Физический институт имени П.Н.Лебедева

ПРЕПРИНТ Ю.Ю. СТОЙЛОВ

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТОВЫХ КАНАЛОВ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ

MOCKBA 2009

Аннотация

Лазерный луч в тонкой жидкой пленке ведет себя необычным образом /1-10/, в ней он разбивается на узкие микронные каналы, и эти световые треки могут идти по пленке на десятки сантиметров без увеличения своей ширины. Показано, что эти узкие каналы формируются именно светом, а не являются результатом уже существовавших в пленке неоднородностей. Обнаруженная нами способность света образовывать в пленках длинные волноводные каналы при небольших (милливаттных) мощностях представляет научный и практический интерес в плане адресной передачи информации и энергии.

Описанию свойств треков посвящено несколько обзоров /6, 8/, а в данной работе рассмотрены новые результаты, сделано несколько уточнений, исправлений и заключений.

Динамичное самопроизвольное метание треков по пленке затрудняет их исследование. Для регистрации движений треков нужна светочувствительная киноаппаратура с высоким временным разрешением. Мы пошли по другому пути, по пути замедления движения треков при повышении вязкости растворов для пленок. 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 в работе «Симфония оптических треков» /10/. Свежая глицериновая пленка живет на воздухе несколько суток. Это позволяет провести ее охлаждение и наблюдать в ней обычные треки при минусовых температуре до –80° С, когда вязкость глицерина увеличивается в тысячу раз. В замерзшей, остеклованной глицериновой пленке треков нет. Наличие треков на отдельных участках пленки не влияет на динамику ее охлаждения и замерзания.

В медовых пленках вязкость уже большая и при комнатной температуре, и движения треков в них замедленные. При вертикальном расположении свежеприготовленной медовой пленке с поперечным размером 10 см на ней от верха до низа наблюдается более 40 интерференционных полос, т.е. внизу эта пленка толще 10 мкм, а вверху тоньше 0.25 мкм. Введенный снизу в такую пленку сфокусированный лазерный луч (532 нм, 10 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.

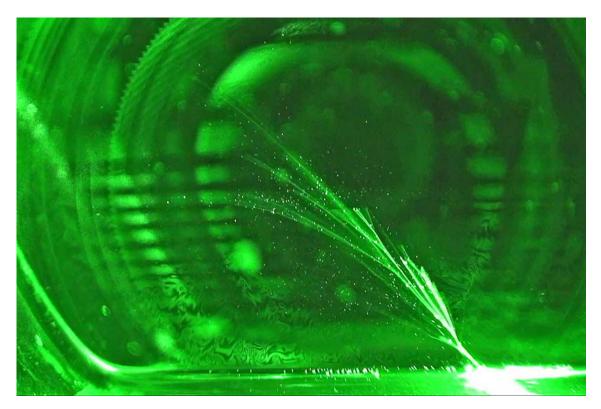


Рис. 1. Введенный снизу в пленку сфокусированный лазерный луч (532 нм, 10 мВт) идет по пленке одним каналом, как в объемной жидкости, не рождая треков, пока не дойдет до пленки с меньшей толщиной. Тогда там рождаются ветвистые треки, меняющие свою форму.

Идущие снизу по пленке треки разбиваются на группы, каждая 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 /9/.

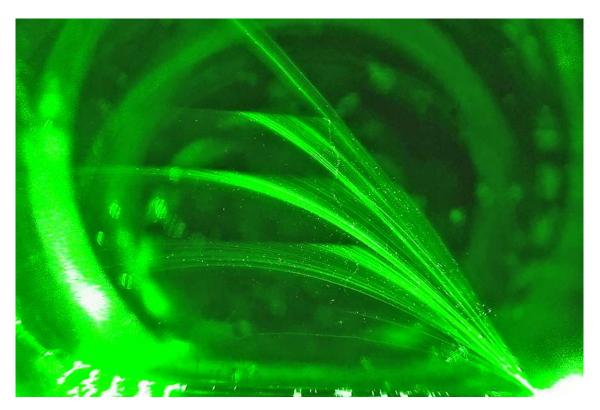


Рис.2. Наклонные треки разбиваются на группы, каждая из которых идет до определенной толщины пленки и выходит из нее.

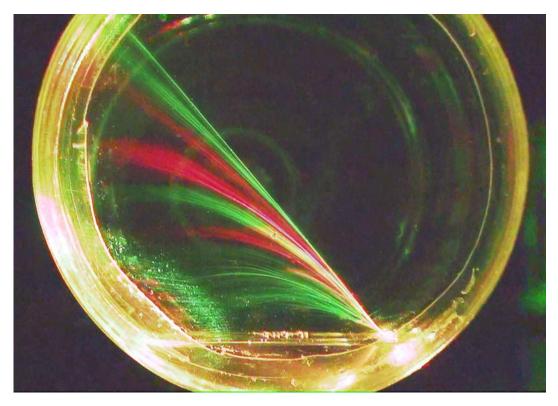


Рис.3. Треки от зеленого и красного лазеров в пленке идут по разным траекториям.

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. Раньше мы считали, что ИК треки могут идти по одним каналам с зелеными, но это неверно. Тогда мы ошибочно приняли возбуждаемую зеленым светом ИК флуоресценцию из трека за трек, созданный ИК излучением лазера.

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 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 получаются 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.

При освещении пленки сбоку под острым углом около 5 градусов была отмечена такая особенность. Если пятно фокусировки при сохранении угла падения плавно опускается по пленке сверху вниз, то треки возникают только в некоторых местах пленки, точнее, в некоторых местах каждой из интерференционных полос пленки. И, что интересно, пересекаемых возникают в этих местах тогда, когда световое пятно (его длинный размер на пленке меньше миллиметра и яркость значительно меньше, чем у ниже рождающихся треков) еще не доходит до этих выделенных зон пленки почти на сантиметр (Рис.4). При появлении треков резко (примерно на порядок) увеличивается интенсивность проходящего через пленку света И уменьшается интенсивность отраженного. Это показывает, что треки возникают в тех областях, где излучение согласуется с собственными модами



Рис. 4. Появление треков при освещении пленки сбоку, когда пятно фокусировки еще не доходит до зоны рождения треков в пленке на несколько миллиметров. Контурная стрелка показывает направление лазерного луча, а сплошная стрелка показывает слева фокальное пятно (длина около 1 мм), которое еще не дошло до зоны интенсивного рождения треков в пленке, но треки в этой зоне уже рождаются. Справа вид треков, когда фокальное пятно подошло к этой зоне.

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 проволочки (Рис.5). Можно ввести в пленку две проволочки и, раздвигая их, менять толщину пленки на пути трека между ними, на что трек слабо реагирует. Можно подать на проволочки 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.

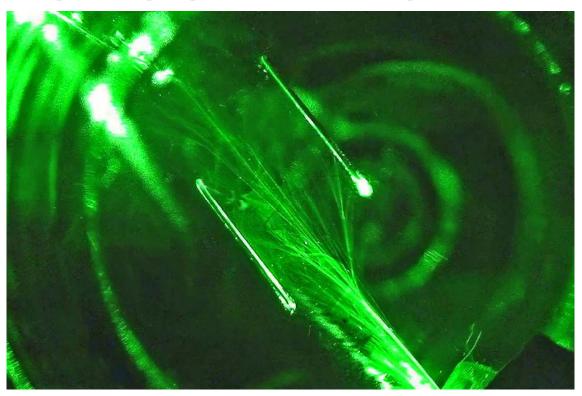


Рис. 5. Треки между полосками-электродами не реагируют на напряжение между ними в 30 кВ. Расстояние между электродами 10 мм.

Подбирая условия ввода излучения лазера в медовую пленку, можно получить в ней один стационарный трек шириной в несколько десятков микрон, идущий без расширения по пленке разной толщины на расстояние 7

см (Рис.6). При этом он пересекает на пленке около 7 интерференционных полос и сохраняет такую форму часами.



Рис. 6. Один стационарный трек шириной около 30 мкм, идущий без расширения по пленке разной толщины на расстояние 7 см.

Не понятно в этих опытах следующее - если слабый свет трансформирует, меняет среду и создает в ней трек, то почему на трек не воздействует сильное электрическое поля 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 наблюдаемую явную нелинейность образования треков в среде с помощью механизма самофокусировки света не проходят изза 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, сиропносахарных), 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 $+50^{\circ}$ до -80° С). 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 перепроверять, задаваемые НО 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, 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 конденсированных средах является увеличение показателя преломления среды. В треке, по предположениям, это могло бы быть в результате сортировки молекул в пленке электрофорезом, из-за особенностей поляритонов, поверхностных ВОЛН ИЛИ из-за влияния, уплотнения ограничивающих слоев или ориентировки молекул. Но эти и другие рассмотренные нами и предлагавшиеся другими /11-13/ механизмы формирования не дают удовлетворительного объяснения всех свойств треков и их слабой зависимости от интенсивности.

Монументальные теоретические труды по свойствам слоистых сред и плоских волноводов /14-16/ здесь не помогает. В этих работах нет упоминаний о возможности формирований 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. Невнимания 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?

Накопленная с годами неудовлетворенность от рассматриваемых механизмов повышения 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 /17/? 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 см^2 поверхности тела, равна Q эрг/см²•с, а коэффициент отражения R_o , то вблизи поверхности плотность энергии $u=Q(1+R_o)/c$. Этой величине и равно световое давление на поверхности тела:

$$p=Q(1+R_o)/c$$
 (эрг/см³ или Дж/м³). (1)

Например, мощность солнечного излучения, приходящего на Землю, равна $1,4 \cdot 10^6$ эрг/см² • с или $1,4 \cdot 10^3$ Вт/м²; следовательно, для абсолютно поглощающей поверхности p= $4,3 \cdot 10^{-5}$ дин/см²= $4,3 \cdot 10^{-6}$ Н/м²» /18/.

Какая величина светового давления в наших опытах? Используемая в опытах с треками плотность лазерного излучения (при мощности около 10 мВт в пятне фокусировке площадью 10^{-6} см²) составляет ~10 кВт/см². Предельный угол полного внутреннего отражения света в пленке при n=1.5 равен примерно 45 градусам. При таком полном внутреннем отражении световое давление на поверхность пленки р~8 дин/см². 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 σ пленки по формуле

$$R = \sigma/p. \tag{2}$$

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).

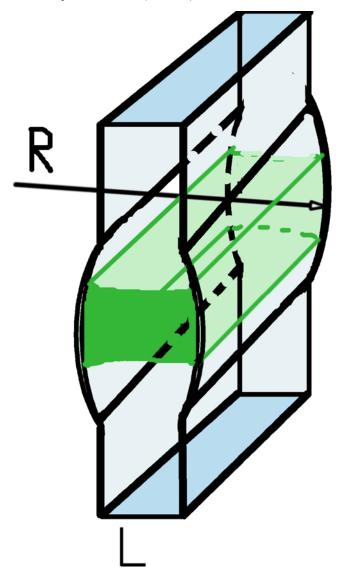


Рис.7. Схема рождения световых треков в пленке. Разнесенные на толщину пленки два выпуклых зеркала цилиндрического резонатора с полным внутренним отражением и радиусом R, рассчитываемым по формуле (2).

Для хорды 0.1 мм при таком радиусе возвышение над ровной поверхностью пленки составляет 2.5 нм. 2.5 нм - это малая величина, характерная для наноустройств, для нанотехнологии, но она заметно больше амплитуд хаотических тепловых капиллярных волн на поверхности жидкости, высота которых обычно не превышает несколько ангстрем /19/.

По известным формулам для лазерных резонаторов /например, 15, 20, 21/ свет фокусируется такими вогнутыми зеркалами в каустику (перетяжку) шириной w_0 :

$$w_0^4 \beta^2 = \{ L(4f - L) \}$$
 (3),

где $\beta = (\pi/\lambda)$, λ - длина волны (532 нм), L – расстояние между зеркалами, f – фокальное расстояние зеркал (f=R/2). При R=5 см и L=10 мкм величина $w_0 \sim 18.4$ 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 добротность раз, т.е. 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, обеспечивает микронные размеры перетяжки и такие же поперечные размеры световой зоны на зеркалах, а четвертая степень 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, приведенным в /23/, но в пленках оно длиннее, и, по оценкам, для наших жидкостей составляет от долей микросекунды (вода) и десятков миллисекунд (глицерин) до долей секунды (мед).

Минимальная интенсивность света Імин, необходимая для образования канала, определяется пороговой величиной выпячивания поверхности, которая высоте должна превосходить амплитуды обычных капиллярных волн на поверхности, порождаемых тепловым движением молекул жидкости, $a_o \sim (kT/\sigma)^{0.5} (\kappa - \pi)$ постоянная Больцмана, абсолютная температура жидкости) /19/. Амплитуда таких волн для подавляющего большинства реальных жидкостей при комнатных температурах имеет величину несколько ангстрем, поэтому пороговой для образования трека можно считать выпячивание величиной в пять ангстрем. Такое выпячивание на участке пленки поперечным размером 0.1 мм соответствует радиусу кривизны R=25 см и интенсивности излучения $I_{\text{мин}}=2$ $\kappa B T/cm^2$. При фокусировке входного излучения в пятно размером 10^{-6} см² 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, $I_{\text{мин}} > 10 \text{ Br/cm}^2$). Пороговая ширина перетяжки w_0 (при R = 25 см и толщине пленки 10 мкм) при этом составляет около 28 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.

Вид такого одиночного стационарного трека шириной ~30 мкм, идущего прямо без расширения по медовой пленке на расстояние 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).

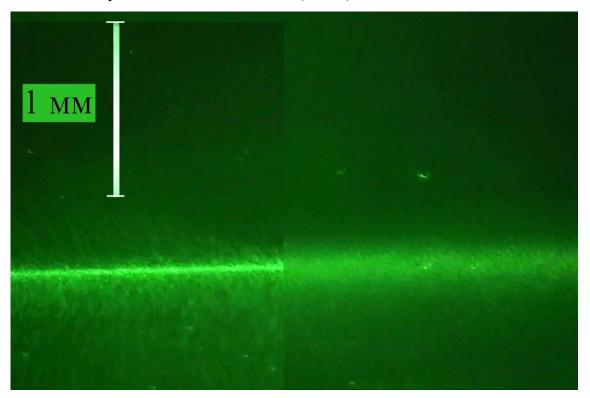


Рис.8. Стационарная ширина трека уменьшается с ростом интенсивности. Правая половина показывает вид трека при мощности излучения 2 мВт, левая — при 20 мВт. Вертикальная полоска — 1 мм.

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

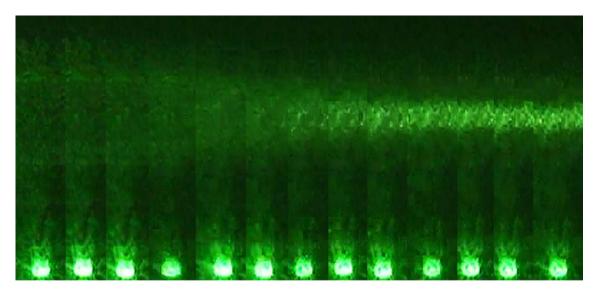


Рис. 9. Наблюдаемая динамика установления, т.е. уменьшения поперечного размера трека в вязкой медовой пленке с интервалом в 0.1 секунды между кадрами (отмеченными точками снизу) после включения излучения зеленого лазера (532 нм, 4 мВт).

При интенсивности лазерного излучения меньше 4 мВт одиночный прямой трек в медовой пленке неподвижен часами, но при повышении мощности до 10-20 мВт он приходит в волнообразное движении с плавным изменением своей траектории у конца трека. (Рис.10.).

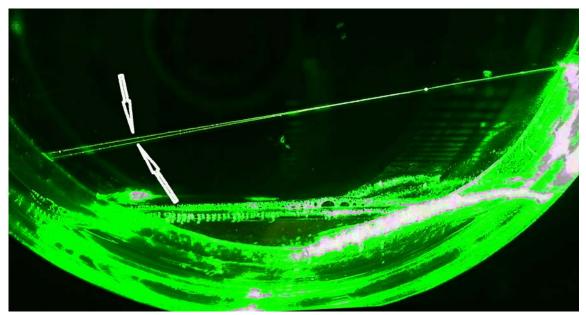


Рис. 10. При 20 мВт окончание трека приходит в волнообразное движении с плавным изменением своей траектории с периодом 2-4 с. Крайние положения трека при колебаниях показаны стрелками.

Причина такого движения пока не понятна, и здесь нет прямой связи между перемещением трека с его тепловым воздействием, т.к. 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.

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 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 поляризации интенсивности и излучения, otвнешних 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 несколько **УЗКИХ** треков на на крупных неоднородностях, возможность ИХ формирования c одиночными фемтосекундных наносекундными серией импульсов, И малое взаимодействия треков при пересечении и отсутствие подобных треков в сплошной среде.

Для управления треками можно использовать создание локальных оптических неоднородностей, например, воздействием на поверхность другим лазером или нагревом участка пленки на пути трека поглощаемым в жидкости излучение CO_2 лазера.

Открывается путь к детальному математическому описанию динамики образования и поведения в рамках волновой оптики, 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. Например, раньше мы отмечали пятнистую, мигающую структуру света, выходящего из ребра между трех пленок /10/ и проявлением влияния капиллярных волн на считали ee жидкости. Проходящий по толстому ребру с полным внутренним отражением лазерный свет может динамично менять форму ограничивающих ребро поверхностей жидкости, и здесь эти вариации могут влиять на изменение структуры и яркости 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.

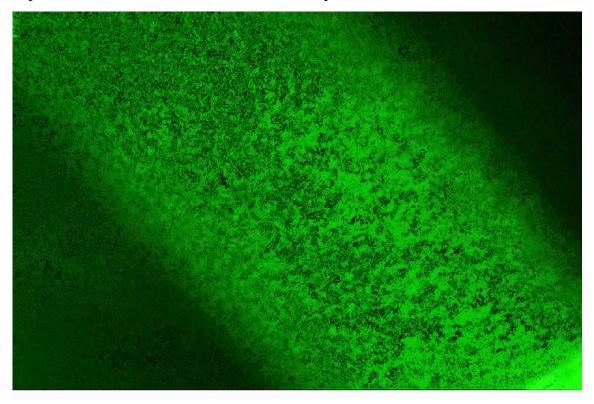


Рис.11. Мигающая зернистость поверхности трека. Изображение трека снято без микроскопа, но специально при регистрации расфокусировано.

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).

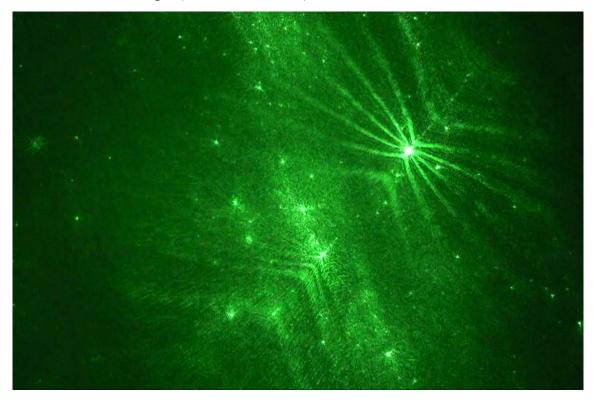


Рис.12. Световые каналы в тонком слое глицерина на алюминиевом зеркале (длиной около 1 мм) при освещении точки излучением 532 нм 20 мВт.

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, при котором свет, идущий в капле в «шепчущей моде» около поверхности, будет выдавливать эту поверхность в узкой зоне (обручем), сам при этом стягиваться, подфокусироваться в перетяжку, и при сильном увеличении своей интенсивности может вызвать разрыв капли.

Деформации воздействие поверхностей жидкостей при мощного лазерного излучения при нормальном падении света на границу уже давно исследуются многими авторами. Так, авторы работ /22, 23/, изучающие жидкий световодный канал диаметром около 10 мкм и длиной около 1 мм, образуемый путем выдавливания светом плотной жидкости в менее плотную, отмечают нестабильность диаметра получаемого канала и связывают это с многомодовостью используемого лазерного излучения. Но в их 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 /24/ тоже изучали малые деформации поверхности жидкости и разработали чувствительную методику регистрации деформаций под действием излучения лазера, которую, видимо, можно применить и для изучения пленок с треками.

Таким образом, способ создания волноводных каналов световым давлением представляет интерес для изучения жидкостей, 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 школьникам и желающим результатов механической работы света и наноразмерных трансформаций поверхностей под действием

светового давления. Трудные опыты Лебедева П.Н. по выделению и наблюдению светового давления становятся с треками простой детской игрой.

Некоторые планируемые нами задачи для исследований (без накладок от возможных задержек, описанных в /25/):

- 1. Описание треков в рамках волновых уравнений.
- 2. Время их образования, взаимодействия, слияния. Время исчезновения каналов после выключения света.
- 3. Предельные возможности треков и оценки их применения.
- 4. Влияние нагрева, капиллярных волн, окружающего света и механических колебаний пленки.
- 5. Устойчивость каналов, контролируемое возбуждение мод, управление (разветвления и повороты) треками.
- 6. Оценка объема передаваемой информации и энергии. Влияние полосы спектра.
- 7. Треки на идеальном зеркале.
- 8. Схемы оптимального ввода и вывода излучения.
- 9. Треки как способы измерений параметров пленок и света, получения гармоник и лазерной генерации.
- 10. Треки со стоячей световой волной.
- 11. Выбор практичных пленок для треков. Пленки с жидкостью внутри.

Физика оптических треков весьма богата, поскольку объединяет в себе характерное для космоса световое давление, нанотехнологию при формировании зеркал, историю ФИАН с измерением светового давления, его лазерное настоящее и фотонику будущего.

Благодарим всех сотрудников, принимавших участие в обсуждении полученных результатов.

Литература.

- 1. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю., *«Способ получения поверхностных поляритонов»*, патент РФ №2239856 от 5 декабря 2002 года.
- 2. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. *Препринт ФИАН №2* (М. ФИАН, 2003) (см. http://ellphi.lebedev.ru/2/Stoilov.pdf с приложенным кинофильмом о поведении треков).
- 3. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Квантовая электроника, 33, 380 (2003);
- 4. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. *Квантовая электроника* <u>34</u>, 569 (2004).
- 5. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. *Препринт ФИАН №22* (М. ФИАН, 2003) (см. http://ellphi.lebedev.ru/4/Stoilov1.pdf).
- 6. Стойлов Ю.Ю. *УФН*, <u>174</u>, 1359 (2004).
- 7. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. *Препринт ФИАН №12* (М. ФИАН, 2005) (см. http://ellphi.lebedev.ru/11/pdf12.pdf).
- 8. А.В. Старцев, Ю.Ю. Стойлов, Ю.В. Савинов. *Лазерные треки в тонких пленках.* Отчет. Лаборатория Фотоники Молекул (ОКРФ). Москва. 2006. (см. http://sites.lebedev.ru/data/1-2006.pdf)
- 9. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. *Препринт ФИАН №6* (М. ФИАН, 2007) (см. http://ellphi.lebedev.ru/18/pdf6.pdf С приложенными кинофильмами).
- 10. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. *Препринт ФИАН №5* (М. ФИАН, 2008) (см. http://ellphi.lebedev.ru/21/pdf5.pdf С приложенными кинофильмами)
- 11. Вайчас А.А. "Дискретная дифракция лазерного излучения в биоорганических жидких пленках" 01.04.05 Оптика. Автореферат
 диссертации на соискание ученой степени кандидата физикоматематических наук. (См.
 http://www.festu.khv.ru/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&
 gid=582&Itemid=243)
- 12. Вайчас А.А., Малов А.Н., Шевченко Е.В., Неупокоева А.В. «Распространение лазерного излучения в жидкой фоточувствительной

- *пленке*» (СМ. <u>www.library.mephi.ru/data/scientific-sessions/2008/t2/2-2-15.doc</u>)
- 13. Хартикова А. "Лазерные "усы" в мыльных пленках" http://www.issl.ru/phys/?ref=soap_films, http://www.issl.ru/phys/2007 forum khartikova.pdf
- 14. Ярив А., Юх П. *Оптические волны в кристаллах*: Пер. с англ. М.: Мир, 1987.
- 15. Унгер Х.-Г. Планарные и волоконные оптические волноводы. : Пер. с англ. М.: Мир, 1980.
- 16. Pernice W.H.P., Li Mo, Tang H.X. *OPTICS EXPRESS*, Vol. 17, No. 3, p.1806 (2009).
- 17. Стойлов Ю.Ю. Заявка на патент #2009113269 от 9 апреля 2009 года.
- 18. Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983. с. 665.
- 19. А.И. Григорьев, С.О. Ширяева, Д.Ф. Белоножко, А.В. Климов. *Журнал технической физики* т. 74, вып.7, с.140 (2004).
- 20. С.Н. Шабунин, И.П. Соловьянова. *ВОЛНОВОДЫ И ОБЪЕМНЫЕ РЕЗОНАТОРЫ*. Екатеринбург, УГТУ (1998).
- 21. Чуносов Н.И. *Программа расчета излучения в лазерных резонаторах*. http://www.freesoft.ru/file.html?id=670600&dl=0&filename=rezonator-1.0.exe
- 22. Brasselet E., Wunenburger R., Delville J. P., *Phys. Rev. Lett.* **101**, 014501 (2008).
- 23. Delville J-P, Vincent M.R., Schro R.D., Chra¨ıbi H., Issenmann B, Wunenburger R, Lasseux D, Zhang W.W., Brasselet E. *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* **11** (2009) 034015.
- 24. Sakai K., Mizuno D., Takagi K. *PHYSICAL REVIEW E*, v.63, 046302 (2001).
- 25. Кайтуков В.М.. "Эволюция диктата" (М.: "Урамос", 1991, 468) (см. http://www.philosophyevolution.com/index.htm)