

Лазерные треки в радужной пленке на воде

А.В.Старцев, Ю.Ю.Стойлов

Обнаружено, что узкие нерасходящиеся лазерные треки, которые изучались ранее в свободных мыльных пленках, могут также образовываться и в тонких радужных пленках, например бензина, на воде.

Ключевые слова: лазерные треки, радужные пленки.

Разноцветные пленки часто встречаются на поверхностях городских луж и водоемов. Их цвета обусловлены интерференцией света и свидетельствуют о малой толщине пленок. Аналогичные переливы цвета характерны и для тонких мыльных пленок, в которых при введении лазерного луча формируются нерасходящиеся световые каналы – лазерные треки.

Необычные свойства лазерных треков в мыльных пленках описаны в работах [1–13]. Это отсутствие в треках расходимости при необычно малой для нелинейных эффектов мощности лазерного излучения [1, 2]; независимость вида треков от длины волны и от значительного (на девять порядков) увеличения интенсивности лазерного излучения; отсутствие взаимовлияния при пересечении треков; та же, что и у входного излучения длина волны выходного излучения из треков [3, 4]; независимость характера треков от сорта мыла, ПАВ и растворителя в пленке. Кроме того, треки формируются при воздействии цуга коротких (фемтосекундных) лазерных импульсов [5]; они наблюдаются и при широкополосной накачке и идут прямо через участки пленки разного цвета (разной толщины), но разветвляются на крупных неоднородностях [6, 7]; пороговая мощность накачки для получения трека не превышает 0.2 мВт (0.01 Вт/см², энергия 2×10^{-11} Дж), интерференционная картина от пробного пучка, падающего под скользящим углом и отраженного от пленки, при появлении в ней трека меняет свою структуру [8, 9]; отсутствует влияние накладываемых на треки внешних электрических полей вплоть до пробоя пленки; стационарный одиночный трек в пленке может не иметь ветвлений [10]; механизм формирования треков, связанный с утолщением пленки световым давлением, позволяет объяснить основные особенности треков [10–12]; наблюдается необычная динамика переключения каналов выходного излучения треков [13].

Возможны ли такие же лазерные треки в радужных пленках? При внешнем цветовом сходстве эти пленки имеют разный состав. В отличие от слоистой структуры

мыльных пленок, обе поверхности которых покрыты плотно упакованным слоем молекул мыла или ПАВ с малым поверхностным натяжением, радужные пленки на воде однородны по толщине и в свободном виде, без воды, не существуют. В то же время показатель преломления таких пленок может быть больше, чем у воды, и, следовательно, свет может идти в них так же, как и в мыльных пленках, с полным внутренним отражением.

Наличие лазерных треков в таких пленках увеличило бы число сред и условий для получения лазерных треков. Но не будет ли препятствовать формированию треков однородный состав пленок, их контакт с водой и уменьшение из-за этого угла полного внутреннего отражения?

В поиске ответов на эти вопросы мы исследовали пленку бензина марки АИ-92. (Отметим, что у всех марок бензина со всеми добавками показатель преломления больше, чем у воды, и составляет 1.37–1.58 [14]). Пленка образовывалась в чашке Петри (диаметр 10 см) с водой, на поверхность которой наносилась одна капля бензина объемом ~ 15 мм³.

Капля сразу растягивалась в хорошо видимое в отраженном свете широкое пятно (рис.1). Из размера пятна следует, что начальная толщина пленки составляет несколько микрон. Особенно ярко цвета на пленке проявляются примерно через 1 мин, а затем в течение 5–10 мин они исчезают, т.е. толщина испаряющейся пленки становится меньше 0.1 мкм. В открытой чашке цветные кружочки у краев пленки свидетельствуют о том, что эти



Рис.1. Пленка бензина АИ-92 на поверхности воды в чашке Петри.

А.В.Старцев, Ю.Ю.Стойлов. Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Россия, 119991 Москва, Ленинский просп., 53; e-mail: stoilov@sci.lebedev.ru

Поступила в редакцию 14 марта 2012 г., после доработки – 28 мая 2012 г.

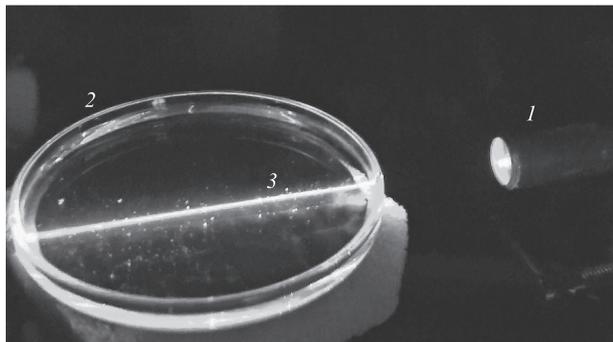


Рис.2. Схема опытов: 1 – лазерная указка; 2 – чашка Петри; 3 – пленка.

края неровные. В чашке под крышкой (в отсутствие испарения) пленка может оставаться цветной часами.

Схема опытов показана на рис.2. Луч лазерной указки 1 (532 нм, 10 мВт) фокусировался линзой с $F = 5$ см через прозрачную стенку чашки 2 в край пленки 3 снизу через воду под углом $\sim 5^\circ$ к поверхности пленки.

Когда вода покрыта толстым (доли миллиметра) слоем бензина, введенный в него лазерный луч, десятки раз отразившись от верхней и нижней поверхностей слоя, приобретает волнообразный вид (рис.3). В таком слое треков не наблюдается, но их нет и в толстой мыльной пленке, поэтому для нас больший интерес представляет тонкая радужная пленка. В этой пленке при точном наведении лазерного луча на ее край и правильном подборе точки ввода образуются хорошо заметные узкие нерасходящиеся световые треки (рис.4). При наличии в бензине флуоресцирующих добавок треки имеют желтоватую окраску и меняют направление, ветвятся, исчезают и возникают снова, т. е. ведут себя так, как и в мыльной пленке [1–13]. Но, в отличие от треков в мыльной пленке, их яркость меньше и они менее подвижны. Иногда треки удается наблюдать и при освещении не края бензиновой пленки, а ее середины, но для этого, как мы уже знаем из опытов с мыльными пленками, должны выполняться особые резонансные условия по толщине [10]. Однако в пленке на воде подобрать место, в котором эти условия выполняются, достаточно трудно.

При наблюдении под микроскопом видно (рис.5), что ширины треков в этих опытах различны, но обычно они составляют ~ 40 мкм. Похожие треки наблюдаются также в пленках керосина и смеси керосина и бензина на воде. Набор веществ, нерастворимых в воде и обладающих малым поверхностным натяжением, пригодных для созда-

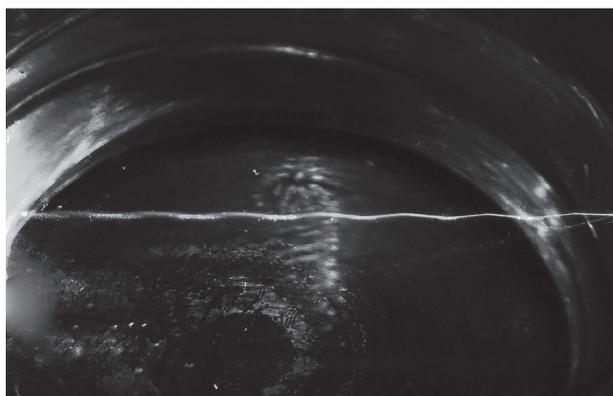


Рис.3. Вид лазерного луча, введенного в толстый слой бензина.



Рис.4. Узкие нерасходящиеся световые треки в радужной пленке бензина. Широкий трек – отраженный от слоя луч лазера.

ния пленок, достаточно велик, и образования треков, видимо, можно ожидать в радужных пленках из других жидких сред и их смесей при использовании разных лазерных источников.

Таким образом, проведенные опыты показывают, что возникновение лазерных треков не связано с какими-либо резонансными особенностями состава жидкостей, и они формируются в разнообразных однородных радужных пленках. Это существенно расширяет возможный набор сред и условий для исследования свойств треков, образующихся, как показано в [10–12], под действием светового давления.

Представляет интерес работа [15], в которой дана оценка возможности нелинейного оптомеханического формирования световых каналов шириной 20–30 мкм за счет светового давления в волноводе с двумя близко расположенными тонкими продольными кварцевыми перегородками. Теоретически, методом итерационных расчетов, показано, что для изменения расстояния между перегородками на 1–3 нм и существенного изменения оптических свойств такого волновода достаточно милливаттных мощностей излучения.

В дальнейшем авторы [15] планируют провести оценки динамики самоформирования таких световых каналов, их взаимодействия и модуляционной устойчивости. Они не упоминают о лазерных треках в тонких пленках, хотя их подход мог бы быть также полезен для теоретического описания динамики и общих свойств этих пространственных солитонов [10]. Сходство механизмов воздействия светового давления при механической пере-

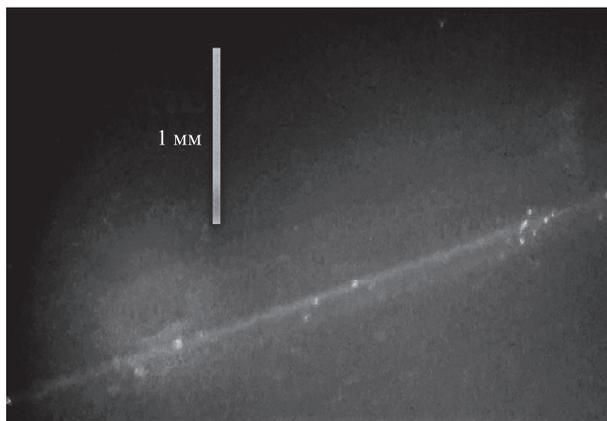


Рис.5. Изображения треков, полученные с помощью микроскопа.

стройке оптических свойств волновода и жидких пленок с треками позволяет рассматривать давление света в качестве особого параметра, играющего важную роль как в описанных, так и, по-видимому, в ряде новых, еще не изученных нелинейных оптомеханических явлений.

Механизм светового давления, объясняющий поведение треков в мыльных пленках, в случае с треками в бензиновых пленках является пока не подтвержденной гипотезой, поскольку данных для треков в бензиновых пленках меньше, чем в мыльных, но ни в виде, ни в поведении треков нет существенного различия, что дает основание предположить одинаковый механизм их образования.

1. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. *Препринт ФИАН №2* (М., 2003); <http://ellphi.lebedev.ru/wp-content/uploads/2011/12/Stoilov.pdf>.
2. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. *Квантовая электроника*, **33**, 380 (2003).
3. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. *Квантовая электроника*, **34**, 569 (2004).
4. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. *Препринт ФИАН №22* (М., 2003); http://ellphi.lebedev.ru/wp-content/uploads/2011/12/2003_22.pdf.
5. Стойлов Ю.Ю. *УФН*, **174**, 1359 (2004); http://ufn.ru/ufn04/ufn04_12/Russian/r0412f.pdf.
6. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. *Препринт ФИАН №12* (М., 2005); http://ellphi.lebedev.ru/wp-content/uploads/2011/12/2005_12.pdf.
7. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю., Савинов Ю.В. <http://sites.lebedev.ru/data/1-2006.pdf>.
8. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. *Препринт ФИАН №6* (М., 2007); http://ellphi.lebedev.ru/wp-content/uploads/2011/12/2007_6.pdf.
9. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. *Препринт ФИАН №5* (М., 2008); http://ellphi.lebedev.ru/wp-content/uploads/2011/12/2008_5.pdf.
10. Стойлов Ю. Ю. *Препринт ФИАН №8* (М., 2009); http://ellphi.lebedev.ru/wp-content/uploads/2011/12/2009_8.pdf.
11. Стойлов Ю. Ю. Патент RU №2403596 C1 от 9 апреля 2009 г.
12. Стойлов Ю.Ю. *Фотоника*, **1**, 2 (2011); www.photonics.su/files/article_pdf/2/article_2466_322.pdf.
13. Стойлов Ю. Ю. *Препринт ФИАН №30* (М., 2011); http://ellphi.lebedev.ru/wp-content/uploads/2011/12/stoilov_cvet.pdf.
14. Итинская Н.И., Кузнецов Н.А. http://www.crazydrivers.narod.ru/AutoSite/Mashina/Remont/11052004/Benzin_1.html.
15. Butsch A., Conti C., Biancalana F., Russell P.St.J. *Phys. Rev. Lett.*, **108**, 093903 (2012); <http://prl.aps.org/pdf/PRL/v108/i9/e093903>.