

# ПРИКЛАДНАЯ ГОЛОГРАФИЯ

## Лекция 5

лектор: О.В. Андреева

# Основные свойства голограмм

- Восстановление объектной волны;
- Делимость голограммы;
- Воспроизведение градаций яркости объекта в широком динамическом диапазоне;
- Возможность обращения волнового фронта;
- Высокая информационная ёмкость.

# Основные свойства голограмм

Возможность восстановления  
объектной волны



# Восстановление объектной ВОЛНЫ

*С помощью голограммы имеется возможность  
восстановить объектную волну:*

- параметры волны - амплитуду, фазу, спектральный состав, поляризацию;
- распределение параметров волны в пространстве;
- изменение параметров волны во времени

# Возможность восстановления объектной волны

## Основные проблемы:

- Качество полученной информации
- Детектирование полезной информации
- Избыточность получаемой информации
- Голограмма как оптический эквивалент объекта - *степень соответствия оптических свойств объекта и голограммы!!!*

# Голограмма – оптический эквивалент объекта

Оказывается, что такая пространственная структура (голограмма !) является своего рода оптическим эквивалентом объекта.

Если на эту структуру падает излучение того же источника, который освещал объект при экспозиции, то она отражает это излучение таким образом, что волновое поле отраженного излучения идентично волновому полю излучения, отраженного объектом.

Ю.Н.Денисюк, 1962г.

# Основные свойства голограмм

Делимость  
голограммы

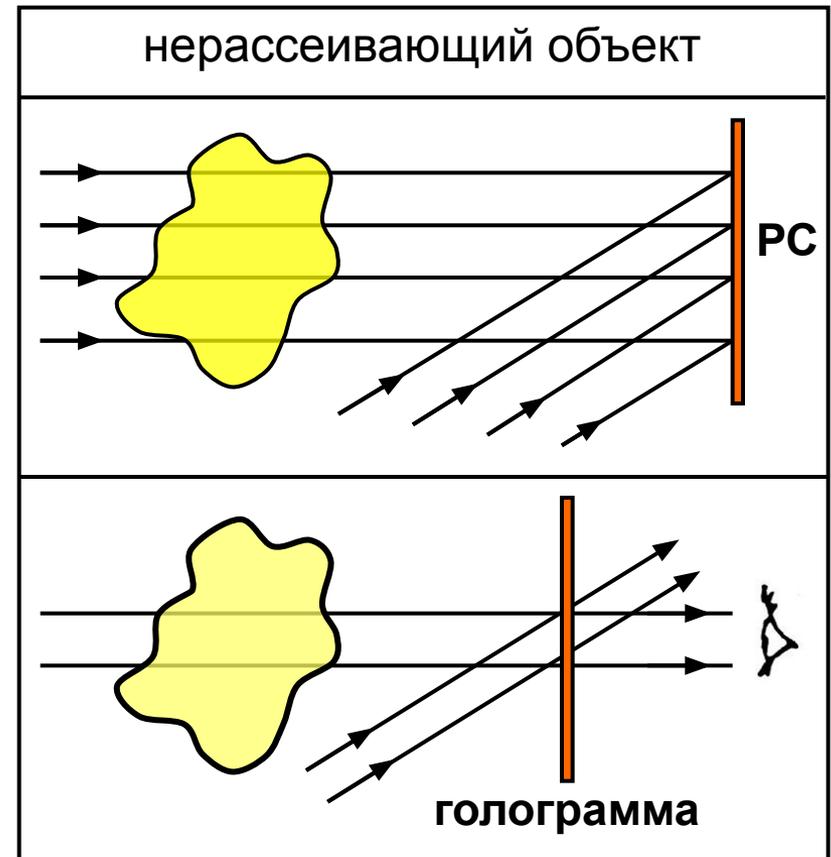
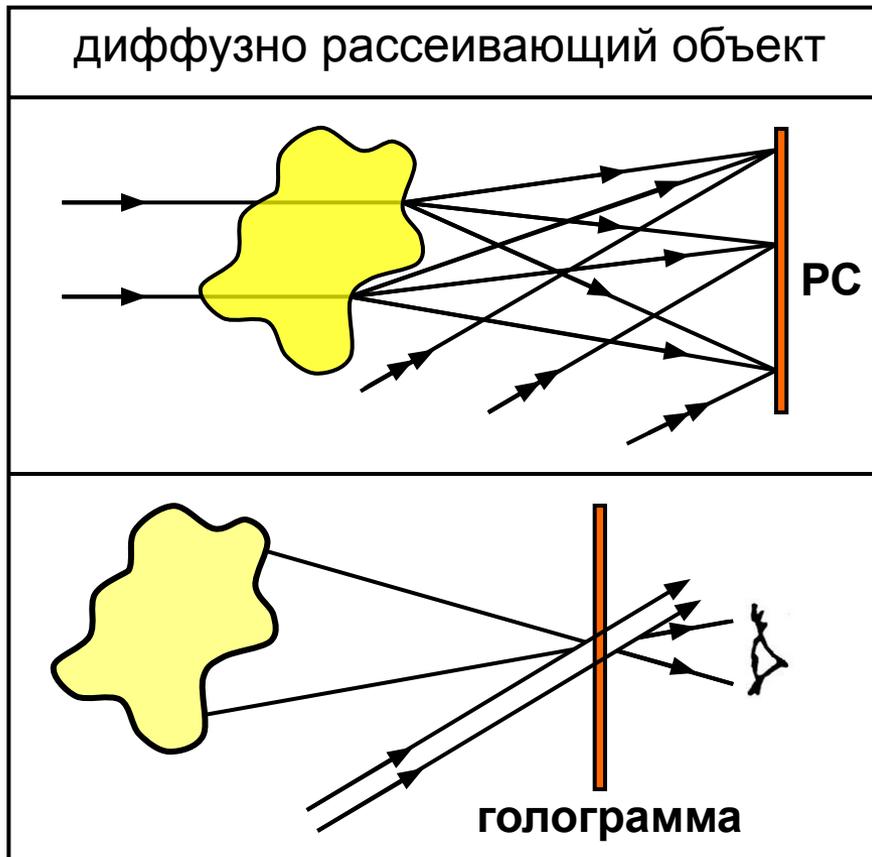


# Варианты записи информации

- *Локальная запись: фотография, традиционная изобразительная техника*  
*(каждая «точка» регистрирующей среды несет информацию об отдельной точке объекта)*
- *Нелокальная (распределенная) запись: голография, ?*  
*(каждая «точка» регистрирующей среды несет информацию обо всем объекте)*

## Основные свойства голограмм

Условия получения максимального голографического эффекта – излучение от каждой точки объекта должно попадать на всю поверхность регистрирующей среды.

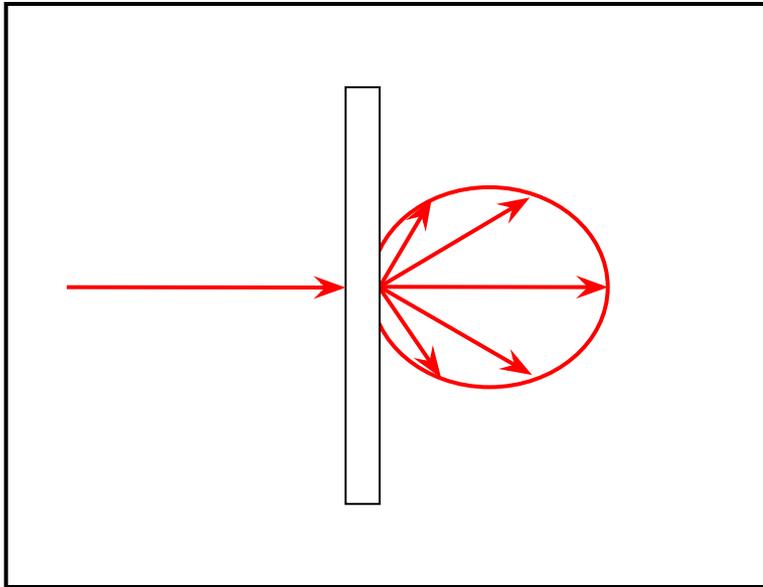


# Пропускание и рассеяние излучения: направленное и диффузное

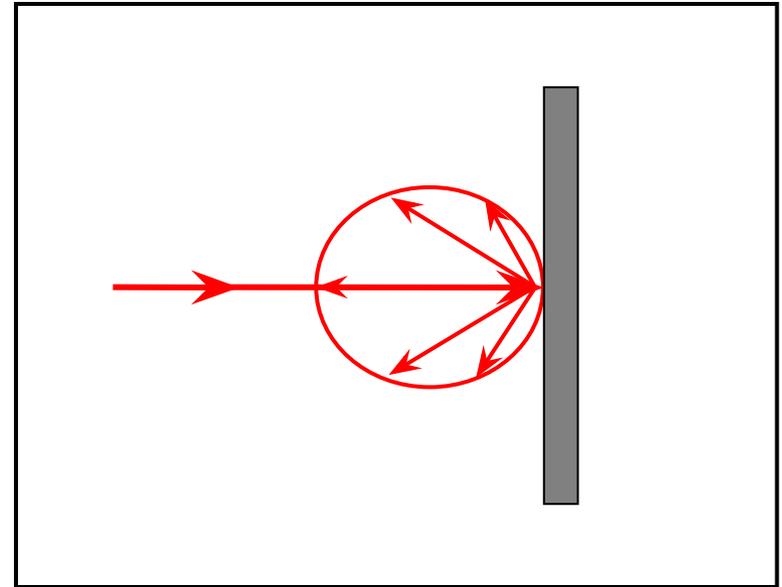
- **Диффузное пропускание** (в отличие от пропускания без нарушения геометрии пучка излучения) – пропускание, которое сопровождается рассеянием света, вплоть до полного отсутствия регулярного (направленного) пропускания.
- **Диффузное рассеяние света** – распространение света по всем возможным направлениям (а также в соответствии с определенной индикатрисой рассеяния) при отражении или пропускании.

# Индикатриса рассеяния диффузного объекта

прозрачный объект

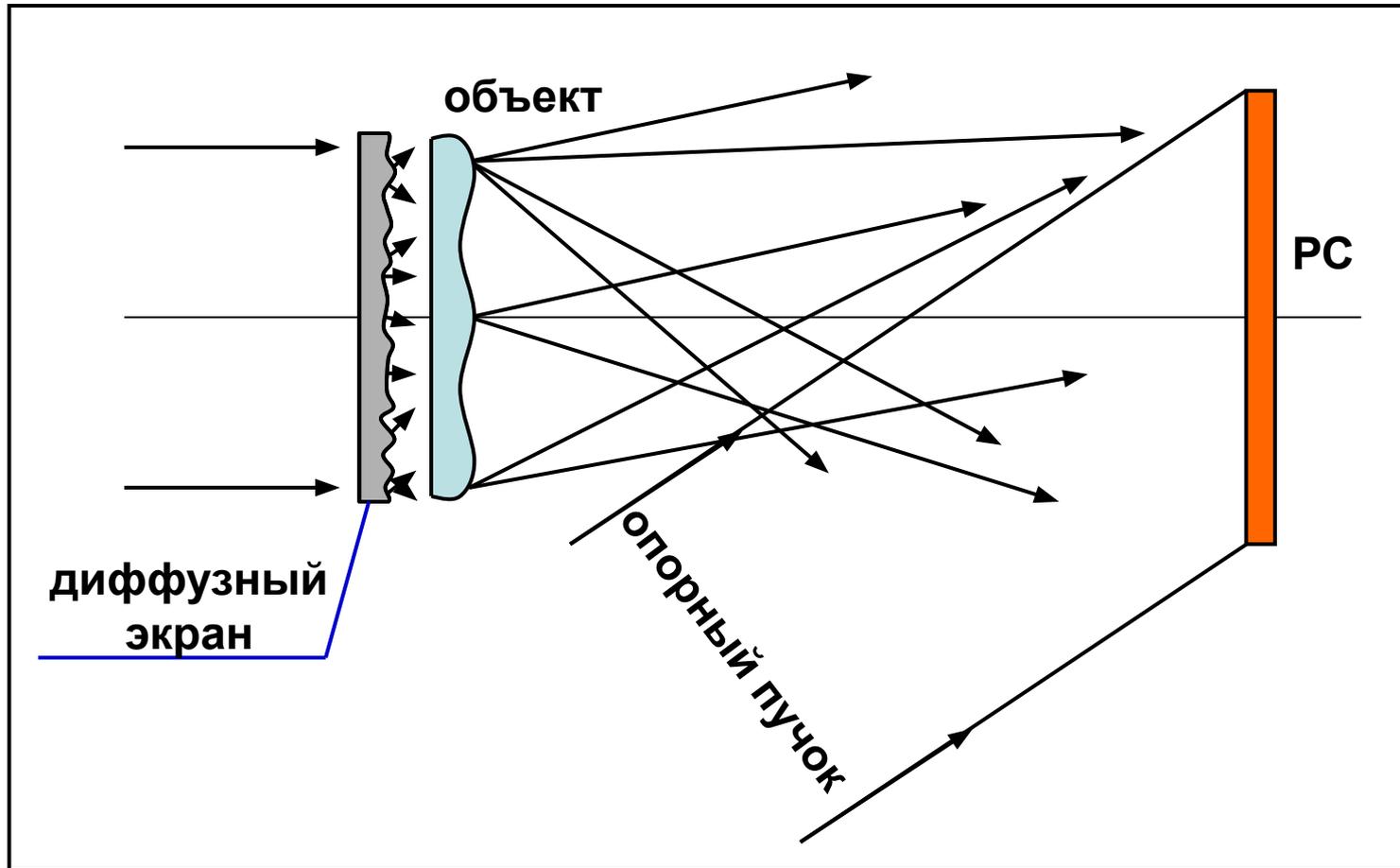


непрозрачный объект



***Индикатриса рассеяния*** –  
зависимость интенсивности рассеянного света от  
направления наблюдения (*пунктир*).

# Получение голограммы при освещении малорассеивающего объекта через диффузный экран



# ***Делимость голограммы***

- Одно из основных свойств голограммы, обусловленное спецификой голографического метода записи информации, заключающееся в том, что восстановление объектной волны возможно каждым отдельным, ***сколь угодно малым***, участком голограммы при условии, что при записи голограммы каждая точка объекта освещает всю поверхность регистрирующей среды.
- При наблюдении изображения объекта с помощью восстановленной волны голограмма для наблюдателя является своего рода "окном" в мир объекта – при уменьшении "окна" усложняются и ухудшаются условия наблюдения.

# Основные свойства голограмм

**Передача градаций яркости  
в изображении объекта**

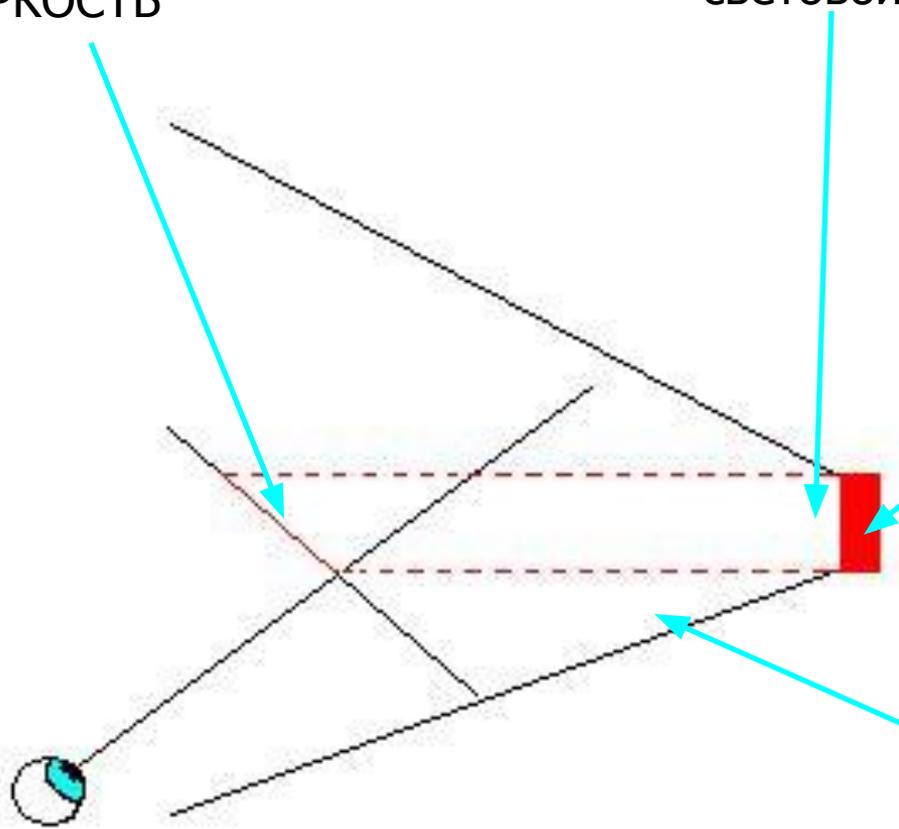


# Яркость

Отношение силы света к  
проекции объекта на  
плоскость,  
перпендикулярную  
направлению наблюдения -  
ЯРКОСТЬ

Энергия через единицу  
площади в единицу времени –  
световой поток

Тело  
излучает  
энергию



Отношение потока к  
телесному углу – сила  
света

# *Яркость (L)*

поверхностно-пространственная плотность светового потока, исходящего от поверхности; равна отношению светового потока  $d\Phi$  к геометрическому фактору

$$L = d\Phi / (d\Omega \, dA \, \cos\theta),$$

$d\Omega$  – заполненный излучением телесный угол;  $dA$  – площадь участка, испускающего излучение;  
 $\theta$  – угол между перпендикуляром к этому участку и направлением излучения.

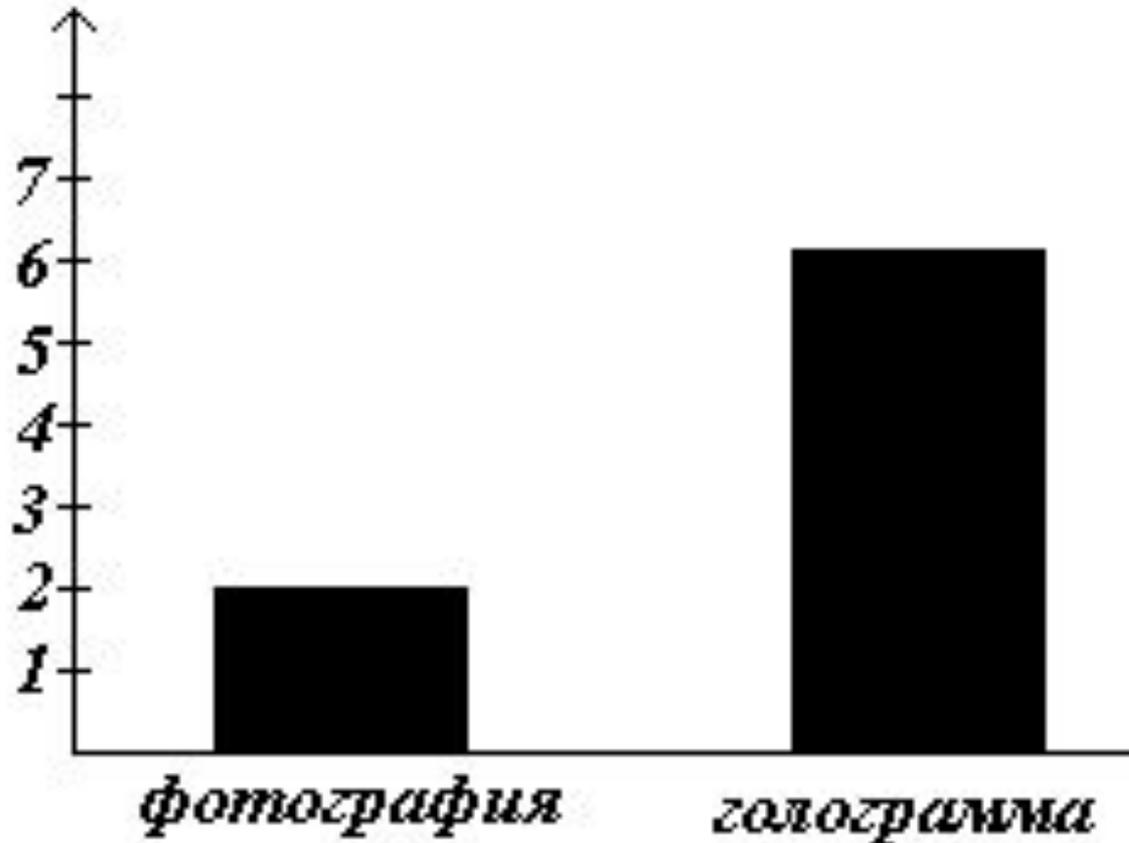
# Яркость объекта и отдельных его деталей

- **Яркость** (энергетическая) – поток излучения, проходящего через поверхность (или отраженного поверхностью) в данном направлении, отнесенный к единичному телесному углу и к единичной площади, перпендикулярной направлению распространения излучения.
- **Динамический диапазон воспроизведения градации яркостей** – возможность передачи градации яркости объекта в изображении, которое характеризуется соотношением наиболее ярких и наименее ярких деталей объекта, переданных в изображении.

## ***Динамический диапазон воспроизведения градации яркости объекта –***

характеризует способность устройства, формирующего изображение объекта, правильно передать в изображении градации яркости объекта. Из всех световых величин именно яркость объекта непосредственно связана со зрительными ощущениями, так как освещенности изображений объектов, формируемых на сетчатке глаза, пропорциональны яркости этих объектов.

# Воспроизведение диапазона яркостей



Диапазон яркостей восстановленного с помощью голограммы изображения существенно превышает возможности традиционно используемых методов получения изображений и близок к возможностям зрительного аппарата человека.

## Основные свойства голограмм

# Воспроизведение градаций яркости объекта в широком динамическом диапазоне

Объект – бриллиант на бархате

Диапазон градаций яркости

На объекте	На фотобумаге	В изображении, формируемом объектной волной
$10^7 - 10^8$	$<10^3$	$\sim 10^7 - 10^8$ (принципиальная возможность)

# Основные свойства голограмм

Обращение  
волнового фронта



# ***Волновой фронт (волновая поверхность) -***

поверхность, во всех точках которой волна имеет в данный момент времени одинаковую фазу. Распространение волны происходит в направлении нормали к волновому фронту и может рассматриваться как движение волнового фронта через среду.

В простейшем случае волновой фронт представляет плоскую поверхность, а соответствующая ему волна называется плоской.

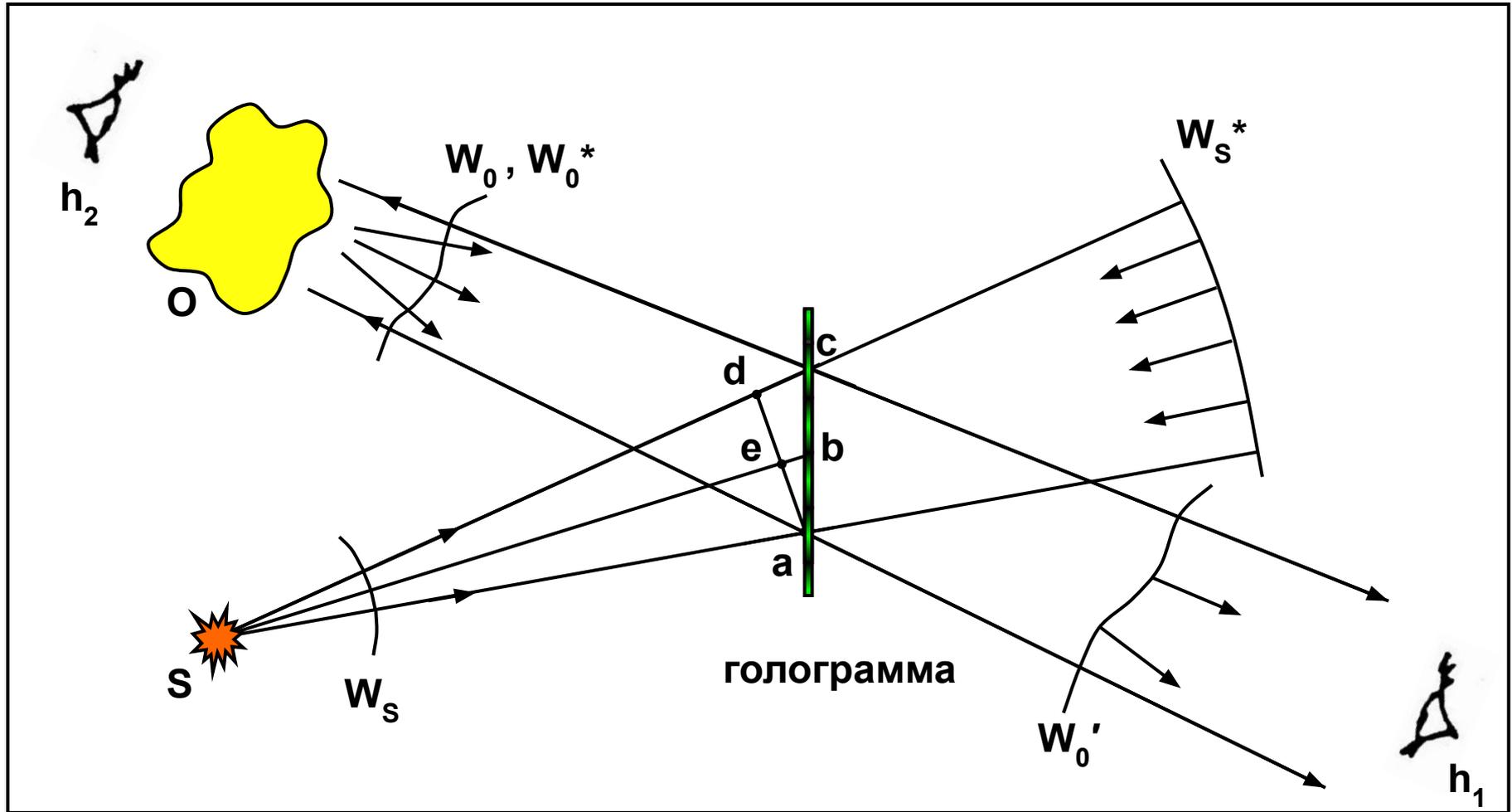
Существуют также сферические, цилиндрические и другие волновые фронты.

Излучение точечного источника в изотропной среде имеет волновой фронт сферической формы.

# ОБРАЩЕНИЕ ВОЛНОВОГО ФРОНТА

- Исходная волна
- Обращенная волна

# Обращение волнового фронта - восстановление волны, комплексно сопряженной объектной волне



$W_s$  – опорная волна ( $W_s^*$  – сопряжённая волна)

$W_0$  – объектная волна ( $W_0^*$  – сопряжённая волна)

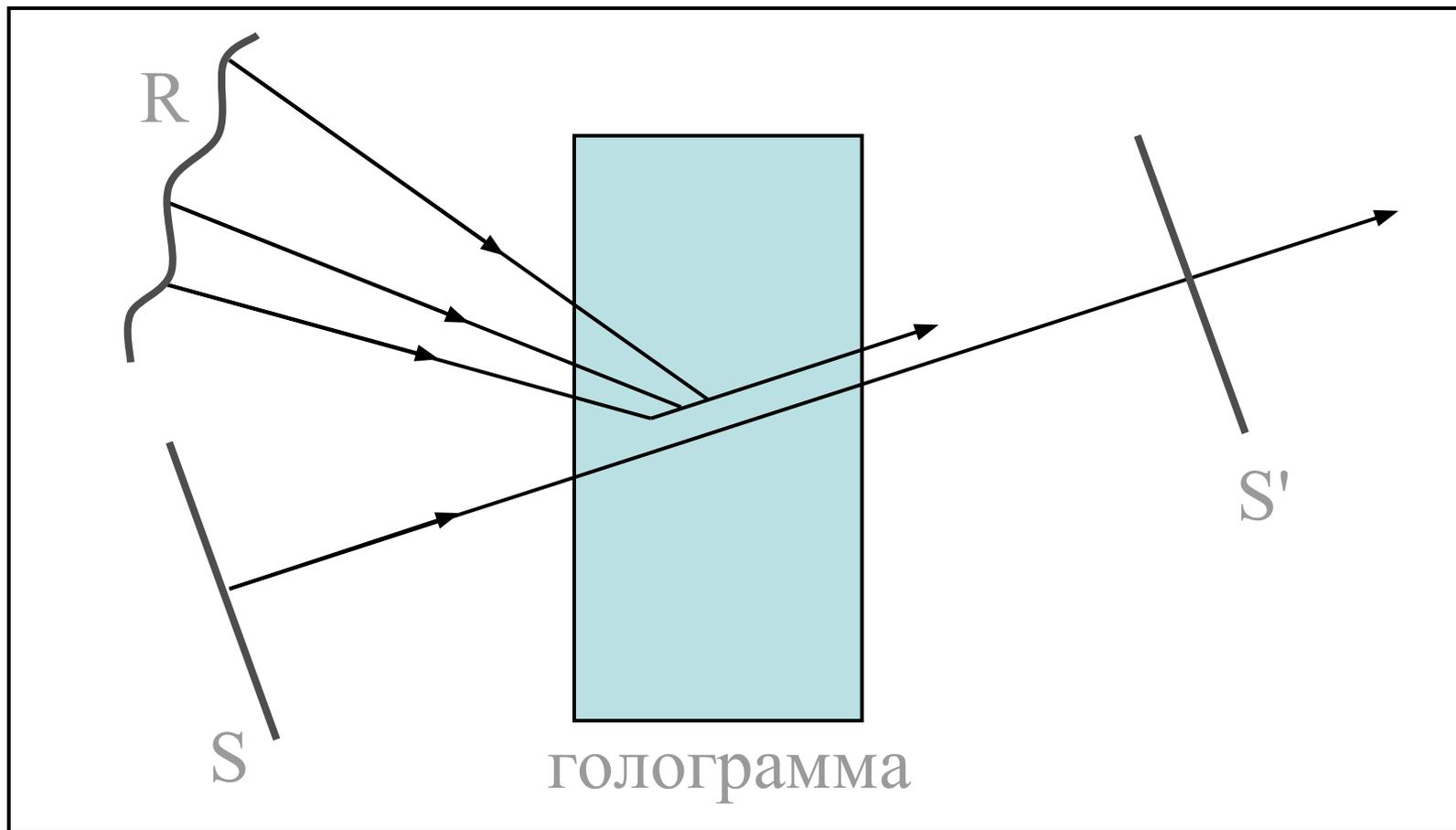
# Обращение волнового фронта

- Обращенная волна – волна, имеющая ту же форму, что и исходная волна, но распространяющаяся в обратном направлении (сопряженная по отношению к исходной объектной волне).
- Псевдоскопичность изображения, восстановленного сопряженной волной, обусловлено тем, что при рассматривании двух точек на поверхности голограммы они будут иметь разность фаз разного знака при использовании исходной волны и сопряженной.

# Использование явления обращения волнового фронта

- Получение обращенной волны с помощью четырехволновой динамической голограммы и использование этой волны для коррекции излучения лазера
- Обращение волнового фронта за счет вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (бриллюэновским зеркалом)

# Коррекция формы волнового фронта с помощью динамической сдвиговой трёхмерной голограммы



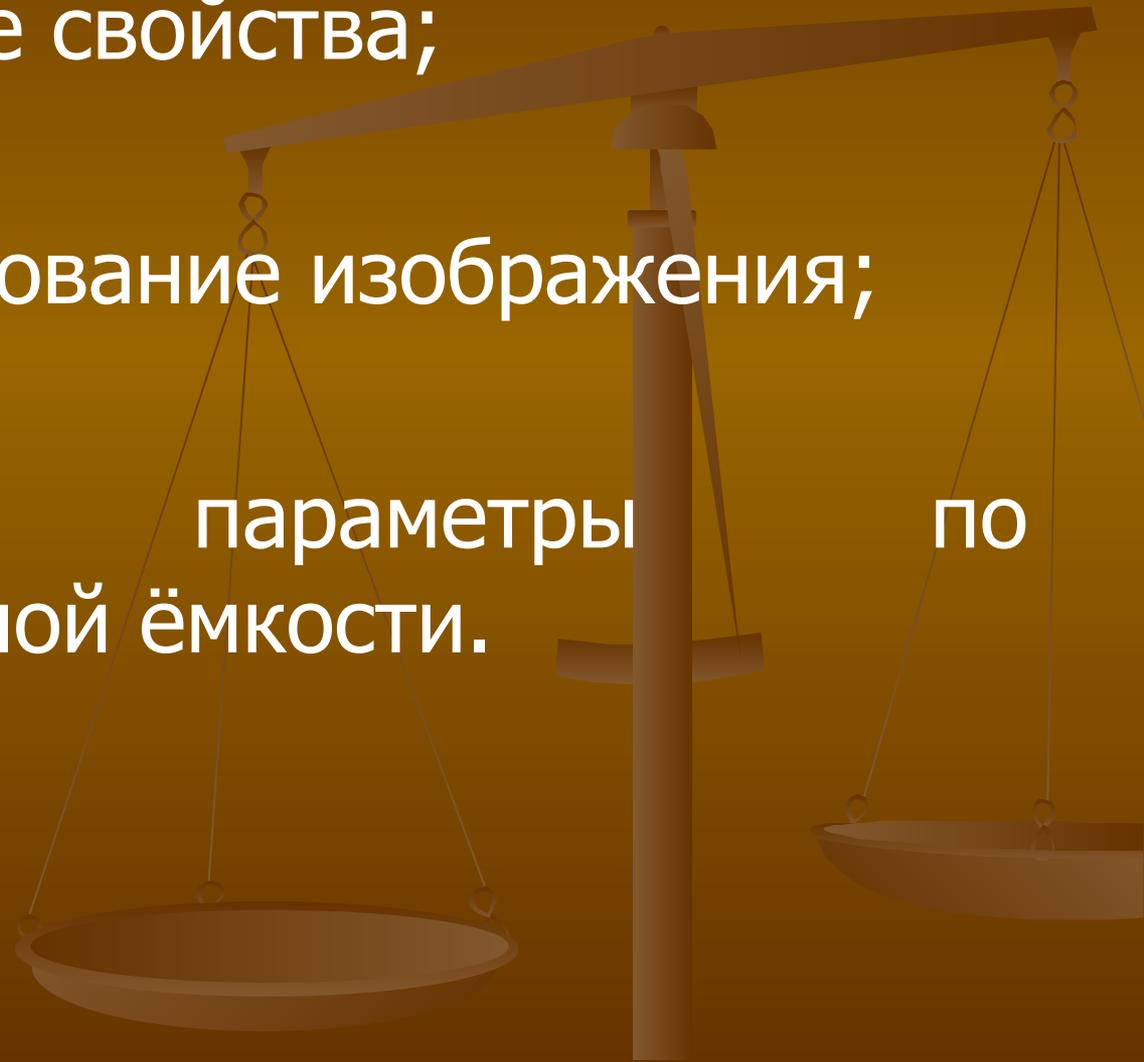
R – Интенсивная неоднородная волна,

S – слабая волна правильной формы,

S' – исправленный и усиленный волновой фронт.

# Основные свойства голограмм

- Ассоциативные свойства;
- Мультиплицирование изображения;
- Предельные параметры по информационной ёмкости.

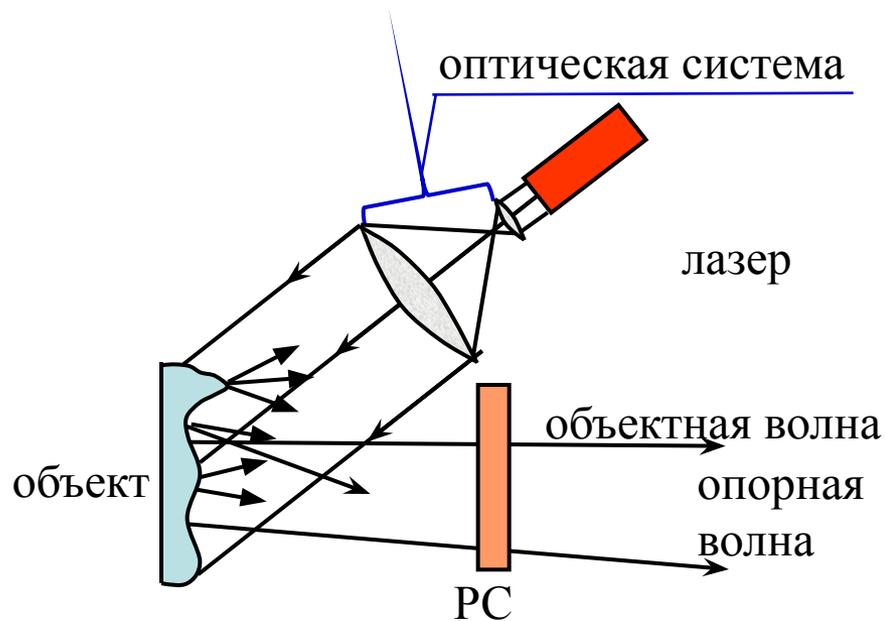


# Безопорная голограмма

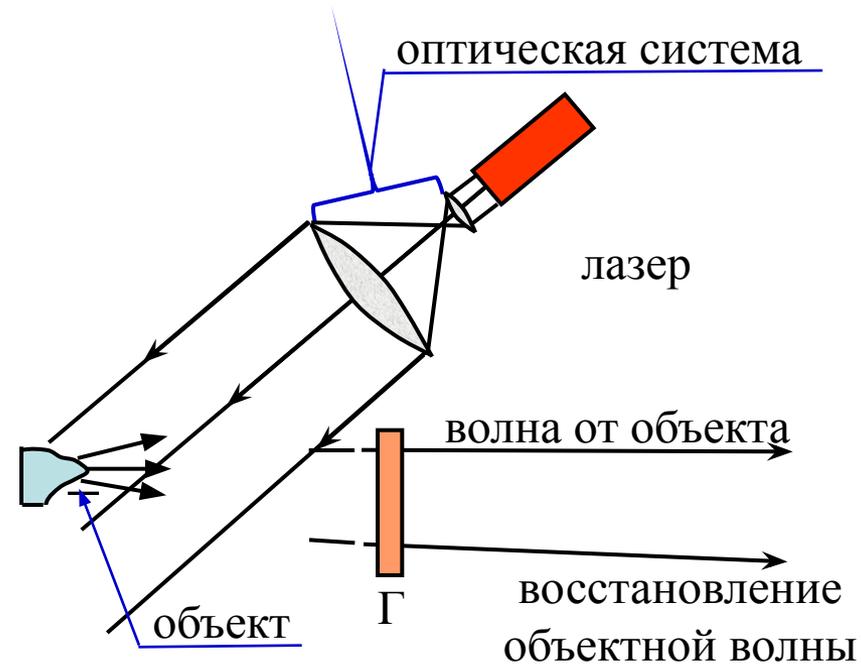
- Голограмма может быть получена без референтного пучка – **голограмма безопорная** регистрируется излучением только объектной волны в объемной регистрирующей среде.
- Интерференционная структура голограммы обусловлена когерентным взаимодействием излучения различных частей объекта.
- Такая схема демонстрирует ассоциативные свойства голограммы – восстановление объектной волны при освещении голограммы излучением, сформированным только отдельным участком объекта.
- Используются безопорные голограммы для записи диффузоров, при создании ВРМБ и других технических приложениях.

# Ассоциативный отклик голограммы

## запись голограммы

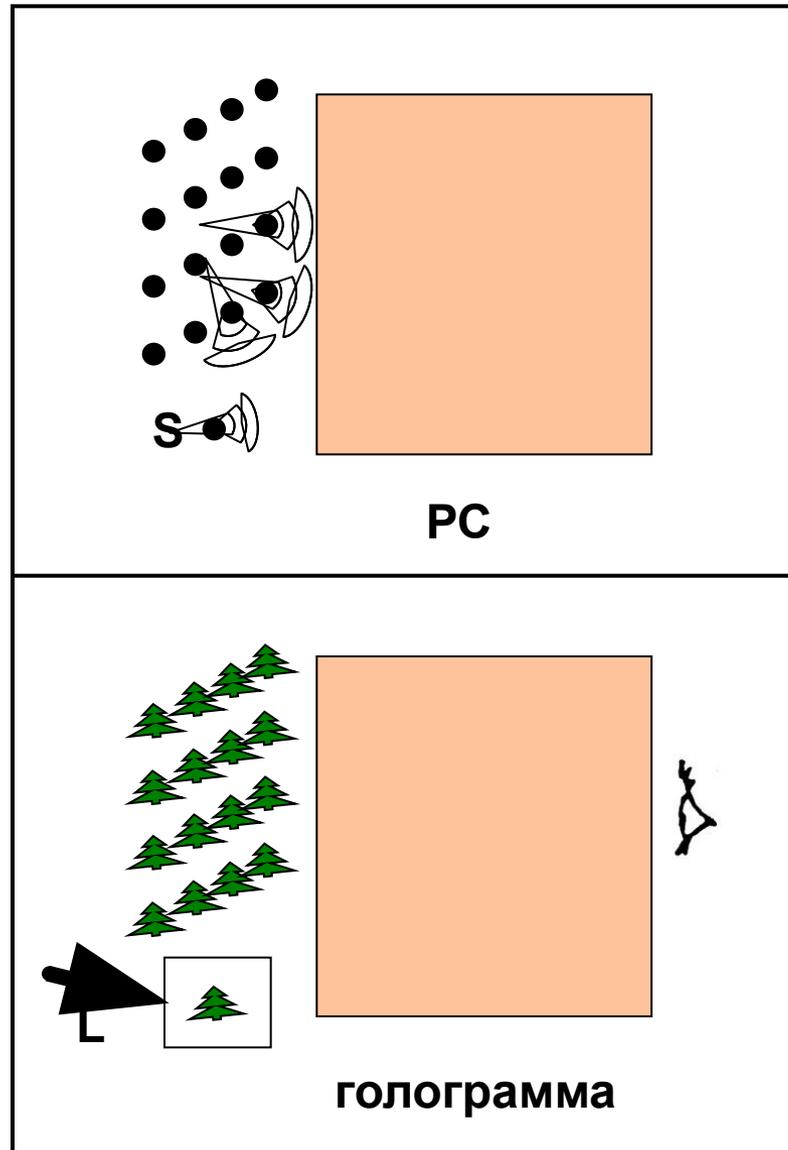


## считывание голограммы



# Основные свойства голограмм

## Мультиплицирование изображения



# Мультиплицирование изображения

Голографический множительный элемент в эпоху бурного развития голографии и ее практических приложений (в основном это 70-е годы XX столетия) получил применение в следующих случаях:

- Для записи изображений, например, в фотолинтографии при производстве полупроводниковых приборов;
- Для осуществления многоканальной параллельной оптической обработки одного входного изображения;
- Для реализации поэлементной пространственно-неинвариантной обработки изображений;
- Для различных целей в качестве согласующих элементов оптических волоконных систем.

# Мультиплицирование изображения

Преимущества голографического метода мультиплицирования изображений перед всеми другими используемыми методами заключается в следующем:

- яркость изображения и его разрешение при использовании голографического метода обусловлены независимыми параметрами
- увеличение разрешения напрямую не связано с уменьшением яркости,
- в неголографических методах в связи с необходимостью выбора размера отверстия увеличение разрешения, как правило, связано с потерей яркости.

# ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ПАМЯТЬ



# Голографическая оптическая память

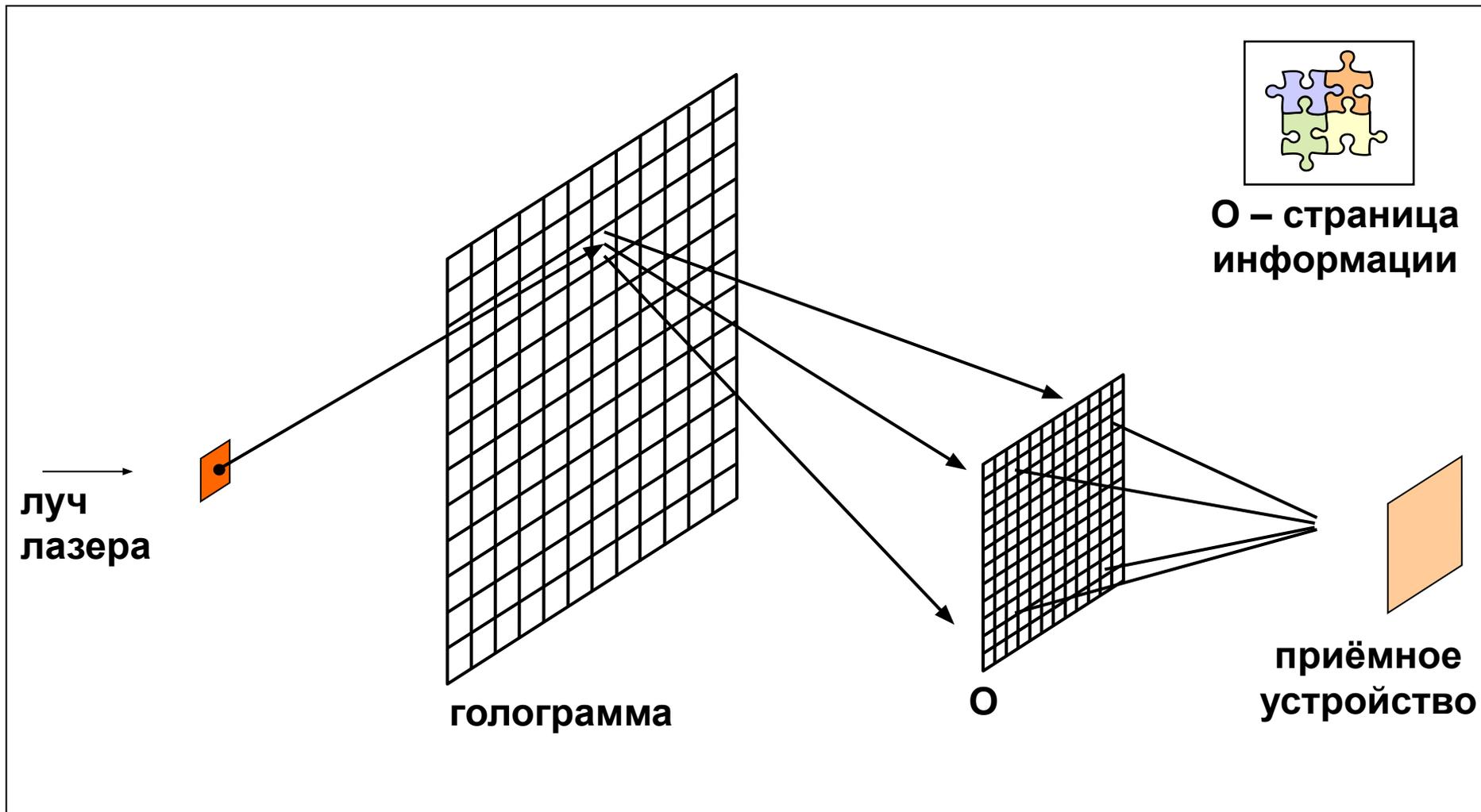
Идею использования уникальной возможности трехмерной голографии для создания оптической памяти сверхвысокой емкости высказал П.И. Ван Хирден еще в 1963 году.

# Оптическая голографическая память

- сходство некоторых свойств голограммы и мозга подтверждает гипотезу физиолога Р.И.Берля о том, что мозг хранит каждый бит информации не в одиночной пространственно-локализованной ячейке, а в виде одиночной пространственной гармонике возбуждения, занимающей весь его объем. Такой способ хранения информации обладает рядом достоинств, Например, повреждение одного или нескольких участков мозга не вызывает в этом случае полного исчезновения какой-либо части записанной в нем информации.
- Вход в такую «нелокализованную» память весьма удобен в отличие от памяти на пространственных ячейках, где каждая расположенная внутри объема ячейка должна быть соединена с входным устройством специальным нервным волокном, в данном случае каждый элемент соединен только с ближайшими соседями.
- Потенциальная емкость такого рода памяти грандиозна. П.И. Ван Хирден показал, что число независимых гармоник, с помощью которых может быть записана информация, равно объему голограммы, деленному на кубик с линейными размерами, равными длине волны света, использованного при ее записи. Для видимого света эта величина составляет порядка  $10^{10}$  ячеек/см<sup>3</sup>

# Основные свойства голограмм

## Предельные параметры по информационной ёмкости

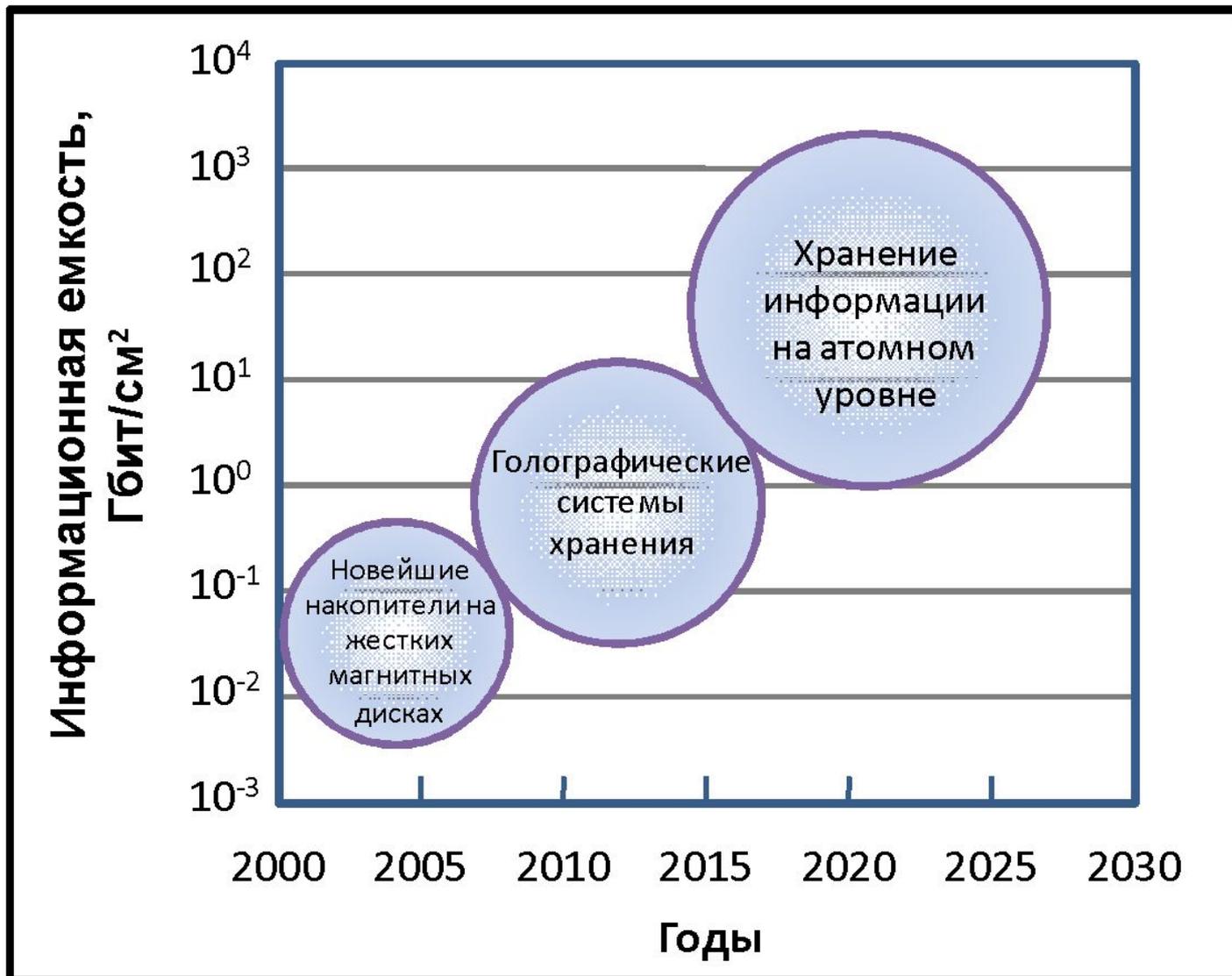


Принципиальная схема устройства голографической памяти  
BSTJ – 1967 г.

# Оптическая голографическая память

- управляемые транспаранты, фотодиодные матрицы, дефлекторы света, фазовые маски, полупроводниковые лазеры
- Источники света
- Дефлекторы пучков света
- Составитель страниц
- Среда для записи голограмм
- Матрица фотодетекторов (приемников излучения)
- Различные вспомогательные оптические элементы и электронные устройства

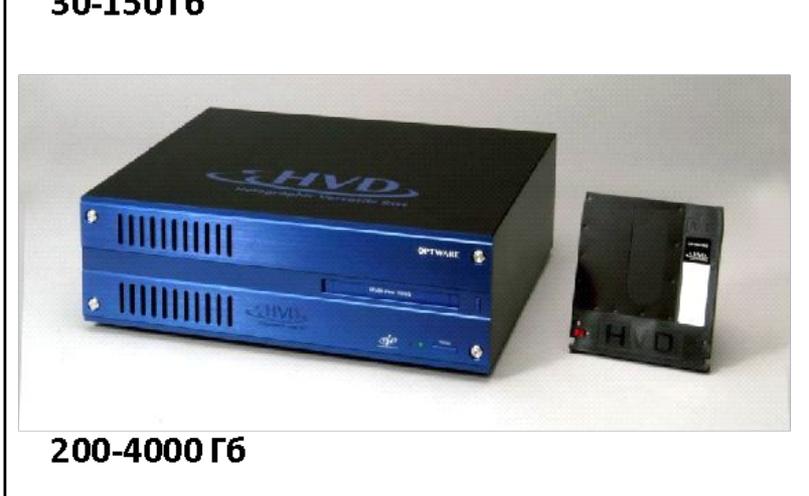
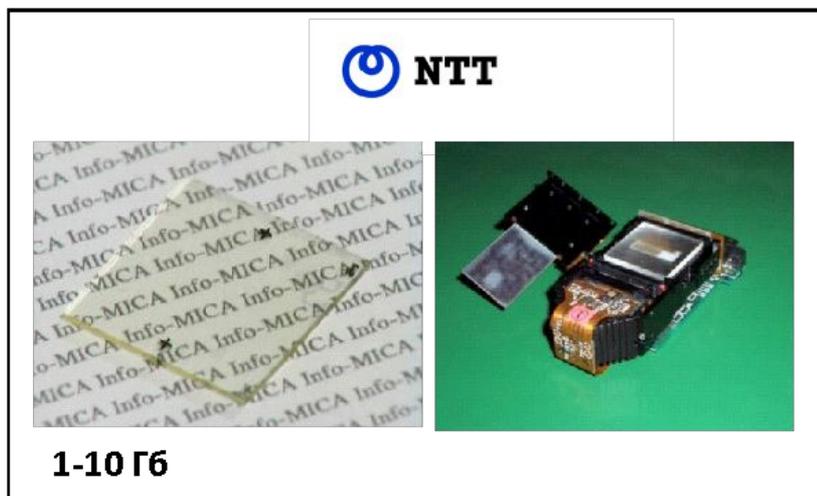
# История и перспективы развития емкости запоминающих устройств по данным IBM



# Преимущества голографического метода при создании систем хранения информации

- Возможность записи и хранения документов в аналоговом формате без предварительного кодирования.
- Возможность параллельной записи и считывания больших объемов информации (не отдельных битов, а целых страниц).
- Увеличение надежности и сохранности записанной информации за счет распределенной, а не локальной формы записи.
- Снижение требований к электромеханическим системам управления и к их быстродействию за счет того, что ширина спиральных дорожек на голографических дисках в 10-100 раз больше, чем в существующих оптических дисках.
- Увеличение информационной емкости за счет использования постраничной, а не побитовой записи информации и за счет использования наложенной записи.

# Голографические системы хранения информации, предлагаемые различными фирмами-изготовителями



# Архивная память

Современные системы архивной оптической голографической памяти представляют собой комплекс сложных научно-технических и инженерных решений при реализации различных этапов процесса записи, считывания и поиска информации.

Голографическая система памяти, как правило, включает следующие основные инженерные компоненты:

- Источники света
- Дефлекторы пучков света
- Составитель страниц
- Среда для записи голограмм
- Матрица фотодетекторов (приемников излучения)
- Различные вспомогательные оптические элементы и электронные устройства

**Голографический диск емкостью 300ГБ (только для чтения) и голографический привод (дисковод для чтения голографических носителей): скорость считывания – 20МБ/с.**

