверхностных эффектов представляется действием как минимум семи факторов различного плана. Однако конечным результатом проявления всех этих факторов является возникновение новых форм механического взаимодействия между молекулами рассматриваемого объекта и внешней средой. Установление таких связей возможно путем введения межфазных напряжений [3] и анализа тензора введенных напряжений.

Рассмотрим простейший вариант образования межфазного слоя над свободной поверхностью жидкости. Как известно, такой слой обладает особыми свойствами, проявляющимися в возникновении поверхностного натяжения жидкости. Трактовка поверхностного натяжения обычно связана с возникновением некоторого запаса поверхностной энергии, приводящего к появлению новых свойств вещества. Однако энергетические представления обычно не позволяют установить механизма того или иного явления.

Механическая трактовка поверхностного натяжения состоит в следующем. Представим свободную поверхность жидкости, контактирующую, например, с воздушной средой. Проявление поверхностных свойств жидкости происходит в достаточно тонком контактном слое, толщина которого неизвестна. Давление жидкости в объемной фазе и прилежащем слое насыщенного пара отличается на несколько порядков (как минимум на 3). В соответствии с этим на толщине межфазного слоя происходит изменение плотности вещества от плотности жидкости до плотности насыщенного пара с соответствующим изменением давления.

Давление насыщенного пара является известной величиной, зависящей от значения температуры. Однако вопрос о давлении жидкости в ее объеме остается открытым. Гидростатическое давление жидкости зависит от атмосферного давления, т.е. действия гравитационного поля. С другой стороны капиллярные явления проявляются в невесомости. В соответствии с этим при учете давления в жидкости следует исключить внешние факторы и рассматривать жидкость, как структуру, зависящую от действия только внутренних факторов. По-видимому, такими факторами являются силы межмолекулярного взаимодействия в объеме жидкости.

В теории Ван-Дер-Ваальса значение давления в жидкости (в данном случае оно принимается отрицательным, т.е. определяет силы притяжения между молекулами) составляет по-

рядок 10^8 Па, т.е. около 1000 атмосфер. С учетом этого перепад давления в пределах межфазного слоя жидкости примерно равен обозначенной величине. Формирование такого перепада на малой толщине межфазного слоя должно приводить к возникновению существенных градиентов свойств вещества. С точки зрения механики подобный перепад должен быть уравновешен некоторыми внутренними силовыми факторами. В рассматриваемой ситуации такими факторами могут быть только межфазные напряжения.

В рамках объема данной работы не представляется возможным подробно раскрыть сущность предлагаемого подхода. Отметим, что его использование позволило определить толщину межфазного слоя воды, которая при температуре 20^0 С, которая составляет 10^{-8} м. Подобный порядок предполагает расположение как минимум 10 молекул воды в межфазном слое.

Неизотропность вещества в межфазном поверхностном слое приводит к возникновению межфазных напряжений, которые в рассматриваемом случае имеют смысл межфазного поверхностного натяжения. Аналогичная ситуация складывается на границе жидкости и смоченной твердой поверхности. Здесь, так же как в рассмотренном случае, возникает поверхностный слой, обусловленный взаимодействием жидкой и твердой фаз. Характер такого взаимодействия экспериментально может быть выявлен по значению краевого угла смачивания. Рассмотренный подход позволяет рассчитать значения толщин межфазных слоев и действующих в них межфазных напряжений.

Литература

1. Дж. Роулинсон, Б. Уидом. Молекулярная теория капиллярности.- М.: Мир, 1986. 375 с.
2. Дерягин Б.В. Исследования в области поверхностных сил. – М.: Наука, 1964. 363 с.
3. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч.1. – М.: Наука, 1987. – 464 с.