

ОБЗОРЫ не АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ

Дробление света в ребре мыльной пленки. Феномен Стойлова.

Стойлов Ю.Ю.

Обнаружено неожиданное хаотическое дробление света при его прохождении по жидкому волноводу ребра обычной мыльной пленки, связанное с недоступной для прямого наблюдения неординарной турбулентной гидродинамикой сбора раствора в ребро пленки.

Лазерный свет обычной указки, сфокусированный и введенный в мыльную пленку, ведет себя в ней, как ранее отмечалось /1-4/, необычным образом. Он преобразуется в узкие (10-20 мкм) каналы, треки, которые без расходимости могут идти по пленке на десятки сантиметров. Эти треки часто резко меняют направление своего движения и без видимых причин отражаются от утолщения на краю пленки, от ее ребра /4,5/. Физика таких аномалий рассмотрены нами ранее /3,5/, а здесь, привлеченные необычными свойствами треков у ребра, мы остановимся более подробно на неожиданном поведении света, но не в пленке, а в самом ребре мыльной пленки.

Мыльная пленка – сравнительно малый объект чтобы потрясти мироздание, но она может существенно расширить наш кругозор. Причем кругозор всех – от школьников до академиков.

Ребро (утолщение) мыльной пленки образуется на ее краю или между мыльными пузырями при их контакте (Рис.1). В сечении ребро имеет треугольную форму с вогнутыми гранями и является протяженным жидким волноводом, по которому свет может идти за счет полного внутреннего отражения от его границ. Из-за поверхностного натяжения пленок давление раствора в ребре меньше, чем в пленках /5, Рис.3/, и внутренняя жидкость пленки, заключенная между ее двумя неподвижными поверхностными слоями из мономолекул мыла, постепенно втягивается в ребро и уходит по нему вниз кюветы. Свежая пленка имеет толщину около 5 мкм. Дренаж раствора в ребро делает пленку тоньше (раз в 50), приводит к уменьшению видимого количества интерференционных полос на пленке вплоть до их полного исчезновения. Такая пленка почти не отражает свет и называется черной. По движению цветных полос на свежей пленке можно оценить скорость дренажа около 1-2 мм/мин. В зависимости от состава мыльного раствора пленка (и ребро) живет часами (иногда сутками) или быстро за минуты лопается.

Ребро при внешнем наблюдении выглядит вполне спокойным и стабильным образованием. Поскольку процесс дренажа сравнительно длительный, то трудно ожидать, что он как-то заметно может влиять на оптическую однородность ребра пленки из обычного мыльного раствора.

Тем неожиданней оказывается реальное поведение введенного в ребро лазерного света (532 нм, 1-10 мВт) на выходе из него на экране, которое как новое явление буквально заставляет протереть глаза (/5/ Рис.4). Это как если бы кусок хлеба на вашем спокойном столе стал прыгать и описывать круги в броуновском движении.

На экране возникает Рис.2 (кинофильм доступен на сайте /8/) яркая центральная область, плотно заполненная быстро мигающими пятнами, окруженная более темным широким ореолом из мелких искрящихся пятнышек, которые при внешне спокойном и неподвижном ребре десятки раз в секунду возникают и исчезают, меняют свою форму, яркость и положение. На Рис.2 на экране видно множество пятнышек в яркой зоне. Угловые размеры центральной области и ореола меняются при изменении фокусировки лазера и его перемещении по входному торцу ребра и составляют соответственно около 10 и 90 градусов. Частота миганий мелких пятен в ореоле заметно выше, чем в центральной яркой области.

Если раньше в лазерных треках неожиданным открытием было отсутствие у них расходимости, то здесь открытие состоит в наличии несуразно большой частоте миганий пятен на экране при внешне совершенно спокойном ребре, вызванной, как будет показано, не плавным, как ожидалось, а дробным поступлением раствора в ребро из пленки.

Центральную область на экране можно связать с той частью лазерного излучения, которое доходит до выхода из ребра, многократно отражаясь от его вогнутых, но сравнительно ровных граней, а более темный ореол создают лучи, которые глубоко проникают в вершины и из-за наличия сходящегося угла от них отражаются. Угол вершин постоянно меняется неравномерно поступающим в ребро потоком раствора из пленки. Вот эта неравномерность и является открытием странных и неожиданных свойств обычного ребра. Мигания можно наблюдать при практически любой форме ребра, а его изогнутость, как на Рис.1, позволяет уменьшить на экране фоновую засветку от лазера.

Вид выходного торца ребра под микроскопом, создающего такую сложную динамичную картину на экране, показан на Рис.3. Вид торца практически не зависит от длины ребра (3-30 мм) и мощности лазерного излучения (1- 10 мВт). Скорость движений и миганий точек особенно велика в острых углах торца, куда поступает раствор из пленки. Интерференция этих многочисленных источников разной яркости и фаз создает наблюдаемую сложную динамическую картину на экране. С повышением температуры раствора скорость мигания пятен растет. Если поместить вблизи торца снаружи кюветы маленькую диафрагму (0.3 мм), сократив тем самым количество интерферирующих источников, то размер пятен на экране (и на фотографии торца через микроскоп) в разы увеличивается.

Как и ожидалось, вид торца и характер миганий существенно зависит от длины волны используемого лазерного излучения, поскольку глубина проникновения и отражения от вершины ребра зависит от длины волны

света. С красной лазерной указкой (650-670 нм, 1-10 мВт) угловой размер ореола существенно меньше, чем с зеленой, и при этом под микроскопом на выходном торце ребра почти не видно мигающих пятен в углах. Это показывает, что излучение красного лазера из-за большей длины волны не так глубоко проникает в бурлящие от входных потоков углы ребра, как зеленого. С синим лазером (405 нм, 1-10 мВт) картина миганий такая же, как с зеленым.

Если в ребре находится раствор с флуоресцирующим красным светом красителем, то мигание торца с зеленым лазером исчезает, когда зеленый свет до выходного торца не доходит. Интересно, как будет выглядеть излучение такого трехгранного волноводного лазера, заполненного активной средой? Какие моды в нем окажутся самыми добротными?

Таким образом, проходя по ребру, лазерное излучение выявляет скрытую от глаз неожиданно сложную гидродинамику поступления раствора из пленок в тонкие вершины ребра. Стало понятно, что дренаж раствора совсем не плавный процесс, а идет по всей длине ребра прерывистыми мельчайшими порциями, локально меняющими заостренность угла на границе ребра с пленкой. Вместе с заостренностью меняется и способность угла отражать падающий на него свет.

Для выявления истоков и механизма миганий требовалось внимательно посмотреть на границу у вершин светящегося ребра под микроскопом (перпендикулярно к его поверхности). На этом узком более ярком участке границы контакта с пленкой шириной около 30 мкм, (Рис.4, кинофильмы доступны на сайте /8/) видны мелкие микронные пляшущие точки, своим движением характеризующие краткость и прерывистость порций поступления раствора из граничных областей пленки на участках, по длине не превышающих, по-видимому, толщину самой пленки. Прерывистость дренажа объясняет дробления света, но она само по себе является неожиданным и ранее неизвестным открытием, требующим досконального выяснения его причин. Где еще и при каких условиях оно может проявляться?

По ширине размазывания ярких точек за время экспозиции (0.03 с) одного кадра по зоне в 30 мкм можно оценить, что для свежей пленки скорость поступающего потока в ребро составляет около 1 мм/с. Когда пленки теряют цвет и становятся тоньше (т.н. черные пленки), скорость поступающего из них потока в ребро слегка уменьшается, но дробность его сохраняется.

Сравнение скорости дренажа свежей пленки (около 1-2 мм/мин) и скорости того же потока, входящего в ребро (около 1 мм/с), показывает, что между ребром и пленкой поток ускоряется, т.е. имеется сужение, щель, уменьшающая толщину пленки раз в 30 и этим ускоряющая входящий поток и делающая его турбулентным. Гидродинамика щелевого сопла усложняется тем, что сопло образуется прогибом натянутых поверхностей пленки, которые пытаются убрать этот прогиб, но снижение давления в сопле из-за

большой скорости входящего в ребро потока снова приводит к его гидродинамическому сужению. Наличие сопла у ребра с толстой пленкой показано на Рис. 5 при подсветке сбоку. Оно выглядит темным, поскольку свет в него не заходит.

Суммируя мелкие порции, дренаж приводит к накоплению около ребра обедненных раствором более тонких участков пленки, которые при наличии гравитации из-за нарастающей силы Архимеда со временем отрываются от ребра и в виде заметных на цветной пленке многочисленных круглых пятен всплывают наверх по более толстой пленке. Если же ребро находится наверху пленки, то тонкие участки накапливаются снизу около ребра и отгораживают его полосой от более толстой ниже лежащей пленки.

Заметить какое-либо мигание поперечного, проходящего через ребро или отраженного от ребра лазерного света, не удастся, что, видимо, связано с малостью интенсивности миганий на фоне яркого лазерного света. Мигания на экране можно заметить, если лазерный луч направлять под скользящим углом вдоль ребра пленки на стенке кюветы или снизу через раствор с отражением от ребра пленки, лежащем на растворе, когда у света появляется возможность зайти в острый угол ребра.

Время наблюдения миганий ограничено только временем жизни пленок, которое обычно составляет от нескольких минут до нескольких часов (но иногда мигания удастся наблюдать подряд несколько суток). Его можно увеличить, если восполнять раствор в пленки, но это не удастся сделать простым добавлением раствора через ребро (ребро раствор в пленку не отдает) или, опуская на пленки крупные капли раствора из пипетки (крупные капли, как и ребро, не отдают раствор в пленку, а засасывают в себя раствор из пленки /5/). Подпитку пленок можно делать мелкими каплями, туманом, создаваемым УЗ распылителем, которые, оседая на пленке, на ней сразу расходятся.

Подбирая состав мыльного раствора, картину пятен на экране можно зафиксировать и сделать совершенно неподвижной, если ребро и пленку приготовить из нагретого, но застывающего в виде желе мыльного раствора с желатином /6/. Фиксированная картина излучения из трехгранного ребра отражает на экране его модовую структуру, что интересно для сравнения наблюдаемых на экране видов с результатами расчета мод жидкого трехгранного волновода.

Использование желатина оказалось интересным еще и тем, что делает излучение из ребра крайне чувствительным к интенсивности лазерного излучения. Малые изменения интенсивности лазерного света, воздействуя на желе, меняют его вязкость, что вызывает появление оптомеханических миганий, частота которых меняется в десятки раз при небольшом увеличении мощности зеленого излучения примерно с трех до десяти милливатт. Если мощность лазерного излучения после подъема сохранять неизменной, то за несколько минут мигания на экране замедляются и совсем прекращаются, но

снова на время возобновляются, если увеличить или уменьшить (!) мощность лазера. Причина таких изменений требует дополнительного изучения.

Таким образом, лазерный свет в ребре открывает широкие возможности исследования физических свойств жидких волноводов разного состава и статистики (хаотичности, эргодичности и т.д.) получаемого из них излучения.

Ребро дробит любой проходящий через него свет. Оказалось, что если через ребро пропустить сфокусированный на входной торец солнечный свет, то на экране возникает калейдоскоп из постоянно пляшущей мозаики цветных радужных пятен Рис.6 (кинофильм доступен на сайте /8/). Применение солнечного света позволяет сделать следующее правомерное утверждение – явление дробления в ребре могло и должно было быть открыто 3000 лет тому назад, когда, как известно, имелись все необходимые для этого предпосылки в виде мыла и фокусировки солнечного света шаровыми сосудами с водой.

Трудно переоценить и представить даже как фантастику, какую большую пользу человечеству принесла бы эта постоянно меняющаяся мозаика из множества разноцветных пятен, демонстрирующих на большом экране скрытые особенности мелкого невидимого мира, будь она открыта 3000 лет тому назад, и в области науки, и философии, и области просвещения, образования и развития любознательности наблюдающих это явление молодых людей. На сколько она помогла бы Демокриту с его атомарной теории вселенной, Аристарху Самосскому с его теорией цвета, Архимеду с применением его фокусирующих устройств, какой устойчивый фундамент был бы у трудов Эвклида по оптике. А сколько тысяч и тысяч пытливых молодых умов зажглось бы желанием понять, откуда берутся мигающие цветные пятна на экране из спокойного на вид ребра. Какой бы гигантский костер знаний зажгла бы эта маленькая «спичка» из цветных мигающих пятен! Остается только жалеть все те миллиарды людей, которые ушли, так и не увидав крайне информативного для них явления дробления света.

Удивительно то, что в нашем казалось бы досконально изученном окружающем мире до времен спутников и бозонов Хикса на глазах у всех тысячелетиями могло существовать загадочное явление, для открытия которого не нужны были особые условия или какая-то длинная цепочка специально накопленных знаний, и для обнаружения которого достаточно было любопытства простого дилетанта, монаха или школяра. Это воспринимается как намек на необходимость повышенного внимания к самым обыденным окружающим нас вещам.

Теперь же для увеличения яркости через ребро можно пропускать мощные потоки белого континуума, получаемого в волноводах или в воде самого ребра с помощью коротких импульсов фемтосекундных лазеров, можно наполнять ребро активной лазерной средой и получать в нем лазерную генерацию с необычной нестабильной широкоугольной выходной

диаграммой излучения. Хотя и с опозданием, но отныне явление дробления света будет применяться для просвещения людей в самых удаленных уголках Земли для демонстрации без микроскопа на экране невидимых на глаз микро- и нано-процессов в стабильном на вид ребре как в наше время, так и в следующие тысячелетия.

На этом описание найденного явления дробления света в ребре мыльной пленки можно было бы закончить, но по ходу экспериментов был обнаружен еще один интересный для исследования и физически менее понятный мигающий объект, который по форме напоминает ребро мыльной пленки, но существенно от него отличается.

Теоретической формулы или описание высоты подъема жидкости по идеальному прямому углу кюветы нам не известно, но экспериментально мы видим, что в четырехгранной прозрачной кювете с внутренним сечением 1х1 см, стороны которой собраны на оптическом контакте (оптический контакт формирует идеальный прямой угол) мыльный раствор, налитый тонким слоем на дно, капиллярными силами поднимается по углу, как по фитилю, на всю высоту кюветы (2 см) и образует в углу столбик жидкости, похожие на ребро. Сечение этого столбика показано на Рис.7. Зеленый лазерный свет (3) фокусируется через прозрачную стенку внутрь такого ребра (2) так, что проходя по раствору ребра, он отражается почти под прямым углом от его прогнутой в угол поверхности и выходит (4) на экран (5). У такого столбика тоже есть крылья, в нем тоже понижено давление, есть возможность собирать в себя раствор с пленки, покрывающей стенки кюветы, поднимать жидкость со дна кюветы и испарять ее в верхней части кюветы.

При настройке, когда сфокусированный лазерный свет отражается от внутренней поверхности такого столбика, на экране наблюдается картина из яркой горизонтальной немигающая полоса, но выше и ниже ее много дней и недель подряд наблюдается пятнистая структура с постоянными (не такими быстрыми, как с ребром) мерцаниями на них (Рис.8, кинофильмы доступны на сайте /8/)). В отличие от ребра столбик в углу кюветы может быть из любой жидкости, предоставляя исследователям возможность анализа их разнообразных динамик мерцаний.

Здесь с ростом интенсивность (532 нм, 1-10 мВт) растет яркость, но частота мерцаний не увеличивается. И остается вопрос о механизм такой долгой подпитки этих мерцаний и угловой диаграмме их направленности. Сбор жидкости в столбик с пленки на стенках кюветы, как в ребро, вряд ли, может длиться больше суток. Скорее, мерцания как-то связаны с подъемом жидкости со дна кюветы, как по фитилю. Но физику каких процессов и каких неровностей поверхностей отражают эти мерцания? Под микроскопом в углу кюветы видны яркие мерцающие точки, но природа их мерцаний требует уточнений.

Обнаруженные явления открывают для исследователей широкие возможности. Помимо реализации живых и привлекательных (при использовании мощных широкополосных источников) картин наблюдаемые

явления представляют как практический, так и научный интерес. Практический – это новый вид лазерной среды с необычной модовой структурой, новый излучатель светового шума для маскировки, источник звука (при усилении звука внутри ребра). Здесь, по-видимому, возможна регистрации шумов типа капель дождя или грохота поезда. Это новый генератор случайных чисел (без повторений) /7/, широкоугольный источник света для схем охраны и лазерной локации. При появлении подходящих устройств обращения волнового фронта можно будет пропустить хаотичный выходной сигнал в обратном направлении через ребро и на выходе получить для проверки исходный лазерный луч. Необычные пятнисто-мигающие источники света имеют перспективу применения для оживления театральных сцен, развлекательных учреждений и для съемок научно-фантастических сюжетов (Рис.8, кинофильм доступны на сайте /8/).

С научной – ребро как объект открывает новые многочисленные и интересные разделы лазерной, волноводной и квантовой радиофизики, тонкослойной гидродинамики, статистической радиофизики, лазерной оптомеханики и шифрования. Введенный в ребро лазерный свет дает возможность изучать физические причины неожиданно сложной гидродинамики сбора раствора в ребро пленки, влияния на него состава раствора, вязкости, температуры, величины гравитации и возможного воздействия на дренаж (выявленного при образовании треков) светового давления /1-4/ лазеров. Какими особенностями будет отличаться эффект дробления света в ребре в космосе при отсутствии гравитации? Как будет проходить сбор раствора в ребро переохлажденной пленки, где отмечаются флуктуирующие переходы между двумя структурными фазами воды /9/?

Интересен анализ и теоретическое описание свойств такого жидкого трехгранного волновода, усилителя и волноводного лазера с вогнутыми поверхностями, характер его мод, динамики генерации и расплывания в нем короткого светового импульса из-за физической разницы длин оптических путей для составляющих Фурье компонентов. Возможно сравнение расчетов с демонстрируемой сложностью распределение амплитуд и фаз на выходе такого волновода в виде двумерной дифракционной структуры, создающей наблюдаемую на экране динамичную картину. Обнаруженный импульсный сбор раствора из пленок в ребро должен вызывать постоянное механическое дрожание и метания ребра между контактирующих с ним пленок. О каких частотах шума здесь идет речь?

В опытах со столбиком в углу кюветы предстоит разобраться с причинами, энергетикой мерцаний и диаграммой направленности мерцающих потоков. Есть ли вклад сбора раствора со стенок и влияния светового давления на поверхность столбика жидкости в углу кюветы? В чем особенность возникновения таких мерцаний в геометрии со столбиком и как они могут проявляться в других схемах?

Есть надежда, что после разработки теоретических описаний сбора раствора из пленок в ребро с пониженным давлением и мерцаний со

столбиком у исследователей появится пока не реализованная возможность по аналогии прояснить процесс сбора раствора в лазерных треках, в местах выпячивания поверхностей пленки, где давление раствора тоже понижено, но за счет светового давления /1-4/. Может ли этот сбор при интенсивном воздействии становится дробным и влиять на направление трека?

Обнаруженное в ребре и в столбике явление хаотичного дробления света можно, не смотря на сложности с наукой /10/, использовать и в преподавании физики как весьма доступные и наглядный примеры, приоткрывающие на большом экране сложную для прямого наблюдения микро гидродинамику (типа броуновского движения) ребра обычной и всем известной мыльной пленки, фазовых переходов в пленках с желатином и мерцаний от поверхности жидких столбиков с возможным воздействием на них, как и в треках /1-4/, светового давления.

Потомки, надо думать, сочтут задержку в 3000 лет в открытии явления дробления света в ребре мыльной пленки как прямое доказательство отсутствия бога. Не могло же разумное существо тысячи лет отводить взгляды миллиардов людей от такого доступного, подмигивающего и крайне нужно им источника знаний. Это позволит потомкам отойти от церкви и больше внимания уделять науке.

Мыльная пленка – сравнительно малый объект чтобы потрясти мироздание, но она, как показано, может существенно расширить наш кругозор.

Автор благодарит сотрудников, помогавших ему в проведении экспериментов, родных и близких за моральную и материальную поддержку, поскольку работа проводилась на чистом энтузиазме без дотаций от каких-либо фондов, и заранее всех заинтересованных будущих продолжателей теоретического и экспериментального исследования этого явления и его возможного применения.

Литература

1. Старцев А В, Стойлов Ю Ю *Квант. Электр-ка*. 34 569 (2004).
2. Стойлов Ю Ю *УФН*. **174**, 1359 (2004) [Stoilov Yu Yu *Phys. Usp.* **47** 1261 (2004)]
3. Стойлов Ю Ю *Фотоника*, **1**, 2 (2011)
4. Старцев А В, Стойлов Ю Ю Сайт «Астрономия в школе» http://www.astro.websib.ru/sites/default/files/userfiles/milo_plenka.pdf
5. Стойлов Ю Ю *Фотоника*, **4**, (2018)
6. Стойлов Ю Ю Патент RU №2569845 от ноября 2015 года
7. **True Random Number Service** <https://www.random.org/>
8. Стойлов Ю.Ю. Кинофильмы к этой статье: [http://preprints.lebedev.ru/files/250618_stoilov/Soderzhanie\(3\).doc](http://preprints.lebedev.ru/files/250618_stoilov/Soderzhanie(3).doc)

9. Sanderson K. *New Scientist* 02 June 2018 p.26.
10. В.М. Кайтуков. Эволюция диктата – М.: Наука, 1994. 413 с
http://philosophyevolution.com/main_ru.htm

Подписи к рисункам

- Рис.1. Фото изогнутого ребра между двух мыльных пузырей в прямоугольной кювете с внутренним размером 2х2 см.
Рис.2. Выходное излучение из ребра пленки на экране на расстоянии 25 см от выходного торца.
Рис.3. Вид выходного торца ребра с лазерным излучением под микроскопом.
Рис.4. Вид зоны контакта ребра с пленкой под микроскопом при наблюдении сбоку. Ширина светлой полосы ~ 30 мкм.
Рис.5. Вид сопла между ребром и пленкой при подсветке. Длина темной зоны сопла около 50 мкм.
Рис.6. Мигающие цветные пятна на экране от прошедшего через ребро солнечного света. Экран на расстоянии 20 см от выходного торца ребра.
Рис.7. Схема сечения столба жидкости в углу прямоугольной кюветы при наблюдении отражения от него лазерного света.
Рис.8. Вид картины мерцаний на экране от столбика жидкости в углу кюветы.
Рис.9. Пятнисто-мигающее освещение лица наблюдателя.

Стойлов Ю.Ю. Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН
119991, ГСП-1, Москва, В-333, Ленинский пр. 53
Тел. 8(499)132-6682, Факс. (095)938-2251
E-mail: stoilovyy@lebedev.ru

Рисунки

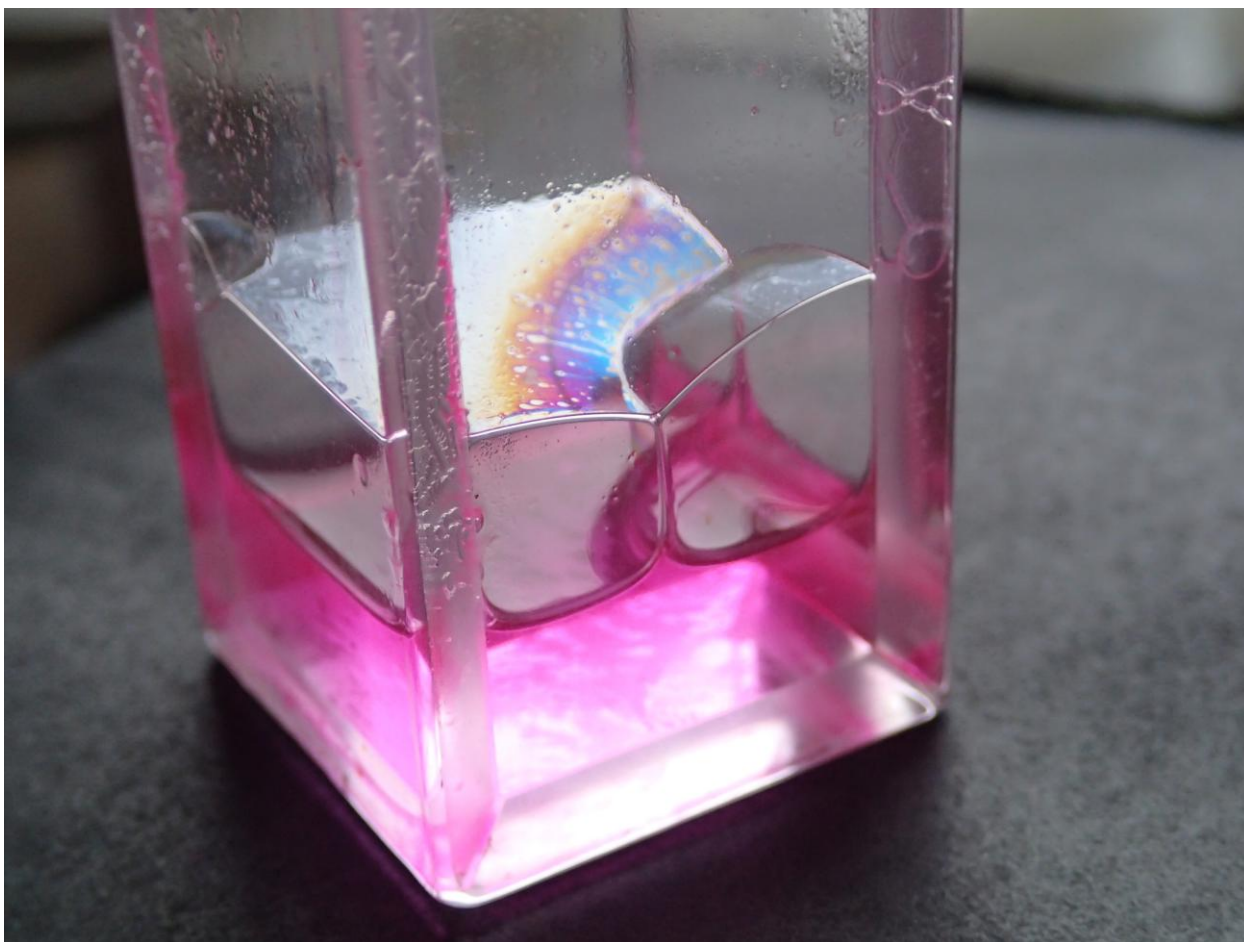


Рис.1

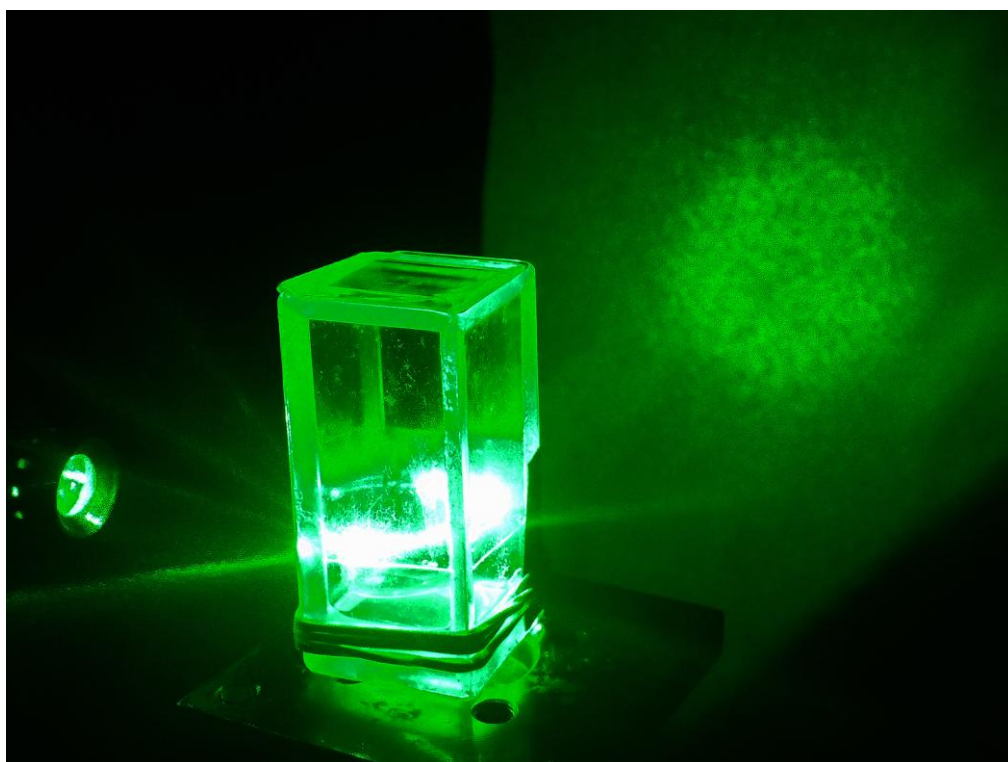


Рис.2

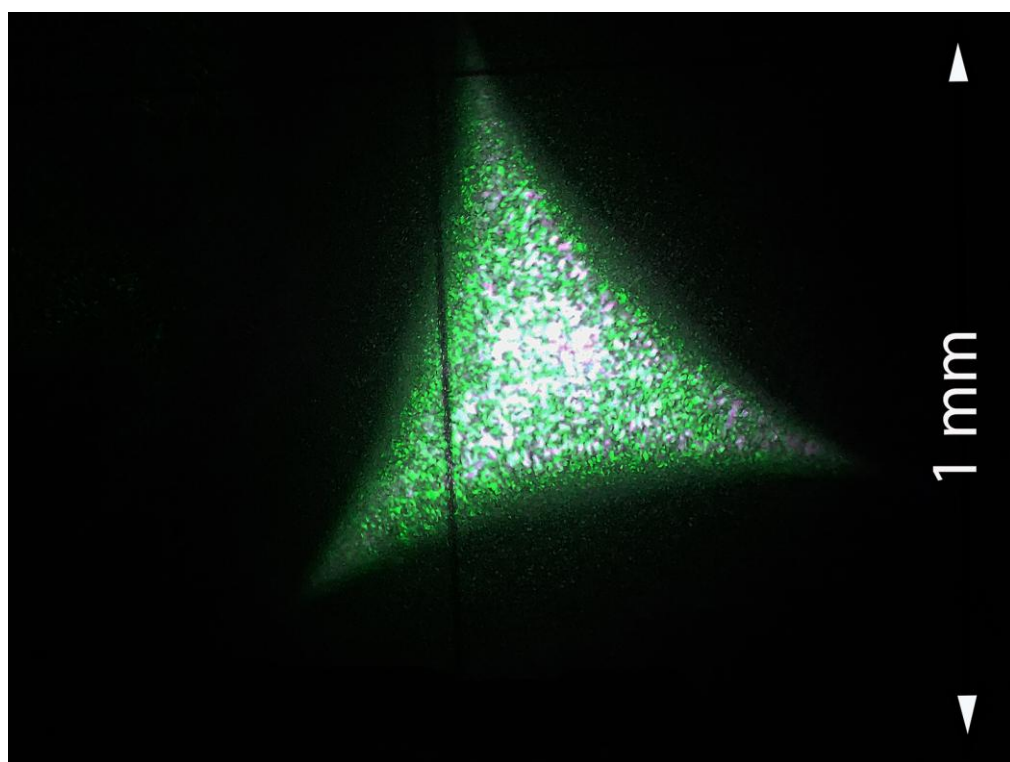


Рис.3

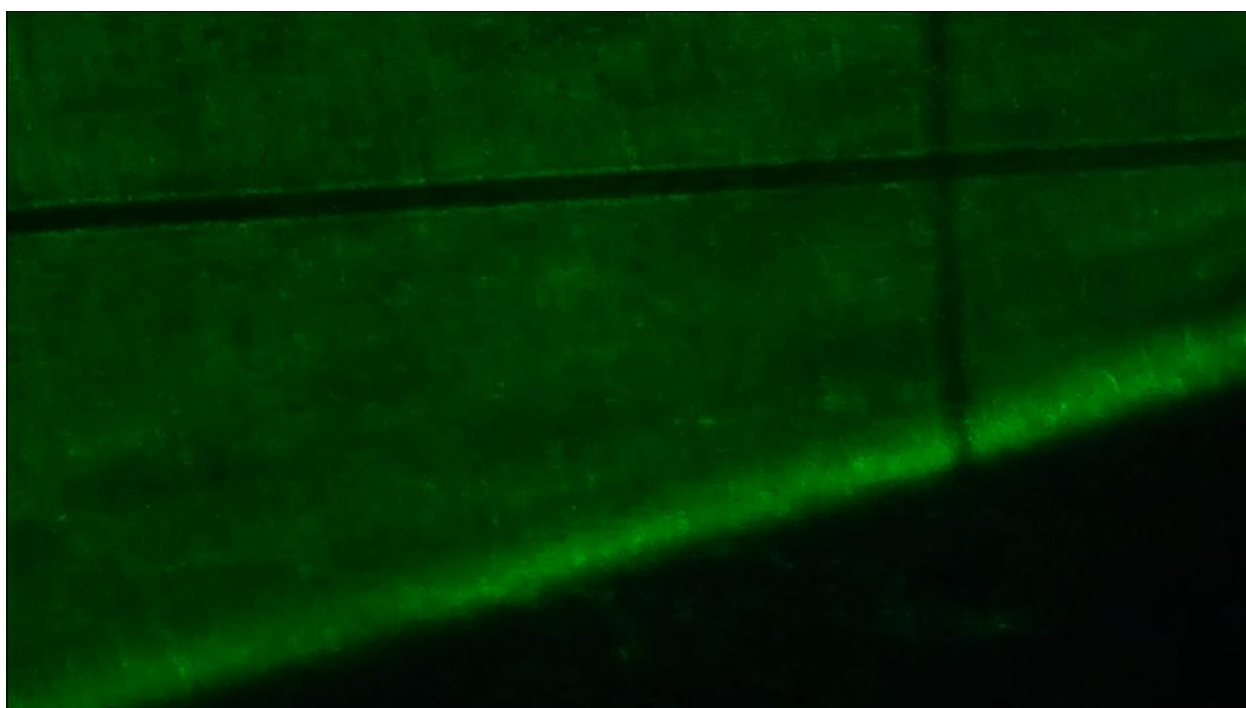


Рис.4



Рис.5

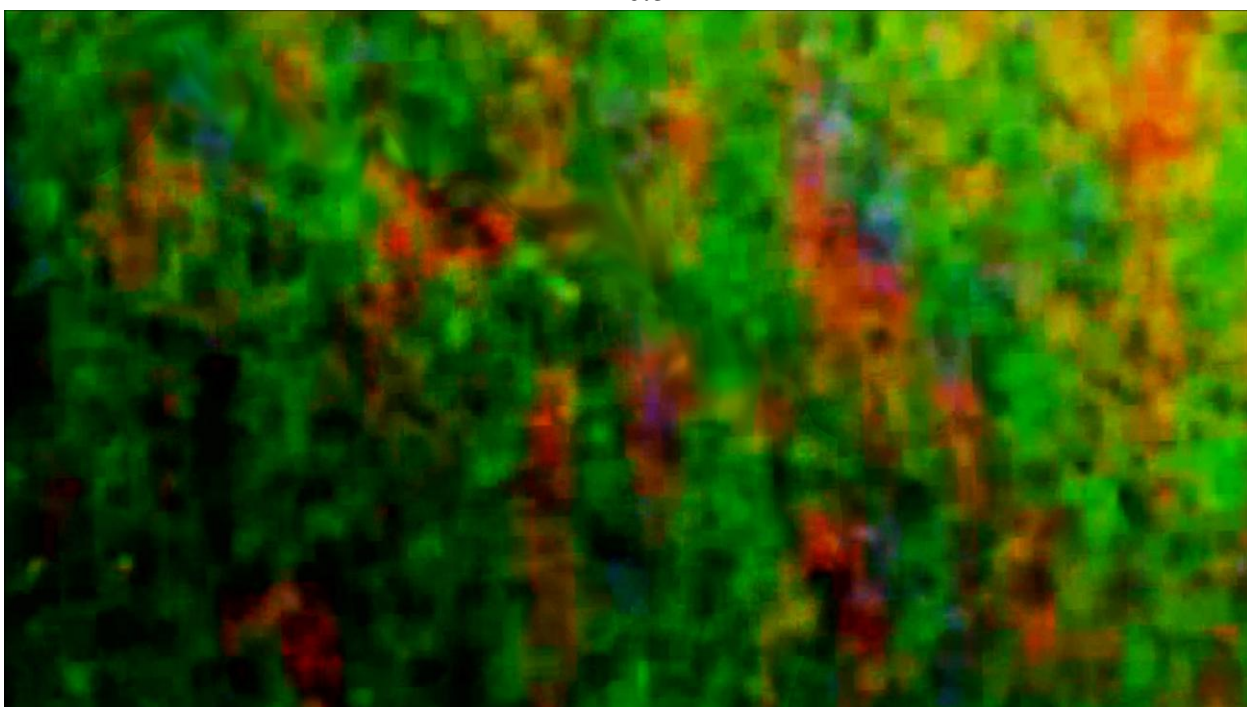


Рис.6

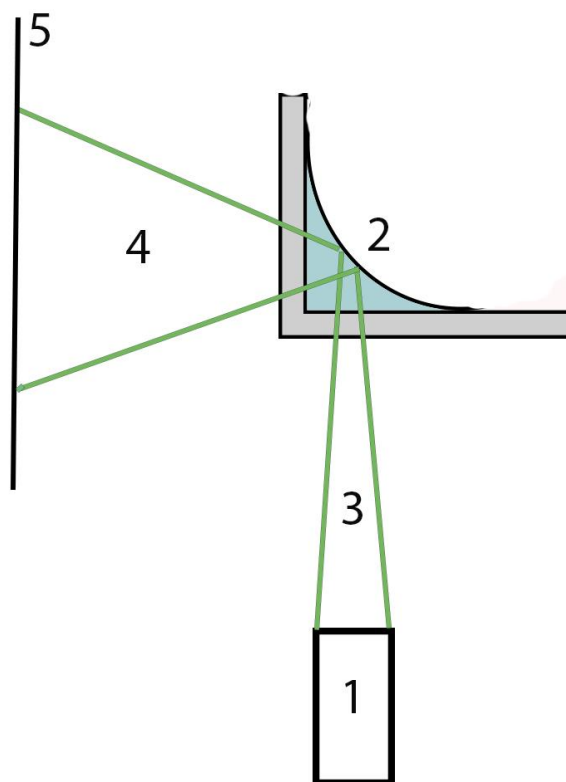


Рис.7

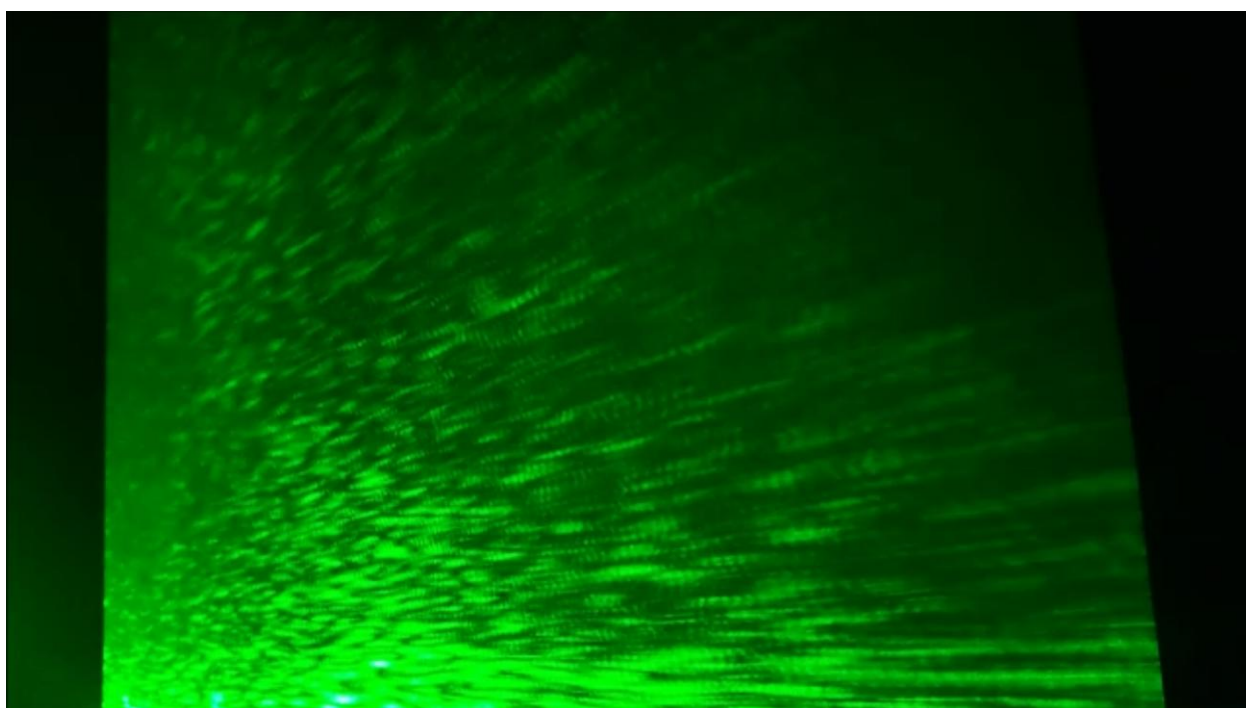


Рис.8

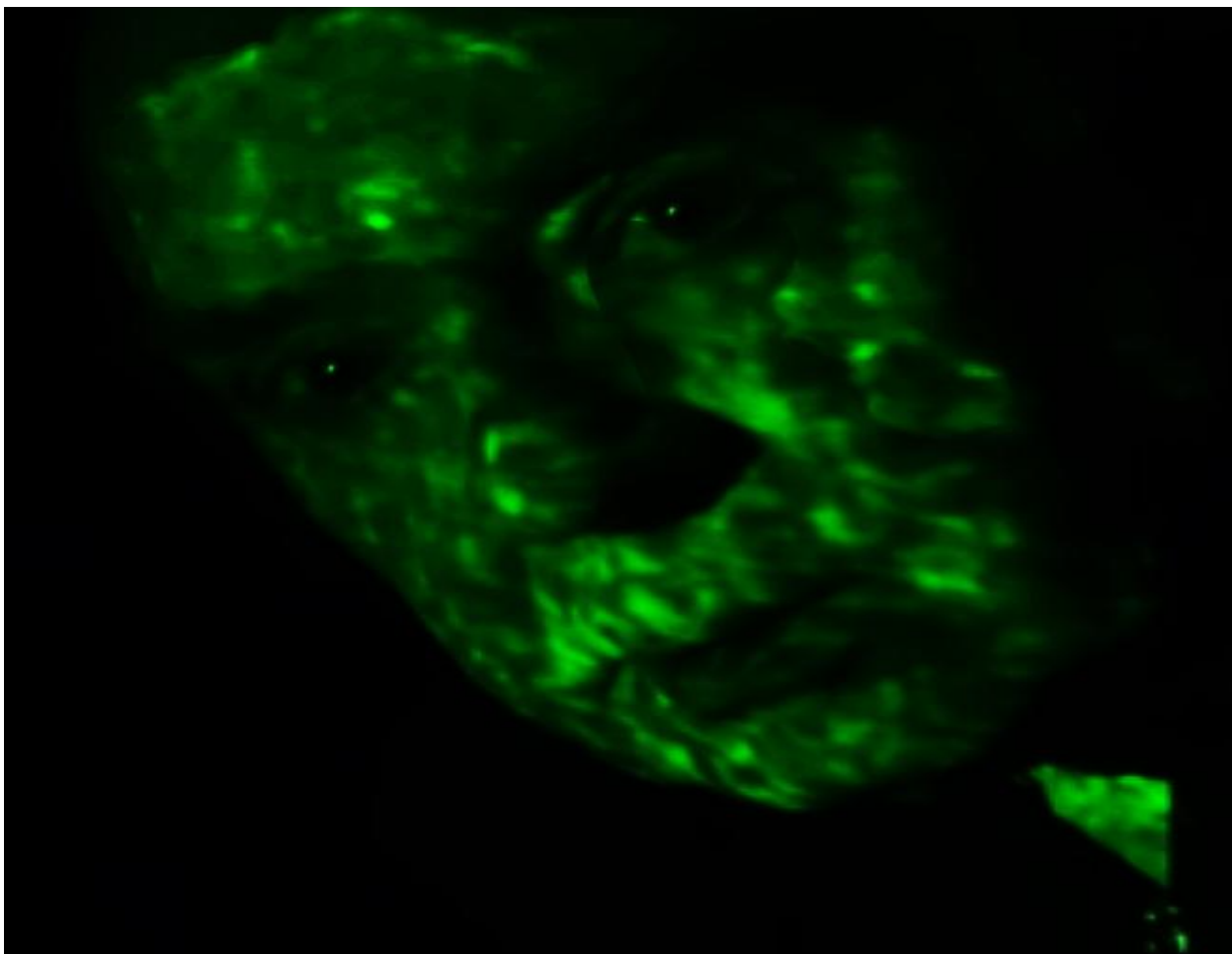


Рис.9