

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИТРОМЕТАНА, СЖАТОГО УДАРНОЙ ВОЛНОЙ

С. Н. Буравова, А. Н. Дремин

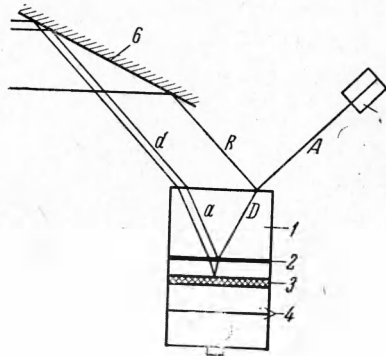
(Москва)

Если толщина фронта ударной волны (переходная область от несжатого в сжатое состояние) мала по сравнению с длиной волны падающего света, то знание отражательной способности позволяет определить коэффициент преломления за ударной волной по формулам Френеля [1]. Когда граница раздела не является резкой, необходимо решать систему уравнений электродинамики для определения зависимости отражательной способности от коэффициента преломления в сжатом веществе и от толщины фронта ударной волны. При этом закон изменения оптических свойств в переходной области,

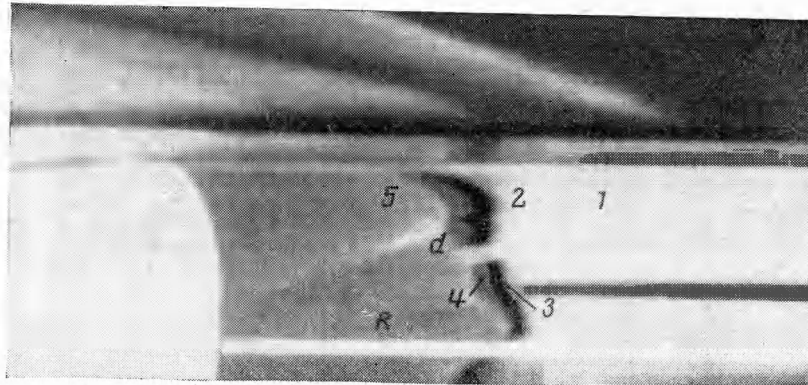
как правило, неизвестен и должен подбираться так, чтобы было максимальное согласие с экспериментом.

Схема эксперимента приведена на фиг. 1. На этой фигуре: 1 — сосуд с исследуемой жидкостью; 2 — ударная волна; 3 — металлическая пластина, являющаяся дном сосуда; 4 — активный заряд, создающий плоскую ударную волну в нитрометане; 5 — аргоновый источник света; 6 — зеркало, направляющее лучи в СФР; A, R, D — падающий, отраженный и преломленный лучи от границы раздела воздух — нитрометан соответственно; $A_s, A_p, R_s, R_p, D_s, D_p$ — перпендикулярные и параллельные компоненты электрической напряженности для соответствующих лучей; a — луч, отраженный от фронта ударной волны; d — тот же луч, но прошедший границу раздела нитрометан — воздух; a_s, a_p, d_s, d_p — компоненты электрической напряженности лучей a и d .

Регистрация отраженного света производилась на фотопленку прибора СФР. На фиг. 2 приведен образец полученной записи. На этой фотохронограмме: 1 — свет,



Фиг. 1



Фиг. 2

рассеянный дном сосуда до выхода ударной волны; 2 — тот же свет после выхода ударной волны; 3 — область поглощения; 4 — область предсвечения; 5 — свечение детонации; t_0 — момент выхода ударной волны в нитрометан.

Обработка пленки фотометрическим путем [2] позволила определить отношение интенсивностей лучей d и R

$$\frac{d^2}{R^2} = \frac{d_s^2 + d_p^2}{R_s^2 + R_p^2}$$

Замеры проводились на пленке в области поглощения, где фон рассеянного света минимален, а также в области предсвечения, где фон равномерный. Необходимо заме-

тить, что область поглощения всего белого света перед началом детонации наблюдается для многих жидких взрывчатых веществ. По-видимому, это связано с переходом валентных электронов в зону проводимости. В исследованном интервале давлений область поглощения мала, так для нитрометана она $\lesssim 0.1$ мксек и увеличивается с добавлением в нитрометан инертных добавок — растворителей. Поскольку поглощение происходит в глубине сжатого вещества, ударная волна очень четко фиксируется на этом фоне.

Следует учесть то обстоятельство, что при отражении и преломлении луча на границе раздела жидкость — воздух — свет частично поляризуется, и только для падающего света можно утверждать равенство интенсивностей перпендикулярной и параллельной компонент. В данном случае только

$$A_s^2 = A_p^2 = 1/2 A_0^2$$

Приведем необходимые для дальнейшего обозначения:

$$\frac{R_s}{A_s} = V_{s1}, \quad \frac{D_s}{A_s} = W_{s1}, \quad \frac{d_s}{a_s} = W_{s2}, \quad \frac{a_s}{D_s} = V_s$$

$$\frac{R_p}{A_p} = V_{p1}, \quad \frac{D_p}{A_p} = W_{p1}, \quad \frac{d_p}{a_p} = W_{p2}, \quad \frac{a_p}{D_p} = V_p$$

где V_{si} , V_{pi} — коэффициенты отражения, а W_{si} , W_{pi} — коэффициенты прохождения перпендикулярной и параллельной компонент различных лучей:

$$\frac{d^2}{R^2} = \frac{d_s^2 + d_p^2}{R_s^2 + R_p^2} = \frac{W_{s2}^2 a_s^2 + W_{p2}^2 a_p^2}{V_{s1}^2 A_s^2 + V_{p1}^2 A_p^2} = \frac{W_{s2}^2}{V_{s1}^2 + V_{p1}^2} \frac{a_s^2}{A_s^2} + \frac{W_{p2}^2}{V_{s1}^2 + V_{p1}^2} \frac{a_p^2}{A_p^2} =$$

$$= \frac{W_{s1}^2 W_{s2}^2}{V_{s1}^2 + V_{p1}^2} \frac{a_s^2}{D_s^2} + \frac{W_{p1}^2 W_{p2}^2}{V_{s1}^2 + V_{p1}^2} \frac{a_p^2}{D_p^2} = \frac{W_{s1}^2 W_{s2}^2}{V_{s1}^2 + V_{p1}^2} V_s^2 + \frac{W_{p1}^2 W_{p2}^2}{V_{s1}^2 + V_{p1}^2} V_p^2$$

Здесь W_{s1} , W_{s2} , W_{p1} , W_{p2} , V_{s1} , V_{p1} определяются по формулам Френеля, поскольку известен угол падения и коэффициент преломления невозмущенного нитрометана n_0 . Из приведенной выше формулы видно, что только в случае поляризованного света можно от экспериментально определенной величины d^2/R^2 перейти к отражательной способности ударной волны V_s или V_p . Если же в эксперименте используется белый свет, то величина

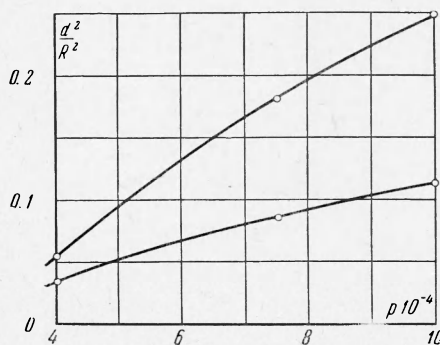
$$\frac{a^2}{D^2} = \frac{a_s^2 + a_p^2}{D_s^2 + D_p^2}$$

непосредственно не определяется.

На фиг. 3 приведены экспериментальные данные — зависимость d^2/R^2 от давления в ударной волне для двух углов падения $\theta_1 = 21^\circ$ и $\theta_2 = 39^\circ$, где θ — угол падения луча на поверхность ударной волны. Точность определения d^2/R^2 выше 50%. Для того чтобы из экспериментальных данных определить n — коэффициент преломления за ударной волной, необходимо задаться видом функций $V_s(n)$ и $V_p(n)$. Когда толщина слоя мала, $V_s(n)$ и $V_p(n)$ определяются по формулам Френеля, в противном случае вид функций $V_s(n)$ и $V_p(n)$ определяется решением уравнений электродинамики [3]. Задача математически значительно упрощается, в случае, когда от переходной области отражается мало света, т. е. когда $a^2/D^2 \ll 1$, как это и имеет место в эксперименте. Действительно, $d^2/R^2 \sim 10^{-1} - 10^{-2}$ — экспериментально измеренная величина

$$\frac{d^2}{R^2} \sim W_{s2}^2 + W_{p2}^2 \sim 2, \quad \frac{D^2}{R^2} \sim \frac{W_{s2}^2}{V_{s1}^2} + \frac{W_{p2}^2}{V_{p1}^2} \sim 6$$

Следовательно, $a^2/D^2 \sim 10^{-2} - 10^{-3}$.



Фиг. 3

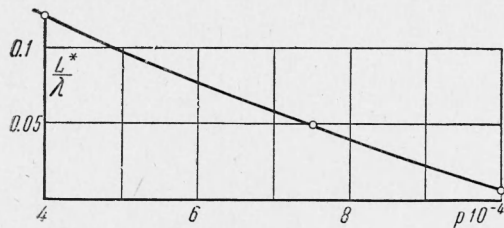
Следуя работе [4], задаем вид изменения показателя преломления в переходном слое

$$\frac{n(x)}{n_0} = 1 + \frac{n - n_0}{1 + \exp(-4x/L)}$$

где $0 \leq x \leq L$, а L — толщина переходного слоя. Для такого закона изменения $n(x)$ имеем [4]

$$\begin{aligned} V_s &= -\frac{1 + \operatorname{tg}^2 \theta}{2} (n - n_0) \frac{\pi^2 l \cos \theta}{\operatorname{sh}(\pi^2 l \cos \theta)} \\ V_p &= \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \theta}{2} (n - n_0) \frac{\pi^2 l \cos \theta}{\operatorname{sh}(\pi^2 l \cos \theta)} \end{aligned} \quad \left(l = \frac{L}{\lambda} \right)$$

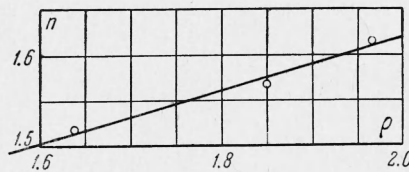
В эксперименте использовался белый свет, поэтому входящую в уравнения длину световой волны следует считать некой приведенной. Решение системы двух уравнений $d^2/R^2(L/\lambda, n, \theta)$ с двумя неизвестными позволяет оценить толщину ударной волны



Фиг. 4

и показатель преломления за ней. Ошибка в определении отношения L/λ больше 50%. На фиг. 4 приводится зависимость L^*/λ от давления (атм), где L^*/λ — максимальное значение, полученное из данных нескольких опытов, так что истинное значение L/λ должно быть заведомо меньше. Из графика видно, что толщина переходного слоя мала по сравнению с длиной волны света, следовательно, для вычисления $V_s(n)$ и $V_p(n)$ можно пользоваться формулами Френеля.

Полученная в результате расчетов зависимость показателя преломления n ударно-



Фиг. 5

сжатого нитрометана от плотности ρ приведена на фиг. 5. Плотность нитрометана рассчитывалась по ударной адиабате [5], исходя из измеренного значения скорости ударной волны.

В заключение авторы благодарят Г. Г. Немцева, В. А. Парамонова, В. А. Коломенкина за помощь при проведении экспериментов.

Поступила 30 III 1964

ЛИТЕРАТУРА

1. Гинзбург В. Л., Мотулевич Г. П. Оптические свойства металлов, Успехи физ. наук, 1955, т. 55, № 4.
2. Прокофьев В. К. Фотографические методы количественного спектрального анализа металлов и сплавов., Ч. II. Гостехтеоретиздат, М., 1961.
3. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. Изд-во АН СССР, М., 1957.
4. Cowan G. R., Hogning D. F. The Experimental Determination of the Thickness of a shock Front in a Gas. J. Chem. Phys., 1950 vol. 18, No. 8.
4. Илюхин В. С., Похил П. Ф., Розанов О. К., Шведова Н. С. Измерения ударных адиабат литого тротила, кристаллического гексогена и нитрометана. Докл. АН СССР, 1960, т. 131, № 4.