



ОПТИЧЕСКИЕ ОПЫТЫ С МЫЛЬНО-ЖЕЛАТИНОВОЙ ПЛЕНКОЙ

Ю. Стойлов, д.ф.-м.н., ФИАН им. П.Н. Лебедева

Обсуждаются результаты опытов, которые показывают необычные свойства желеобразных мыльно-желатиновых пленок, их прочность, долговечность, их применения для исследований лазерных треков и для других оптических приложений.

Продолжая исследования лазерных пространственных солитонов (треков), создаваемых световым давлением в мыльных пленках [1], мы опробовали пленки разного состава. Помимо простых свободных мыльных пленок в опытах были использованы мыльно-желатиновые пленки с добавкой глицерина с рядом необычных свойства, которые позволили нам замедлить в них движение лазерных треков и впервые прояснить природу их метаний [2]. Весьма полезной для изучения треков оказалась способность таких пленок в закрытых объемах в течение долгого времени (уже год) сохранять свою форму и оптические свойства, не изменяя их, что удобно для перепроверки свойств треков и для исследования влияний на них изменяющихся внешних условий. Было показано, что в такой пленке узкие треки образуются и с широкополосным белым светом. Одиночный трек в мыльно-желатиновой пленке впервые позволил продемонстрировать влияние на него модуляции возбуждающего лазерного света вплоть до рассыпания трека [2]. Эти работы являются продолжением исторических работ П.Н. Лебедева по наглядной демонстрации действия светового давления.

Интересными оказались свойства желатиновых пленок не только в закрытом объеме, но и на воздухе, когда из них испаряется вода. Опыты с такими пленками напрямую не связаны с лазерными треками, но интересны некоторыми другими особенностями. Как известно, обычные мыльные пузыри при испарении из них воды лопаются, а прозрачные радужные пузыри из такой желатиновой пленки после подсыхания не лопаются, а сохраняются в исходном виде неделями (рис.1), т.е. они являются привлекательными объектами, украшениями и игрушками для детей. Причем в отличие от ранее известных и застывающих до жесткого состояния на воздухе

OPTICAL EXPERIMENTS WITH SOAP-GELATIN FILM

Y. Stoilov, Doctor of Science (Physics and Mathematics)

Lebedev Physical Institute

Results of the experiments which show unusual properties of jelly-like soap-gelatin films and their strength, longevity, use for the study of laser tracks and other optical applications are discussed.

In continuing the studies of laser spatial solitons (tracks) generated by the pressure of light in soap films [1], we tested films with various composition. Besides the simple unsupported free soap films, soap-gelatin films with the addition of glycerin having many unusual properties were used in the experiments, which allowed us to decelerate flings of laser tracks in them and clarify the nature of dancing inconstancies in their position [2]. Ability of such films in enclosed volumes to retain their form and optical properties for a long time (for one year already) not changing them turned out to be very useful for the study of tracks and it is very convenient for the repeated check of track properties and analysis of influence of changing environmental conditions on them. It was shown that in such film narrow tracks are formed also with wide-band white light. Single track in the soap-gelatin film for the first time allowed demonstrating the influence of modulation of exciting laser light on it up to the track dispersion [2]. These works are the continuation of historical works of P.N. Lebedev concerning the visual demonstration of the pressure action of light.

Properties of the gelatin films in enclosed volume as well as in air when water evaporates from them turned out to be interesting. Experiments with such films in air not connected with laser tracks directly turned out to be interesting due to some other peculiarities. As it is known, the standard soap bubbles in air usually break, while the transparent rainbow bubbles formed from such gelatin film after drying up do not break but remain in the initial form for weeks (Fig. 1), in other words they become attractive items, decorations and toys for children. As opposed to the known soap polymerized films which set to the solid state in the air and after drying up lose their elasticity, shrink and blow off after 24 hours, gelatin bubbles retain elasticity even without



Рис.1. Гирлянда мыльно-желатиновых пузырей диаметром 3–5 см на ниточке с временем жизни больше недели
Fig. 1. Chain of soap-gelatin bubbles with the diameter of 3–5 cm on the thread and life period of more than one week



Рис.2. Зеркальное отражение от застывшей мыльно-желатиновой пленки диаметром 57 мм разной кривизны
Fig. 2. Specular reflection from the solidified soap-gelatin film with the diameter of 57 mm and various curvatures



мыльных полимеризующихся пленок, которые при высыхании утрачивают упругость, сморщиваются и за сутки сдуваются, желатиновые пузыри и без воды сохраняют эластичность и через сутки могут быть еще заметно раздуты в диаметре. Это показывает, что тонкая желатиновая пленка упруга и мало проницаема для воздуха.

Подсохший материал пленок может быть заново при подогреве растворен в небольшом количестве воды и использован для повторных опытов. Тонкостенность, упругость и простота получения отличает мыльно-желатиновые пузыри от ранее известных толстостенных желатиновых полых шариков, изготавливаемых на надуваемых резиновых шарах трудоемким методом, каким получают папье-маше.

Отмеченная высокая эластичность, несвойственная простому студню из желатина, вызвана добавками к нему глицерина и мыла. В таком растворе возникает новая резиноподобная структура связей длинных молекул желатина и глицерина, уже отмеченная ранее [3]. А добавка выбранного мыла обеспечивает возможность получения из раствора тонких пленок и странную (подробнее обсуждаемую ниже) упругость таких пленок. Наблюдаемое необычное превращение студенистой массы в "тугой и мягкий" материал требует привлечения внимания специалистов в этой области [4].

Обращают на себя внимание и оптические свойства тонкой желатиновой пленки. Поскольку

water and after 24 hours can be still noticeably blown and increase in diameter. It shows that thin gelatin film is elastic and poorly permeable for air.

Dried material of films can be dissolved again in small quantity of water and re-used in experiments. The thinness of walls, elasticity and simplicity of obtainment differentiate the soap-gelatin bubbles from well-known gelatin empty balls with thick walls which are made on the blown rubber balloons using the labor-intensive method of papier-mache.

The distinguished high elasticity, which is not typical for common gelatin-jelly, is caused by the additions of glycerin and soap to it. In such solution a new rubber-like structure with linkage of long molecules of gelatin and glycerin, which was mentioned above, occurs [3]. And addition of a specially selected soap gives opportunity to obtain thin films from the solution and strange elasticity (which will be described below in detail) of such films. Observed unusual transformation of jelly-like mass into the "tight and soft" material deserves attention of specialists in this field [4].

Optical properties of the thin gelatin film draw attention as well. Since the initial and dried soap film have smooth surface, even with its partial reflection it can serve as a mirror, radius, focal distance of which can be changed within wide ranges. The examples of such mirror reflections from the film are shown in Fig. 2. But besides the reflectivity, one more wonderful property of gelatin film was discovered.

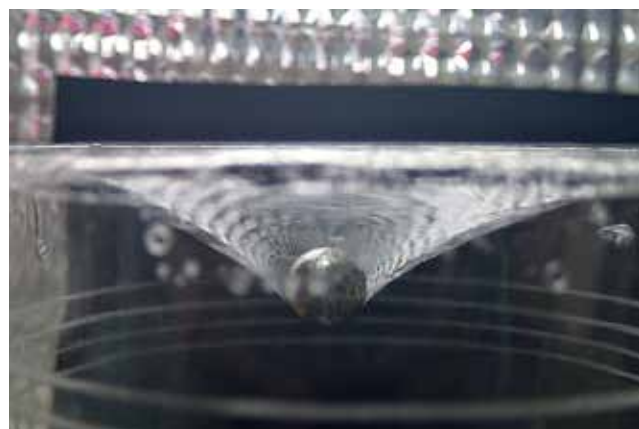
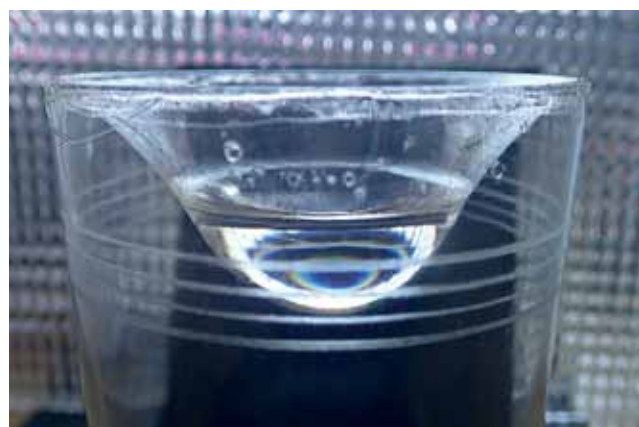


Рис.3. Прогиб подсохшей мыльно-желатиновой пленки диаметром 57 мм под действием налитой на нее жидкости (10 г) и стального шарика диаметром 8 мм
Fig. 3. Inflection of a little bit dried soap-gelatin film with the diameter of 57 mm under weight of poured liquid (10 g) and steel ball with the diameter of 8 mm

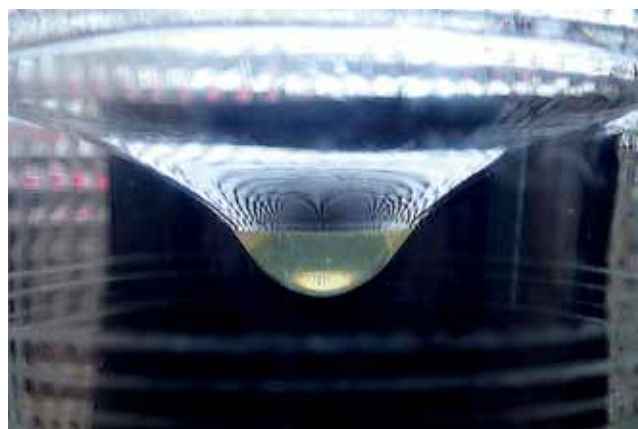
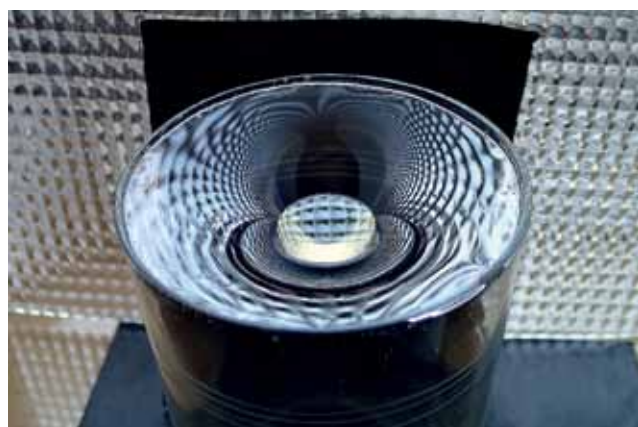


Рис. 4. Прогиб мыльно-желатиновой пленки диаметром 57 мм под действием порции жидкой эпоксиной смолы для получения из нее застывшей оптической линзы
Fig. 4. Inflection of soap-gelatin film with the diameter of 57 mm under weight of the portion of liquid epoxy resin for the obtainment of solidified optical lens

исходная и подсохшая мыльная пленка обладает гладкой поверхностью, то при ее даже частичном отражении она может служить зеркалом, радиус и фокусное расстояние которого можно изменять в широких пределах. Примеры таких зеркальных отражений от пленки показаны на рис.2. Но помимо зеркальности у желатиновой пленки обнаружилось еще одно удивительное свойство.

Толщина пленки, судя по цвету, где-то 5-10 мкм. О странной и, можно сказать, неожиданной прочности такой подсохшей пленки можно судить по нагрузке, которую она выдерживает (рис.3,4). В то время как для обычных водных мыльных пленок допустимая нагрузка определяется их поверхностным натяжением (двух поверхностей) и составляет около 0,07 г/см, желатиновая пленка без разрыва, как видно, выдерживает нагрузку около 1 г/см, которая явно на порядок больше и не может быть обеспечена простым поверхностным

Judging by the color, film thickness is about 5-10 μm . We can judge on strange and, one can say, even unexpected strength of such a little bit dried film by the load it can bear (Fig. 3, 4). While for regular water soap films the permissible load is determined by its surface tension (of two surfaces) and it is about 0.07 g/cm, here, as we can see, gelatin film without break bears the load of about 1 g/cm which is obviously by an order of magnitude higher and cannot be provided by the simple surface tension. It requires the tension inside of the film, as well.

When the load is removed, the deformed film completely restores its initial form in seconds. In essence, the film turns out to be an example of unusual transparent-specular rubber with attractive capabilities of its use for various optical applications.

For example, load on the film can be in the form of liquid which does not interact with the film and while accumulating in the film center turns into liquid lens

натяжением, а требует напряжения и внутри пленки.

При снятии нагрузки прогнутая пленка за секунды полностью восстанавливает свою исходную форму. По существу, пленка оказывается образцом необычной прозрачно-зеркальной резины с привлекательными возможностями ее применения для самых разнообразных оптических приложений.

Например, нагрузка на пленку может быть в виде жидкости, которая не взаимодействует с пленкой и которая, собираясь в центре пленки, превращается в жидкую линзу с переменным фокусным расстоянием (если менять под пленкой давление воздуха) (рис.4). Наливаемая жидкость может быть полимеризующейся, как эпоксидная смола, и после застывания на пленке она без дополнительной обработки превращается в неплохую, и что важно отметить, асферическую прозрачную линзу с оптически гладкими поверхностями и малым фокусным расстоянием (рис.5-7). Специалисты, знакомые с проблемами изготовления асферической оптики, могут оценить такой подарок природы.

Фактически в этих опытах желатиновая пленка как бы на порядок увеличивает поверхностное натяжение наливаемых на нее жидкостей или, иначе говоря, как бы на порядок уменьшает для них земное притяжение, и их капли из-за этого получаются



Рис.5. Полученная на пленке (рис.4) самодельная эпоксидная линза диаметром 16 мм с фокусным расстоянием 5 мм

Fig. 5. Self-made epoxy lens obtained on the film (Fig. 4) with the diameter of 16 mm and focal distance of 5 mm

with variable focal distance (if we change air pressure under the film) Fig. 4. The used poured liquid can be a polymerized one as epoxy resin and after solidification on the film it turns into quite good and, which is important to note, aspheric transparent lens with optically smooth surfaces and small focal distance without any additional

большими. И если из обычных затвердевающих капель жидкостей раньше можно было делать только маленькие линзы (линзы Левенгука около 1 мм), то с пленкой капли становятся на порядок тяжелее и больше по размеру. При этом у них оказывается гладкой не только нижняя, но и верхняя контактирующая с воздухом ровная поверхность, чего у обычных капель не было.

О качестве изготовленной эпоксидной линзы диаметром 16 мм с фокусным расстоянием 5 мм можно судить по рис.5-7. При доработке технологии свойства таких линз, несомненно, могут быть улучшены.

Для приложений представляет интерес еще исследование тепло- и электропроводных свойств, прочности подсохших пленок с возможными добавками [6], а также способности дополнительно обработанных пленок контактировать и прилипать к различным поверхностям. Интересна также возможность получения из тянущегося застывающего мыльно-желатинового раствора длинных тонких нитей и световодов с прочностью паутины.

Теоретики предсказывают, что подобной упругостью и прочностью будут обладать совсем тонкие монослойные графеновые пленки, но до тех пор, пока графеновые пленки таких размеров недоступны, экспериментаторы могут заранее оттачивать свое мастерство с похожими по свойствам образцами мыльно-желатиновых пленок.

Желатиновые пленки, как показано, могут быть использованы как простой способ изготовления асферических линз, не имеющих сферической аберрации и находящихся самое широкое применение [5]. Здесь требуется теоретическая проработка формы застывающих на пленке образцов, но сравнение опубликованной формы типичной асферической линзы [5] и фото застывающей эпоксидной смолы на рис.4 показывает их хорошее совпадение (рис.8).

Обнаружилась важная косвенная связь свойств мыльно-желатиновой пленки с лазерными треками вот в каком плане. Интересно то, что растянутый во времени процесс собирания жидкости в нарастающем прогибе на пленке является в некотором роде наглядной увеличенной моделью механизма образования лазерных треков в тонких пленках. В треках тоже есть прогиб, в котором собирается жидкость из окружающих областей. Поэтому теоретическое рассмотрение динамики сбора жидкости в стационарную форму в центре круглой горизонтальной гибкой мембраны представляет интерес для проработки динамики формирования лазерных треков из-за сходства гидродинамик этих двух процессов. Если на мембране жидкость собирается в центре нарастающего прогиба под действием

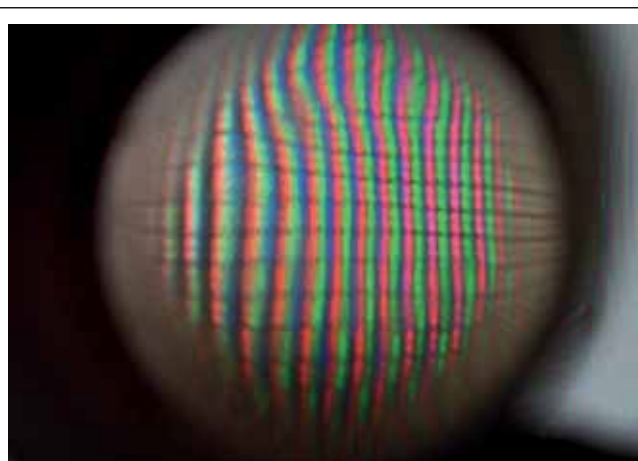


Рис.6. Рассматриваемый через эту самодельную эпоксидную линзу экран компьютера

Fig. 6. Computer screen viewed through this self-made epoxy lens

treatment (Fig. 5-7). Specialists who know the challenges connected with the production of as-pheric optics can duly appreciate such gift of nature.

Practically in these experiments the gelatin film as if increases the surface tension of poured liquids by an order of magnitude or, in other words, as if decreases the earth gravity for them by an order of magnitude, and their drops turn out to be big because of this fact. And when it was possible to obtain only small lenses (Leeuwenhoek's lenses were about 1 mm) from the regular solidified drops of liquids, with the film the drops become heavier by an order of magnitude and larger by size. And for them not only bottom but upper plane surface as well, which contacts with air, is smooth, while regular drops did not have this property.

We can judge about the quality of made epoxy lens with the diameter of 16 mm and focal distance of 5 mm according to Fig. 5-7. Undoubtedly, with the technology modernization the properties of such lenses can be improved.

Thermal and electric conductive properties, strength of dried films with possible additions [6] and ability of additionally treated films to have contact and stick to different surfaces are of interest for the applications. Also, the capability to obtain long thin threads and waveguides with the web strength from extending hardening soap-gelatin solution is interesting.

Theoreticians predict that the thinnest mono-layer graphene films will have similar elasticity and strength but until graphene films of such dimensions are not available, experimenters can perfect their skills with the samples of soap-gelatin films, which have similar properties.



Рис.7. Сфокусированный этой самодельной желтой эпоксидной линзой (диаметром 16 мм с фокусным расстоянием 5 мм) солнечный свет поджигает копировальную бумагу

Fig. 7. The sunlight focused by this self-made yellow epoxy lens (with the diameter of 16 mm and focal distance of 5 mm) sets carbon paper on fire

гравитации и изменяющегося локального давления жидкости, то в области трека жидкость тоже собирается в выпячиваемой области пленки [1], но эта область выгиба создается за счет действия на поверхность пленки изменяющегося в процессе формирования светового давления. Таким образом,

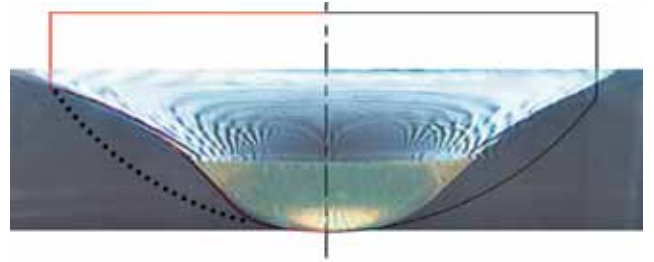


Рис.8. Наложение эпоксидной линзы (рис.4) на профили асферической (слева) и сферической (справа) линз [5]
Fig. 8. Overlapping of epoxy lens from Fig. 4 on the profiles of aspheric (from the left) and spherical (from the right) lenses taken from [5]

As it is shown, gelatin films can be used as the simple way of making aspheric lenses which do not have spherical aberration and find many applications [5]. Theoretical study of the form of samples which solidify on the film is still required here but comparison of the published form of typical aspheric lens [5] and photo of solidifying epoxy resin in Fig. 4 shows their good matching (Fig. 8).

An important indirect connection of the properties of soap-gelatin film with laser tracks is discovered in the following manner. It is interesting that expanded in



наличие решения задачи по трансформации плоской мембраны с небольшим слоем жидкости на ней в стационарную форму с прогибом в центре могло бы быть непосредственно использовано для описания процесса формирования утолщения пленки в области лазерного трека. Так желатиновая пленка может помочь в теоретическом описании формирования треков.

Эти неожиданные свойства раствора и пленки были оформлены в заявке на изобретение [7] с подробным описанием состава раствора, с отмеченными применениями для фундаментальных научных исследований лазерных солитонов в квантовой электронике, с возможными приложениями в оптике и механике, но оценивать перспективу широкого внедрения или практического применения изобретения пока трудно.

Надо ли повторять, что фундаментальная наука не нацелена на сиюминутную выгоду. Она работает на перспективу, и потребность в ней проявится в будущем вместе с ростом потребностей общества. И не вина изобретателей, что общество (точнее, его руководство) не сразу осознает потребность и перспективность предлагаемых новшеств.

За 50 лет работы в ФИАН я неоднократно патентовал новые изобретения, которые так и не нашли широкого применения. Хочу подчеркнуть, что трудности в доходной реализации изобретений не являются свидетельством их бесполезности. Плоды их применений обычно достаются потомкам. Но изобретатели – это люди особой природы, и их такие мелочи не останавливают. Они не могут не изобретать, так они устроены, таков их психотип [2].

Благодарю моих коллег А.В.Старцева, В.И. Ялового и А.П. Широких за помощь в проведении экспериментов с мыльно-желатиновой пленкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Стойлов Ю.Ю.** Фотоника. – Фотоника, 2011, №1, 2.
2. **Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю.** Препринт №2, №12, 2014 – М. ФИАН, 2014.
3. www.papiermache.co.uk/forum/viewtopic.php?id=2849Gelatin-rubber.
4. **Gong J.P.** – Science, April 2014, v. 34411, p.161.
5. www.laserfocusworld.com/whitepapers/2014/05/all-about-aspheric-lenses.html. Все об асферической оптике.
6. www.amazon.com/How-Improve-Rubber-Compounds-Experimental/dp/1569903611 Dick J.S. How to Improve Rubber Compounds. 2014.
7. Заявка на патент № 2014113886 от 08.04.2014. Способ получения мыльных растворов/ Ю.Ю.Стойлов.

time the process of liquid accumulation in the increasing sagging on the film, in some way represents a visually magnified model of the mechanism of laser tracks formation in thin films. Tracks are also organized in inflection in which liquid from the surrounding areas is accumulated. Therefore, the theoretical consideration of the dynamics of liquid accumulation into stationary form in the center of round horizontal elastic membrane is of interest for the description of the dynamics of laser tracks formation due to the similarity of hydrodynamics of these two processes. While the liquid is accumulated on the membrane in the center of expanding inflection under the action of gravitation and varying in time local pressure of liquid, in the track area the liquid is also accumulated in the extruding area of the film [1] but this inflected section is formed at the expense of influence of the pressure of light which is changing in the process of formation. Thus, solution of the task in relation to the transformation of flat membrane with the small quantity of liquid on it could be actually used for the description of the process of formation of film thickening in the area of laser track. In such way, gelatin film can assist in the theoretical description of tracks formation.

These unexpected properties of the solution and film were arranged in the form of invention application [7] with the detailed description of the solution composition, with marked applications for the fundamental scientific studies of laser solitons in quantum electronics, with potential applications in optics and mechanics, but as for now it is difficult to evaluate any prospects of their wide implementation or practical application.

Do it has to be repeated, that fundamental science is not aimed at the immediate benefit. It aims in perspective and its necessity will become apparent in future with the growth of society's needs. And inventors are not guilty that society (more precisely, its leaders) does not realize the need and prospectivity of suggested innovations right away.

For 50 years of work in Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, many times I patented new inventions which have not found wide application. I want to emphasize that difficulties in the economic implementation of inventions do not indicate their uselessness. Fruits of their applications are usually left for descendants. But inventors refer to the group of people with the special nature and such insignificant things do not stop them. They cannot stop inventing because this is the way they are, such is their psychological type. For details see [2, preprint #12]

I thank my colleagues: A.V. Startsev, V.I. Yalovoy and A.P. Shirokikh for the help in carrying out of the experiments with soap-gelatin film.