

Лазерные треки в желатиновой пленке

Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю.

Проведено исследование лазерных треков в вязкой желатиновой пленке под действием непрерывного лазерного излучения и белого континуума от фемтосекундного лазера.

Нелинейные свойства прозрачной тонкой жидкой пленки (независимо от ее состава) проявляются в образовании в ней узких световых каналов при введении в нее даже небольших (милливаттных) световых потоков /1-17/. Природа образования таких треков связана с легкой деформированностью пленки и с выпячиванием (вздутием) ее плоской поверхности малым световым давлением введенного излучения /12/.

Образующиеся в пленке узкие, напоминающие по форме молнии, световые треки шириной 10-20 мкм, идущие без расходимости иногда на десятки сантиметром, представляют научный и практический интерес, но исследование их затруднено, поскольку они быстро меняют свой путь, и их небольшая яркость требует для изучения высокочувствительной скоростной аппаратуры.

Мы пошли по пути замедления скорости изменения пути треков в пленках, когда они получаются из растворов с повышенной вязкостью. Для этого были исследованы водные пленки с поверхностно активными веществами с добавками глицерина и вязкого меда /9/. С точки зрения вязкости интересным объектом являются тонкая водно-желатиновая пленка, в которой треки наблюдаются пока она жидкая и исчезают, когда пленка высыхает и затвердевает /18/.

Для продления времени жизни жидкую фазы такой пленки, мы изменили ее состав и добавили к водно-желатиновому раствору еще специально подобранные мыло, глицерин и еще для уменьшения высыхания поместили пленку в герметичный объем. Нагретый до 35-45⁰С такой раствор ведет себя как обычная мыльная жидкость, легко образует пленки, но при остывании сам раствор и пленка из него за десятки минут «схватываются», застывают, как студень, и пленка оказывается в желеобразном полужидком, полутвердом состоянии. В отличие от жидкой пленки, толщина которой со временем уменьшается, движений на ней нет, застывшая желатиновая пленка имеет постоянную толщину но при протыкании она схлопывается. Пленки из желатина упруга, как студень или холодец, и неподвижна, но треки все-таки образуются и малоподвижны, и в них, как мы понимаем, в области трека для вспучивания поверхности и набухания собирается жидкость из соседних областей пленки.

Наблюдения за цветом интерференционных полос в такой пленке и за треками в ней позволили прояснить причину непонятных, но бросающихся в глаза быстрых постоянных перестроек пути треков в жидких пленках. На

Рис.1 видно, что в желатиновой пленке в области фокальной точки ввода в нее непрерывного лазерного излучения (532 нм, 10 мВт) за несколько минут происходит утоньшение (подсыхание) пленки, и при этом характер отходящих от этой точки треков заметно меняется (Рис.2 и Рис.3).

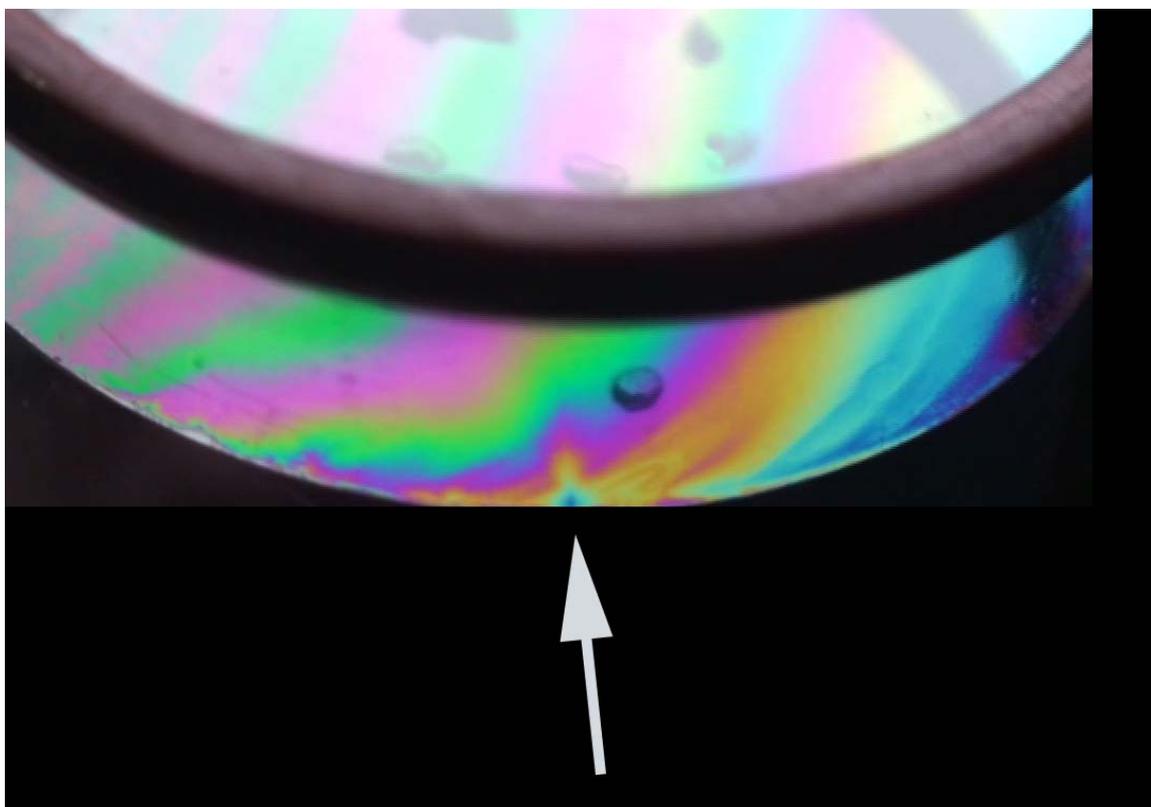


Рис.1. Изменение цвета желатиновой пленки, показывающее ее утоньшение за несколько минут в области действия лазерного излучения.

В жидких пленках такое уменьшение толщины, приводящее к метанию треков, трудно заметить, поскольку оно сразу исчезает после выключения лазера, а в желатиновой полное восстановление цвета происходит медленно, за десятки минут, и это изменение цвета удалось заметить.

Застывшая, сохраняющая свою толщину желеобразная пленка удобна для проведения исследований в воспроизводимых и одинаковых в каждом опыте начальных условиях, но работа с ней требует особой чистоты, поскольку как органический продукт она съедобна для бактерий, которые при контакте за сутки-двое покрывают желатиновый холодец плесенью, и рвут пленку.

Но в то же время оказалось, что если избежать наличие бактерий в закрытом объеме, то такая прозрачная гибкая пленка без каких-либо заметных изменений

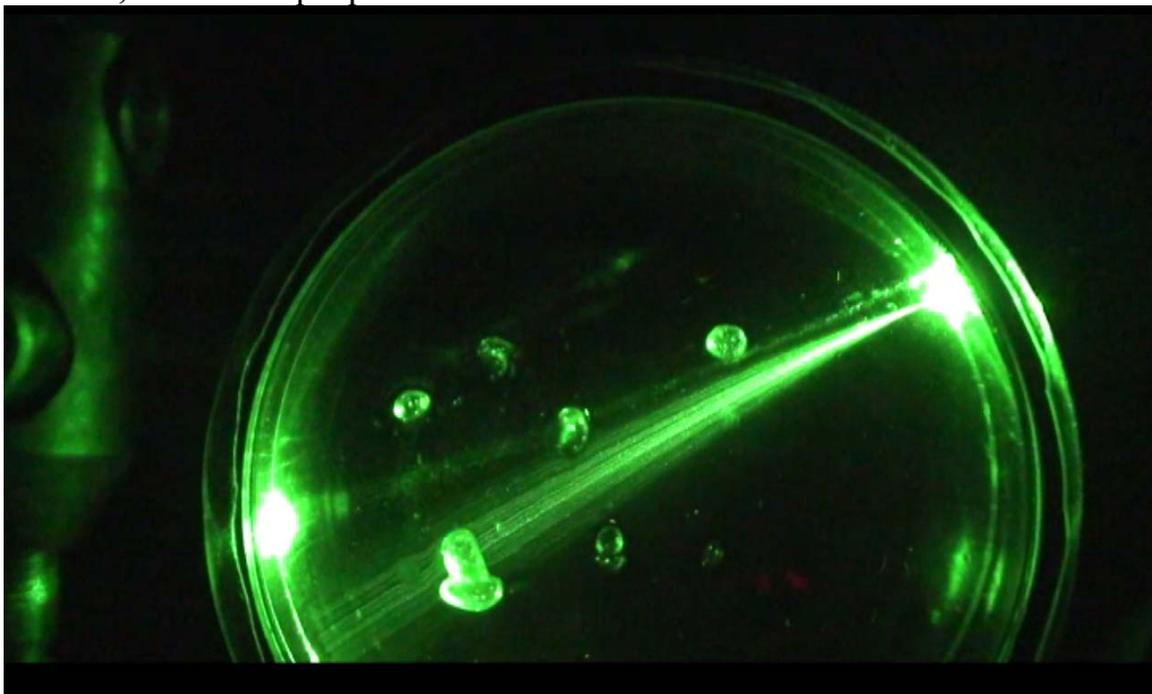


Рис.2. Сноп треков от точки фокусировки в желатиновой пленке диаметром 6 см при включении лазерного излучения.

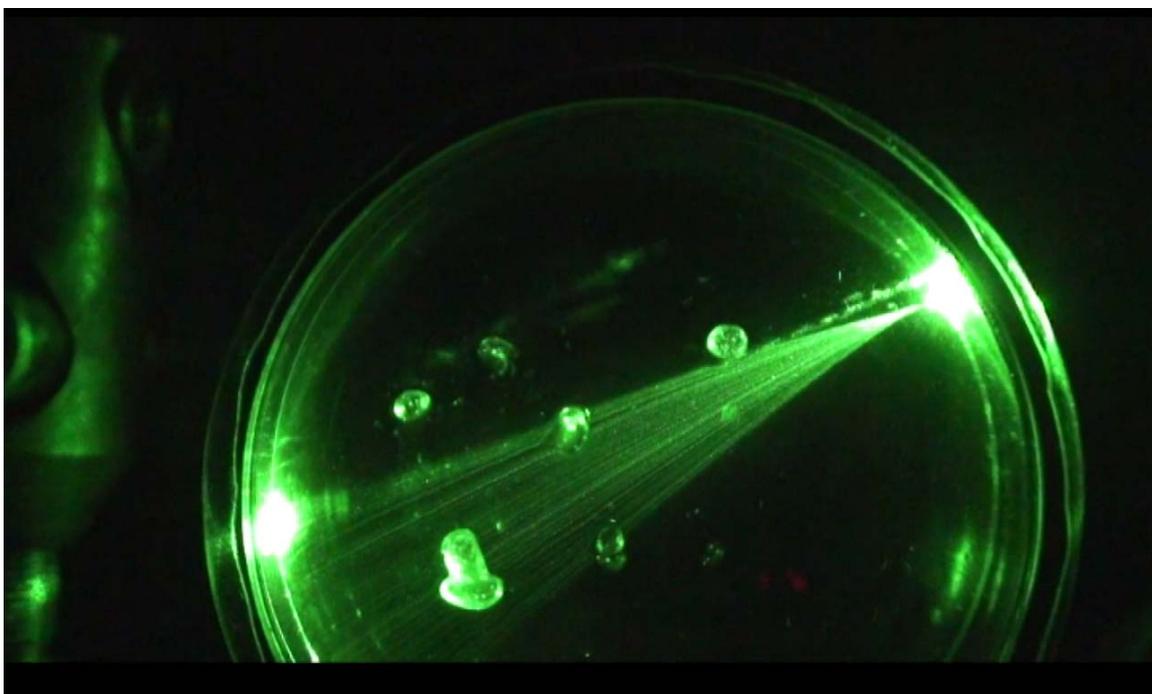


Рис.3. Плавное изменение снопа треков в этой желатиновой пленке за несколько минут действия лазерного излучения.

своей толщины и свойств живет неожиданно долго, уже более полгода (возможно, годы?), не рвется при переворачивании, перемещении и транспортировке и является удобным объектом для разнообразных оптических исследований.

Например, был бы интересен отдельный цикл работ, когда при формировании в жидкую фазу такой пленки в нее ввести стеклянные микросферы и посмотреть, как влияют стеклянные микролинзы на изменения пути попадающего на них света трека. Интересно также исследовать оптические свойства желатиновой пленки при добавке к ней нановолокон, например, из окиси алюминия толщиной 10-20 нм и длиной до 15 см, которые сейчас научились делать тоннами /19/.

В вертикальной пленке диаметром 10 см и толщиной около 10 мкм исследовалось выходное излучение одного трека на экране (Рис. 4, Рис.5). В отличие от жидких пленок, при малой интенсивности лазера (несколько милливатт) эти световые полосы на экране не двигаются, что позволяет проследить, например, зависимость их формы от точности фокусировки входного излучения в ребро пленки.

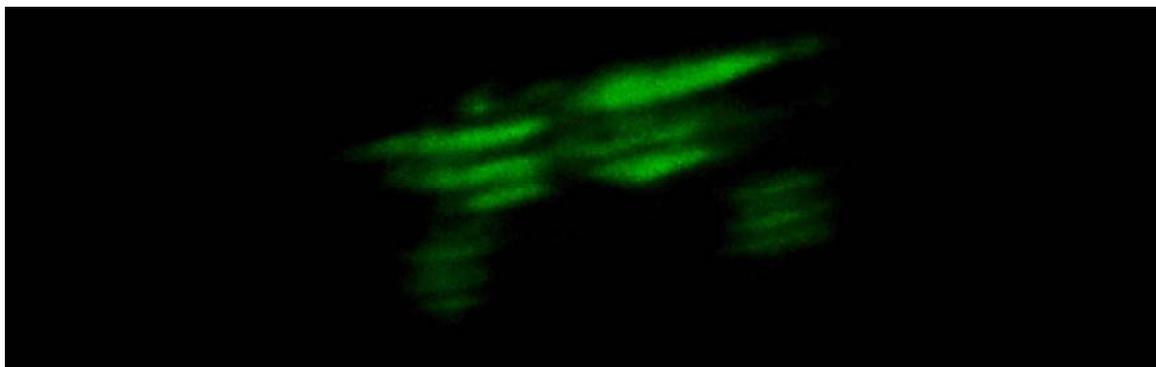


Рис. 4. Характерная форма пятен выходного излучения одного трека в желатиновой пленке на экране. Поперечная угловая расходимость около 30 градусов.

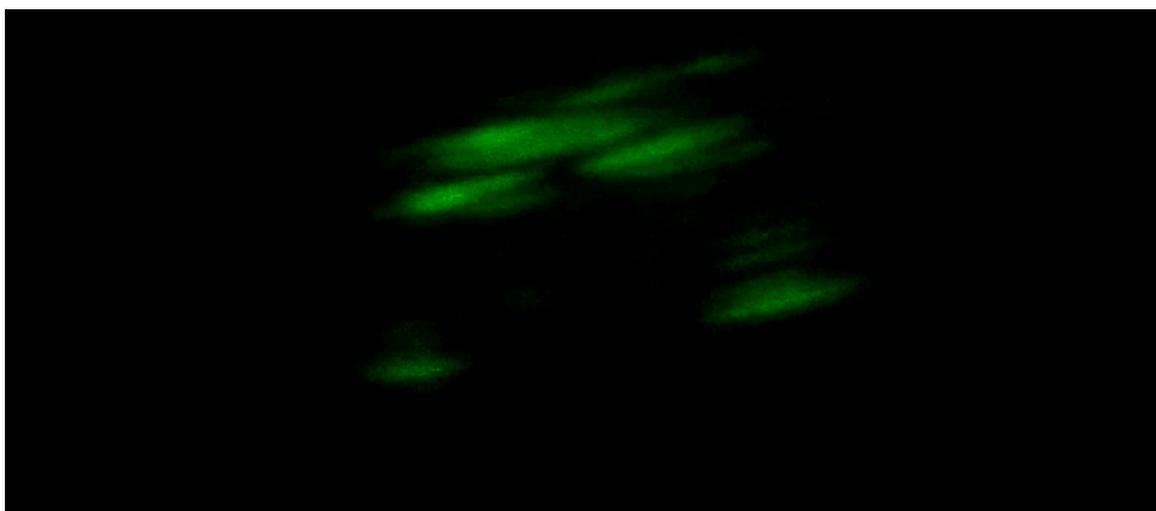


Рис.5. Еще один пример формы пятен выходного излучения одного трека в желатиновой пленке на экране.

Они имеют меньшую, чем в жидкой пленке/13/, поперечную угловую расходимость (около 30 градусов) и некоторые из них разбиты на два симметричных участка. Такое разбиение показывает, что в треке идут два потока света с отражением от боковых поверхностей. Наличие таких потоков может свидетельствовать о локальных изменениях величины вздутия вдоль трека, о волнистости его поверхности.

При увеличении интенсивности лазера с 3 до 15 мВт пятна на экране приходят в заметное постоянное движение, что говорит о динамичных перестройках трека при повышенной мощности в стабильной пленке.

Можно проследить динамику изменений не на экране, а наблюдая с помощью развертки на ССD-камере за поведением излучающих точек непосредственно на выходном ребре пленки. При наличии в пленке одного трека на выходном ребре имеется одна яркая точка, сохраняющая минутами свое положение и постоянную интенсивность (Рис.6). Наличие длинного тонкого канала приводит к естественному вопросу - подходит ли такой световой канал для передачи информации? Можно ли по нему передавать сигнал, например, с помощью азбуки Морзе?

В простом опыте с перекрыванием входного лазерного луча оказалось, что наблюдавшийся до этого стабильный трек в пленке за секунду перекрытия луча лазера, рассыпается (Рис.6), и для восстановления одного канала трека затем требуется несколько минут непрерывного лазерного воздействия на пленку.

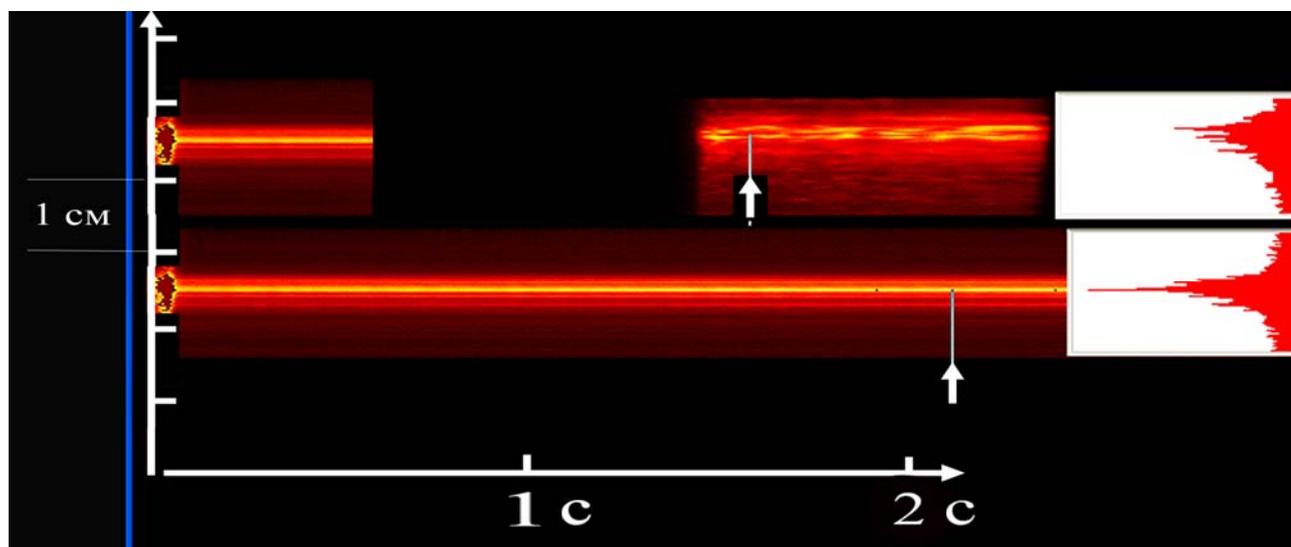


Рис.6. Щелевая развертка выходного ребра желатиной пленки с излучающими точками. Внизу излучение одного стабильного трека без изменений во времени. Вверху – возбуждающее лазерное излучение этого трека был примерно на 1 секунду перекрыто (черный участок), и за это время трек потерял свою стабильность и рассыпался. Справа показано поперечное распределение интенсивности излучения в моменты, отмеченные стрелками.

Это показывает, что стабильный, на взгляд, одиночный трек является результатом сложного динамического взаимодействия введенного излучения со структурой пленки, реагирующей на резкие перепады интенсивности (и информации) в формирующем луче.

Раньше среди наших вопросов к теоретикам мы уже обращали внимание на такую возможность непостоянства при воздействии световой информации на канал /10/, но интерес к проверке и расчетам треков у них не возник. Соглашаясь, что пленочная нелинейная среда открывает новый необычный раздел физики по взаимодействию света и среды, они ссылаются на сложность описания неразрывно взаимосвязанных гидро-, свето- динамик перестройки и формирования трека, напоминающую по неподъемности ту, которая возникает при попытках учета частичной, постоянной, но непонятной перестройки нейронных цепей мозга при его программном моделировании в искусственном интеллекте.

А у нас, в связи с изменением оптических свойств желатиновой пленкой, возник дополнительный более простой вопрос, не связанный с треками. Если в лазерном резонаторе на зеркале будет находиться такая пленка, под действием разных мод лазерного излучения локально упруго меняющая свою толщину (чуть подсыхая) и тем самым локально меняющая отражение зеркала, то возникнет ли и какая будет стабильная модовая структура в таком саморегулирующемся лазере?

По ходу экспериментов у нас появилась возможность посмотреть воздействие интенсивного белого света на нашу долгоживущую стабильную желатиновую пленку. Раньше при фокусировке в пленку широкополосного излучения ксеноновой лампы мы уже отмечали следы зарождения треков в виде узких цветных полосок на выходном ребре пленки /8/. В настоящее время для получения белого континуума используют фемтосекундные лазеры, и средняя по времени импульсная интенсивность белого света повысилась до сотен милливольт /20/. Представляло интерес увидеть, как такой импульсный широкополосный свет взаимодействует с нашей стабильной желатиновой пленкой. Треки в пленке от самих импульсов фемтосекундного лазера мы уже наблюдали раньше /5/, но как поведет себя в пленке интенсивный широкополосный белый свет? Важна ли для образования треков модовая структура возбуждающего лазерного излучения, отмеченная в /13/?

Опыты проводились в Троицке на территории ФИАН в научно-исследовательской компании "Авеста-Проект", занимающейся производством инновационного оборудования для сверхбыстрой спектроскопии /16/. С лазером "TiF-50 mini" /21/ (50 fs, 80 МГц, 800 нм, 400 мВт) после волоконного преобразователя мощность белого континуума в диапазоне 450-800 нм составляла около 100 мВт. Рис.7.

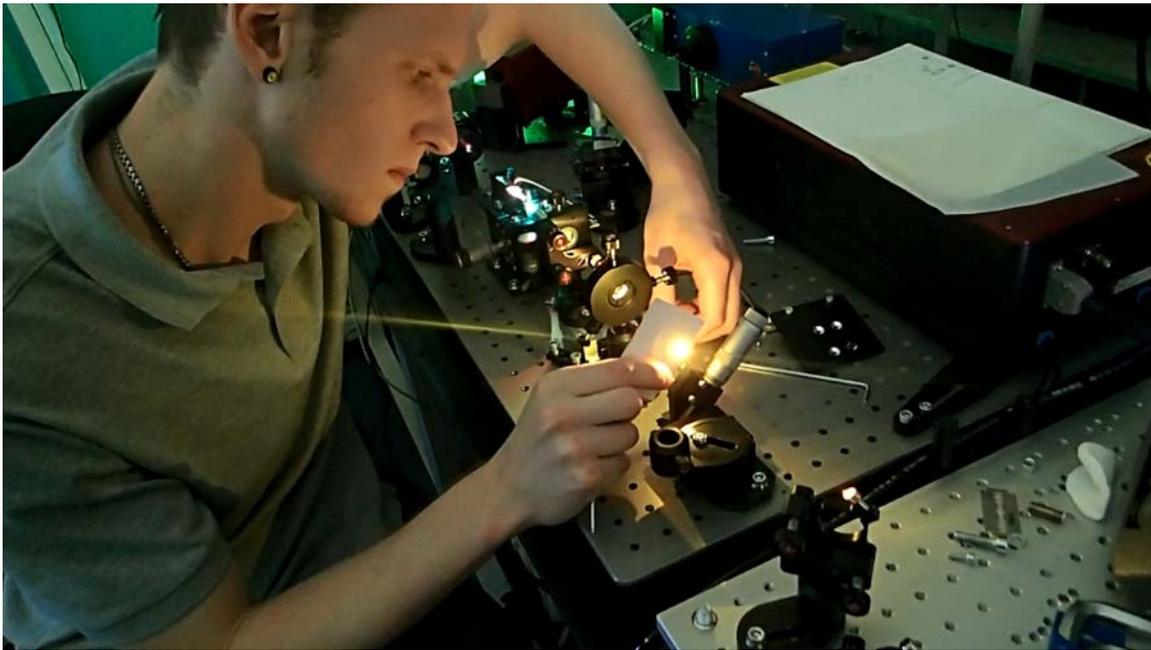


Рис.7. Получение белого света с использованием лазера "TiF-50 mini"

Результаты воздействия такого сфокусированного сферической линзой ($F=7$ см) белого излучения в ребро желатиновой пленки диаметром 10 см показаны на Рис.8-10. Трек не менял со временем своей формы даже тогда, когда небольшая перестройка фокусировки возбуждающего излучения приводила к видимому изменению его окраски.

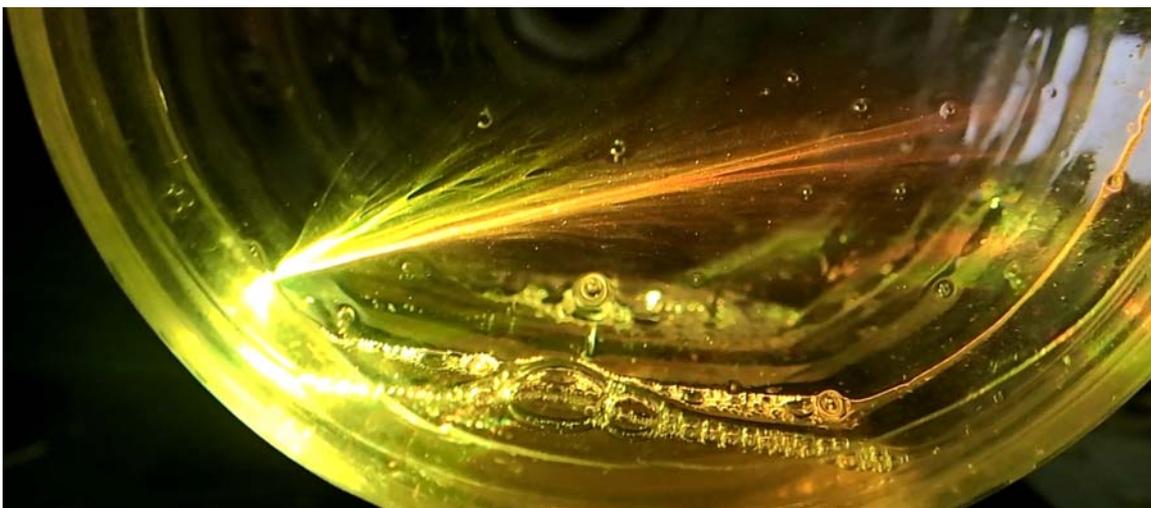


Рис.8. Треки от белого света в желатиновой пленке диаметром 10 см.



Рис.9. Треки от белого света в желатиновой пленке диаметром 10 см меняют свой цвет (но не форму) при изменении фокусировки.

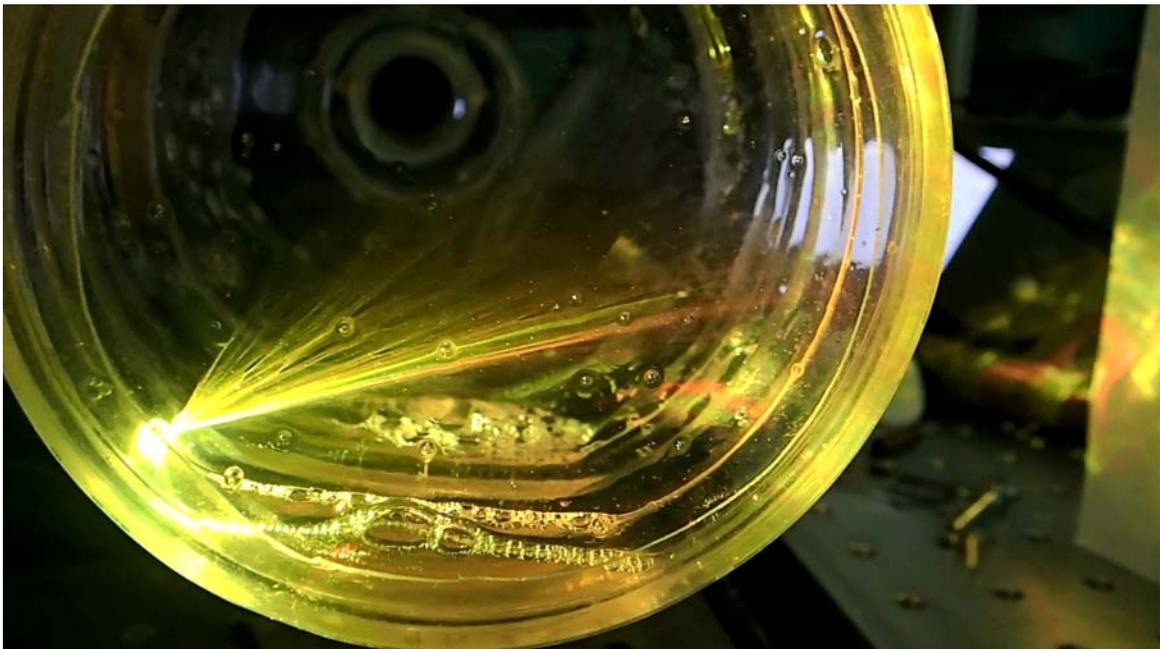


Рис.10. Треки от белого света в желатиновой пленке диаметром 10 см меняют свой цвет (но не форму) при изменении фокусировки. На экране видны цветные полосы от выходного излучения треков.

В попутно проведенных опытах с жидкой мыльной пленкой треки в ней от континуума были разных цветов и быстро меняли свой путь (Рис.11-12).

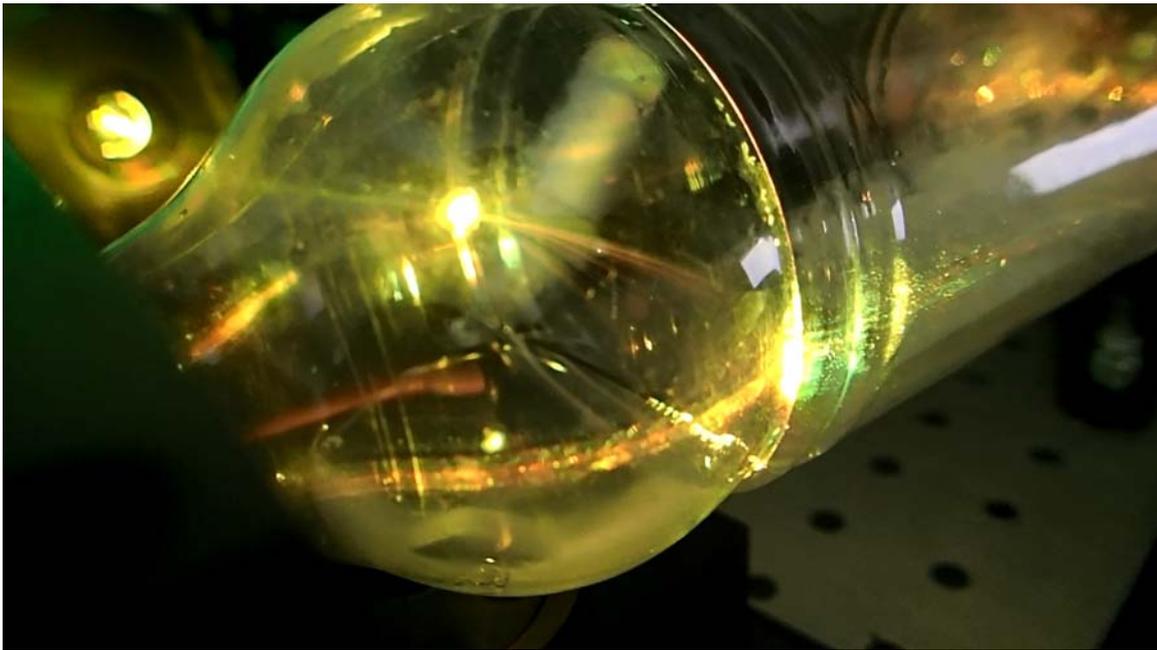


Рис 11. Бегающие треки от белого цвета в жидкой мыльной пленке диаметром 6 см.

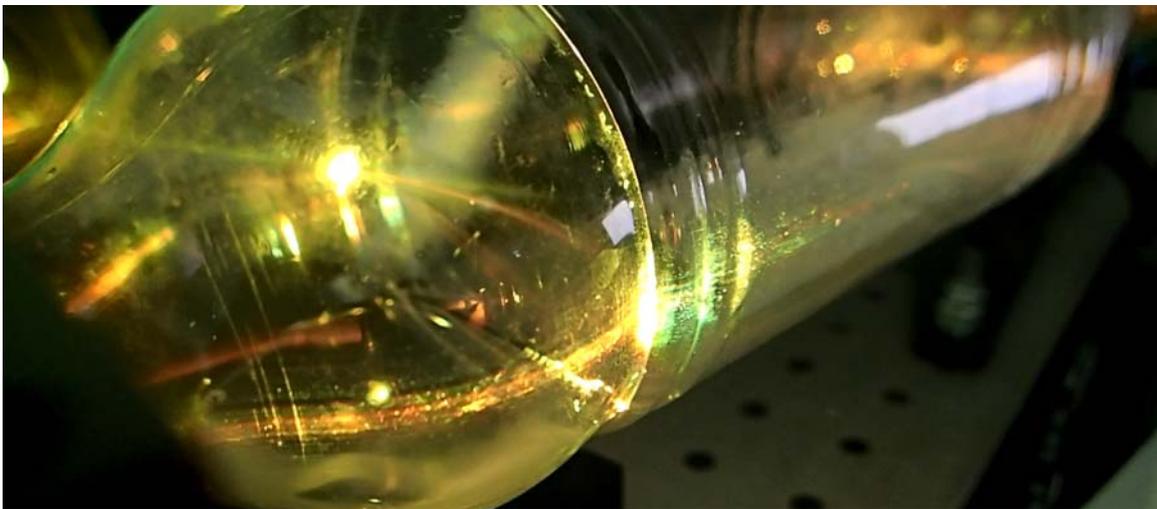


Рис 11. Бегающие треки от белого цвета в жидкой мыльной пленке диаметром 6 см.

Таким образом, мы получили подтверждение, что белый свет, как мы и предполагали /8/, образует треки в тонкой пленке. В таких треках должны быть свои особенности в динамике их образования и прохождении по ним широкополосного модулированного излучения, но, как мы отмечали /8/, еще Ньютон в своих

опытах с солнечным светом и мыльными пленками мог бы, как и мы с ксеноновой лампой /8/, уже наблюдать начальную стадию формирования таких треков.

Основной результат данной серии опытов состоит в обнаружении удобной для исследования треков и необычно устойчивой желеобразной желатиновой пленки и наличия в ней треков при воздействии обычного лазерного излучения и интенсивного белого света.

В итоге мы снова обращаем внимание составителей школьных программ по физике на возможность простой демонстрации необычного для земных условий действия светового давления с помощью доступных для всех опытов с треками в тонких пленках.

Благодарим Перцова А.А. за помощь с CCD камерой, сотрудников "Авеста-Проект" Конященко А.В. и Курицина И.И. за предоставленную возможность проведения опытов с fs-м белым континуумом, Меркульева Ю.А за образцы стеклянных микросфер и Ракитина А.Е за образцы нановолокон NAFEN.

Литература

1. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт №2 (М. ФИАН, 2003)
(см. <http://preprints.lebedev.ru/wp-content/uploads/2011/12/Stoilov.pdf> с приложенным кинофильмом о поведении треков).
2. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Квантовая электроника, 33, 380 (2003);
3. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Квантовая электроника 34, 569 (2004).
4. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт №22 (М. ФИАН, 2003) (см. http://preprints.lebedev.ru/wp-content/uploads/2011/12/2003_22.pdf).
5. Стойлов Ю.Ю. УФН, 174, 1359 (2004).
6. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт №12 (М. ФИАН, 2005) (см. http://preprints.lebedev.ru/wp-content/uploads/2011/12/2005_12.pdf).
7. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю., Савинов Ю.В.. Лазерные треки в тонких пленках. Отчет. Лаборатория Фотоники Молекул (ОКРФ). Москва. 2006. (см. <http://sites.lebedev.ru/data/1-2006.pdf>)
8. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт №6 (М. ФИАН, 2007)
(см. http://preprints.lebedev.ru/wp-content/uploads/2011/12/2007_6.pdf С приложенными кинофильмами).
9. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт №5 (М. ФИАН, 2008)

(см. http://preprints.lebedev.ru/wp-content/uploads/2011/12/2008_5.pdf С приложенными кинофильмами).

10. Стойлов Ю. Ю. Препринт №8. (М. ФИАН, 2009).

(см. http://preprints.lebedev.ru/wp-content/uploads/2011/12/2009_8.pdf)

11. Стойлов Ю. Ю. Патент RU №2403596 С1 от 9 апреля 2009 года.

12. Стойлов Ю.Ю. Фотоника, 1, 2 (2011).

http://www.photonics.su/files/article_pdf/2/article_2466_322.pdf

13. Стойлов Ю.Ю. Препринт №30 (М. ФИАН, 2011).

(см. http://preprints.lebedev.ru/wp-content/uploads/2011/12/stoilov_cvet.pdf)

14. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Квантовая электроника, 42, 750 (2012);

15. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт №2 (М. ФИАН, 2012).

http://preprints.lebedev.ru/wp-content/uploads/2012/04/stoilov_0212.pdf

16. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт №6 (М. ФИАН, 2012).

http://preprints.lebedev.ru/wp-content/uploads/2012/06/preprint_06-12.pdf

17. Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. Препринт №8 (М. ФИАН, 2012).

<http://preprints.lebedev.ru/wp-content/uploads/2012/12/08-2012.pdf>

18. Вайчас А. А. Дискретная дифракция лазерного излучения в биоорганических жидких пленках. (2005).

<http://www.dissercat.com/content/diskretnaya-difraktsiya-lazernogo-izlucheniya-v-bioorganicheskikh-zhidkikh-plenkakh>

19. Нановолокна из оксида алюминия марки NAFEN. <http://nafen.eu/>

20. Авеста-Проект (<http://www.avesta.ru/pagesrus/femtosecond-laser-systems/-208.htm>)

21. Описание TiF-50 (http://www.avesta.ru/PDF/TiF-50_datasheet.pdf)