

УДК 532.63

**ЗАКОН ЮНГА И ИЗМЕРЕНИЕ УГЛА КОНТАКТА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ДАВЛЕНИЯ**

© 2011 г.

**В.М. Чернявский<sup>1</sup>, В.В. Кирюшин<sup>2</sup>**<sup>1</sup>НИИ механики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова<sup>2</sup>МИРЭА (технический университет), Москва

vcherniavski@gmail.com

Поступила в редакцию 15.06.2011

Экспериментально установлено, что закон Юнга не имеет универсального характера, по крайней мере, в том смысле, что значения свободных поверхностных энергий не остаются постоянными, но могут зависеть от давления.

*Ключевые слова:* капиллярное давление, капиллярная энергия, смачивание, угол контакта, угол смачивания, измерение угла контакта.

**Введение**

Целью экспериментального исследования является проверка применимости закона Юнга при изменении давления, которым называется утверждение, что краевой угол смачивания  $\vartheta$  в контакте жидкости с поверхностью твердого тела определяется соотношением  $\cos\vartheta = (\sigma_1 - \sigma_2)/\sigma$ , где  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  – удельные свободные поверхностные энергии твердого тела на границе с газом (или жидкостью) и жидкостью,  $\sigma$  – поверхностное натяжение жидкости. Этот постулат относится к стационарной форме поверхности раздела, когда жидкость неподвижна. Значительное количество исследований, основываясь на этом законе, строит теорию движущейся линии контакта в виде разложения при малом капиллярном числе как отклонение от стационарного угла контакта. Однако наблюдения показывают, что при движении вблизи линии контакта давление сильно меняется [1].

Из проведенного эксперимента следует, что для выбранных жидкостей (вода и уайт спирит), помещенных в стеклянную капиллярную трубку, стационарный угол контакта меняется в широком диапазоне  $\sim 100^\circ$  при изменении давления  $\sim 4$  мм водяного столба. Отметим, что изменение стационарной формы поверхности раздела при вариации давления наблюдалось и ранее (в частности в [2]). В то же время во многих работах явно или неявно (например в [3]) постулируется единственное значение угла смачивания для выбранных сред.

**Эксперимент**

На рис. 1 показана схема эксперимента в круговой капиллярной трубке. Темным цветом обозначена вода, светлым – уайт спирит;  $H_1$  и  $H_2$  – высоты столбов жидкостей относительно уровня линии контакта,  $\Delta\Pi$  – скачок давления на поверхности раздела. В эксперименте давление  $P_2$  фиксировалось равным атмосферному, а давление  $P_1$  варьировалось. Измерялись высоты  $H_1$ ,  $H_2$  и  $h$  – максимальное отклонение высоты мениска относительно уровня линии контакта. Диаметр трубки равен 3 мм.

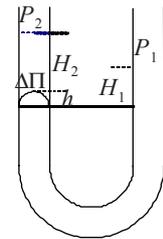


Рис. 1

При небольшом плавном изменении  $P_1$  в пределах 4–5 мм водяного столба линия контакта оставалась неподвижной, а высоты  $H_1$ ,  $H_2$  и  $h$  изменялись.

На рис. 2 изображена проекция мениска. При обработке эксперимента и сравнении с теорией стационарной поверхности раздела предполагалось, что силой тяжести можно пренебречь (число Бонда  $Bo = (\rho_1 - \rho_2)gd^2/\sigma$  мало) и мениск имеет сферическую форму. Следует отметить, что при найденном из сравнения с теорией значении  $\sigma \approx 10$  (CGS) оказалось, что  $Bo \approx 0.5$  и более точное сравнение требует учета влияния силы тяжести. При изменении высоты мениска меняется

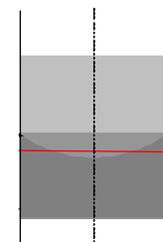


Рис. 2

расстояние между уровнем линии контакта и средней (красной) линией, характеризующей сохранение объема жидкостей. Теоретическое измерение этого расстояния служит для контроля точности экспериментального определения  $H_1$ ,  $H_2$  и  $h$ .

### Результаты

На рис. 3 представлены полученная теоретически зависимость максимальной высоты мениска от давления (кривая) и данные из эксперимента (обозначены символами). Они позволяют сделать вывод о том, что нет оснований для предположения о единственном значении стационарного угла контакта. Линия контакта оставалась неподвижной внутри интервала изменения давления  $[-1, 1]$ .

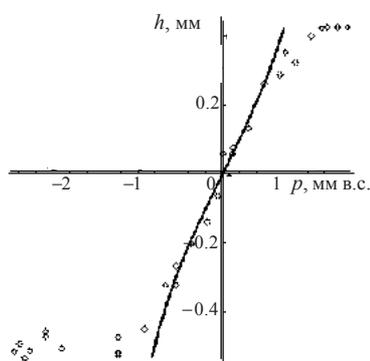


Рис. 3

Таким образом, экспериментально установлено, что закон Юнга не имеет универсального характера, по крайней мере, в том смысле, что значения свободных поверхностных энергий не остаются постоянными, но могут зависеть от давления.

Возможно также, что шероховатость (включая гетерогенность) поверхности твердого тела имеет решающее значение наряду с межмолекулярными взаимодействиями. Еще один вывод заключается в том, что теоретические модели движения линии контакта и определении краевого угла, основанные на гипотезе малого отклонения при малом капиллярном числе, должны быть подвергнуты критике из-за больших вариаций давления при движении.

Сравнение измеренных и теоретических величин угла контакта при изменении давления позволяет предложить способ определения коэффициента поверхностного натяжения между двумя жидкостями.

### Список литературы

1. Чернявский В.М., Монахов А.А. // Докл. РАН. 2010. Т. 433, №6. С. 767–769.
2. Элементарный учебник физики / Под ред. Г.С. Ландсберга. Т. 2. М.: Наука, 1970.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука, 1986.

## YOUNG RELATION AND MEASURING THE CONTACT ANGLE FOR A CHANGING PRESSURE

*V.M. Chernyavski, V.V. Kiryushin*

It was established experimentally that the Young relation does not have a universal character: the values of free surface energies are not constants but depend on the pressure. Comparison of measured and theoretical values of the contact angle depending on the pressure variation allows us to introduce a way of determining the surface tension between two liquids.

*Keywords:* capillary pressure, capillary energy, wetting, contact angle, contact angle measurement.