

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ



ПРЕПРИНТ

7

А.В. СТАРЦЕВ, Ю.Ю. СТОЙЛОВ

**К МЕХАНИЗМУ ОБРАЗОВАНИЯ ЛАЗЕРНЫХ
ТРЕКОВ В МЫЛЬНОЙ ПЛЕНКЕ**

Москва 2013

К механизму образования лазерных треков в мыльной пленке

А.В. Старцев, Ю.Ю. Стойлов

Обсуждается эксперимент, позволивший прояснить, какой из ранее выдвинутых механизмов образования треков (увеличение показателя преломления среды и самофокусировка света, дифракция лазерного света на неоднородностях, и механизм светового давления) реально ответственен за их формирование.

Лазерный свет видимого и ИК диапазонов малой мощности (обычно 1-10 мВт), введенный в жидкую пленку микронной толщины любого состава (в свободную мыльную пленку /1/, в цветную пленку растворителя на воде /2/, на подложке /3/), образует в ней узкие микронные каналы, треки или пространственные солитоны, которые идут по пленке без расходимости на десятки сантиметров. Типичный пример таких треков показан на Рис.1.

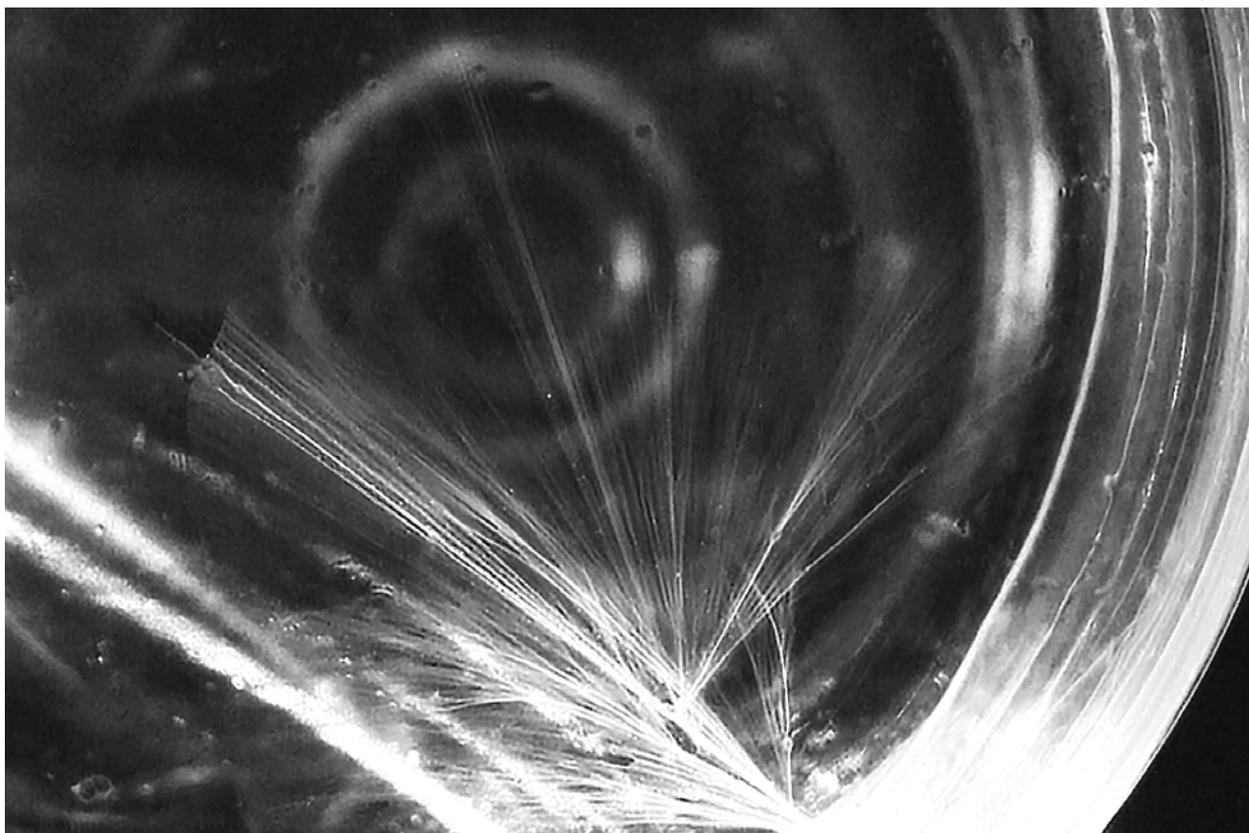


Рис.1. Лазерные треки в мыльной медовой пленке микронной толщины.

В твердых пленках или в объемах растворов лазерные треки не формируются. Для объяснения природы треков было выдвинуто три возможных механизма их образования. Один связан с самофокусировкой и увеличением показателя

преломления среды /4/, другой – с дифракцией света на неоднородностях /5/, и третий – с воздействием светового давления на поверхности пленки /1/.

Предложенная возможность первого механизма связана с результатами самофокусировки мощного лазерного света в других средах и с тем, что известны особо чувствительные среды типа жидких кристаллов, в которых при малом изменении внешнего электрического поля происходят большие изменения показателя преломления, но о наблюдении в них похожих лазерных треков пока не сообщалось.

Наше предпочтение, отдаваемое механизму светового давления, связано с тем, что треки в пленках наблюдаются не в специальных, а в довольно широком наборе сред без какого-либо их отбора, при любой длине волны возбуждающего лазерного излучения и при необычно малой его мощности, при импульсном и непрерывном воздействии, независимо от спектральной ширины источника, от вязкости и температуры среды в тонкой пленке. Легкость реализации и отсутствие треков в объемных средах делают маловероятным общепринятый механизм формирования наблюдаемых световых каналов за счет самофокусировки или молекулярных перестроек в ней, как в жидких кристаллах, а отсутствие расходимости треков на больших расстояниях не позволяет объяснить их локальной дифракцией света на неоднородностях.

В то же время проведенные нами численные оценки /1/ показывают реальность и обоснованность механизма светового давления, но хотелось бы дополнительно иметь более весомое экспериментальное подкрепление такого выбора.

Треки наблюдаются в разных жидких пленках и при любом свете, но выбрать механизм их образования путем простой вариации этих параметров не удастся, поскольку в каждом механизме присутствует свет и среда и не ясен только механизм их взаимодействия. И что тогда экспериментально можно менять, что остается? Пленки же не являются удобными объектами для внедрения в них датчиков или приборов для изучения происходящих в них изменений при образовании трека. И, вообще, возникает вопрос, можно ли, в принципе, предложить эксперимент, в котором исключался хотя бы один из предложенных механизмов формирования треков, или эти механизмы всегда неразделимы?

А что, если выбрать условия, при которых исключался бы механизм формирования треков за счет светового давления? То есть, запустить лазерный свет в пленку так, чтобы свет шел по пленке, но не давил на ее поверхности? Тогда условия для работы двух других механизмов не будут нарушены, и наличие тре-

ков в этом случае можно будет объяснить только их воздействием, а не световых давлением.

Понятно, что исключить давление света в цветных пленках толщиной 0.25-10 мкм, в которых обычно наблюдаются треки, нельзя из-за разрешенности существования в них многих мод излучения, идущих в них с отражением от боковых поверхностей. Но светового давления на поверхности пленки практически не будет, когда вдоль пленки дозволено идти только одной основной моде без отражений от поверхностей. Такие условия реализуются в пленках тоньше четверти длины волны идущего по ним света, т.е. для видимого диапазона в пленках тоньше 0.1 мкм или 100 нм.

Такие тонкие пленки существуют и называются черными, поскольку в отраженном свете они не имеют интерференционной радужной окраски, практически не отражают свет и выглядят черными. Сложность состоит в том, что черные участки на мыльных пленках обычно непрочные и появляются незадолго до разрыва пленки, что затрудняет работу с ними. Кроме небольшого времени жизни есть еще трудность с введением в них света через их боковое ребро. Если в микронные пленки обычно вводится только несколько процентов сфокусированного в ребро света, то в черные пленки (из-за их малой толщины) света заходит еще на порядок меньше, и увеличение мощности лазера здесь мало помогает, так как одновременно увеличивается фон мешающей засветки, и зафиксировать путь света в черной пленке становится затруднительно.

Вот это те основные сложности, которые необходимо преодолевать тем, кто хочет работать с черными пленками. Подбирая оптимальные составы мыльных растворов (медовые, глицериновые) удастся увеличить время жизни черных пленки с минут до многих часов. А выбор условия ее освещения (лазерная указка 532 нм, 20 мВт) дает возможность провести частичную отстройкой от мешающей засветки. В таких опытах мы смогли получить ряд результатов, основной из которых следующий – в черной пленке треков нет. Введенный в черную пленку свет идет в ней, расширяясь, в угле фокусировки без образования узких каналов.

Все опыты проводились в закрытой кювете (с прозрачным окном для наблюдения), в которой вертикальная пленка находилась на расстоянии около 1 см от окна. Вид вертикальной мыльной медовой пленки через окно диаметром 10 см в отраженном свете с участком черной пленки в ее верхней части показан на Рис.2.



Рис.2. Вид медовой мыльной пленки диаметром 10 см с участком черной пленки в верхней ее части.

Лазерное излучение фокусировалось в ребро в области черной пленки ($F = 5$ см, угол фокусировки около 2 градусов). След лазерного света в такой пленке показан на Рис.3.

Он имеет вид равномерно освещенного расходящегося конуса в угле фокусировки. Вдоль всего конуса заметна пунктирная структура из чередующихся светлых и темных участков, связанная с изменением поляризации света из-за двоякопреломляющих свойств пленки /6/.

В тоже время этой малой вводимой в черную пленку лазерной мощности достаточно для образования в более толстой пленке узких треков. Если свет, идущий по черной пленке, затем падает на границу с ниже расположенной более толстой цветной пленки, то в ней он меняет направление в соответствии с изменением показателя преломления и идет по толстой пленке в виде пучка узких трековых каналов (Рис.4).

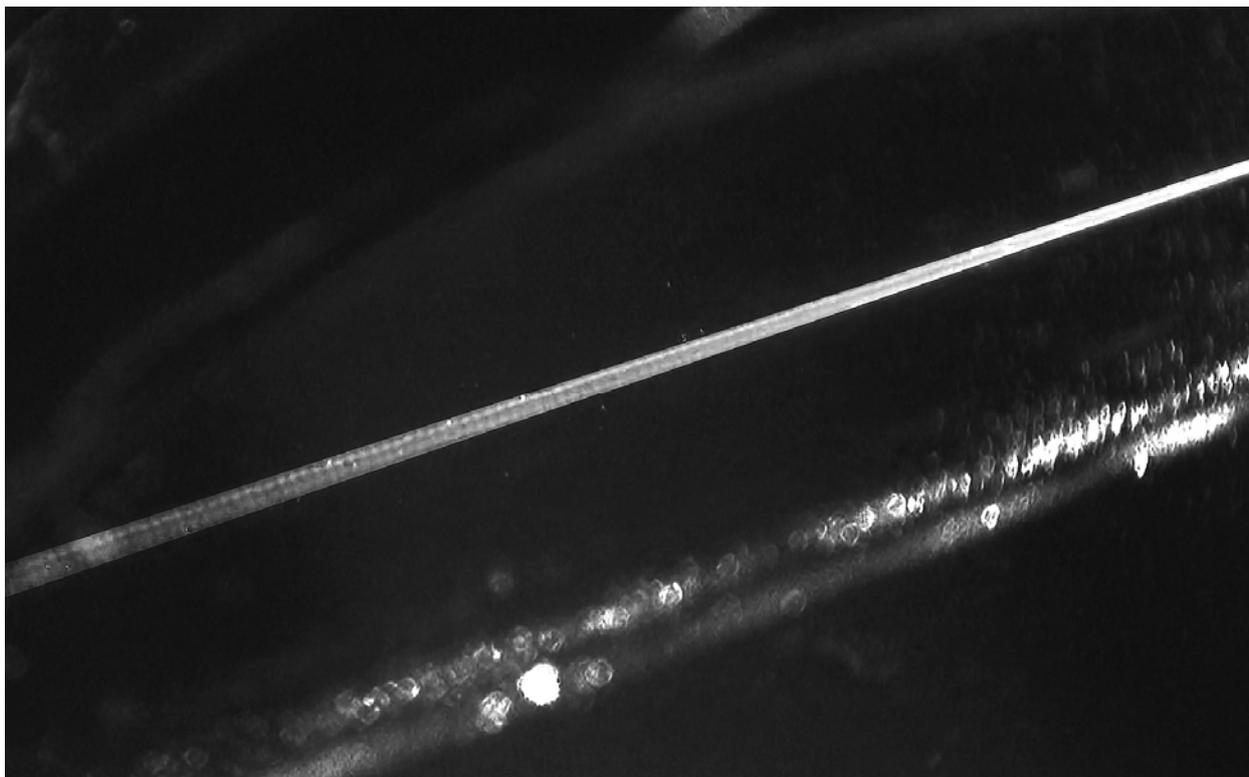


Рис.3. Конусный лазерный след в черной пленке.

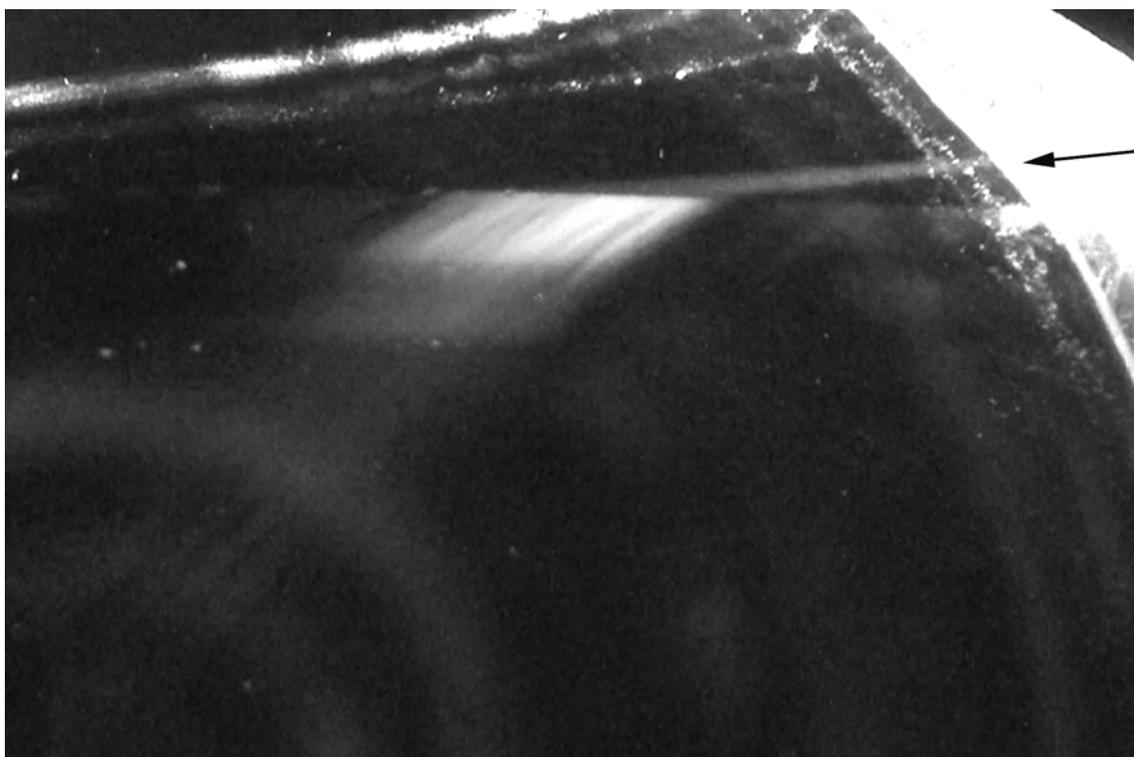


Рис.4. Свет из конуса в черной пленке падает на границу с более толстой цветной пленкой и рождает в ней полосу из узких бегающих лазерных треков. Стрелкой отмечено направление вводимого в черную пленку лазерного луча.

Следует отметить, что линия границы между пленками почему-то является особенно чувствительным свето-преобразователем следующего вида. Если эту границу между пленками освещать не светом из черной пленки, а сбоку пленки под углом менее 20 градусов с любого направления, то падающий свет не просто проходит пленку, а от точки освещения в толстую пленку идут узкие треки, а в черную – ровный конус света по направлению освещения. Иногда это излучение от грани идет и в толстую и в черную пленку одновременно, как показано на Рис. 5.

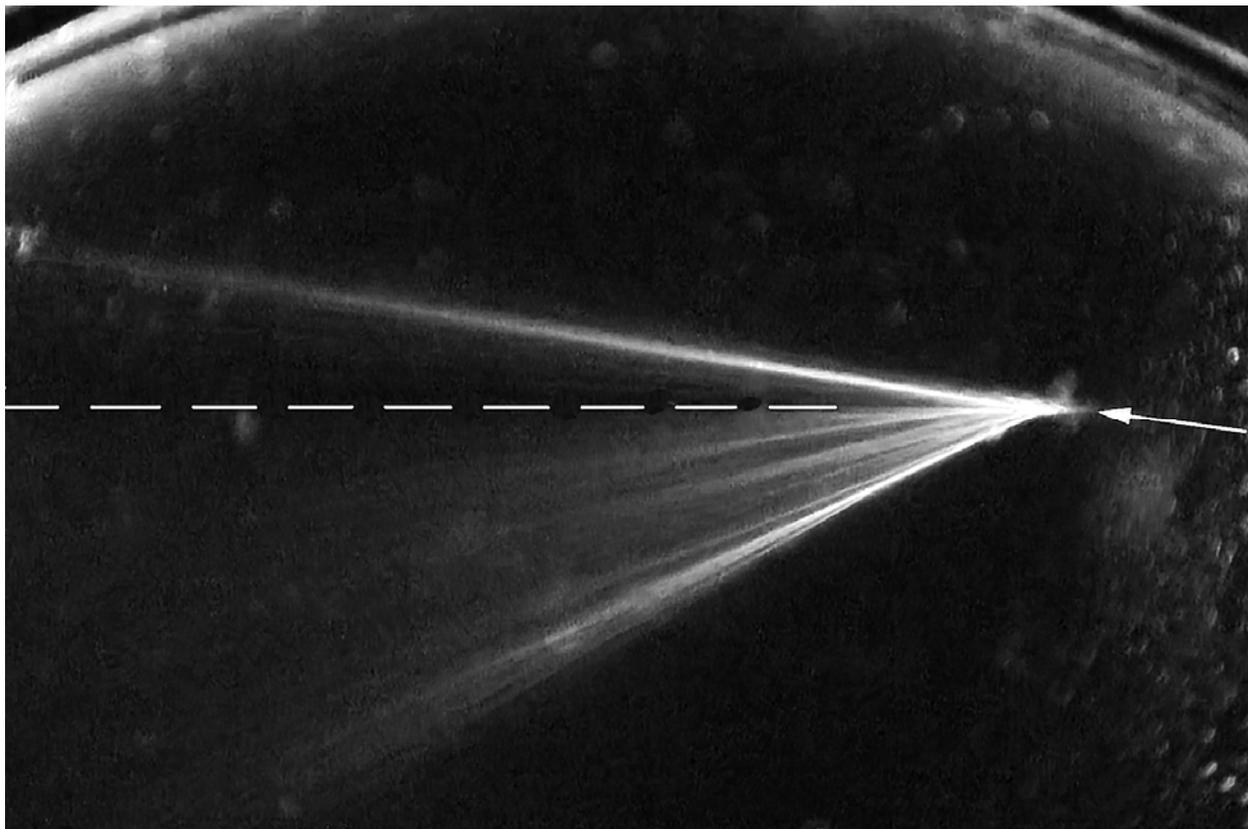


Рис.5. При освещении границы между черной и цветной пленкой сфокусированным лазерным светом сбоку (направление лазерного света показано стрелкой, но оно лежит не в плоскости пленки, а под углом около 20 градусов к ней), рождается конус света, идущий вверх, в черной пленке и пучок идущих вниз треков в цветной. Пунктиром обозначена граница между этими пленками.

Это наблюдение дало нам возможность объяснить еще одну загадку, связанную с выходным излучением из черной пленки. Ровный световой конус в черной пленке позволял предположить, что выходное излучение из него даст на экране ровную освещенную полосу с размерами, определяемыми углом фокусировки лазера. Однако на экране свет из такого конуса выходил в угле около 180 градусов по горизонтали, а по вертикали оказывался разбит на множество узких непо-

движных полосок (Рис.6), характерных для выходного излучения из лазерных треков в цветных пленках /6/.

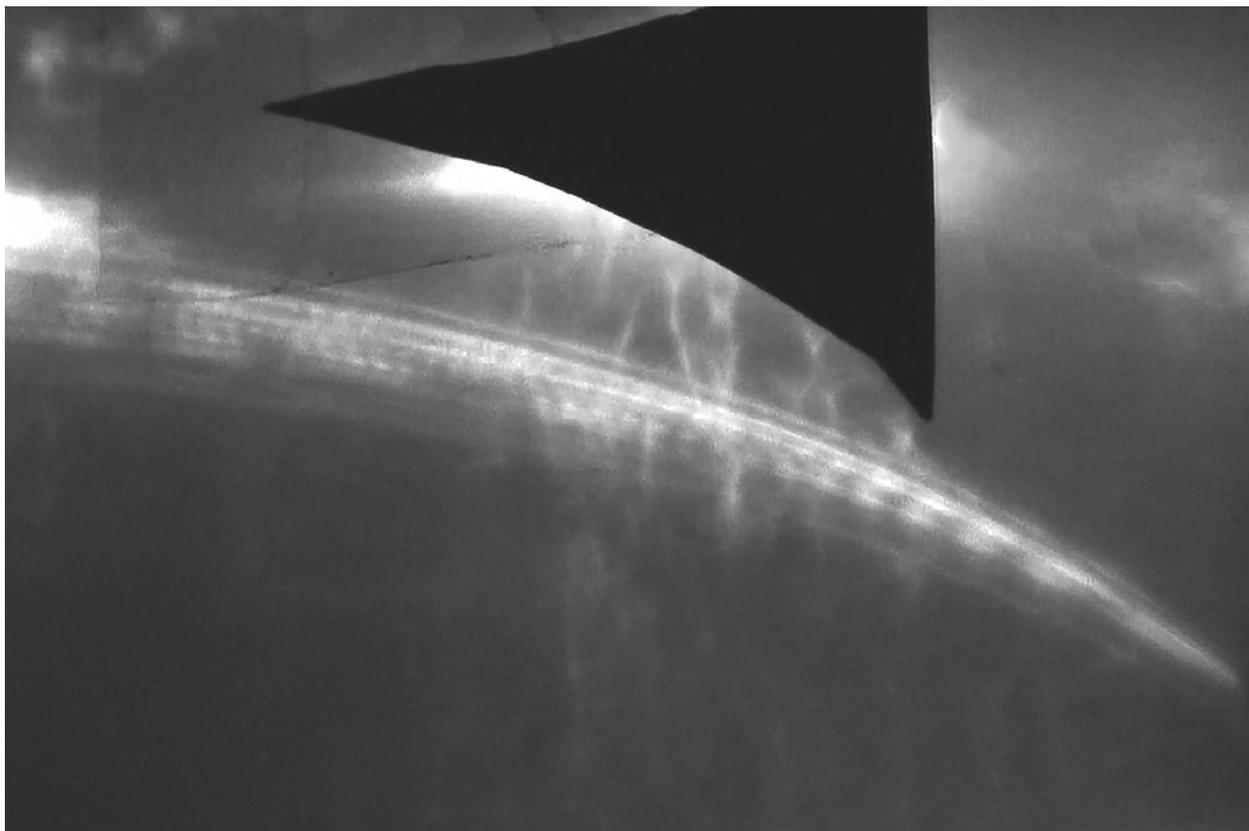


Рис.6. Выходное излучение из ровного бестрекового конуса света в черной пленке на экране имеет вид, характерный для излучения лазерных треков.

Отличие от трековых было в распределении интенсивности света по горизонтали. Если у трековых максимум яркости лежит в плоскости пленки, то здесь максимальная яркость полосок наблюдалась примерно под 45 градусов к плоскости пленки.

Возник вопрос – треков в пленке нет, а полоски явно трекового вида на экране есть? Причина их появления прояснилась, когда мы вспомнили, что на краю черной пленки со стенкой кюветы существует ребро пленки, утолщение, а на границе от черной пленки к этому утолщению ребра должна быть граница, переход со свето-преобразовательными свойствами, приводящими к образованию треков в толстой части пленки. Эти невидимые короткие треки в ребре, по видимому, и дают узкие полоски на экране. Действительно, освещение ребра пленки лазерным светом не по пленке, а сбоку под небольшим углом, давало на экране такие же узкие полоски. Если же просто освещался участок выходная стенка кюветы без ребра, то узких полосок на экране не было.

Поскольку в этих опытах условия для действий двух других предложенных механизмов формирования треков не нарушены (они не связаны с модовой структурой света), то отсутствие треков однозначно показывает, что не они являются причиной появления треков. Следовательно, для треков нужна именно многомодовость идущего по пленке света с отражением от поверхностей. Таким образом, результаты этих опытов можно считать дополнительным подтверждением ранее сделанного нами вывода о том, что треки в пленке образуются именно световым давлением и поэтому могут быть использованы школьниками для наглядной демонстрации его действия.

Мы не знаем, могут ли аналогичные опыты с черными пленками быть проведены на воде и на твердых подложках, но у нас нет оснований считать, что природа образования треков в них отлична от рассмотренного механизма образования треков в свободных мыльных пленках.

Отмеченный ранее большой набор вопросов для теоретического анализа свойств лазерных треков пока остается нетронутым /7/, и теперь к ним добавилась необходимость расчетного подтверждения невозможности существования треков в черных пленках.

Литература

1. Стойлов Ю.Ю. Фотоника, 1, 2 (2011).
(см. www.photonics.su/files/article_pdf/2/article_2466_322.pdf)
2. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Квантовая электроника. 42(8), 750 (2012).
Препринт ФИАН №2 (М.: ФИАН, 2012) (см. http://ellphi.lebedev.ru/wp-content/uploads/2012/04/stoilov_0212.pdf)
3. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт ФИАН №2 (М.: ФИАН, 2012)
(см. http://ellphi.lebedev.ru/wp-content/uploads/2012/06/preprint_06-12.pdf)
4. Чекалин С.В., Кандидов В.П. УФН, 183, №2, 133_(2013).
5. Вайчас А. Дискретная дифракция лазерного излучения в биоорганических жидких пленках. <http://www.dissercat.com/content/diskretnaya-difraktsiya-lazernogo-izlucheniya-v-bioorganicheskikh-zhidkikh-plenkakh>
6. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт ФИАН №6 (М. ФИАН, 2007) (см. <http://ellphi.lebedev.ru/18/pdf6.pdf>)
7. Стойлов Ю. Ю. Препринт ФИАН №30. (М.: ФИАН, 2011) (см. http://ellphi.lebedev.ru/wp-content/uploads/2011/12/stoilov_cvet.pdf)

Подписано в печать 01.04.2013 г.
Формат 60x84/16. Заказ №16. Тираж 140 экз. П.л 0.5.
Отпечатано в РИИС ФИАН с оригинал-макета заказчика
119991 Москва, Ленинский проспект, 53. Тел. 499 783 3640