

## II Международная конференция учащихся «НАУЧНО-ТВОРЧЕСКИЙ ФОРУМ»

### **Создание оптического 3D – изображения методом фиксации когерентного лазерного излучения в эмульсионном слое фотопластинки** (Физика – оптика)

**Выполнила:** Спиридонова Мария Николаевна  
Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение  
«СОШ №1» 11 класс

**Руководитель:** Красавин Эдуард Михайлович  
Педагог – организатор,  
Муниципальное автономное общеобразовательное  
учреждение «Лицей № 97», г. Челябинск.  
Муниципальное общеобразовательное учреждение  
«Средняя общеобразовательная школа №1», г. Верхний Уфалей.  
Руководитель Головного Сетевого Координационного центра  
программы «Шаг в будущее».

**Касауров Юрий Александрович**  
Педагог дополнительного образования  
МБУОДО ЦДОД, г. Верхний Уфалей.

## Содержание

Введение.....	1.
Цель и задачи работы.....	2.
Исторические аспекты получения объемного изображения.....	2.
Основные типы голографического изображения.....	4.
Теоретические основы оптической голографии.....	4.
Разработка и изготовление действующей лазерной системы для записи объёмных голограмм по схеме Ю.Денисюка.....	9.
Алгоритм действий при изготовлении голограммы.....	12.
Оценка разработанного метода создания 3D – изображения.....	13.
Выводы.....	13.
Список литературы и интернет – источников.....	15.
Приложение.....	I-X.

## **Создание оптического 3D – изображения методом фиксации когерентного лазерного излучения в эмульсионном слое фотопластинки**

### **Введение**

На сегодняшний день мир высоких технологий развивается в геометрической прогрессии. То, что ещё вчера казалось фантастикой, сегодня используется в повседневной жизни. Появляется всё больше технологических решений, позволяющих расширить наши представления о реальном мире. Одним из таких решений является голографическое представление видеоинформации. Это направление широко развивается в современной оптике и радиоэлектронике, с целью более правдоподобной передачи изображений. Голограммы позволяют отражать объекты в трёхмерном пространстве даже без применения специальных очков. Данный вид представления информации может быть использован в музеях, на презентациях, деловых мероприятиях и в быту. Такая возможность даёт ощущение полного взаимодействия с объектом, приближая ситуацию к реальной жизни. Уже в настоящее время голограмма имеет широкое применение в науке, технике и искусстве. Голограммы можно увидеть на упаковках продуктов питания, журналах, на кредитных картах, удостоверениях. В данном случае они служат для защиты от подделки. Однако, потенциал голограммы на этом не исчерпан, он очень велик. Область применения голограммы гораздо шире, чем мы это представляем, например, в медицине, науке, образовании, маркетинге, строительстве. В ближайшем будущем мы сможем совершать «голографические звонки» и видеть собеседника в 3D проекции, наблюдать его мимику, жесты и эмоции в режиме настоящего времени. На лекции в образовательные учреждения можно будет пригласить любого профессора из любой точки земного шара фактически без его физического перемещения. А в медицине, метод голографической визуализации, позволит проводить сложнейшие высококласные операции, позволяя более полно оценить повреждения органов при этом, сократив непосредственное вмешательство в организм и травмирование неповреждённых тканей. Голография — это еще и фундаментальный метод работы с информацией, при помощи которого можно записывать, передавать,

воспроизводить многомерные массивы данных. Учитывая всё вышесказанное, можно сделать вывод о высокой актуальности вопроса создания голографического изображения. Голограмма – обширное поле для создания и внедрения инноваций. Исследование данной темы позволит лучше понять область практического применения голограммы, а полноценно оценить её возможности, позволит изучение принципов и технологии создания самой голограммы.

### **Цель и задачи работы**

Целью данной работы является - изучение и разработка методов создания оптического 3D – изображения методом фиксации когерентного лазерного излучения в эмульсионном слое фотопластинки в условиях школьной лаборатории.

Исходя из поставленной цели, в работе были определены следующие задачи:

- изучить литературные и интернет источники по теоретическим вопросам создания оптической голограммы и методам реализации 3D – изображения;
- из существующих методов создания голограммы, выбрать возможные варианты создания голографического изображения, которые возможно реализовать в рамках лабораторных исследований;
- разработать возможные варианты реализации метода фиксации когерентного лазерного излучения в эмульсионном слое фотопластинки;
- изготовить аппаратную платформу для получения оптического 3D-изображения;
- провести исследования по возможностям разработанной аппаратной платформы в реализации методики создания оптической голограммы.

### **Исторические аспекты получения объемного изображения [1]**

Первым, кто открыл метод получения объёмного изображения и дал название этому явлению – голография, был венгерский физик Дениш Габор (Приложение лист I, рис. 1). В 1947, исследуя законы построения изображений в оптике, он впервые разработал методику получения голографического

изображения. Первые голограммы были получены им при помощи ртутной лампы, из спектра излучения которой использовалась очень узкая полоса излучаемых частот. Диаметр, излучаемого светового потока составлял 1–2 микрона, а время экспозиции фотопластинки – несколько часов. Между источником света и фотопластинкой помещался либо прозрачный объект, либо предмет небольшого размера, так что излучение источника выполняло одновременно функции и предметного, и опорного излучения. Поэтому при восстановлении голограммы возникали сразу два изображения на одной линии, которые создавали взаимные помехи при регистрации. Все это делало невозможным практическое применение голографии, и о ней надолго забыли. После открытия мощного источника когерентного света – лазера появились новые перспективы получения голографического изображения. В 1962 американские оптики и радиофизики Эммет Лейт и Дж. Юрис Упатниекс (Приложение лист I, рис. 2) усовершенствовали схему Габора, разделив предметный и опорный пучки излучения, которые стали теперь пересекаться непосредственно перед фотопластинкой. Это позволило, во-первых, голографировать непрозрачные предметы сложной формы, а во-вторых, разнести восстановленные изображения в пространстве. Схема Лейта – Упатниекса стала основой современных голографических установок. В это же время, опыты с голографическими методами записи изображения проводил российский физик Юрий Николаевич Денисюк (Приложение лист I, рис. 3). Он создал принципиально новый способ записи голограмм в толстом слое фотографической эмульсии. Предметный и опорный пучки когерентного излучения приходят к пластинке с разных сторон и интерферируют. В объеме ее эмульсионного слоя на разной высоте в областях максимумов интерференции возникают микроскопические пятна почернения. Падающий на проявленную голограмму свет отражается от них и, интерферируя, формирует восстановленное изображение предмета. В своей работе Ю. Денисюк опирался на способ получения цветных фотографических изображений, разработанный французским физиком Габриэлем Липпманом в 1891.

## **Основные типы голографического изображения [2]**

Современная голограмма — это трехмерная проекция объемного изображения конкретного предмета. Первый тип — это оптические, записанные на какой-либо среде, голограммы. Структура подобных голограмм зависит от способа формирования предметной и опорной волн и от способа записи интерференционной картины. Предмет освещается пучком когерентного света, рассеянная им световая волна, несущая информацию о предмете, падает на фотопластинку, освещаемую опорным пучком. В зависимости от взаимного расположения предмета и пластинки, а также от наличия оптических элементов между ними, связь между амплитудно-фазовыми распределениями предметной волны в плоскостях голограммы и предмета различна. Среди оптических голограмм различают по способу записи (Приложение лист II, рис. 4 - 5):

Плоские пропускающие голограммы.

Объемные голограммы.

Фазовые голограммы.

Второй, широко распространённый тип, это проекционные голограммы (Приложение лист II, рис. 6). Это голографические проекционные модели и 3D-пирамиды. Современные модели проекторов способны создавать огромное число 3D-эффектов. Среди них голографические видеопроекции, создаваемые благодаря использованию прозрачных пленок. Проекционный видеопоток, проходя через них, создает изображение, буквально «парящее» в воздухе. Возможности голографических проекторов по мере развития современных технологий постоянно расширяются, а качество изображений улучшается.

## **Теоретические основы оптической голографии [3-6]**

Основной поток информации, который воспринимается нашим организмом, поступает через зрительные рецепторы. Наше зрение, ни что иное как обработка внешнего светового излучения, которое поступает в сетчатку глаза в качестве электромагнитных волн. Зависимость от координаты  $x$  и времени  $t$ ,

напряженности электрического (магнитного) поля  $E$ , в идеализированной электромагнитной волне описывается простым гармоническим законом (Приложение лист III, рис. 7):

$$E = E_0 \cos (\omega t - Kx - \varphi_0) \quad (1),$$

где,  $E_0$  - амплитуда электрического поля,  $\omega$  - циклическая частота, связанная с обычной частотой  $\nu$ , выраженной в герцах, соотношением:

$$\omega = 2\pi\nu \quad (2).$$

Волновой вектор ( $K$ ) выражается через длину волны ( $\lambda$ ):

$$K=2\pi/\lambda \quad (3),$$

Частота -  $\nu$ , длина волны -  $\lambda$  и скорость света –  $C$ , связаны соотношением:

$$\lambda=C/\nu.$$

Величина, стоящая в круглых скобках в выражении (1), называется фазой волны, а  $(\varphi_0)$  - начальная фаза, которая определяется выбором начала отсчета времени. Амплитуда электрического поля ( $E_0$ ) определяет яркость (освещенность) рассматриваемого предмета. При этом:

$$(E_0)^2 \approx I \quad (4),$$

где  $I$  - интенсивность света, обозначающая мощность светового излучения, проходящего через единицу поверхности. Таким образом,  $(E_0)$  является первым параметром, который несет информацию о предмете. Вторым параметром электромагнитной волны, несущим информацию о предмете, является частота (цвет). Волна с определенным значением  $\omega=\omega_0$  называется монохроматичной (одноцветной). Введенное соотношением (1) понятие электромагнитной волны означает следующее. Напряженность электрического поля зависит только от одной пространственной координаты  $x$ . Во всех точках плоскости, перпендикулярной оси  $x$ , значение  $E$  одинаково. Это, по своей сути, плоская электромагнитная волна. Оптическая система глаза фокусирует излучение плоской волны в виде точки на сетчатке глаза. Таким образом, все точки предмета отображаются в виде точек на сетчатке глаза, что и дает его плоское изображение. В реальной (неидеализированной) ситуации напряженность электрического поля зависит не только от  $X$ , но и от других пространственных координат  $Y$  и  $Z$  достаточно сложным образом. Эта

зависимость определяется распределением излучающих свет источников. Кроме того, набор частот реальных источников света не ограничен одним значением, а захватывает некоторый частотный диапазон (немонохроматичность). Однако, в большинстве реально встречающихся ситуаций, для оптического излучения справедлив принцип суперпозиции, что позволяет разложить любые волновые поля на бесконечную сумму плоских монохроматических волн вида (1). Таким образом, принцип суперпозиции позволяет рассматривать отдельно любую из плоских монохроматических компонент в отдельности, а общее волновое поле получать путем сложения плоских волн. Исходя из выше сказанного, глазом воспринимаются только три параметра: интенсивность ( $E$ ), цвет ( $\nu$ ), направление распространения электромагнитной волны. Та часть информации, которая связана с волновым вектором ( $Kx$ ) в (1), глазом не воспринимается. Поскольку в произведение входит координата  $x$ , то есть расстояние от точки предмета до глаза, то мы не можем воспринять разницу расстояний до двух разных точек предмета. Конечно, это относится только к двум точкам, которые удалены от глаза на не слишком большое расстояние. Кроме того, у нас есть два глаза и изображение предмета в каждом получается хоть и плоским, но воспринятым разнесенными в пространстве глазами. Это дает ощущение объемности предмета (стереоэффект). Физиологически - ощущение объемности скорее проявление аналитической способности нашего мозга, чем способности воспринять объем глазом как оптическим инструментом. Наше зрение не способно фиксировать фазу, в которой заключена огромная часть информации об объеме предмета. По-видимому, это целесообразно. Ведь длины волн видимого диапазона лежат в пределах от 0,4 до 0,7 мкм. Это означает, что любой фазочувствительный метод позволял бы различать расстояния с той же точностью. Такая точность абсолютно не нужна для нормальной жизнедеятельности. Однако, если зафиксировать фазовые (интерференционные) изменения электромагнитной волны, мы можем получить объёмное изображение предмета. Принцип голографической записи изображений заключается в том, что картина интерференции стоячих световых волн высокой когерентности двух



источников может быть записана на фоточувствительной эмульсии. Дифракция световых волн одного из этих источников, на структуре, зафиксированной в проявленной эмульсии, восстанавливает волновой фронт второго источника. Другими словами, дифракция и интерференция инвариантны. Световая (электромагнитная) волна, прошедшая сквозь прозрачную фотоэмульсию фиксирующего материала, отражается от некоторой точки объекта и направляется в обратном направлении. В результате наложения двух потоков волн возникает стоячая волна. Там, где расположены неподвижные узлы, возникшей стоячей волны, будут всегда затемнённые участки, а там, где происходят амплитудные колебания, светлые. Во всём слое воспринимающей эмульсии, эта интерференционная картина будет неподвижной (Приложение лист III, рис. 8). Доказательством этого служит простой пример (Приложение лист III, рис. 9). Предметная волна (1), распространяется под углом  $Q'$  к перпендикуляру, восстановленному к плоскости А. Опорная волна (2) - распространяется перпендикулярно этой поверхности. В результате интерференции этих волн на плоскости будет наблюдаться интерференционная картина, представляющая собой чередование равностоящих друг от друга параллельных полос с максимальной и минимальной интенсивностью. Расстояние между максимумами (минимумами), определяется разностью хода между участками волнового фронта в предметной и опорной волнах. Если ввести в плоскости (А) ось (у) разность хода между максимумами  $\Delta$  в точке плоскости (А) с координатой ( $y_1$ ):  $\Delta = y_1 \sin Q'$ .

Максимум интенсивности интерференционной картины в плоскости (А) соответствует значениям  $\Delta = 0 \pm n\lambda$

где  $n$  - целое число. Расстояние  $d$  между максимумами:

$$d = y_n - y_{n-1} = \frac{\lambda}{\sin Q}$$

При засветке фотопластинки (в плоскости (А)) мы получим изображение интерференционных равностоящих полос с большим пропусканием света в

минимумах картины и меньшим в максимумах. Полученный фотоснимок представляет собой дифракционную решетку с периодом  $d$ . Если осветить эту решётку опорным излучением (2) мы восстановим предметную волну (1). Практически, подобный пример, можно осуществить по двум известным схемам с использованием когерентного лазерного излучения. Первая схема Лейта - Упатниекса (Приложение лист IV, рис. 10). В этой схеме луч лазера делится полупрозрачным зеркалом на два излучения. Полученные лучи с помощью линз расширяются и с помощью зеркал направляются на объект и регистрирующую среду (например, фотопластинку). Обе волны (предметная и опорная) падают на пластинку, с одной стороны. При такой схеме записи формируется пропускающая голограмма, требующая для своего восстановления источника света с той же длиной волны, на которой производилась запись. Вторая схема записи советского физика Юрия Денисюка (Приложение лист IV, рис. 11). В этой схеме луч лазера расширяется линзой и направляется зеркалом на фотопластинку. Часть луча, прошедшая через неё, освещает объект. Отраженный от объекта свет формирует предметную волну. В результате реализации такой схемы, предметная и опорная волны падают на пластинку с разных сторон. В этой схеме записывается отражающая голограмма, которая самостоятельно вырезает из сплошного спектра узкий участок (участки) и отражает только его. Благодаря этому изображение голограммы видно при обычном освещении. Изначально голограмма вырезает ту длину волны, на которой её записывали (однако в процессе обработки и при хранении голограммы эмульсия может менять свою толщину, при этом меняется и длина волны), что позволяет записать на одну пластинку три голограммы одного объекта красным, зелёным и синим лазерами, получив в итоге одну цветную голограмму, которую практически невозможно отличить от самого объекта. Голография крайне требовательна к разрешающей способности фотоматериалов. Расстояние между двумя максимумами интерференционной картины того же порядка, что и длина волны излучения лазера, это величина порядка 0.0005 мм. Чтобы получить чёткое изображение картины интерференции, требуются

регистрирующие среды с разрешающей способностью до 6000 линий на миллиметр (Приложение лист V, таблица 1).

### **Разработка и изготовление действующей лазерной системы для записи объёмных голограмм по схеме Ю. Денисюка [7-13]**

При разработке и изготовлении установки учитывался ряд значимых критериев, которые в полной мере отвечают за работу устройства. Прежде всего, это высокая жёсткость конструкции рамы и противовибрационные элементы в основании конструкции. Вторым условием являлась высокая стабильность настройки оптических элементов. Третье условие, это использование достаточно мощных лазерных излучателей с элементами управления и автоматики экспозиции. Конструкция рамы представляет собой основание из толстого органического стекла, обрамлённого алюминиевым профилем. На основании закреплены регулируемые по высоте опоры с противовибрационными вставками. Конструкция крепления рамки с фотопластинкой изготовлена из шпилек и предусматривает перемещение рамки по высоте. Вертикальное расположение рамки обеспечивается опорными уголками, закреплёнными на основании конструкции. Рамки изготавливаются индивидуально под размер записываемого фотоматериала. Общий вид конструкции основания установки представлен в приложении (Лист V, рис. 12). По краям основания установлены вертикальные стойки для закрепления лазерного блока и большого отражающего зеркала. Конструкция стоек предусматривает жёсткую связь между собой с помощью регулируемых стяжек (Приложение лист VI, рис. 13). Самым ответственным элементом установки, является блок лазерных излучателей. В блоке установлены два лазерных излучателя с длиной волны; красный – 650 нм. (15 мВт), зелёный – 532 нм. (15 мВт). Лазерные излучатели установлены на теплоотводящих радиаторах и стабилизированы по питанию. Помимо этого, в блоке предусмотрено наличие принудительного охлаждения с помощью

вентилятора. Все эти условия необходимы для обеспечения стабильных частотных характеристик лазеров, поскольку они значительно зависят от температурных режимов работы. Излучение лазера линейно поляризовано. При их монтаже очень важно соблюдать вертикальную ориентацию плоскости поляризации. Проверить это можно, или с помощью поляризационного фильтра, используемого в фотографии, или с помощью простой стеклянной пластинки, наблюдая эффект Брюстера. Если плоскость поляризации луча совпадает с плоскостью падения, то при углах падения около 57 градусов на стеклянную пластину, он практически не будет отражаться от ее передней поверхности. Для расширения луча нежелательно применение линз из-за загрязнения их поверхности и появления «шумов» (Приложение лист VI, рис. 14). Лучший вариант применение «пинхола» (Приложение лист VI, рис. 15). Принцип работы устройства, название которого произошло от английских слов «игольное отверстие» очень прост. Луч лазера фокусируется «загрязненной» пылинками линзой в очень маленькую точку. Если луч в зоне фокуса линзы пропустить сквозь игольное отверстие диаметром 0.07 миллиметра, то все рассеянные на пылинках лучи задержатся диафрагмой, а основной и очищенный от шумов поток беспрепятственно пройдет сквозь игольное отверстие. Конструкция применённых лазерных излучателей представлена в приложении (Лист VI, рис. 16). Блок излучателей выполнен из алюминия. В блоке расположены излучатели, схема стабилизации питания, принудительное охлаждение с помощью вентилятора и схема экспозиционного таймера с органами управления (Приложение лист VII, рис. 17). Конструкционные особенности блока позволяют переключать лазерные излучатели в зависимости от фоточувствительного материала, автоматически устанавливать время экспозиции от 1 сек. до 14 минут, принудительно завершать процесс экспозиции кнопкой «стоп». Расширенный и очищенный от «шумов», луч лазера направляется на большое отражающее зеркало. Конструкция зеркала предусматривает регулировку угла отражения в двух плоскостях, горизонтальной, и вертикальной (Приложение лист VIII, рис. 18). Помимо этого, форма отражающей поверхности зеркала с одной стороны

плоская, а с другой вогнутая, что обеспечивает лучшую фокусировку луча при перестановке рамки в вертикальное положение. Рамка для закрепления фоточувствительного материала, изготавливается под определённый размер пластинки. В конструкции рамки предусмотрены фиксаторы пластинки, что необходимо при вертикальном положении рамки. Горизонтальные крепления предусматривают экспозиционирование относительно плоских предметов, вертикальное – более крупных и объёмных (Приложение лист VIII, рис. 19). Для получения качественной голограммы необходима настройка лазеров по пороговому току накачки. По мере увеличения тока накачки свечение области p-n-перехода; становится более равномерным по интенсивности, но пространственная когерентность при этом ухудшается. Необходимость точной настройки порогового тока связана с нахождением компромисса между когерентностью излучения и обеспечением однородного характера уширения линий излучения в полупроводнике, что обеспечивает одномодовый характер излучения. Одномодовый режим удастся сохранить только вблизи порогового тока накачки. При отсутствии интерферометра. Фабри-Перо, при настройке лазеров, можно воспользоваться обычным диском для записи информации. Помещаем его на рабочий стол установки и при включённом лазере получаем картину отражения на потолке. Плавно поворачивая регулятор тока накачки лазера в драйвере, получаем чёткую интерференционную отражённую картину полосок диска на потолке (Приложение лист IX, рис. 20). Наличие резких полосок говорит об относительно одномодовом режиме работы лазерного диода. Именно в этом режиме можно снимать голограмму. В других режимах голограмма либо не получится, либо будет не яркой с «бегающими» полосками. Необходимо прогреть лазерный диод в течение 10 минут, наблюдая при этом за картиной отражения. Возможна ситуация, что спустя около минуты работы, картинка изменится. Лазерный диод нагревается и переходит в другие режимы. Нужно прогреть лазерный диод и добиться режима, когда он, в течении нескольких минут, не меняет режима работы (картинка на потолке не изменяется, видно чередование чётких и резких красных и чёрных полосок). Измерение освещённости фотопластинки перед

записью голограммы является обязательной операцией, поскольку без этого невозможно получить качественную голограмму. Наиболее простым вариантом является применение фотодиода, с помощью которого можно замерить параметры освещённости. В нашей установке применена комплексная схема ОРТ101 (фотодиод с встроенным операционным усилителем) (Приложение лист X, рис. 21-22). В качестве измерительного прибора можно использовать обычный мультиметр или измерительную головку электронного вольтметра. В измерительной головке необходимо создать специальный делитель  $9,9\text{Мом}/1\text{Мом}$ . Изготовленный прибор необходимо откалибровать каким - либо промышленным измерителем фоточувствительности, например: измерителем оптической мощности НЮКІ 3664 или, что применялось нами, люксметром Ю – 116 (Приложение лист X, рис. 23). В результате калибровки получили пересчетный коэффициент К равный 4, на который нужно умножить показания вольтметра, чтобы сразу получить значение освещенности в мкВт/кв. см. Таким образом были определены откалиброванные значения для зелёного и красного лазеров 47 и 65 мкВт/кв. см. Стандартная чувствительность фотопластинок указана на упаковке, например 800 мкДж/кв. см. Вычислить время экспозиции можно по формуле:

$T = \text{Стандартная чувствительность фотопластинки} / K \text{ Показание измерителя}$   
 Фоточувствительные материалы, применяемые для получения голографического изображения (Приложение лист X, рис. 24).

### **Алгоритм действий при изготовлении голограммы**

**1.**Извлекаем фотопластинку из коробки (действие проводим в темноте при работе соответствующего светофильтра). Пластинку нужно брать за торцы и укладывать в рамку установки желатиновым слоем к фигуре, голограмму которой нужно получить.

**2.**Закрываем рамку с фотопластинкой коробкой (картонная, обклеенная чёрной бумагой), включаем нужный лазерный излучатель на постоянный режим, даём ему прогреться и проверяем интерференционную картину с помощью диска.

3. Определяем время экспозиции, или если оно определено заранее устанавливаем время таймера экспозиции.

4. Выключаем лазерный излучатель, убираем коробку и включаем его с установленным таймером экспозиции (действие нужно проводить очень быстро, не нарушая режима нагрева лазерного диода).

5. Достаём пластинку из рамки и под острым углом желатиновым слоем вверх погружаем в проявитель на 6-10 минут.

6. Аналогично на 10 минут погружаем голограмму в закрепитель (после этого этапа остальные действия можно проводить при включенном свете).

7. Промываем голограмму в мыльном растворе и ставим её вертикально на просушку (6-10 часов).

Желатиновый слой голограммы очень чувствительный к механическим повреждениям, поэтому готовую голограмму, лучше всего поместить в рамку под стекло.

### **Оценка разработанного метода создания 3D - изображения**

Среди методов создания 3D – истинное художественное значение имеют методы оптической голографии. С их помощью можно создавать художественные реалистические копии объектов высокого качества. Фиксация этих объектов позволяет использовать их в музейных экспозициях, оформлении интерьеров, выставок. Освоенные методы получения оптического голографического изображения позволяют получить голограммы двух цветов: красного и зелёного (в зависимости от применяемого лазера и фотоматериалов). В дальнейшем предполагается проведение экспериментальных работ по получению многоцветных голограмм. Определённые сложности, в данном случае, возникают в связи с подбором и стоимостью фоточувствительного материала.

### **Выводы**

В результате проделанной работы можно сделать следующие выводы:

- изучены теоретические вопросы создания оптического голографического изображения, особенностям лазерной голографии, физическим основам

распространения лазерного излучения в фотослое фотографической пластинки;

- освоены основные понятия отражения лазерного излучения, интерференция, поляризация светового излучения. Изучены основные методы реализации оптической голограммы;

- на основании изученных методов, выбран вариант реализации схемы голографической установки по методу Денисюка;

- разработан и реализован вариант оптической голографической установки с возможностью записи голограмм двумя спектральными лазерными излучениями в горизонтальной и вертикальной плоскостях на различных фотоматериалах;

- изготовленная аппаратная часть проекта позволяет с успехом производить запись оптической голограммы.

Выбранный метод создания 3D – изображения, позволяет получить качественную голографическую картину и может широко использоваться в различных аспектах художественной деятельности, научных исследованиях и коммерческих целях.



### Список литературы и интернет - источников

---

1. <https://weekend.rambler.ru/other/39661942-что-такое-голограмма-и-где-она-используется/>- Что такое голограмма и где она используется.
2. А.Р. Насыров, Принципы голографии - реферат, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, 2004 г.
3. С.Н. Корешев, Основы голографии и голограммной оптики, Санкт-петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт- Петербург, 2009 г.
4. С.Б. Одинокоев– главный редактор, Мир голографии, Научно-технический и маркетинговый электронный журнал, «Микро и наноголографические системы», Том 1, №2, Август-декабрь, 2013 г.
5. В.В. Слабко, Принципы голографии, Соросовский образовательный журнал раздел «Физика», №7, 1997 г.
6. <http://lasers.org.ru/2009/02/05/голография-часть-1/>,  
<http://lasers.org.ru/2009/02/06/голография-часть-2/> - Голография части 1 и 2.
7. А. Акилов, Конструкция любительской голографической установки, <http://www.media-security.ru/akilov/construction.htm>, 08/12/2003 г.
8. А. Акилов, «Делаем голограммы сами», <http://www.media-security.ru/akilov/Handmade%20holo.htm>, 06/12/2003 г.
9. С.П. Воробьев, Запись голограмм лазерной указкой, <http://www.holography.ru/files/holpt.htm>.
10. А. Дикий, Заметки начинающего голографиста, <http://www.holography.ru/files/holamat.htm>.
11. В.В. Войтенко, Запись голограмм лазером из DVD: тернистый путь, <http://www.holography.ru/files/hdvd.htm>.

12. С.П. Воробьев, Самодельный измеритель освещенности фотопластинки, <http://www.holography.ru/files/hollum.htm>.

13. С.П. Воробьев, Использование интерферометра Майкельсона для определения механической стабильности голографической схемы и измерения длины когерентности лазера, <http://www.holography.ru/files/holmich.htm>.

## Приложение

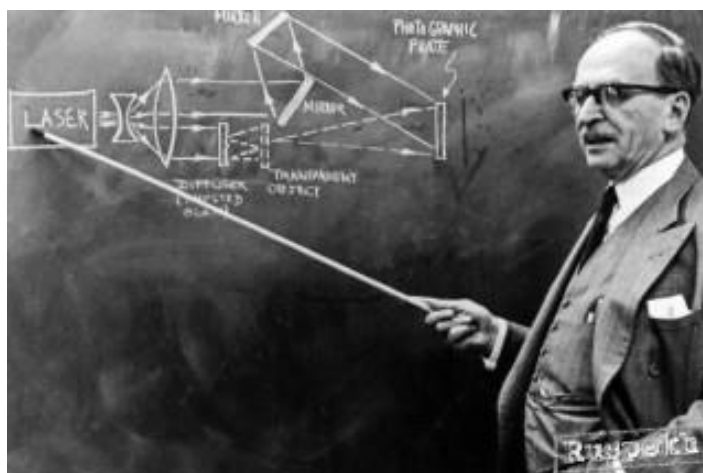
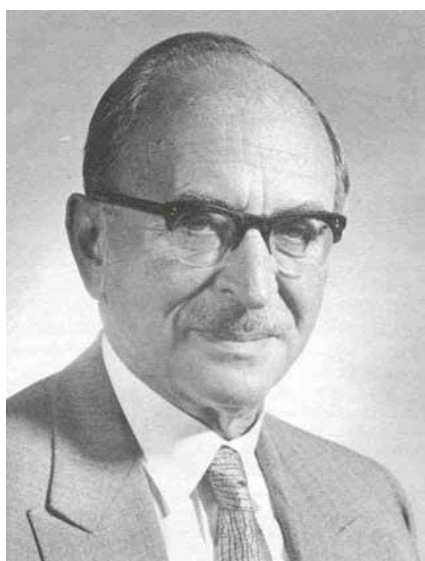


Рис. 1. Денеш Габор — венгерский физик, лауреат Нобелевской премии по физике в 1971 году «за изобретение и развитие голографического метода».



Э. Лейт



Ю. Упатниекс

В 1962 американские оптики и радиофизики **Эммет Лейт** и **Дж. Юрис Упатниекс** усовершенствовали схему Габора, разделив предметный и опорный пучки, которые стали теперь пересекаться непосредственно перед фотопластинкой. Это позволило, во-первых, голографировать непрозрачные предметы сложной формы, а во-вторых, разнести восстановленные изображения в пространстве.

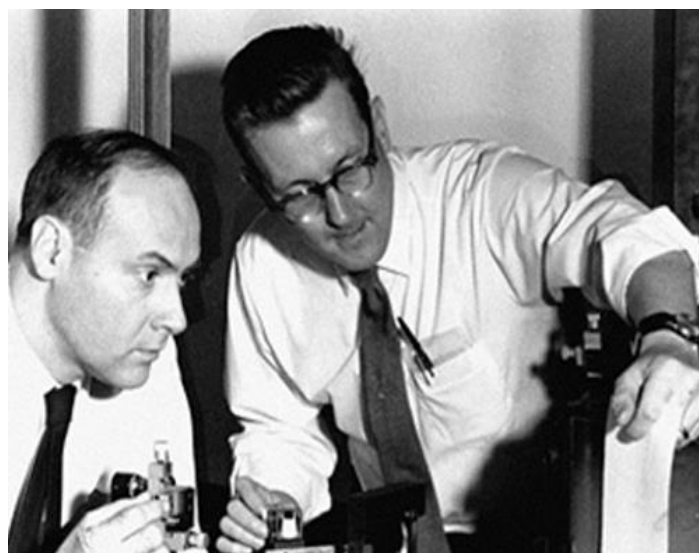


Рис.2. Американские оптики и радиофизики Эммет Лейт и Дж. Юрис Упатниекс.

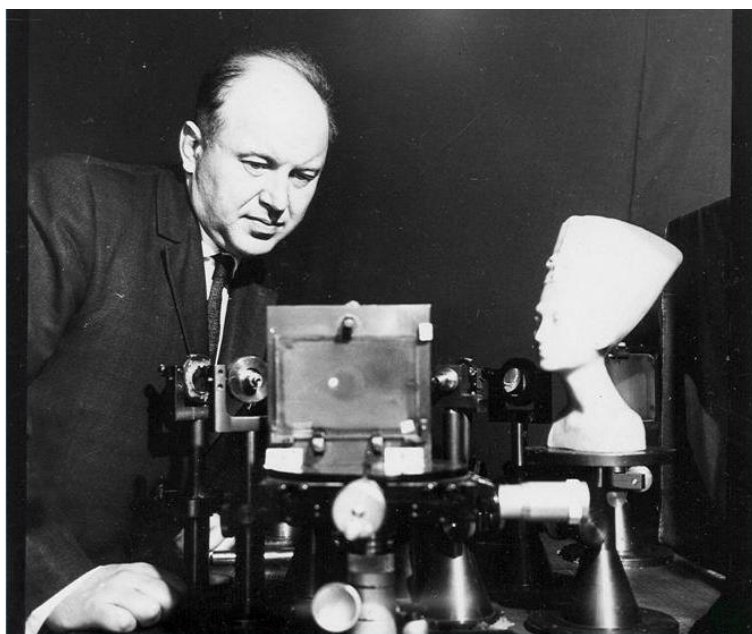


Рис.3. Юрий Николаевич Денисюк — советский физик, один из основоположников оптической голографии.

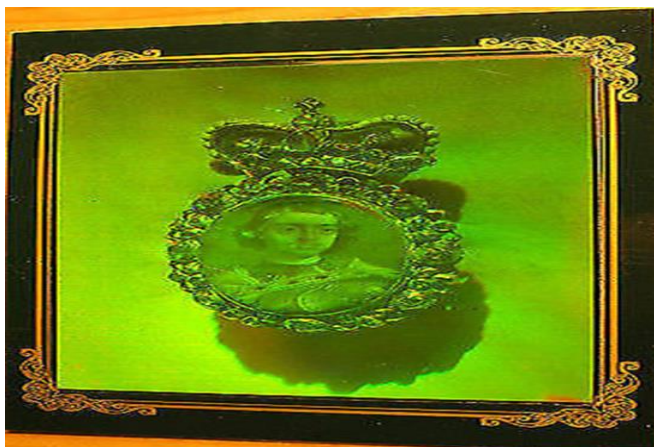


Рис.4. Оптические объёмные голограммы.



Рис.5. Оптические фазовые голограммы.

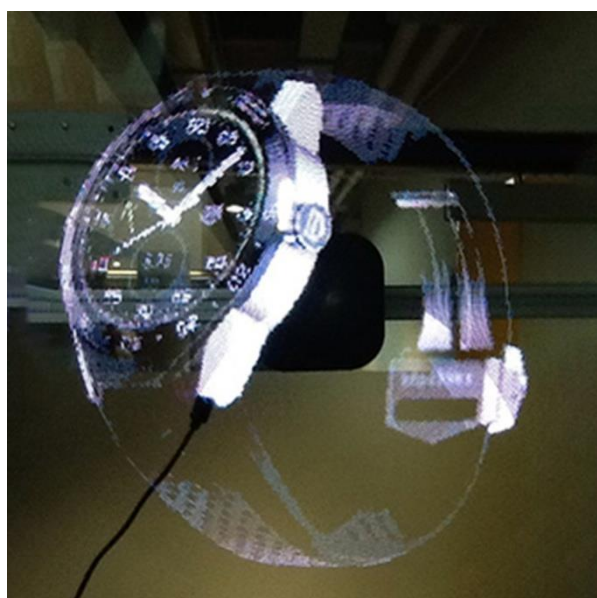


Рис.6. Проекционные голограммы.

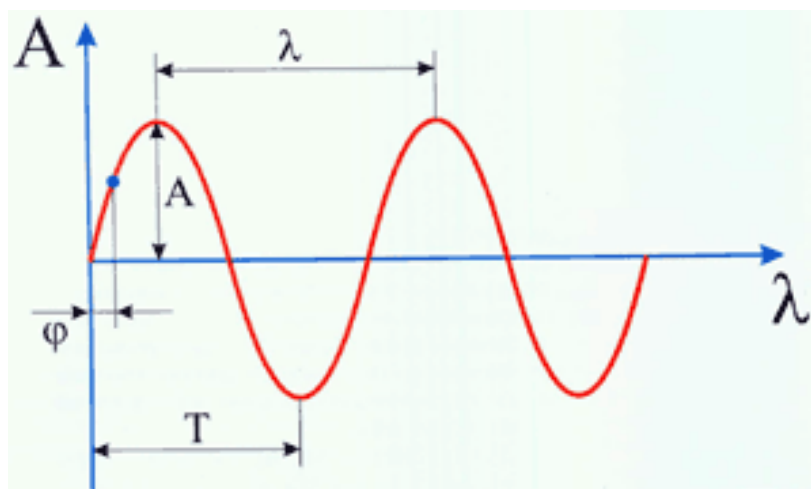


Рис.7. Основные параметры электромагнитной волны.

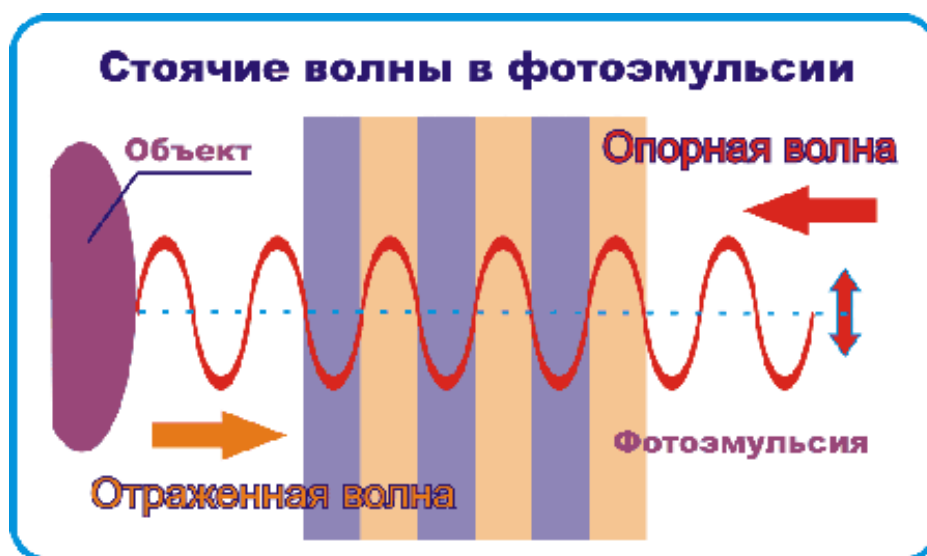


Рис.8. Возникновение стоячей волны в фоточувствительном слое.

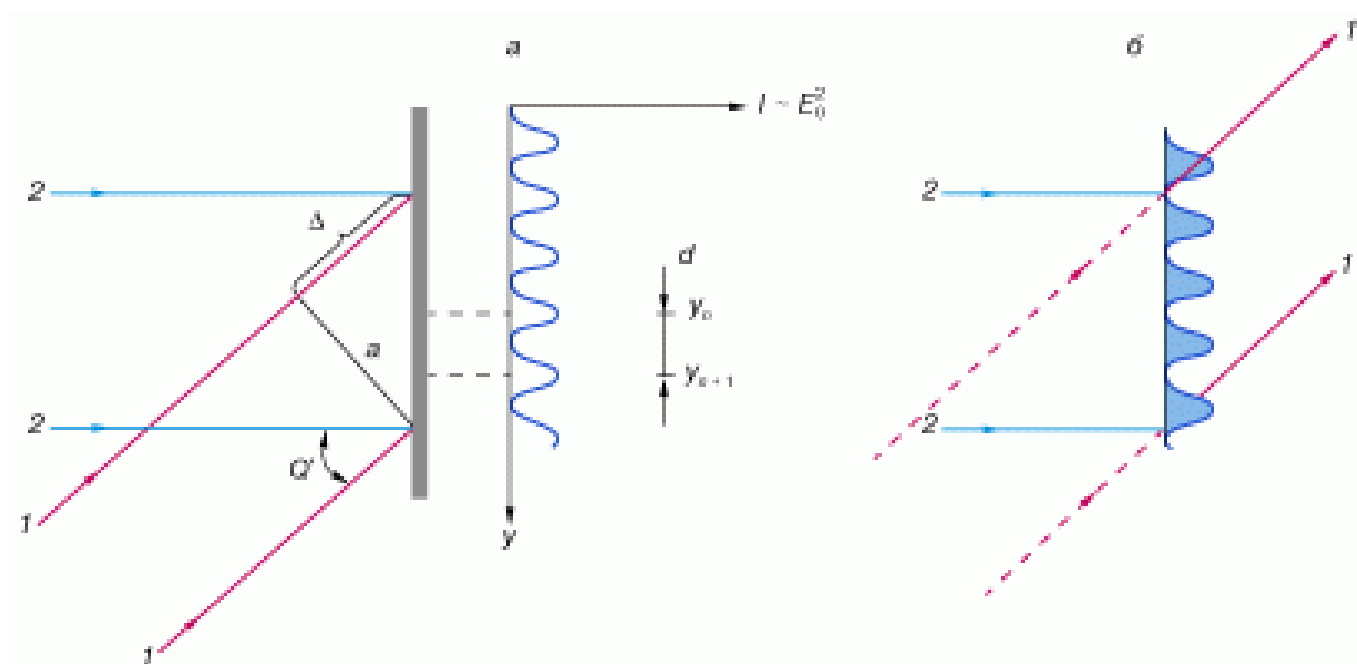


Рис. 9. Схема записи (а) и восстановления плоской волны (б):

(1 - предметная волна, 2 - опорная волна,  $Q'$  - угол падения предметной волны,  $A$  - плоскость фотопластинки,  $d$  - расстояние между максимумами интерференционной картины,  $Y_n$  и  $Y_{n-1}$  - координаты максимумов по оси  $y$ )

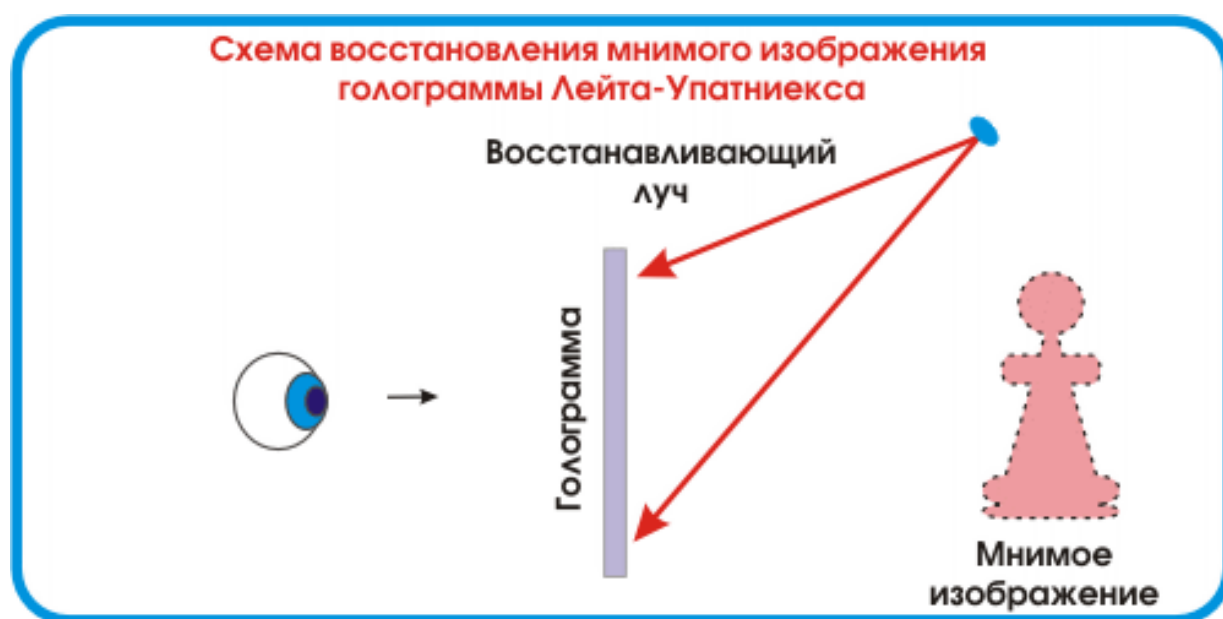
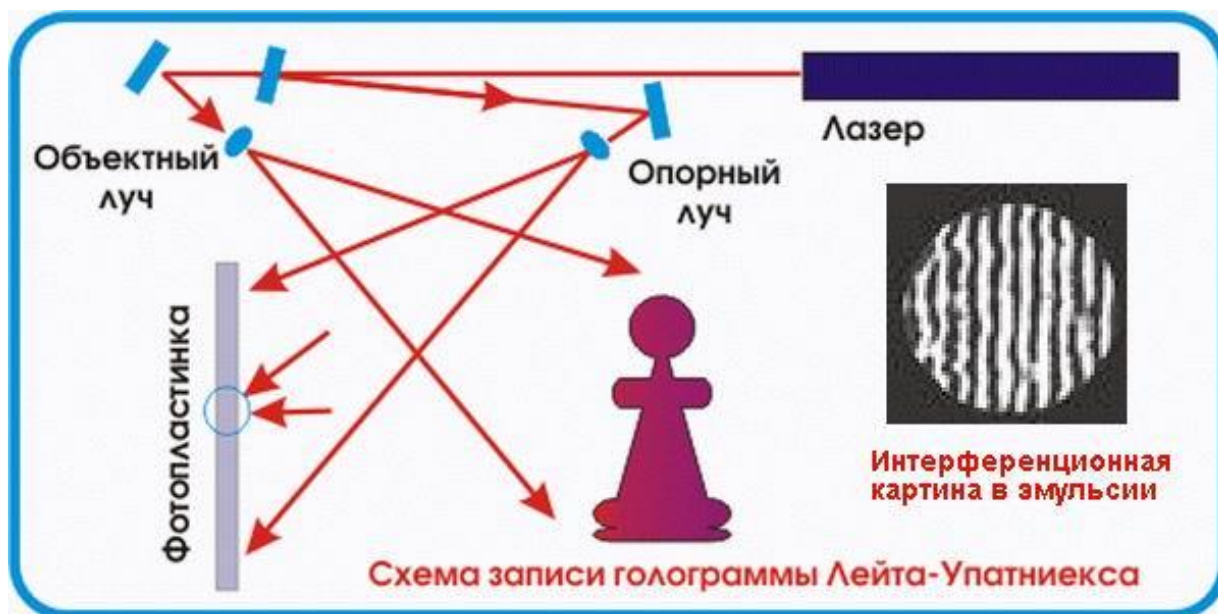


Рис. 10. Схема записи и восстановления голограммы Лейта – Упатниекса.

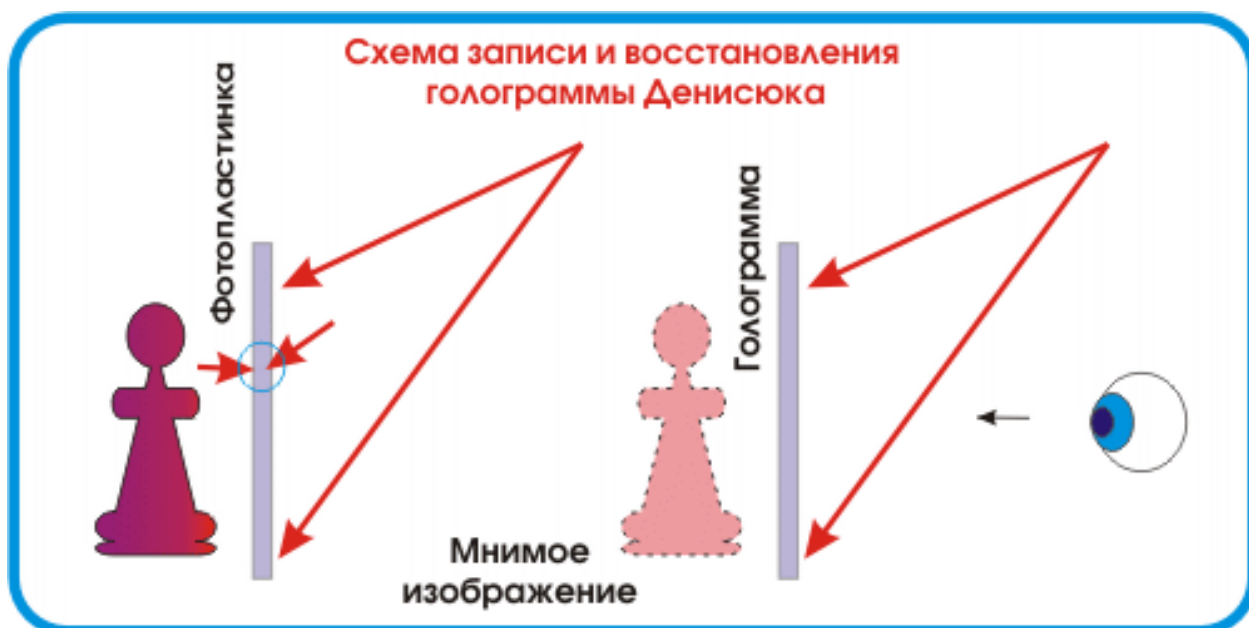


Рис. 11. Схема записи и восстановления голограммы Денисюка.

Материал для записи	Свойства материала	Разрешающая способность	Характеристика материала
Галогенсеребряные фотоматериалы	Специальные фотопластинки на основе традиционного бромида серебра.	5000 линий на миллиметр	Крайне низкая чувствительность пластинки и узкий спектральный диапазон
Фотохромные кристаллы	Фотохромные среды, изменяющие спектр поглощения под действием записывающего света.	5000 линий на миллиметр	Голографическая запись в таких кристаллах реверсивна (обратима) и очень устойчива по времени.
Сегнетоэлектрические кристаллы	Ниобат лития — $\text{LiNbO}_3$ . Явление изменения показателя преломления под действием света вызвано электрооптическим эффектом.	6000 линий на миллиметр	Нестабильность голограммы. Низкая величина голографической чувствительности.
Голографические фотополимерные материалы	Многокомпонентная смесь органических веществ, нанесенная в виде аморфной пленки толщиной 10-150 мкм на стеклянную или пленочную подложку.	Разрешающая способность такого материала достаточна для сверхплотной записи информации	Записанные голограммы являются фазовыми, что позволяет получать высокую дифракционную эффективность. Такие материалы позволяют хранить информацию длительное время, устойчивы к воздействию температур, а также отличаются улучшенными оптическими характеристиками.

Таблица 1. Регистрирующие среды для голографии.

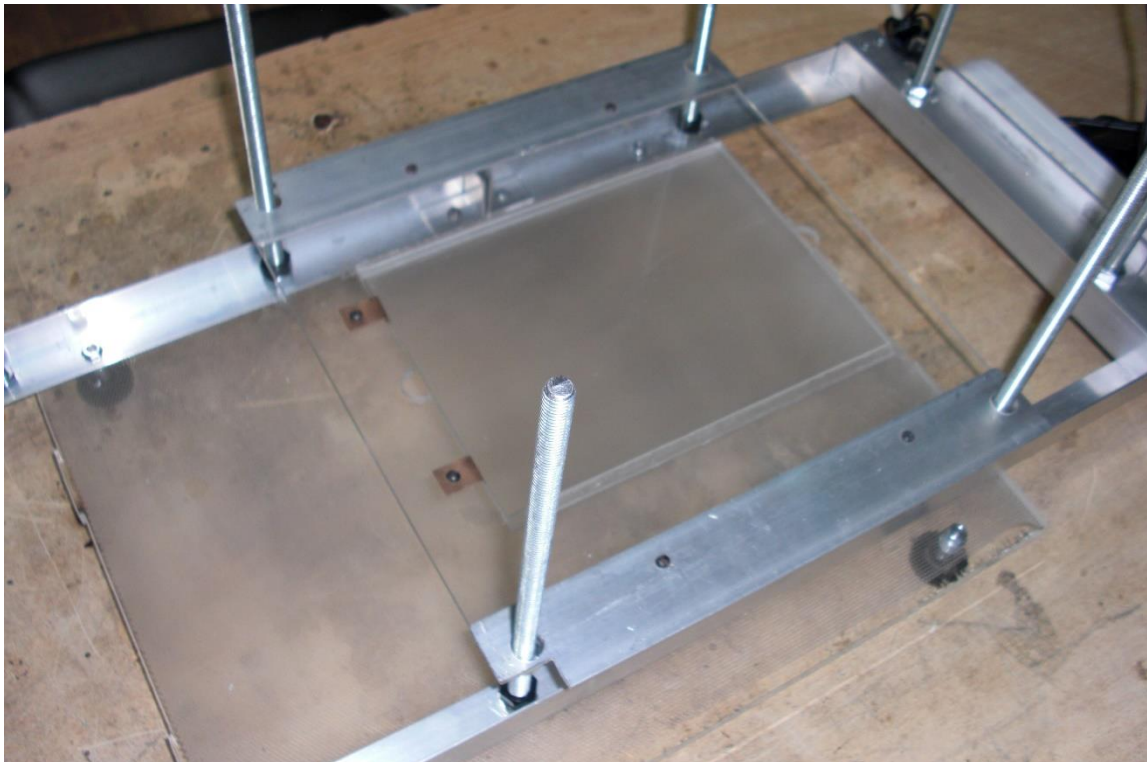


Рис. 12. Общий вид конструкции основания голографической установки.



Рис. 13. Конструкция голографической установки.

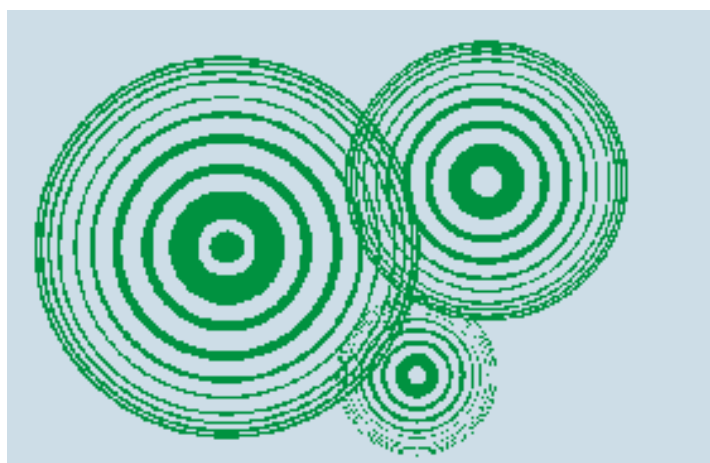


Рис. 14. Дифракционные шумы, возникающие от пылинок на линзе.

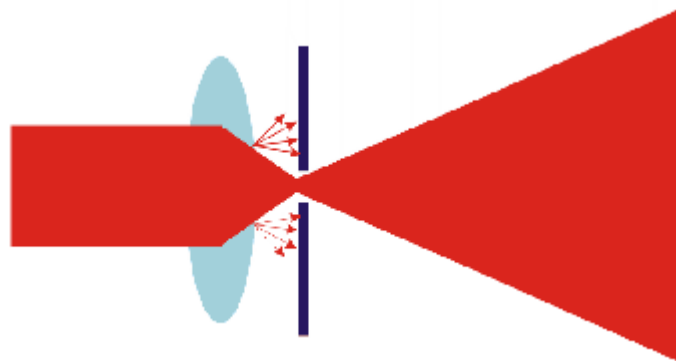
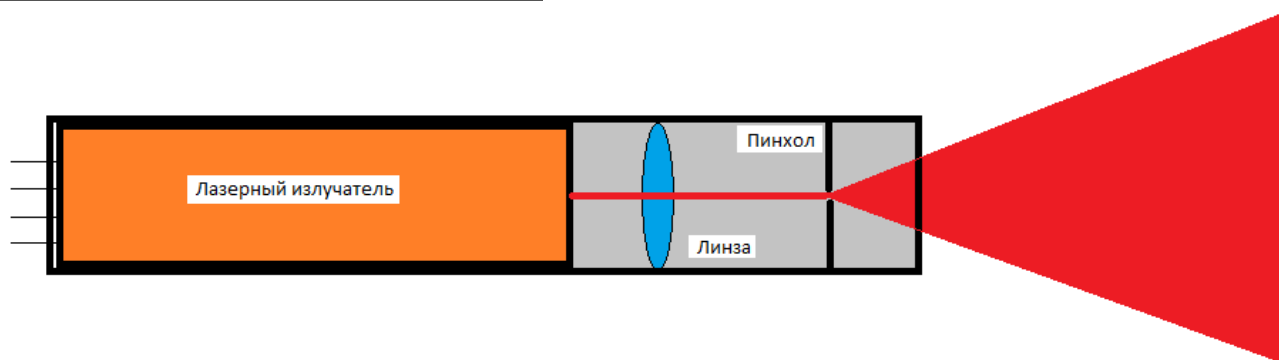
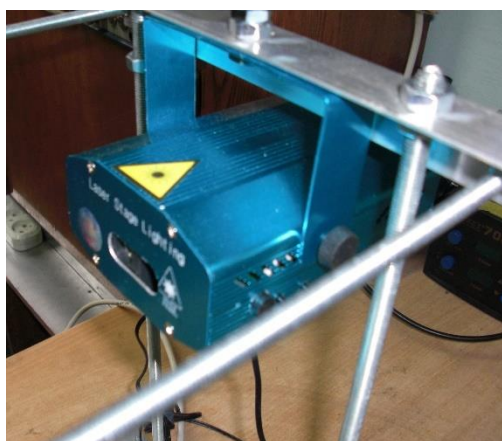
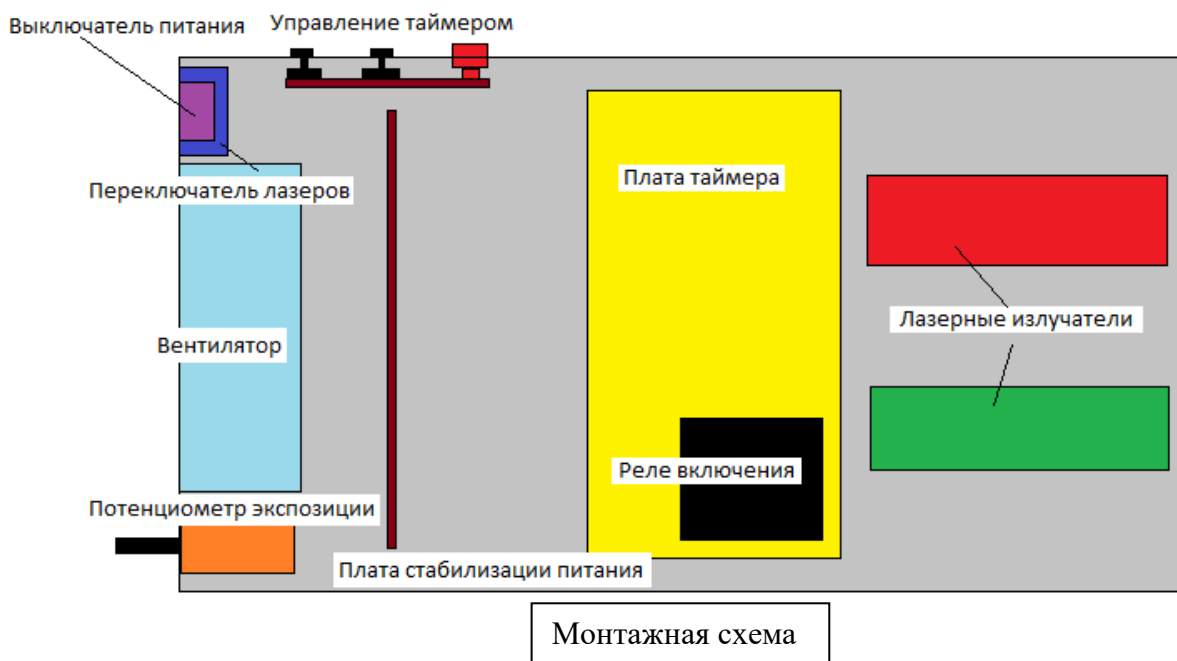


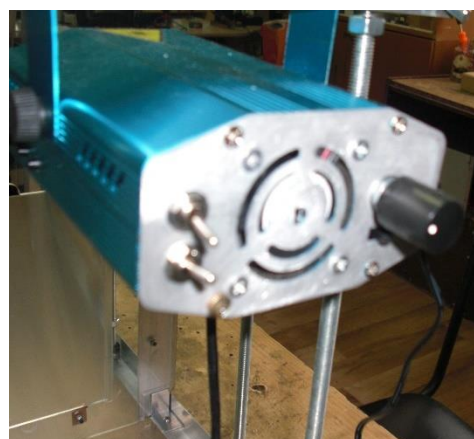
Рис. 15. Принцип работы «пинхола».







Общий вид



Управление питанием и лазерами



Управление таймером



Компоновка блока

Рис. 17. Конструкция блока лазерных излучателей.

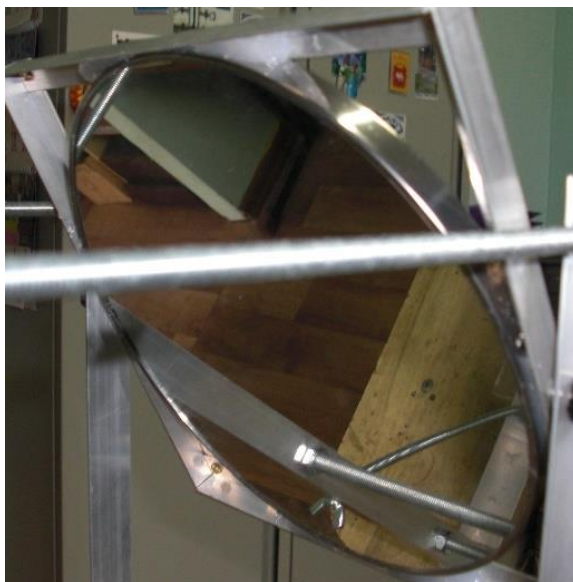


Рис. 18. Большое отражающее зеркало.

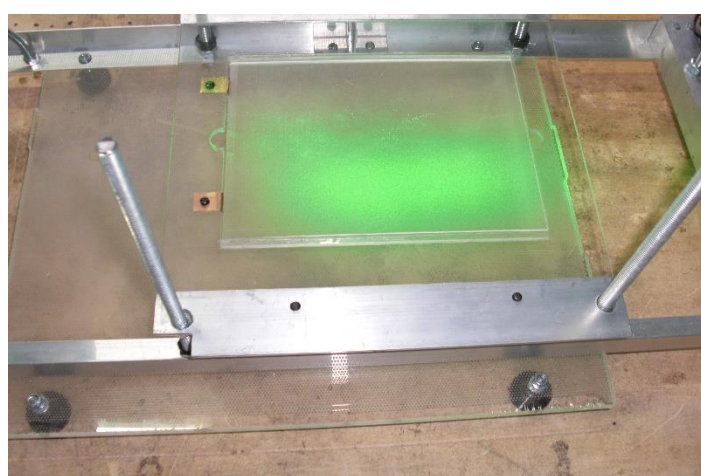
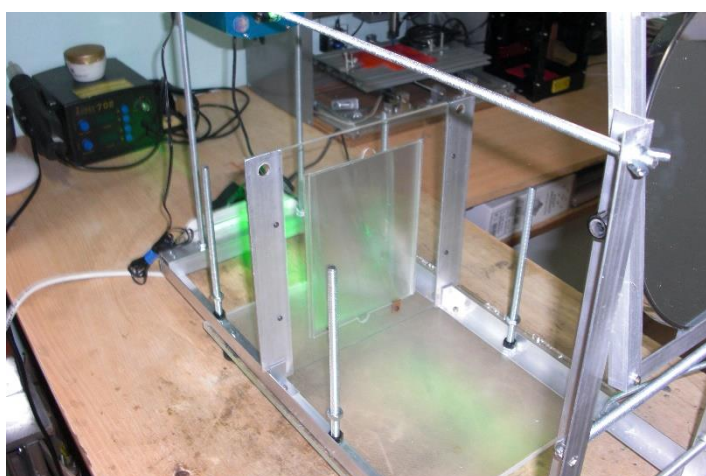
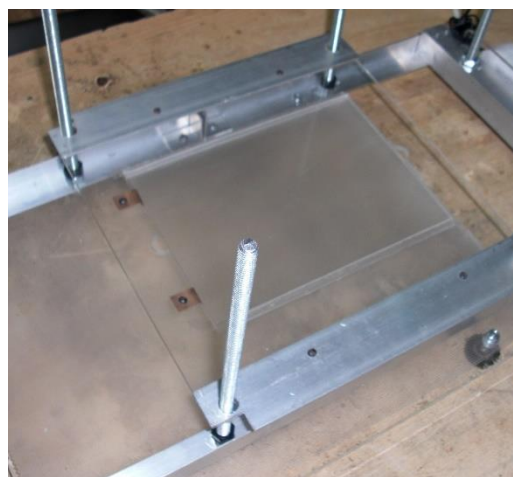
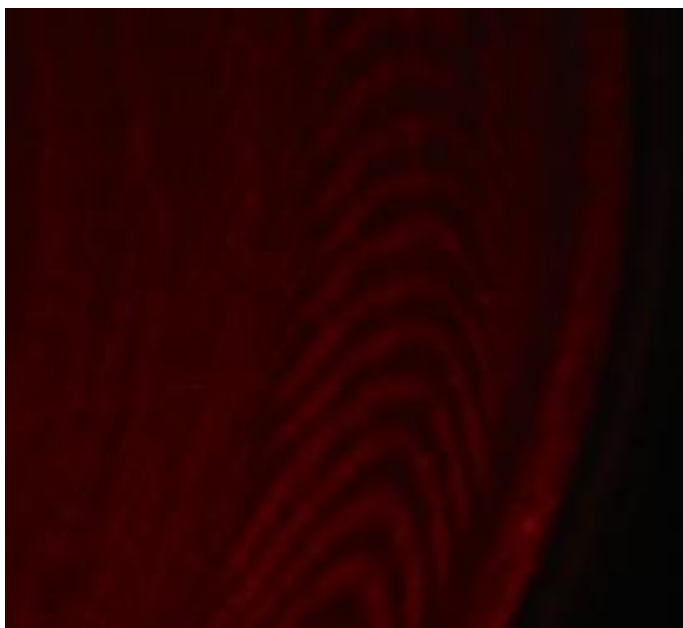


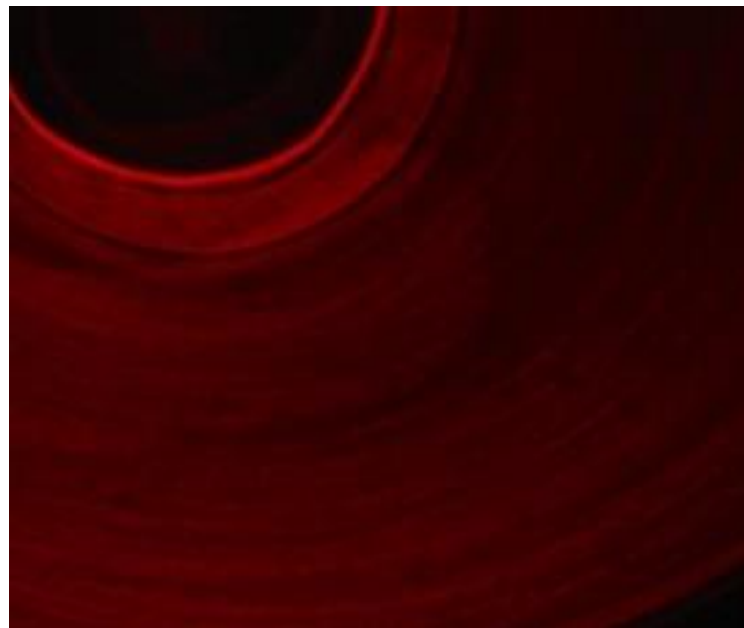
Рис. 19. Конструкция рамки для закрепления фоточувствительного материала.



Диск на рабочем столе.



Многомодовый режим.



Одномодовый режим

Рис. 20. Настройка одномодового режима лазера.

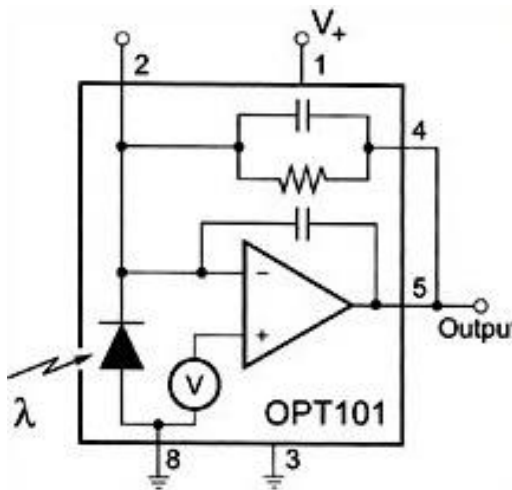


Рис. 21. Фотодиод с встроенным операционным усилителем OPT101.

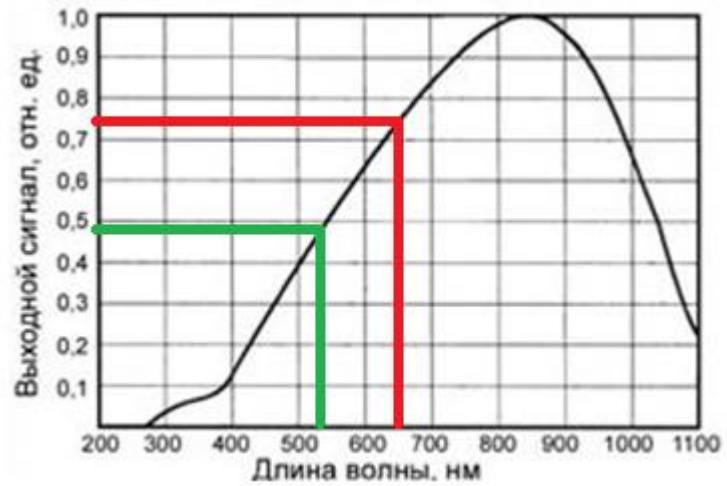


Рис. 22. Спектральная чувствительность фотоприёмника для зелёного и красного лазеров.



Рис. 23. Калибровочный люксметр Ю -116.

#### **ПЛАСТИНКИ ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩИЕ ДЛЯ ГОЛОГРАФИИ**

ПФГ-01 Пластины фотографические высокоразрешающие для голографии предназначены для получения голограмм с длиной волны генерации 633 нм.

ПФГ-03М Пластины фотографические высокоразрешающие для голографии предназначены для регистрации отражательных голограмм.

ПФГ-03Ц Пластины фотографические высокоразрешающие для голографии предназначены для изготовления цветных отражательных голограмм.

ПФГ-04 Пластины фотографические высокоразрешающие для голографии.

#### **ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОПЛАСТИНОК**

Основные размеры фотопластинок в мм:

50x50, 63x63, 76x76, 102x102, 102x127, 127x127, 90x120, 130x180, 180x240, 240x300, 300x406, 406x609 в пластмассовой и картонной упаковке на толщине стекла 2,65мм.

Вскрывать и обрабатывать фотопластины необходимо при косвенном освещении с использованием темно-красного светофильтра № 107 для фотопластинок ПФГ-04 и темно-зеленого светофильтра № 170 для фотопластинок ПФГ-01, ПФГ-03М, ПФГ-03Ц.

Рис. 24. Фотопластины для голографии.

