

# МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ СВЕТОВЫХ КАНАЛОВ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ

Ю.Стойлов, д.ф.-м.н., ФИАН им. В.В.Лебедева, stoilov@lebedev.ru

Необычное поведение лазерного луча малой мощности в тонкой жидкой мыльной пленке привлекает внимание исследователей [1–10]. Луч, введенный в пленку, разделяется в ней на узкие микронные каналы. Показано, что эти каналы формируются именно светом, а не являются результатом существовавших в пленке неоднородностей. Эта способность света представляет научный и практический интерес для адресной передачи информации и энергии.

Свойства треков, возникающих при прохождении света по жидкой мыльной пленке, описаны в некоторых обзорах [4, 6]. Эти световые треки проходят в пленке десятки сантиметров, не меняя свою ширину. В данной статье приведены новые экспериментальные результаты, сделаны некоторые уточнения, исправления и заключения.

## ТРЕКИ В ВЯЗКИХ ПЛЕНКАХ

Динамичное самопроизвольное метание треков по пленке (с изменением траекторий десятки раз в секунду [1–9]) затрудняет их исследование. Для регистрации движений треков нужна светочувствительная киноаппаратура с высоким временным разрешением. Мы пошли по другому пути – было замечено, что повышение вязкости растворов для пленок замедляет движение треков. Были созданы и исследованы специальные растворы на основе глицерина и вязкого меда с поверхностно-активными веществами и пленки из них. Особенности поведения треков в глицериновой пленке мы уже демонстрировали [8]. Свежая глицериновая пленка живет на воздухе несколько суток. Это позволяет провести ее охлаждение и наблюдать в ней обычные треки при отрицательных температурах вплоть до  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , когда вязкость глицерина увеличивается в тысячу раз. В замерзшей, остеклованной глицериновой пленке тре-

ков нет. Наличие треков на отдельных участках пленки не влияет на динамику ее охлаждения и замерзания.

В медовых пленках вязкость уже и при комнатной температуре большая, и движения треков в них замедленные. При вертикальном расположении свежеприготовленной медовой пленки с поперечным размером 10 см на ней наблюдаются более 40 интерференционных полос сверху до низа, то есть книзу эта пленка толще 10 мкм, а сверху тоньше 0,25 мкм. Введенный в такую пленку снизу сфокусированный лазерный луч ( $\lambda=532\text{ нм}$ , мощность  $P=10\text{ мВт}$ ) сначала идет по пленке одним каналом, как в объемной жидкости, не рождая треков, пока не дойдет до пленки с меньшей толщиной (рис.1). Тогда там рождаются ветвистые треки, меняющие свою форму.

Идущие снизу по пленке треки разделяются на группы, каждая



Рис. 1. Появление ветвистых треков в вертикально расположенной тонкой медовой пленке (лазерный луч введен снизу,  $\lambda=532\text{ нм}$ ,  $P=10\text{ мВт}$ )



Рис.2. Наклонные треки разделяются на группы

из которых идет до определенной толщины пленки и выходит из нее (рис.2). Мы связываем эти группы с типами колебаний, с модами, имеющими в пленке разные показатели преломления. На некоторых треках видны пунктиры, вызванные в них изменением направления поляризации света из-за двойного лучепреломления в пленках [5]. Треки от зеленого и красного лазеров идут по разным траекториям (рис.3). Инфракрасные треки в пленке трудно заметить, но они, похоже, тоже идут по своим траекториям.

Треки рождаются и в очень коротких пленках, длина которых вместе с их толстыми ребрами не превышает 0,5 мм. В пленках длиной 5 мм треки видны глазом, а в коротких (0,5 мм) их появление фиксируется по характерным для них бегающим выходным световым полоскам на экране. Уже отмечалось, что треки рождаются не только при фокусировке излучения в край пленки, но и

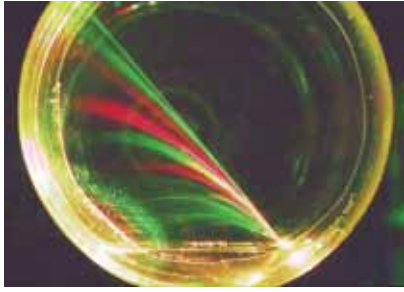


Рис.3. Треки от зеленого и красного лазерного излучения в пленке идут по разным траекториям

при освещении пленки сбоку под скользящим углом менее 5 градусов. При этом зона освещения пленки может быть широкой (несколько миллиметров), а рождающиеся в этой широкой зоне треки все равно получают узкими. Если пятно при фокусировке на ребро пленки имеет большой поперечный размер, например при фокусировке излучения цилиндрической линзой, то из этого пятна тоже выходит много, но узких, треков.

#### ОСОБЕННОСТИ ТРЕКОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СБОКУ

При освещении пленки сбоку под острым углом, около 5 градусов, была замечена особенность. Если пятно фокусировки при сохранении угла падения плавно спускаться по пленке сверху вниз, то треки возникают только в некоторых местах пленки, точнее, в некоторых местах каждой из пересекемых интерференционных полос пленки. И, что интересно, треки возникают в тех зонах, куда световое пятно еще не доходит почти на сантиметр (рис.4), то есть расстояние между пятном фокусировки и зоной

интенсивного зарождения треков около десяти миллиметров. Правее – вид зарождения треков в зоне, к которой подошло фокальное пятно.

При этом максимальный размер пятна на пленке < 1 мм, а его яркость значительно меньше, чем у треков, рождающихся ниже. При появлении треков резко (примерно на порядок) увеличивается интенсивность проходящего через пленку света, а интенсивность отраженного – уменьшается. Это показывает, что треки возникают в тех областях, где излучение согласуется с собственными модами пленки и резонансно увеличивает в пленке свою интенсивность, как в добротном резонаторе Фабри-Перро.

В медовой пленке можно механически передвигать треки вместе с пленкой с помощью введенной в пленку проволоочки (рис.5). Можно ввести в пленку две проволоочки и, раздвигая их, менять толщину пленки на пути трека между ними, на что трек слабо реагирует. Можно подать на проволоочки высокое напряжение 30 кВ или разряд от искрового течеискателя Теслы. До пробоя по воздуху треки на такие напряжения не реагируют, пока пленка не порвется. Это показывает, что механизм образования треков в мыльных пленках отличается от механизма формирования каналов в слоях из жидких кристаллов, реагирующих даже на малое напряжение.

Подбирая условия ввода излучения лазера в медовую пленку, можно получить в ней один стационарный трек шириной около 30 мкм, идущий без расширения

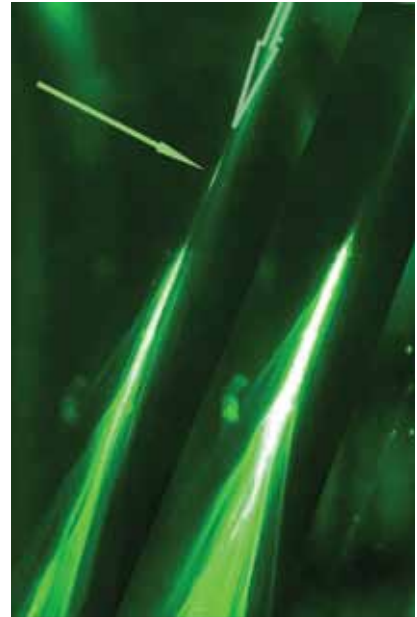


Рис.4. Появление треков при освещении пленки сбоку (контурная стрелка показывает направление лазерного луча, а сплошная стрелка показывает фокальное пятно ~1 мм)



Рис.5. Треки между полосками-электродами не реагируют на напряжение между ними в 30 кВ (расстояние между электродами 10 мм)

по пленке разной толщины на расстоянии 7 см (рис.6). При этом он пересекает на пленке около 7 интерференционных полос и сохраняет такую форму часами.

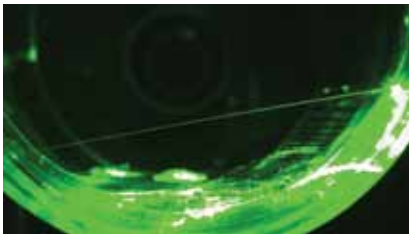


Рис. 6. Один стационарный трек идет без расширения по пленке разной толщины

## О МЕХАНИЗМАХ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕКОВ

Непонятно в этих опытах следующее – если слабый свет трансформирует, меняет среду и создает в ней трек, то почему на трек не воздействует сильное электрическое поле от Теслы? Как это понимать? Что физически действует на пленку? Магнитное поле? Тепло? А без понимания природы треков и теоретического описания их физики нет возможности ими управлять.

Попытки объяснить наблюдаемому явную нелинейность образования треков в среде с помощью механизма самофокусировки света не проходят из-за отсутствия квадратичной зависимости (как для самофокусировки) в характере их поведения от интенсивности излучения. У нас было подозрение, что если трек – это перестройка среды, то, может быть, проявится влияние состава пленки. Но нет, треки образуются в жидких пленках любого состава и вязкости (водяных, керосиновых, глицериновых, медовых, сиропно-сахарных), при любом сорте ПАВ или мыла, любых проходящих в пленках длинах волн излучения, при любой их поляризации и ширине спектра. В объемных жидких средах треков нет. Природа треков явно связана с модами излучения в пленках, и каждая мода стремится образовать в пленке свой трек. Треки пересекаются без видимого взаимодействия. В жидких пленках толще 10 мкм треков не видно. При этом нет влияния на треки температуры среды (от 50 до -80°C). В отвердевших или замерзших пленках треки не образуются.

Теоретическое понимание природы трека затруднено, поскольку

траектория трека малочувствительна к нашим воздействиям и совершенно не меняется при приложении к пленке горизонтальных или вертикальных киловольтных электрических полей вплоть до пробоя пленки. Можно еще что-то проверять и перепроверять, но задаваемые вопросы, как заколдованные, просто начинают повторяться. Что тут можно еще добавить, какие свойства изучать и как определять природу треков?

К тому же, массовое увлечение студентов и школьников запуском лазерного луча в мыльную пленку сделало этот эксперимент с треками общенациональной игрой [12], но игрой не полезной, поскольку одновременно она пока демонстрирует слабость общих подходов физики к разгадке этого непознанного явления, в котором оптически однородная среда светом превращается в неоднородную.

Общепринято, что необходимым условием появления волноводных каналов в однородных средах является увеличение показателя преломления среды. В треке, по предположениям, это могло бы быть в результате сортировки молекул в пленке электрофорезом, из-за особенностей поверхностных волн или поляритонов, из-за влияния, уплотнения ограничивающих слоев или ориентировки молекул. Но эти и другие рассмотренные нами и предлагавшиеся иными авторами [10–12] механизмы формирования не дают удовлетворительного объяснения всех свойств треков и их слабой зависимости от интенсивности излучения.

Монументальные теоретические труды по свойствам слоистых сред и плоских волноводов [13–15] здесь не помогают. В этих работах нет упоминаний о возможности формирования узких световых каналов. Что остается делать? Искать в пленках фотонные кристаллы, отрицательные показатели преломления или вводить ради треков в пленках новые физические законы? Например, такой: "Свет в пленках обладает поверхностным натяжением, которое стягивает его в треки?" Или такой, более общий: "На все воля божья."

Загадка природы треков при всех наших стараниях не привлекла должного внимания столпов ни нашей, ни зарубежной науки, не затронула их за живое, и наблюдаемое чудо формирования световых каналов все еще требует приемлемого объяснения с общих физических позиций без привлечения таинственного влияния какой-нибудь черной материи или потусторонних сил. Невнимание к этой проблеме (к "детской забаве с пузырями") и сравнительно узкий фронт работ по экспериментальному исследованию треков как раз, видимо, и связаны с имеющимися трудностями загадки, неординарностью механизма их формирования и необходимостью дальнейших работ по накоплению материала и обоснованию природы треков.

Надо исследовать, но что? Остается все тот же вопрос – как и что в треках можно еще изучать? Как к ним подходить? Ведь пленка не допускает никакого вмешательства в ее внутреннюю структуру и крайне затрудняет измерения внутри трека. Где ключ к разгадке световых каналов? Это же не шаровая молния, все эксперименты воспроизводимы, результаты описаны и всем легко доступны, но ответа нет. И проблема как раз в том, что, скажем, даже невероятное предоставление исследователям самых широчайших финансовых и экспериментальных возможностей для решения этой задачи поставило бы их в тупик – что в опытах менять, что и как в этом объекте исследовать?

## МЕХАНИЗМ СВЕТОВОГО ДАВЛЕНИЯ

Накопленная с годами неудовлетворенность от рассматриваемых механизмов повышения оптической плотности среды в треках приводит к рождению крамольных, явно несуразных, физически необоснованных гипотез и вопросов типа – может быть, в жидких пленках есть какая-то своя особенность, которая отличает их от других конденсированных сред и позволяет свету формировать наблюдаемые световые струи при малых интенсивностях? Специалисты молчат, но может быть, ну,

нет, серьезно, может быть, у света есть возможность в рамках физических законов образовывать узкий канал в пленке и без обязательного для сплошных сред увеличения показателя преломления? Абсурд? Ведь если нет увеличения показателя преломления, то что же в этом случае будет удерживать свет в канале? А что, если это световое давление [16]? Может ли свет продавливать трек в пленке? Световое давление – это весьма малая величина, отмеченная Кеплером четыре столетия назад как космическая причина отклонения хвостов комет, теоретически обоснованная Максвеллом и экспериментально подтвержденная Лебедевым, но в конденсированных средах она незначительна.

Как отмечает физическая энциклопедия: «Если мощность электромагнитной волны, падающей на  $1 \text{ см}^2$  поверхности тела, равна  $Q$  эрг/см<sup>2</sup>с, а коэффициент отражения  $R_0$ , то вблизи поверхности плотность энергии  $u=Q(1+R_0)/c$ . Этой величине и равно световое давление на поверхности тела:

$$p=Q(1+R_0)/c. \quad (1)$$

Например, мощность солнечного излучения, приходящего на Землю, равна  $1,4 \cdot 10^6$  эрг/см<sup>2</sup> с или  $1,4 \cdot 10^3$  Вт/м<sup>2</sup>; следовательно, для абсолютно поглощающей поверхности  $p=4,3 \cdot 10^{-5}$  дин/см<sup>2</sup> =  $4,3 \cdot 10^{-6}$  Н/м<sup>2</sup>» [17].

Какая величина светового давления в наших опытах? Используемая в опытах с треками плотность лазерного излучения (при мощности около 10 мВт в пятне фокусировки площадью  $10^{-6}$  см<sup>2</sup>) составляет  $\sim 10$  кВт/см<sup>2</sup>. Предельный угол полного внутреннего отражения света в пленке при показателе преломления  $n=1,5$  равен примерно 45 градусам. При таком полном внутреннем отражении световое давление на поверхность пленки  $p \sim 8$  дин/см<sup>2</sup>. Это давление действует на ровную, но деформируемую поверхность жидкости и вызывает ее выпячивание, небольшое разбухание в тех местах пленки, где идет свет. Радиус возникающего цилиндрического искривления  $R$  определяется противодействием поверхностного натяжения  $\sigma$  пленки по формуле

$$R= \sigma/p. \quad (2)$$

При обычной для наших пленок величине  $\sigma \sim 40$  дин/см с двух сторон пленки друг против друга возникают два выпуклых зеркала цилиндрического резонатора (с полным внутренним отражением) и радиусом  $R=5$  см, разнесенные на толщину пленки (рис.7). Для хорды 0,03 мм при таком радиусе возвышение над ровной поверхностью пленки составляет 2,5 нм. Это малая величина, характерная для наноустройств, но она заметно превышает амплитуду хаотических тепловых капиллярных волн на поверхности жидкости, высота которых обычно не превышает нескольких ангстрем [18].

По известным формулам для лазерных резонаторов, например [14, 19, 20], свет фокусируется такими вогнутыми зеркалами в каустику (перетяжку) шириной  $w_0$ :

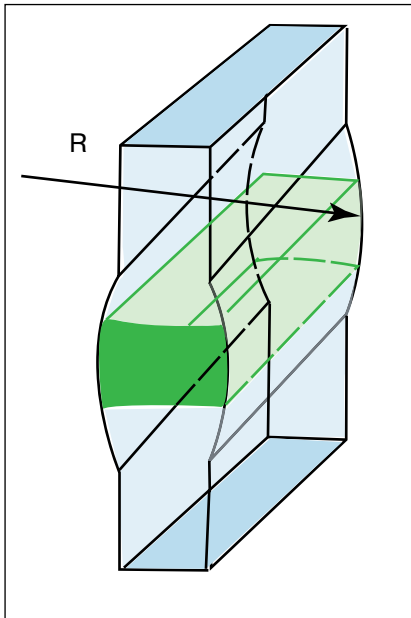


Рис.7. Схема образования резонатора с двумя выпуклыми цилиндрическими зеркалами

$$w_0^4 \cdot \beta^2 = L(4f - L), \quad (3)$$

где  $\beta = (\pi/\lambda)$ ,  $\lambda$  – длина волны (532 нм),  $L$  – расстояние между зеркалами,  $f$  – фокальное расстояние зеркал ( $f = R/2$ ). При  $R = 5$  см и  $L = 10$  мкм величина  $w_0 \sim 184$  мкм. По этой же формуле при  $R = 1$  см и  $L = 1$  мкм  $w_0 \sim 7$  мкм. При  $R = 1$  мм и  $L = 1$  мкм  $w_0 \sim 4$  мкм.

Из-за полного внутреннего отражения образующийся цилиндрический зеркальный резонатор имеет высокую добротность, и интенсивность поля в нем может в десятки и сотни раз превышать интенсивность входного лазерного излучения. Такое увеличение светового давления заметно увеличивает возвышение пленки в области трека и уменьшает радиус выпуклости.

Небольшое расстояние между зеркалами, разнесенными на толщину пленки  $L$ , обеспечива-

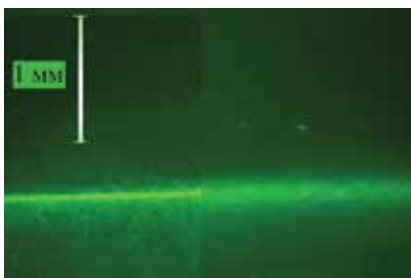


Рис.8. Уменьшение стационарной ширины трека с ростом интенсивности

ет микронные размеры перетяжки и такие же поперечные размеры световой зоны на зеркалах. А четвертая степень показателя в уравнении (3) делает перетяжку мало зависящей от интенсивности лазера и радиуса образующихся зеркал. Рассчитываемые размеры перетяжек согласуются с поперечными размерами наблюдаемых треков в пленках.

Для формирования выпуклости, для установления поперечного размера трека требуется некоторое время. Идет процесс согласования – чем уже перетяжка, тем выше интенсивность света на поверхностях, тем больше его давление, тем меньше радиус зеркал, тем лучше их фокусировка и меньше перетяжка. И так далее, до установления равновесной формы трека, при котором давление света компенсируется натяжением пленки. Время образования, формирования трека с учетом динамики потоков и перетекания жидкости определяется интенсивностью лазерного излучения, натяжением и вязкостью раствора пленки. Без учета нагрева это время рассчитывается по гидродинамическим формулам воздействия силы лазерного света на поверхность [21, 22]. Но в пленках время длиннее, и для наших жидкостей оценивается как меняющееся от долей микросекунды (вода) и десятков миллисекунд (глицерин) до долей секунды (мед).

Минимальная интенсивность света  $I_{\text{мин}}$ , необходимая для образования канала, определяется пороговой величиной выпячивания поверхности, которая по высоте должна превосходить амплитуды  $a_0$  обычных капиллярных волн на поверхности, порождаемых тепловым движением молекул жидкости,  $a_0 \sim (kT/\sigma)^{0,5}$ , где  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – абсолютная температура жидкости [18]. Амплитуда таких волн для подавляющего большинства реальных жидкостей при комнатных температурах имеет величину несколько ангстрем, поэтому пороговой для образования трека можно считать выпячивание вели-

ной в 5 ангстрем. Такое выпячивание на участке пленки поперечным размером 0,1 мм соответствует радиусу кривизны  $R=250$  см и интенсивности излучения  $I_{\text{мин}} = 0,2$  кВт/см<sup>2</sup>. При фокусировке входного излучения в пятно размером  $10^{-6}$  см<sup>2</sup> оцениваемая таким образом пороговая мощность излучения лазера (без учета многократного резонансного увеличения интенсивности света в пленке) составляет 2 мВт. При резонансном увеличении интенсивности пороговая интенсивность излучения меньше в десятки и сотни раз (0,01–0,1 мВт,  $I_{\text{мин}} > 10$  Вт/см<sup>2</sup>). Пороговая ширина перетяжки  $w_0$  (при  $R = 250$  см и толщине пленки 10 мкм) при этом составляет около 50 мкм. При понижении температуры пороговая интенсивность понижается, и в этом смысле эффект появления треков является беспороговым – пленка реагирует на любой свет. Максимальная световая мощность, передаваемая по световоду, определяется стойкостью пленки и, по оценкам, может превышать сотни ватт.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Вид такого одиночного стационарного трека шириной  $\sim 30$  мкм, идущего прямо без расширения по медовой пленке на расстоянии 7 см от точки фокуса (с пересечением семи интерференционных полос), показан на рис.6. Присмотревшись под микроскопом к поперечным размерам этих треков в вязких пленках, мы заметили, что стационарная ширина трека действительно уменьшается с ростом интенсивности (рис.8). Правая половина трека получена при мощности излучения 2 мВт, левая – при 20 мВт.

Можно ли наблюдать динамику установления трека в наших опытах? Да, после включения лазера поперечные размеры трека в вязкой медовой пленке заметно сужаются и устанавливаются за доли секунды. Такая динамика уменьшения поперечного размера трека со временем после включения излучения зе-

ленного лазера (532 нм, 4 мВт) показана на рис.9. С увеличением мощности лазера до 20 мВт время установления трека сокращается.

Если в пленку направить лазерное излучение интенсивностью меньше 4 мВт, то одиночный прямой трек в медовой пленке остается неподвижным часами. Но при повышении мощности до 10–20 мВт трек приходит в волнообразное движение и плавно изменяет свою траекторию у конца с периодом 2–4 с (рис.10). Причина такого движения пока не понятна, и здесь нет прямой связи между перемещением трека и его тепловым воздействием, так как начало трека остается неподвижным, и нет движений пылинок около трека на пленке. Возможно, из-за движения раствора вдоль трека при повышенной мощности трек проявляет неустойчивость в выборе пути и постоянно волнообразно перестраивает часть своего зеркального резонатора.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, рассмотренный механизм формирования «зеркального» волновода однородным потоком любого проходящего в пленке излучения без увеличения показателя преломления среды дает ключ к разгадке физики треков и позволяет объяснить ранее описанные основные особенности этого «чуда». Становится понятно, с чем связаны отмеченные в обзорах свойства треков, такие как отсутствие у них расходимости, слабая зависимость вида треков от интенсивности и поляризации излучения, от внешних воздействий, электрических полей, от состава жидкой пленки, диапазона и спектра светового излучения, причина яркости самих треков в самых прозрачных пленках, их явная связь с модами, способность идти прямо через участки пленки разной толщины, не замечать мелких пылинок в пленке, их склонность расщепляться на несколько узких треков на крупных неоднородностях, возможность их формирования с одиночными на-

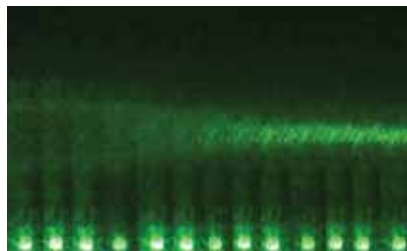


Рис.9. Уменьшение поперечного размера трека в вязкой медовой пленке (интервал между кадрами 0,1 с)

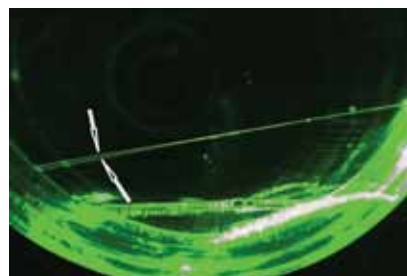


Рис.10. Волнообразное движение треков (стрелки показывают крайние положения трека при колебаниях) при повышении мощности излучения до 20 мВт

носекундными и серий фемтосекундных импульсов, малое взаимодействие треков при их пере-

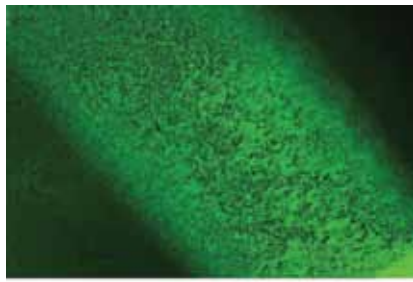


Рис.11. Мигающая зернистость поверхности трека

сечения и отсутствие подобных треков в сплошной среде.

Для управления треками можно использовать создание локальных оптических неоднородностей, например, воздействуя на поверхность другим лазером или нагревая участки пленки на пути трека поглощаемым в жидкости излучением CO<sub>2</sub>-лазера.

Открывается путь к детальному математическому описанию динамики образования и поведения световых каналов в рамках волновой оптики в изменяемом светом неклассическом резонаторе, а также тонкостей использования треков и оценки имеющихся при этом ограничений. Так, при передаче информации по трекам необходимо будет учитывать наличие капиллярных волн на поверхностях цилиндрических зеркал и возможность дополнительного изменения формы зеркал светом передаваемого информационного сигнала.

В этой связи можно отметить, что, например, раньше мы отмечали пятнистую, мигающую структуру света, выходящего из ребра между трех пленок [8] и считали ее проявлением влияния капиллярных волн на жидкости. Проходящий по толстому ребру с полным внутренним отражением лазерный свет может сам динамично менять форму поверхностей жидкости. Эти ва-

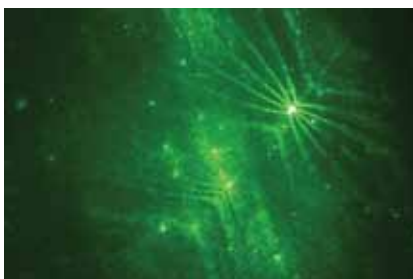


Рис.12. Световые каналы в тонком слое глицерина на алюминиевом зеркале

риации могут влиять на изменение структуры и яркость пятен выходного света на экране.

Гибкость поверхности проявлялась в наших опытах, например в том, что в тонких плоских пленках зона ярких треков, наблюдаемых сбоку при постоянном лазерном возбуждении, тоже обладает заметной мигающей зернистостью, особенно если изображение трека при регистрации специально расфокусировано (рис.11). Но при этом в выходном свете трека на экране таких миганий нам заметить не удалось.

Механизм светового давления позволяет формировать треки не только в плоских или изогнутых пленках из любых жидкостей с гибкой поверхностью в воздухе, но и в их тонком слое, находящемся в окружении других жидкостей или на подложке с меньшим показателем преломления, или в слое жидкости на идеальной зеркальной поверхности. Идеальных зеркал у нас нет, но вот что удается наблюдать. На рис.12 показаны световые каналы длиной около 1 мм в чистой тонкой глицериновой пленке (без добавок ПАВ) на алюминиевом зеркале при освещении точки в пленке сфокусированным светом зеленого лазера (532 нм, 20 мВт). В этом случае для формирования трека требуется больше времени, чем в свободной пленке, из-за тормозящего влияния окружающей среды и подложек на поперечные потоки.

Создаваемые давлением световые треки могут возникать, например, при получении генерации в сферических каплях с лазерным красителем. Когда свет, идущий в капле в «шепчущей моде» около поверхности, будет выдавливать эту поверхность в узкой зоне (обручем), при этом стягиваясь и подфокусируясь в перетяжку. А при сильном увеличении своей интенсивности свет может вызвать разрыв капли.

Уже давно многие авторы исследуют деформации поверхностей жидкостей при воздействии мощного лазерного излучения при нормальном падении света на границу. В работах [21, 22] описаны эксперименты, в которых, выдавливая светом оптически более плотную жидкость в жидкость менее плотную, получали световую струю. Диаметр светового канала около 10 мкм, длина около 1 мм (рис.13). Отмечалась нестабильность диаметра по-



Рис.13. Световая струя, полученная давлением света [28]

лучаемого канала, что связывали с многомодовостью используемого лазерного излучения. Но в этих опытах поверхностное натяжение на границе используемых жидкостей крайне низкое (в миллион раз меньше, чем у нас), поэтому, на наш взгляд, стенка канала могла легко деформироваться, выпячиваться в сторону, как в треке, или идти по винтовой линии и быть неустойчивой при малейшей неоднородности света в канале. Авторы работы [23] тоже изучали малые деформации поверхности жидкости под действием излучения лазера и разработали чувствительную методику регистрации деформаций, которую, видимо, можно применить и для изучения пленок с треками.

Таким образом, способ создания волноводных каналов световым давлением представ-

ляет интерес для изучения свойств свето-деформируемых неклассических резонаторов, свойств жидкостей и их поверхностных слоев, действия света на них, для удержания методом лазерного пинцета объектов в зоне пересечения треков под микроскопом, для сортировки молекул жидкости с помощью диэлектрофореза в протяженном лазерном треке, для получения лазерной генерации, гармоник, для локальной фотополимеризации жидкой среды, для направленной передачи энергии и информации, а также для наглядной демонстрации результатов механической работы света и наноразмерных трансформаций поверхностей под действием светового давления. Трудные опыты П.Н.Лебедева по выделению и демонстрации действия светового давления становятся с треками простой детской игрой. Одновременно открываются задачи для исследования, если им не помешают накладки от задержек [24].

Физика оптических треков весьма богата, поскольку объединяет в себе характерное для космоса световое давление, наномеханику при формировании зеркал, историю ФИАН с измерением светового давления, его лазерное настоящее и фотонику будущего. Благодарю всех сотрудников, принимавших участие в обсуждении полученных результатов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Старцев А., Стойлов Ю. Препринт ФИАН №2.– М.: ФИАН, 2003. <http://ellphi.lebedev.ru>.
2. Старцев А., Стойлов Ю. Квантовая электроника, 2003, т. 33, с.380.
3. Старцев А., Стойлов Ю. Квантовая электроника, 2004, т. 34, с.569; препринт ФИАН №22.– М.: ФИАН, 2003. <http://ellphi.lebedev.ru>.
4. Стойлов Ю. УФН, 2004, т. 174, с. 1359.
5. Старцев А., Стойлов Ю. Препринт ФИАН №12.– М.: ФИАН, 2005. <http://ellphi.lebedev.ru>.
6. Старцев А., Стойлов Ю., Савинов Ю. Лазерные треки в тонких пленках. <http://sites.lebedev.ru>.
7. Старцев А., Стойлов Ю. Препринт ФИАН №6.– М.: ФИАН, 2007. <http://ellphi.lebedev.ru>.
8. Старцев А., Стойлов Ю. Препринт ФИАН №5.– М.: ФИАН, 2008. <http://ellphi.lebedev.ru>.
9. Стойлов Ю. Препринт ФИАН №8.– М.: ФИАН, 2009.
10. Вайчас А. Дискретная дифракция лазерного излучения в биологических жидких пленках. <http://www.festu.khv.ru>.
11. Вайчас А., Малов А., Шевченко Е. и др. Распространение лазерного излучения в жидкой фоточувствительной пленке. [www.library.mephi.ru/data/scientific-sessions/2008](http://www.library.mephi.ru/data/scientific-sessions/2008).
12. Хартикова А. Лазерные “усы” в мыльных пленках. <http://www.issl.ru/phys>.
13. Ярив А., ЮхП. Оптические волны в кристаллах. – М.: Мир, 1987.
14. Унгер Х.-Г. Планарные и волоконные оптические волноводы. – М.: Мир, 1980.
15. Pernice W., Li Mo, Tang H. – Optics express, 2009, v. 17, №3, p.1806.
16. Стойлов Ю. Заявка на патент RU №2009113269 от 09.04.2009.
17. Физический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1983.

18. Григорьев А., Ширяева С., Белоножко Д. и др. – ЖТФ, 2004, т. 74, вып.7, с.140.
19. Шабунин С., Соловьянова И. Волноводы и объемные резонаторы.– Екатеринбург, УГТУ, 1998.
20. Чуносов Н. Программа расчета излучения в лазерных резонаторах. <http://www.freesoft.ru>.
21. Brasselet E., Wunenburger R., Delville J. – Phys. Rev. Lett. 2008, v.101, p.014501.
22. Delville J-P, Vincent M., Schro R. et al.– J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 2009, v.11, p. 034015.
23. Sakai K., Mizuno D., Takagi K. – Phys. Rev. E, 2001, v.63, p.046302.
24. Кайгуков В.М. Эволюция диктата. – М.: Урамос, 1991. <http://www.philosophyevolution.com>.

## ОПТИКА АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА. ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ

28 июня – 1 июля в Томске пройдет XVII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». В рамках Симпозиума будут работать четыре конференции: Молекулярная спектроскопия и атмосферные радиационные процессы; Распространение излучения в атмосфере и океане; Исследование атмосферы и океана оптическими методами; Физика атмосферы и один тематический научный семинар Применение адаптивной оптики в мощных лазерах. Зарегистрироваться и прислать текст доклада, можно будет через сайт Симпозиума <http://symp.iao.ru/ru/aoo/17/register> или по электронной почте [symp2011@iao.ru](mailto:symp2011@iao.ru)