

ДЕФОРМАЦИЯ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ
ПОД ДЕЙСТВИЕМ СВЕТОВОГО ДАВЛЕНИЯ

II. ЭКСПЕРИМЕНТ

И. И. Комиссарова, Г. В. Островская, Е. Н. Шедова

Экспериментально исследована деформация свободной поверхности жидкости под действием светового давления лазерного импульса. Экспериментальные результаты находятся в хорошем согласии с теоретическими расчетами, выполненными для осесимметричного распределения интенсивности в пятне сфокусированного лазерного пучка.

В выполненных к настоящему времени работах по исследованию изменения рельефа поверхности жидкости под действием света изучалась деформация поверхности жидкости за счет неоднородного нагрева, приводящего к локальным изменениям поверхностного натяжения и плотности [1-5]. Интерес к подобного рода исследованиям стимулируется главным образом возможностью их практического применения, например, для регистрации информации и определения физических свойств жидкости или подложки.

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию деформации свободной поверхности жидкости, вызванной световым давлением сфокусированного лазерного импульса в условиях, когда термические эффекты исключены. Полученные результаты сравниваются с результатами теоретических расчетов, выполненных в работе [6] для случая осевой симметрии воздействующего светового пучка.

Объектом исследования была выбрана поверхность дистиллированной воды, а методом исследования деформаций поверхности — двухэкспозиционная голографическая интерферометрия. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Использовались два моноимпульсных лазера на рубине (ОГМ-20) с энергией импульсов около 0.4 Дж и длительностью импульсов, не превышающей 30 нс. Пучок света одного из них после прохождения через диафрагму D_2 линзой L_1 фокусировался на поверхность воды, на которую он направлялся зеркалом Z_1 и призмой Pr со стороны жидкости под углом полного внутреннего отражения. Благодаря этому коэффициент отражения света от поверхности был равен единице, что обеспечивало при данном значении интенсивности облучаемого пучка максимально возможное световое давление. Энергия импульса в сфокусированном на поверхность пятне была ограничена явлением пробоя и в наших экспериментах составляла 0.03 Дж. Световой пучок второго лазера через диафрагму D_1 и телескопическую систему из двух линз L_2 и L_3 попадал на клин K_1 , на котором он делился на предметный и опорный. Предметный пучок зеркалом Z_2 направлялся на участок воды, включающий зону воздействия сфокусированного излучения, отражался от него и зеркалом Z_3 направлялся на линзу L_5 , которая строила изображение поверхности воды в плоскости регистрации голограммы G . Для формирования опорного пучка использовались система зеркал Z_3-Z_5 и линза L_6 . Данная схема позволяла регистрировать голографические интерферограммы поверхности воды, для чего непосредственно над ней располагался клин K_2 , который поворачивался в промежутке между экспозициями, обеспечивая получение интерферограмм в полосах конечной ширины.

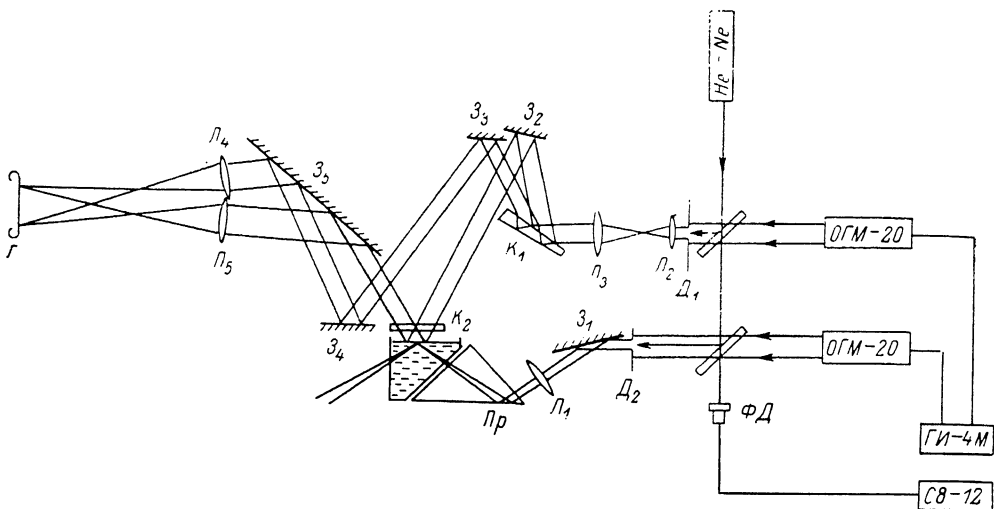


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

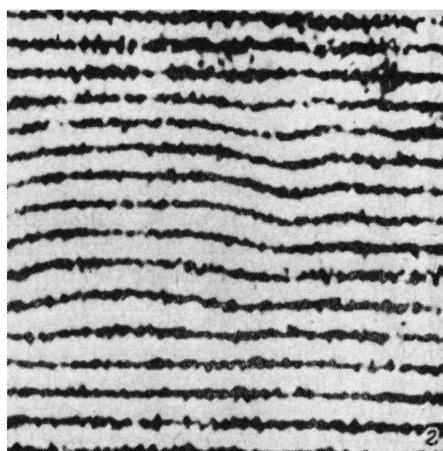
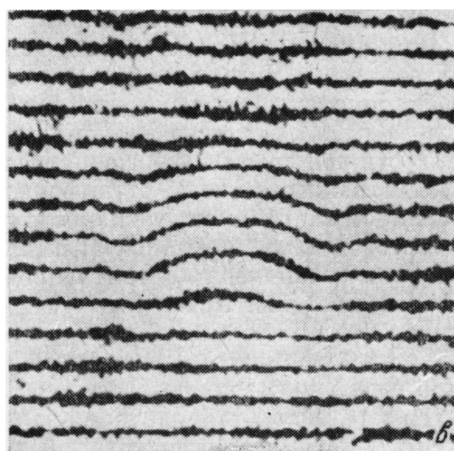
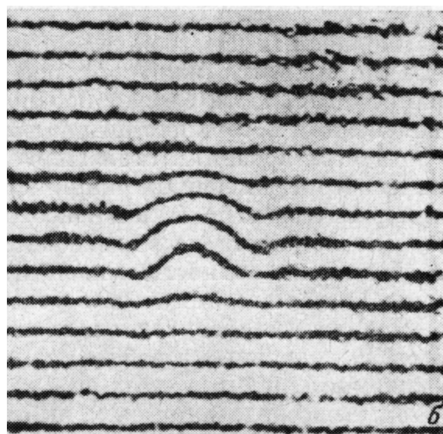
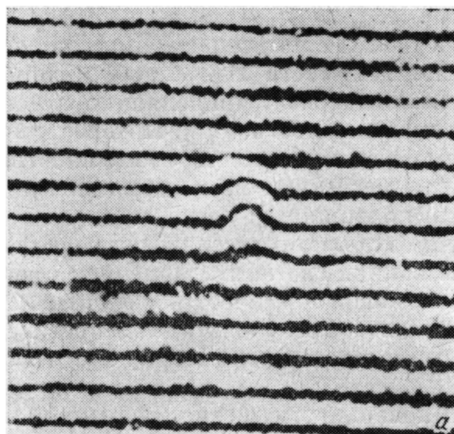


Рис. 2. Голографические интерферограммы рельефа поверхности воды, соответствующие разным временным задержкам между воздействующим на поверхность воды и зондирующим импульсами.

Из теоретического рассмотрения [6] следует, что максимальная деформация в центре пятна фокусировки достигается в момент времени, существенно превышающий длительность лазерного импульса, и при размерах пятна от 0.5 до 1 мм лежит в диапазоне от 0.5 до 2 мс. В связи с этим исследуемый в работе промежуток времени составил от 0.1 до 4 мс. Запаздывание зондирующего импульса излучения относительно импульса, производящего деформацию поверхности воды, обеспечивалось с помощью генератора двойных импульсов ГИ-4М и контролировалось осциллографом С8-12, принимающим сигнал с фотодиода ФД-К24. В данной установке были получены голографические интерферограммы рельефа поверхности воды, соответствующие различным временным задержкам между диагностирующим и воздействующим импульсами. На рис. 2 представлены некоторые из полученных голографических интерферограмм зоны светового воздействия, соответствующие задержкам в 200 (а), 500 (б), 1000 (в) и 2000 мкс (г). Численная обработка подобного рода интерферограмм

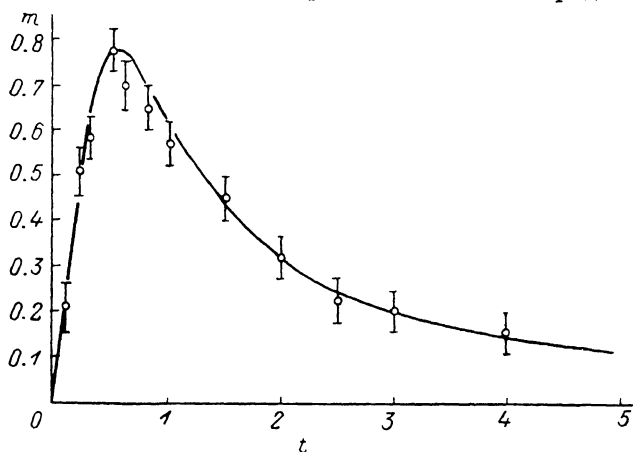


Рис. 3. Временная зависимость величины деформации в центральной части пятна фокусировки света (t — в мс).

позволила выявить временную зависимость абсолютной величины деформации в центральной части пятна фокусировки, а также проследить за радиальным распределением деформаций поверхности в последовательные моменты времени (рис. 3, 4). По оси ординат рис. 3, 4 — смещения интерференционных полос m , связанные с деформацией h соотношением

$$m = \frac{2h \cos \alpha}{\lambda},$$

где α — угол падения зондирующего светового пучка на поверхность воды, λ — его длина волны. На этих рисунках вместе с экспериментальными данными приведены результаты численных расчетов, полученные по методике, описанной в работе [6], при значениях энергии сфокусированного пятна 0.027 Дж и его размере 0.45 мм, соответствующих реальным условиям эксперимента. Заметные расхождения между теоретическими и экспериментальными данными наблюдаются только на крыльях кривых $m(r)$ рис. 4, соответствующих сравнительно ранним стадиям формирования рельефа (экспериментальные кривые в этих случаях проведены штриховой линией). Причина этих расхождений связана, по-видимому, с эллиптичностью пятна фокусировки, вызванной косым падением воздействующего светового пучка на поверхность жидкости, в то время как теоретические расчеты проведены для случая осевой симметрии. Взятый нами для расчетов эффективный размер пятна получен как среднее арифметическое из его продольного и поперечного размеров. Экспериментальные профили деформации на рис. 4 также соответствуют эффективному размеру возмущенной зоны. Кроме того, реальное распределение интенсивности в пятне фокусировки может отступать от гауссова, которое предполагается в расчетах. Наконец, энергия воздействующего излучения, которой определяется абсолют-

ная величина деформации, измерялась в эксперименте с точностью, не превышающей 10 %, а точность измерения смещения интерференционных полос на интерферограммах с учетом обработки нескольких интерферограмм для каждого момента времени составляла 0.05 полосы. Учитывая указанные причины, можно считать, что имеет место хорошее совпадение экспериментальных и теоретических результатов.

Таким образом, в работе наблюдалась деформация свободной поверхности воды, обусловленная именно световым давлением, а не термическим действием света. Дополнительным подтверждением этому выводу могут служить наши эксперименты, в которых световой пучок направлялся на поверхность воды со

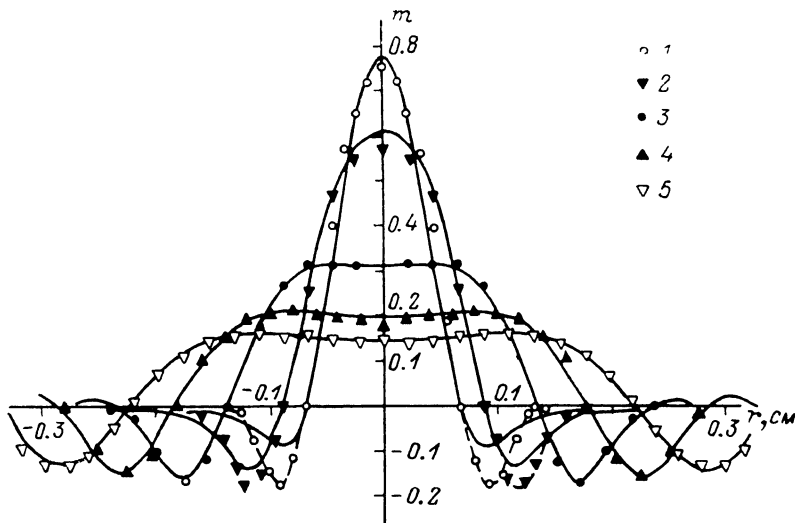


Рис. 4. Радиальные распределения деформаций поверхности воды в последовательные моменты времени. $t=0.5$ (1), 1 (2), 2 (3), 3 (4) и 4 мс (5).

стороны окружающего воздуха. В этом случае коэффициент отражения света от поверхности воды составлял всего лишь около 2 % и деформации поверхности не наблюдались даже при значительном увеличении энергии воздействующего лазерного пучка.

Деформации свободной поверхности жидкости под действием светового давления могут найти практическое применение для записи динамических голограмм, когда быстрота считывания и стирания информации имеют первостепенное значение, а также для определения по ним как энергии и мощности лазерных импульсов, так и физических свойств жидкости.

Литература

- [1] *Da Costa G. J.* Physique, 1982, v. 43, p. 1503—1506.
- [2] *Calatroni J., Da Costa R.* Opt. Comm., 1982, N 1, p. 5—9.
- [3] *Da Costa G., Bentolila F., Ruiz E.* Phys. Lett., 1983, 95A, N 6, p. 313—315.
- [4] *Helmers H., Witte W.* Opt. Comm., 1984, v. 49, N 1, p. 21—23.
- [5] *Визнюк С. А., Суходольский А. Т.* Кр. сообщ. по физике, 1986, № 12, с. 9—12.
- [6] *Островская Г. В.* ЖТФ, 1988, т. 58, № 4, с. 762—767.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
27 февраля 1987 г.