

П.М. Савкин, Н.В. Ерухимова
МБОУ Лицей №40, Нижний Новгород

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ МЫЛЬНЫХ ПЛЕНОК

Тонкие плёнки относятся к разделу объёмных наноструктурированных объектов, часто обладающих пока не изученными свойствами. Мыльные пузыри всегда были не только красивым явлением природы, но и объектом интересов серьезных ученых. Так Чарльз Бойс сто лет назад опубликовал фундаментальный труд «Мыльные пузыри», который по сей день является настольным пособием для физиков-теоретиков и экспериментаторов. Мыльный пузырь – это заполненный газом шар, стенки которого образованы тонкой пленкой из смеси воды и поверхностно-активного вещества, чаще всего-мыла. В мыльном пузыре слой воды оказывается заключенным между двумя пленками из молекул поверхностно-активного вещества. Эти пленки стабилизируют мыльный пузырь, так как они уменьшают испарение воды с поверхности пленки и её поверхностное натяжение. Переливчатые «радужные» цвета мыльных пузырей получаются за счет интерференции световых волн и зависят от толщины стенки пузыря. Когда свет проходит сквозь пленку пузыря, часть его отражается от внешней поверхности, тогда как другая его часть преломляется, проникая внутрь пузыря, и отражается уже от внутренней поверхности пленки. Проходя через внешнюю поверхность плёнки луч света ещё раз преломляется. Возникает интерференция двух отраженных волн. Это и есть наблюдаемый нами цвет. В ходе эксперимента была найдена толщина h стенки мыльного пузыря для профессионального и самодельного растворов. Все вычисления производились по формуле

$$h = \frac{V}{S} = \frac{m}{4\pi r^2 \rho},$$

где V – объём шара;

S – площадь поверхности шара,

r – радиус шара ($r = 3,5$ см);

ρ – плотность раствора, она была найдена стандартным способом и равна плотности воды,

M – масса мыльного пузыря определялась методом рядов.

Мыльный пузырь выдувался в стаканчик, и, лопаясь о стенки стаканчика, оставался в нем в виде жидкости. Эта процедура повторяется 40 раз. Таким образом, в стаканчике оказался раствор, равный по массе 40 мыльным пузырям.

$$h_1 = (2000 \pm 300)_{\text{нм}} \text{ – для фабричного раствора}$$

$$h_2 = (1000 \pm 150) \text{ нм – для самодельного раствора.}$$

(толщина человеческого волоса около 50 000 нм).

По мере испарения воды и в связи со стеканием раствора вниз под действием силы тяжести толщина плёнки уменьшается, в результате чего наблюдаемый цвет изменяется. В конце концов, стенка пузыря становится тоньше, чем длина волны видимого света, и мы совсем перестаем видеть отражение (на темном фоне эта часть пузыря выглядит черным пятном). Эффект интерференции также зависит от угла, под которым луч света сталкивается с пленкой пузыря. Избыточное давление в мыльном пузыре вычислялось по формуле

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r},$$

где

σ – коэффициент поверхностного натяжения;

r – радиус пузыря.

Коэффициент поверхностного натяжения измерялся стандартным способом. Три раза измерялась сила F , при которой проволочная рамка длиной $l = 50$ мм, погруженная в раствор, отрывалась от него.

$$\sigma = \frac{F}{2l},$$

$\sigma_1 = 0,0217$ Н/м – для профессионального раствора

$\sigma_2 = 0,0267$ Н/м – для самодельного раствора.

Выведем формулу для расчета давления p в пузыре. Мысленно разделим пузырь на две части. На каждую половинку действует сила сцепления (сила поверхностного натяжения $F_{\text{сп}} = 4\sigma\pi r$). Она равна разрывающей силе $2F$.

Рассчитать силу $2F$ можно так: разделим полушарие на несколько маленьких площадей. На каждую из них будет действовать сила $\Delta F = \Delta p \Delta S$, где Δp – разность атмосферного и внутреннего давлений, а ΔS – маленькая площадь. Сумма проекций всех ΔF на ось y и будет равняться силе F .

$$F = \sum \Delta F_y = \Delta p \pi r^2$$

Тогда условие равновесия пузыря:

$$2\Delta p \pi r^2 = 4\sigma \pi r$$

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r} \quad \Delta p = p + p_{\text{атм.}} \quad p = \frac{2\sigma}{r} + p_{\text{атм.}}$$

где $S_{\text{пс}}$ – площадь поперечного сечения шара;

σ – коэффициент поверхностного натяжения;

r – радиус пузыря.

Таблица

Результаты косвенных измерений

Раствор/величина	Δp (Па)	σ (Н/м)	h (нм)
Раствор №1	1,2	0,0217	2000
Раствор №2	1,5	0,0267	1000

Краткие выводы

Таким образом, полученные экспериментальные данные и их анализ позволили определить толщину стенки мыльного пузыря, которая изменяется в пределах нескольких длин волн видимого светового диапазона. Избыточное давление воздуха внутри пузыря, оказалось очень маленьким (1–2 Па). Выяснена причина устойчивости мыльной пленки. Наличие радужных полос на стенке пузыря объясняется интерференцией света на мыльной пленке, а их перемещение по стенке пузыря вызвано стеканием жидкости под действием силы тяжести, в результате чего изменяется толщина пленки.

Список литературы:

- [1] Элементарный учебник физики под редакцией академика Г.С. Ландсберга, том 1,3 – М.: «Наука», 1975.
- [2] В.Н.Витер Большие мыльные пузыри ч.1, журнал Химия и Химики №12011.
- [3] Беленов А.Ф., Савкин П.М. Учебное пособие, методические указания, лабораторные работы по физике 11 класс –Н.Н.: Нижегородский физико-математический Лицей №40, 2004.
- [4] Беленов А.Ф., Савкин П.М. Методические рекомендации и лабораторные работы по физике 10 класс – Н.Н.: Институт прикладной физики РАН Научно-образовательный центр, 2005.