

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

ISSN 2410-4914



ПРЕПРИНТ

10

А.В. СТАРЦЕВ, Ю.Ю. СТОЙЛОВ

**МЫЛЬНАЯ ПЛЕНКА НА ПАУТИНЕ КАК
ОБЪЕКТ ОПТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Москва — 2016

ПРЕПРИНТЫ ФИАН им. П. Н. ЛЕБЕДЕВА

ISSN 2410-4914

Главный редактор В. И. Ритус, *зам. главного редактора* А. А. Гиппиус,
научный секретарь С. А. Богачев, *ответственный секретарь* Л. В. Селезнев

Редакционная коллегия: В. С. Бескин, А. А. Горбачевич, О. Д. Далькаров,
Е. И. Демихов, И. Г. Зубарев, К. П. Зыбин, А. А. Ионин, Н. Н. Колачевский,
Е. Р. Корешева, С. Ф. Лихачев, А. С. Насибов, И. Д. Новиков, В. Н. Очкин,
Н. Г. Полухина, В. С. Лебедев, Н. Н. Сибельдин, Д. Р. Хохлов, С. А. Чайковский

Информация

Препринты ФИАН им. П. Н. Лебедева издаются с 1964 г.

Издатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН)

Адрес редакции: Россия, 119991 Москва, Ленинский просп., 53, ФИАН

Тел.: +7 (499) 132-6137, +7 (499) 783-3640;

E-mail: preprins@sci.lebedev.ru, irinakh@sci.lebedev.ru

Страница сборника «Препринты ФИАН им. П. Н. Лебедева» в интернете:

<http://preprints.lebedev.ru/>

Мыльная пленка на паутине как объект оптических исследований

Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю.

Рассмотрены особенности излучения лазерных треков в пленке на рамке из тонкой нити – паутине. Показано, что такая пленка представляет интересный объект для ряда оптических исследований. Обсуждается шелест прибора световых волн.

Сразу вопрос – непрочная пленка на хлипкой паутине проживет ли она хоть нескольких минут? Как успеть исследовать ее оптические свойства? Вопрос понятный, но незрелый. Есть прочные мыльные пленки, которые на воздухе могут жить часами /1/, а паутина славится тем, что держит большие нагрузки и используется даже для фиксации мишеней при лазерном термоядерном синтезе /2/.

Теперь о том, почему возник интерес к креплению пленки на паутине. Исследованные нами до этого мыльные пленки на своей краю, на границе или на формирующей их рамке обычно имеют заметное утолщение, контактное ребро в виде клина из раствора. При анализе выходного излучения интересующих нас лазерных треков приходится учитывать, что на краю пленки свет проходит через ребро, диаграмма его излучения может подправляться и поэтому напрямую не отражать хода лучей в самой пленке.

Вот это желание уменьшить влияние ребра стало основой для нашего поиска и попытки сделать мыльную пленку на рамке из тонкой нити, паутины, сравнимой по толщине с самой пленкой, т.е. в диапазоне 5-20 мкм. Уверенности в том, что такая тонкая нить удержит пленку, у нас не было. И дело не в прочности нити – паутина успешно держит мишени и не теряет своих свойств вплоть до температуры в 10-20 К (-250 С) /2/. Но будет ли смачиваемость тонкой нити раствором достаточной для удержания пленки, или пленка с нити соскользнет?

Настоящую паутину мы попробовали, но из-за малой ее доступности мы в опытах перешли на нить из самого тонкого синтетического волокна диаметром 20 мкм и натянули ее между четырех опор так, что нить образовывала рамку 3 x 5 см. (или более крупную 5 x 8 см.).

Да, проверка показала, что не всякий мыльный раствор позволяет делать пленку на такой рамке, но, используя ранее разработанный нами раствор для прочных пленок /1/ и варьируя его состав, мы смогли на рамке из тонких нитей



Рис.1. Рамка из синтетических нитей диаметром 20 мкм.

получать для оптических опытов достаточно устойчивую пленку с временем жизни на воздухе несколько часов Рис.2.



Рис.2. Вертикальная мыльная пленка на рамке 3 х 5 см с радужными полосками на ней.

Попутно обнаружилось несколько особенностей такой конструкции.

Во-первых, пленка доступна для лазерного облучения и наблюдения под разными углами практически со всех сторон. Здесь просто делать перестройку

горизонтальной пленки в вертикальную и обратно. Легко менять форму и состав пленки путем введения в нее капель и маркеров. Рис.3.

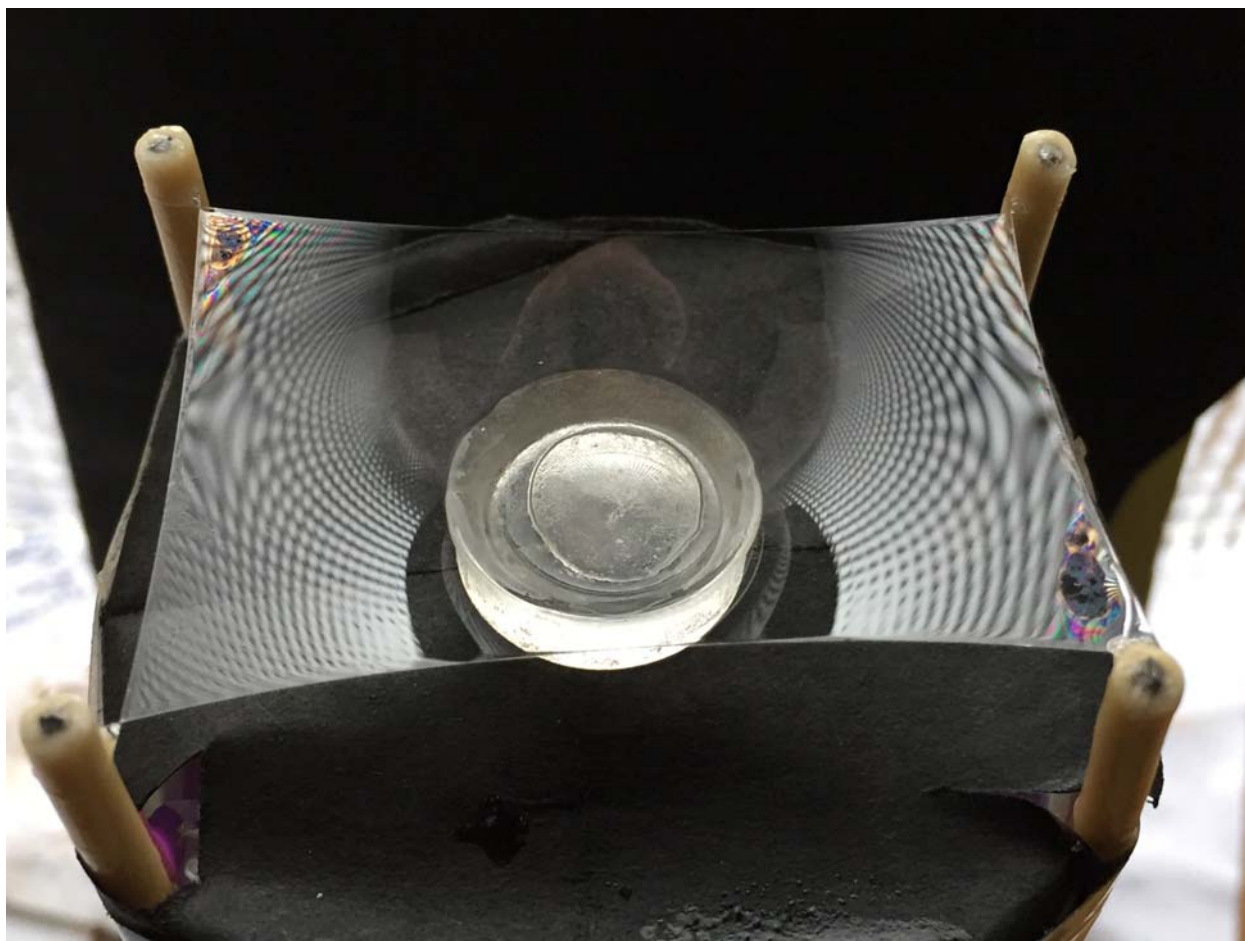


Рис. 3. Воронкообразная мыльная пленка на рамке.

С такой пленкой и источниками света в виде разных лазерных указок мощностью 1-10 мВт непрерывного излучения можно демонстрировать многих из ранее описанных нами опытов с треками /3-18/. Лазерный свет обычно фокусировался линзой с $F = 5$ см в край пленки, а выходное излучение трека наблюдалось на экране. Тень на экране от тонкой нити позволяла контролировать точность фокусировку света используемой лазерной указки. Вот некоторые из результатов с вариациями и уточнениями.

Треки бывают большой длины (35 см /5-7/), но обычный вид ветвящихся треков на пленке /3,4,7,9/ показан на Рис 4.

Из-за существующего в пленке двойного лучепреломления на треках наблюдается чередование ярких и темных участков, типа пунктиров /7,8/, природа которых обсуждалась в /10/. В более толстой части пленки эти пунктиры длиннее, в тонкой – короче /11/.

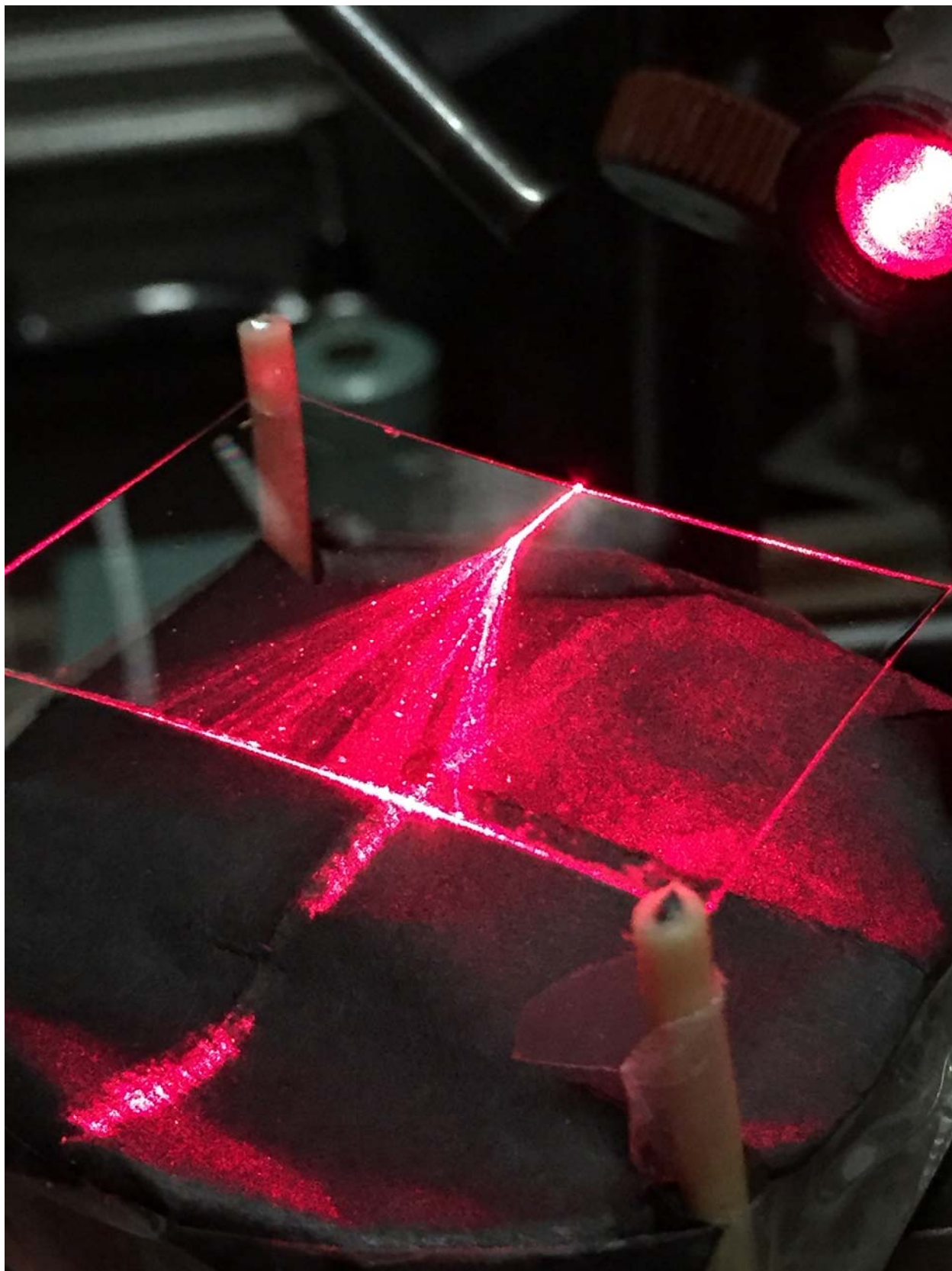


Рис.4. Лазерный луч в пленке 3 х 5 см разветвляется на множество световых каналов, треков.

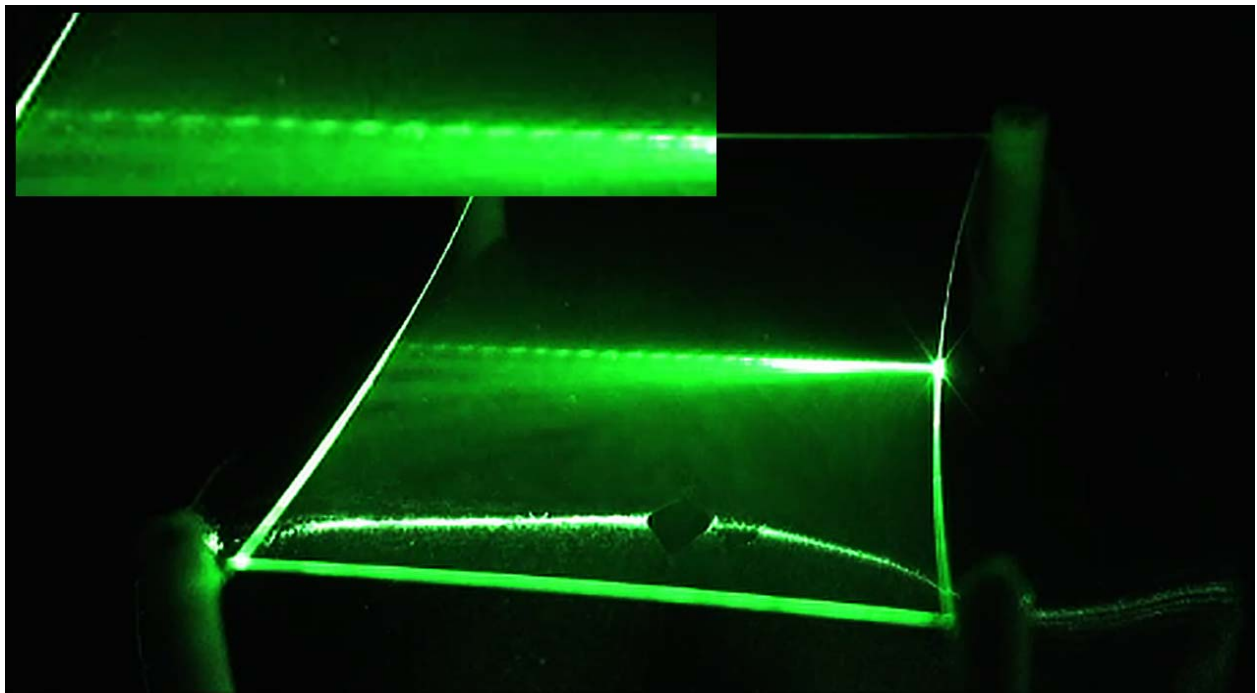
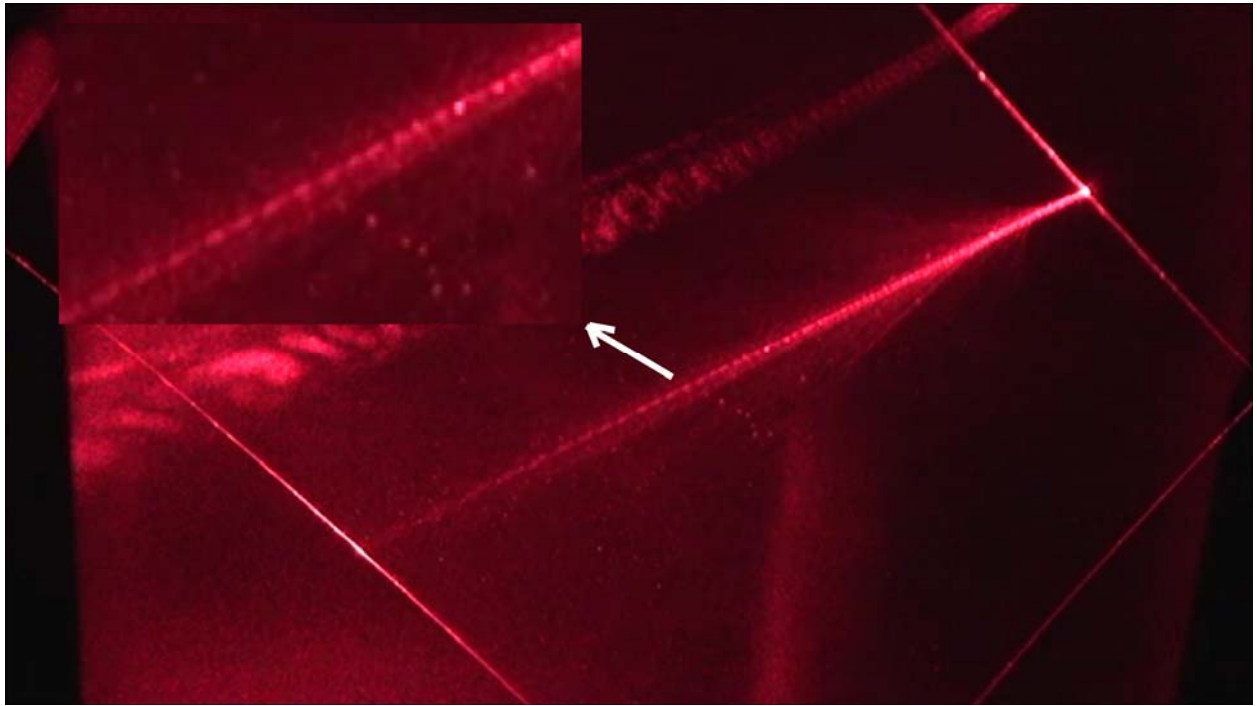


Рис.5. Пунктиры на треках с красным и зеленым лазерами /10/.

Излучение треков, вышедшее из края пленки, дает на экране, расположенном на расстоянии 25 см от края пленки (Рис.6, кинофильм приложен к препринту), длинные, растянутые перпендикулярно к пленке и постоянно бегающие полоски шириной 0.3-1 мм, отражающие своим движением сложную динамику выходного излучения /3, 10, 11/, (при непрерывном входном), которую мы обсудим ниже.



Рис.6. Вид бегающих полосок выходного излучения треков на экране на расстоянии 25 см от края пленки.0122. Между проступающими горизонтальными темными линиями 5 мм.

Угловые размеры полос показывает, что в излучение в треке имеет малую расходимость в плоскости пленки и более заметную расходимость перпендикулярно пленке. Диаграммы излучения для одного трека рассмотрены в /14/. Раньше мы отмечали соответствие полос на экране с количеством ярких точек треков на выходе из пленки /10/.

Не каждый трек доходит до конца пленки. Излучение трека может покинуть пленку, не доходя до края, если толщина пленки оказывается для его модовой структуры запредельной /12/. В этом случае излучения трека на экране обычно состоит из двух коротких участков чуть выше и ниже пленки. Рис. 7.

Длина этих участков для разных треков отличается в несколько раз /12/. Поскольку тонкая нить практически не искажает диаграмму излучению, то по ней можно судить о ходе излучения в самих треках. Эти результаты можно сравнить с экспериментальным и теоретическим исследованием излучения плоских запредельных твердотельных волноводов на подложке /18/, где треков не было, но контролировалась модовая структура входного излучения. Из-за наличия подложки в этих опытах имелся только один максимум в выходном излучении, но с таким же характерным угловым распределением интенсивности в диапазоне нескольких градусов, как и в нашем случае (Рис. 8).

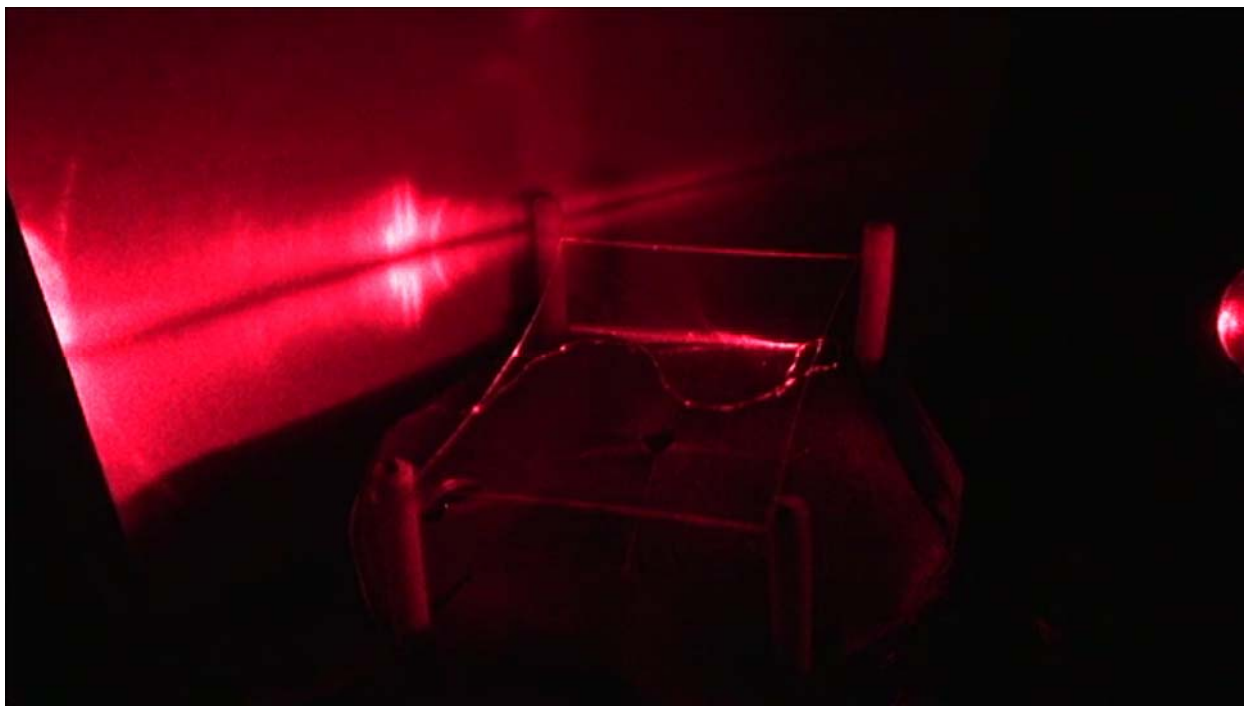


Рис. 7. Вид на экране полосок излучения треков, не дошедших до края пленки. До экрана 10 см.



Рис.8. Распределение интенсивности в полосках излучения запредельных треков, не дошедших до края пленки.

В опытах можно было наблюдать отмеченное нами ранее странное отражение трека от утолщения пленки около тонкой нити, природа которого не очень понятна и обсуждалось в /17 /. Рис.9.

Излучение треков частично проходит за прозрачную нить Рис.10. Раньше мы видели, что оно может проходить через толстую непрозрачную нить (огибать), введенную в пленку /14 / и может проходить через каплю воды на пленке /3/ Рис.11. К динамике вспышек точек на выходной нити мы вернемся ниже.

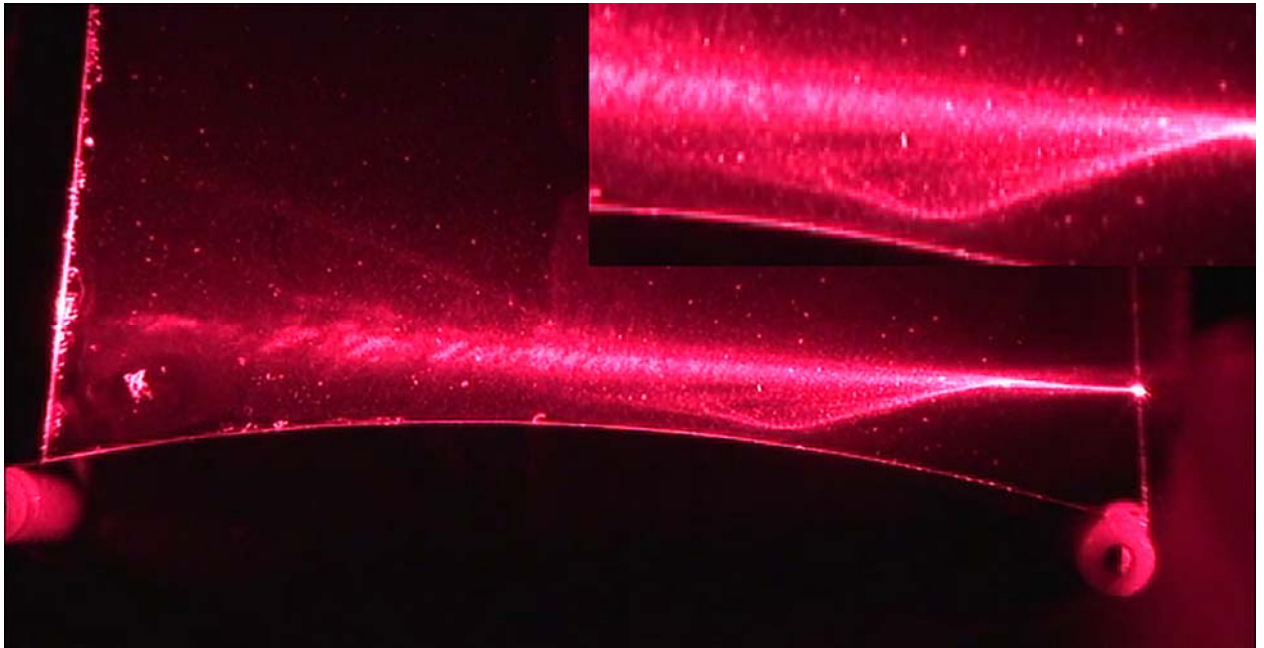


Рис.9. Отражение трека от утолщения около нити. Видно, что излучение трека до ограничивающей нити не доходит.



Рис.10. Излучение треков частично проходит за прозрачную нить,

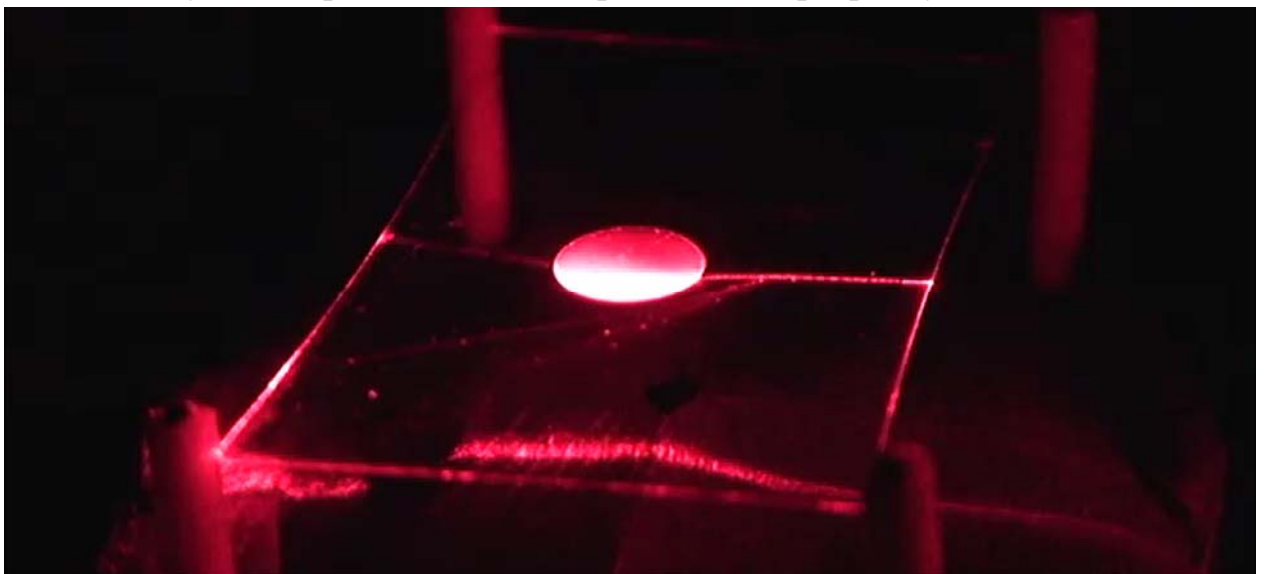


Рис.11. Излучение треков частично проходит за каплю.

Вид треков под микроскопом показан на Рис.12.

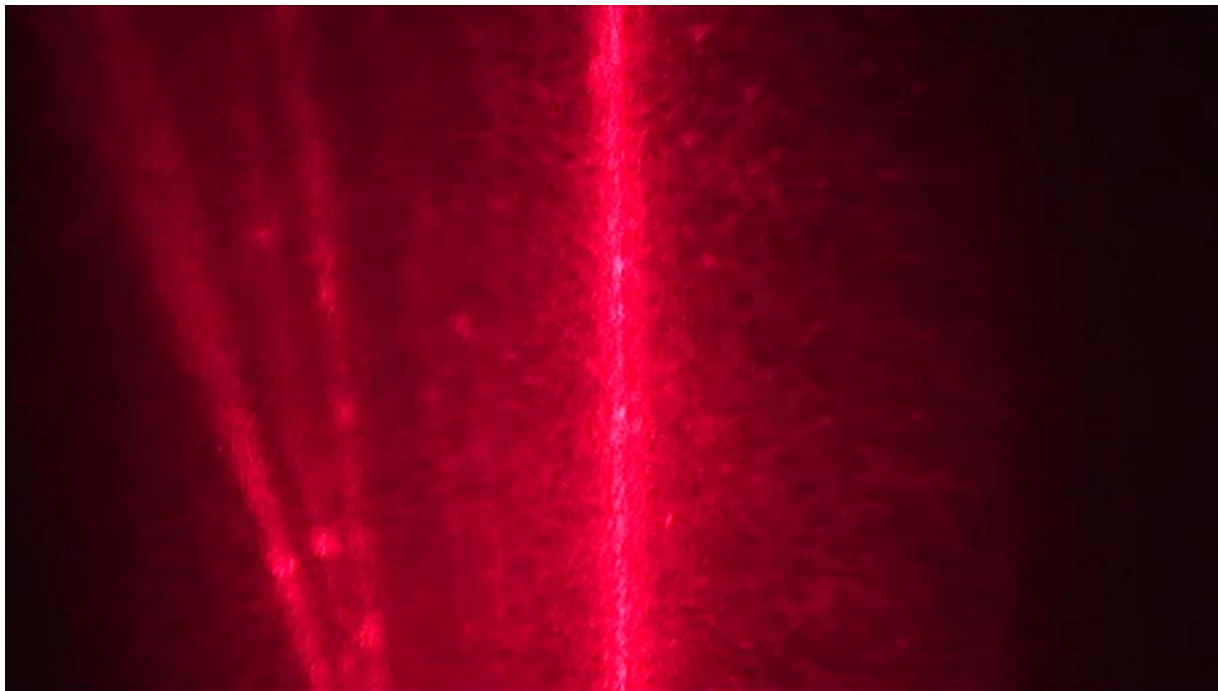


Рис.12. Треки под микроскопом. Вертикальный размер кадра 2 мм.

Это не относится к оптике, но попутно отметим, что в свежей пленке при большом содержании в мыльном растворе воды и глицерина при испарении воды наблюдаются быстрые вихреобразные потоки со скоростью 10—20 см/с, вызванные изменением поверхностного натяжения на некоторых участках пленки, что характерно для ранее исследованных нами испалаторов /19/. Рис.13.



Рис.13. Испалатор с бегающими потоками (глицерин и вода).

Пленка с желатином при подсыхании дает застывшие яркие радужные картины Рис.14. Они могут дополнить художественные образы, создаваемые

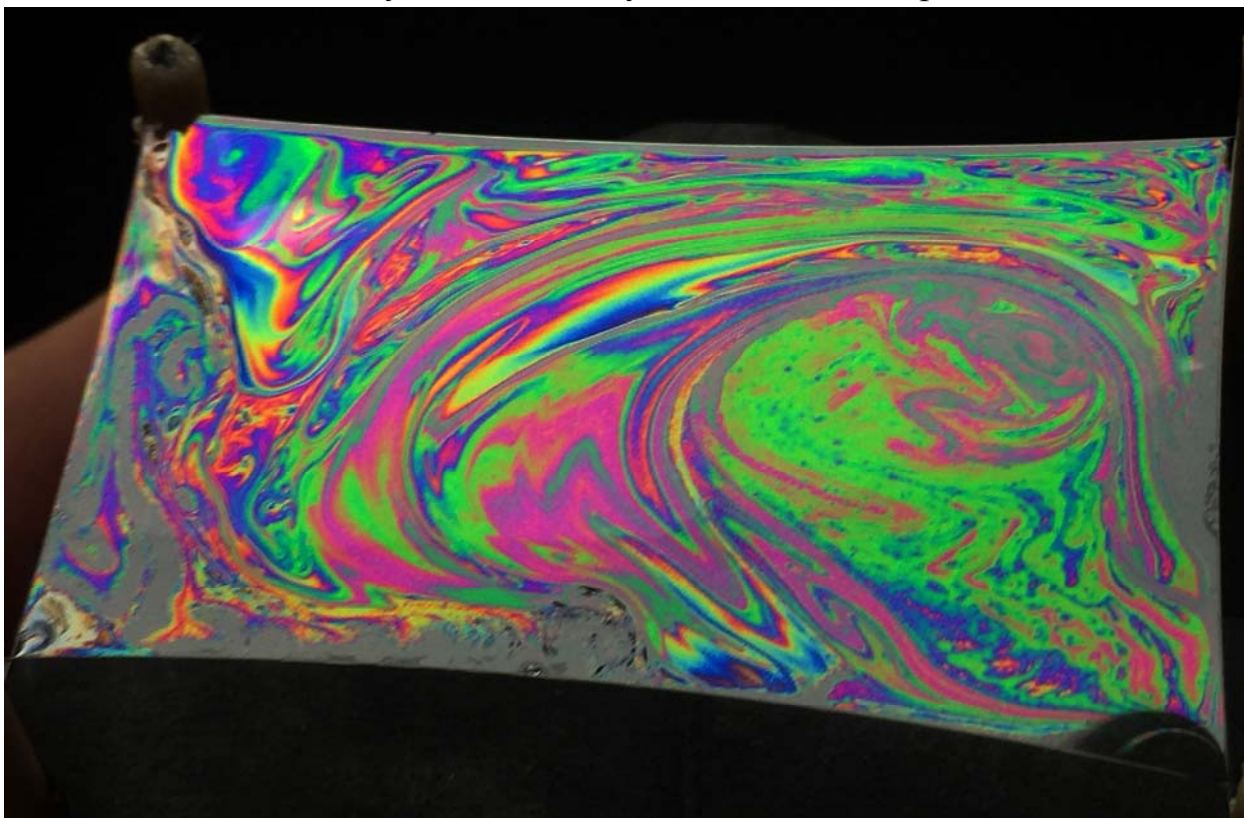


Рис.14. Застывшая радужная картина на пленке.

на пленках и показанные нами в «Симфонии оптических треков» /11/ и в «Сообщении с Соляриса». /15,16 /

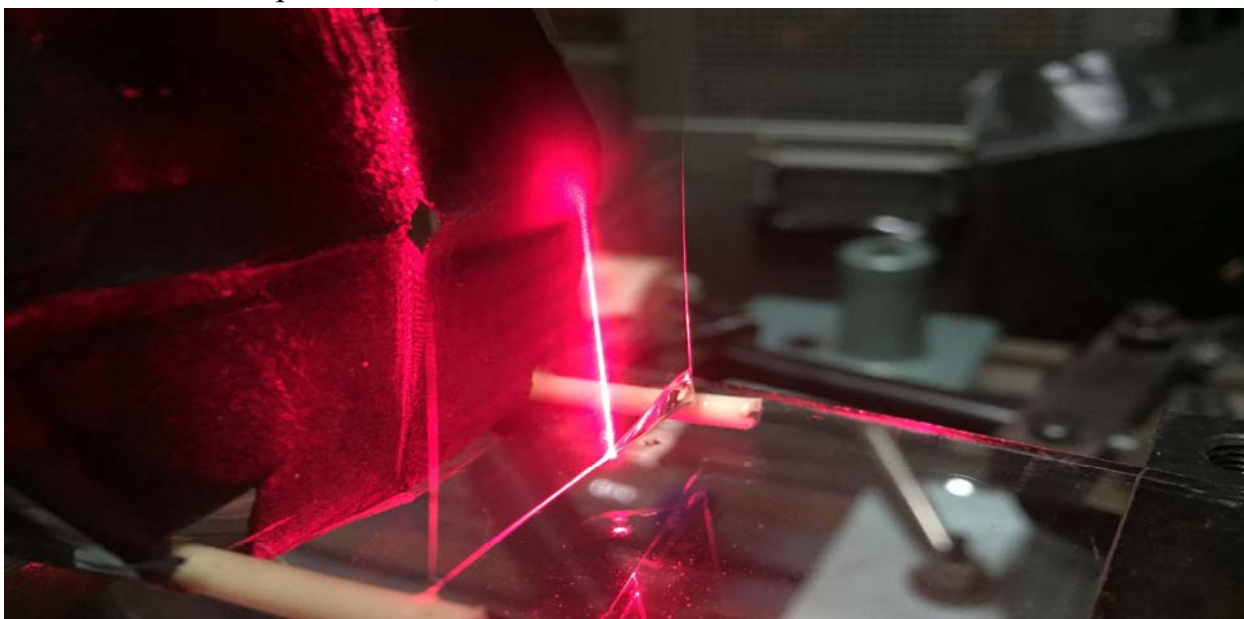


Рис.15. Высыхание сверху пленки. В засохшую часть пленки трек не проходит.

Для образования треков нужна жидкая пленка/3-5/, и в подсохшем участке вертикально натянутой пленки треки не образуются. Рис. 15.

Уже отмечалось /12,13/, что при возбуждении треков отсутствует какой-либо четко выраженный порог лазерной мощности для их получения. Треки уменьшают яркость и длину, но наблюдаются при изменении интенсивности лазера на несколько порядков. Вот, например, как они выглядят на вертикальной пленке при возбуждении снизу прямым не фокусированным лазерным лучом Рис.16.

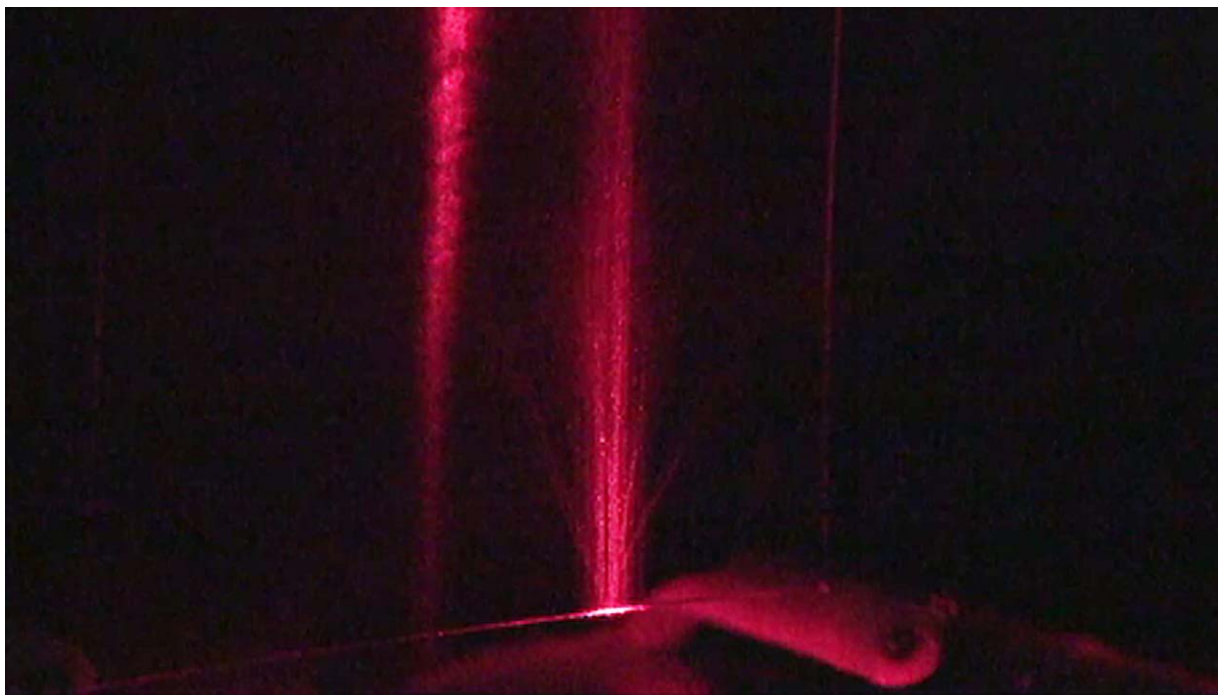


Рис.16. Треки от лазера без фокусировки.



Рис.17. Зеленые полосы на экране (с каплей воды на пленке).

Вид выходного излучения с зеленым лазером показан на Рис.17.

Форма пленки может быть не плоской, а, например, в виде шара на рамке из нитей. Рис. 18. Или воронки Рис. 3.



Рис.18. Зеленые треки в пузыре на рамке из нитей.

Представленные выше результаты в основном повторяют ранее полученные и показывают возможности использования пленки на паутине для демонстрации свойств треков.

Но в ней обнаружилась новая и неожиданная для нас экспериментальная возможность. Речь идет о шелесте прибое световых волн.

Наряду с бегающими полосками на экране наше внимание привлекла динамика распределения интенсивности света ярких точек треков на выходной нити под микроскопом Рис. 19 (кинофильм приложен к препринту).

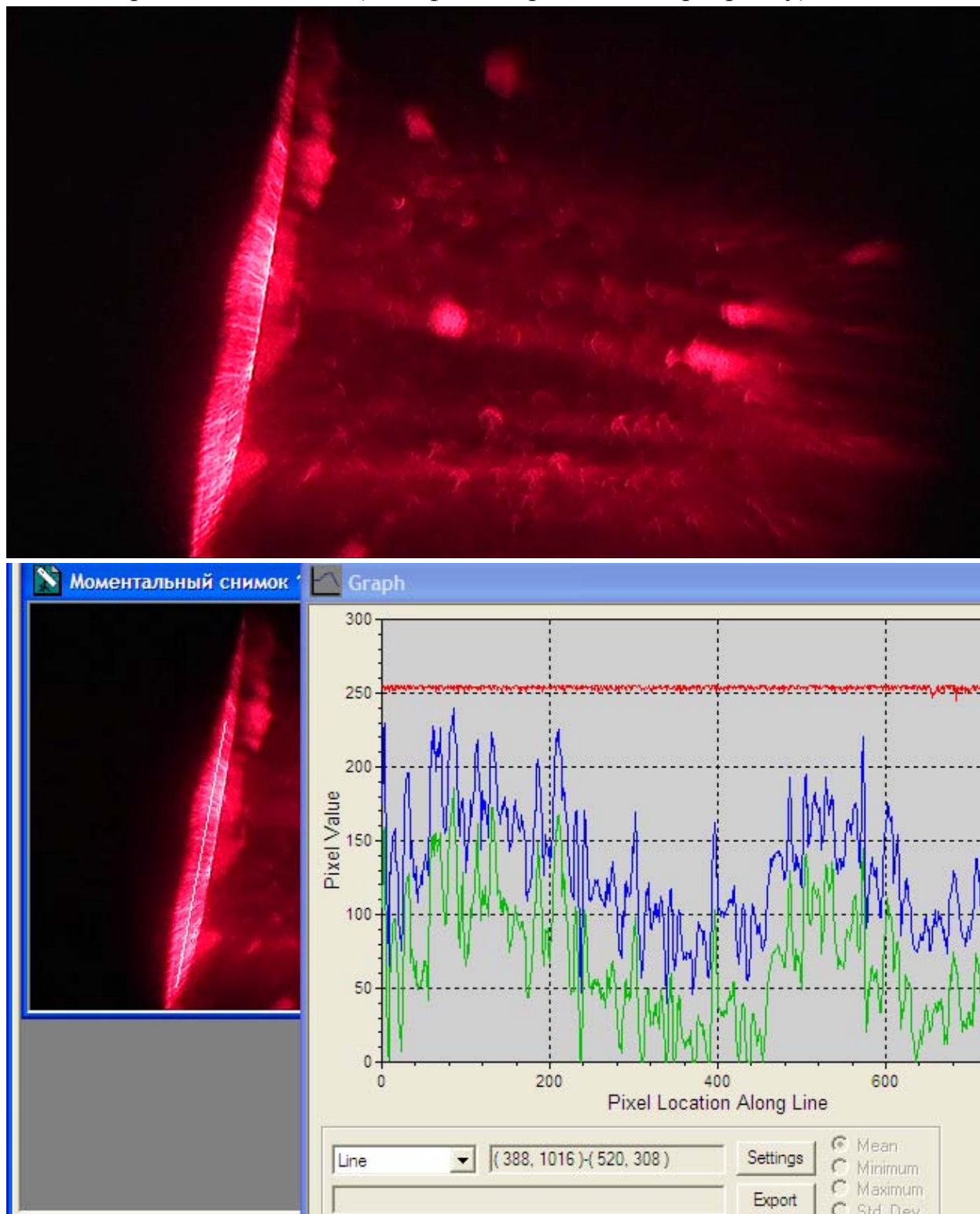


Рис.19. Вертикальный размер верхнего кадра 2 мм. Распределение интенсивностей вдоль светлой линии, показанной на нижнем кадре слева.

При стабильном непрерывном входном излучении пространственная и временная хаотичность в распределении выходных световых пиков, (отмечавшаяся ранее в /10,14/) на Рис.19 при взгляде сверху напоминает струи и потоки Ниагарского водопада, что навела нас вот на какую мысль.

Из наличия перестроек и перепадов интенсивностей потоков можно сделать вывод, что ограничивающая пленку тонкая выходная нить при пересечении ее треками испытывает заметное воздействие локального светового давления, которое существует в самих треках и формирует их /12,13/. Небольшие и постоянно меняющиеся локальные удары волн, приливов света по натянутой тонкой струне могут, как прибой, деформировать эту нить (так же, как световое давление деформирует и выгибает поверхности пленки в области трека /12,13/) и рождают в ней звуковые волны. В синтетических или шелково-паутинных волокнах звук может затухать, но для некоторых опытов тонкую нить можно сделать металлической. Например, натянутая струной тонкая титановая нить на краю пленки может быть интересна в таком опыте по взаимодействию ее с выходным излучением треков. Передаваемый по нити шелест прибоев светового давления, по-видимому, может быть зарегистрирован чувствительным микрофоном, закрепленным на краю струны.

В земных условиях пока мало опытов, которые бы наглядно показывали действие светового давления. Идея демонстрации светового давления с помощью звука от треков могла бы понравиться П.Н. Лебедеву. В его тонких опытах световое давление проявлялось в механическом воздействии на легкую крыльчатку, в наших более грубых опытах световое давление проявляется в формировании узких треков в мыльных пленках, а в предлагаемой схеме световое давление может проявить себя с необычной стороны - в звуковых волнах, в шелесте прибоя рожденных треками потоков световых волн. В настоящее время попытка реализовать эту идею могла бы быть предпринята на школьном уровне, не смотря на сложности в науке, связанные с «Эволюцией диктата» /20/.

Надеемся, что представленные свойства мыльной пленки на паутине привлекут внимание, и она будет интересным объектом для дальнейших оптических исследований.

Указанные в ссылках препринты и кинофильмы к ним доступны по годам и номерам на сайте <http://preprints.lebedev.ru/>

Литература

1. Стойлов Ю. Ю. Патент RU №2569845 от ноября 2015 года.
2. Bonino M.J. “Material Properties of Spider Silk” 2003 University of Rochester, Rochester, NY. <http://www.ile.rochester.edu/media/publications/documents/theses/Bonino.pdf>
3. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт ФИАН №2 (М. ФИАН, 2003) (/с приложенным кинофильмом о поведении треков).
4. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Квантовая электроника, 33, 380 (2003);
5. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Квантовая электроника 34, 569 (2004).
6. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт ФИАН №22 (М. ФИАН, 2003)
7. Стойлов Ю.Ю. УФН, 174, 1359 (2004).
8. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт ФИАН №12 (М. ФИАН, 2005)
9. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю., Савинов Ю.В.. Лазерные треки в тонких пленках. Отчет. Лаборатория Фотоники Молекул (ОКРФ). Москва. 2006. (<http://sites.lebedev.ru/data/1-2006.pdf>)
10. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт ФИАН №6 (М. ФИАН, 2007) (С приложенными кинофильмами
11. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт ФИАН №5 (М. ФИАН, 2008) (С приложенными кинофильмами).
12. Стойлов Ю. Ю. Препринт ФИАН №8. (М.: ФИАН, 2009)
13. Стойлов Ю.Ю. Фотоника, 1, 2 (2011).
14. Стойлов Ю. Ю. Препринт ФИАН №30. (М.: ФИАН, 2011)
15. Стойлов Ю.Ю. Фотоника, 5, 47 (2014).
16. Стойлов Ю. Ю. Препринт ФИАН №11. (М.: ФИАН, 2015)
17. Стойлов Ю. Ю. Препринт ФИАН №11. (М.: ФИАН, 2015) Солярис <http://preprints.lebedev.ru/files/271015/solaris15.mp4>
18. Золотов Е. М., Пелехатый В. М., Прохоров А. М., Квант. электрон., **3**, №7, 1478 (1976).
19. Стойлов Ю.Ю. УФН **170**, 41 (2000)
20. Кайтуков В.М. “Эволюция диктата” (М.:”Урамос”, 1991, 468), (<http://www.philosophyevolution.com/index.htm>).

Александр Васильевич СТАРЦЕВ
Юрий Юрьевич СТОЙЛОВ
**МЫЛЬНАЯ ПЛЕНКА НА ПАУТИНЕ
КАК ОБЪЕКТ ОПТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Формат 60x84/16. П. л. 1. Тираж 140 экз. Заказ № 42
Отпечатано с оригинал-макета заказчика в типографии РИИС ФИАН
119991 Москва, Ленинский проспект 53