



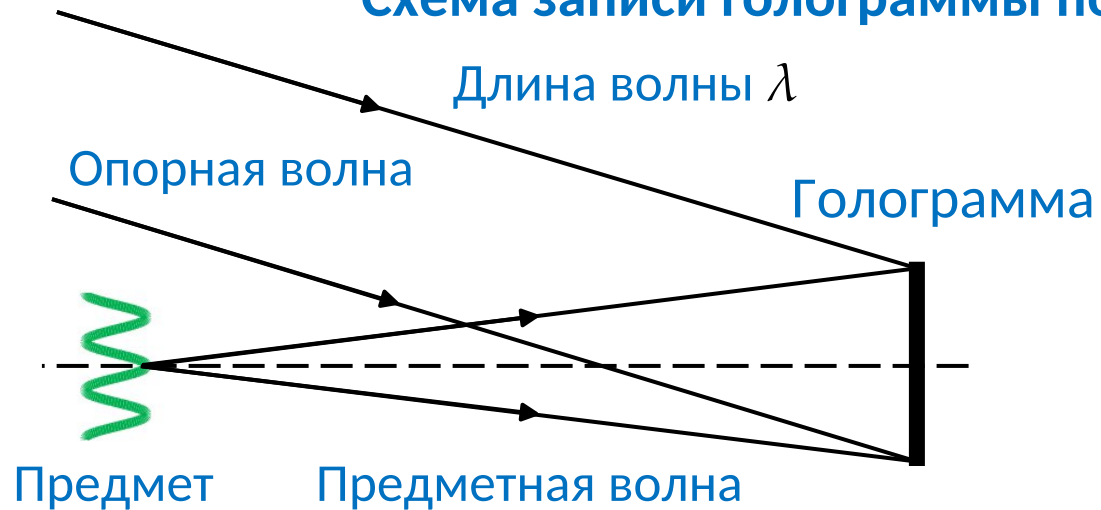
# Голография

---

ЛЕКЦИЯ 9

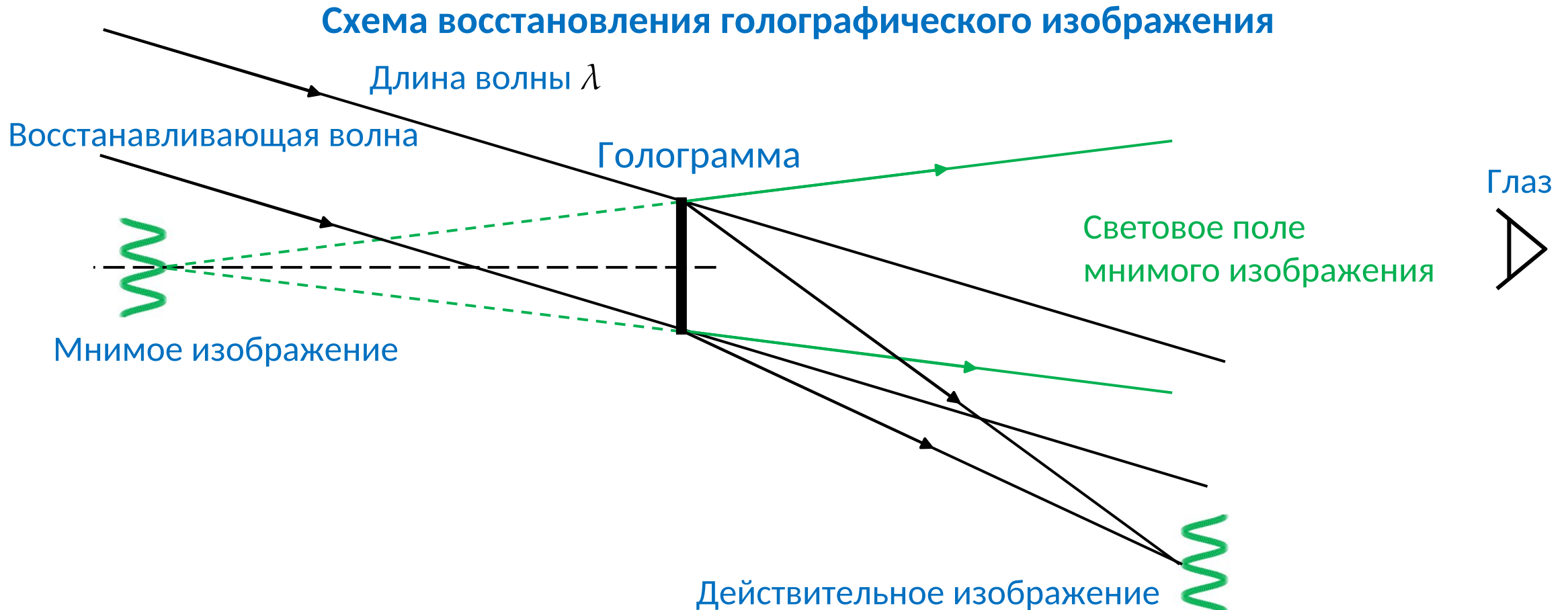
# Голография в монохроматическом свете. Запись голограммы

## Схема записи голограммы по методу Лейта — Упатниекса

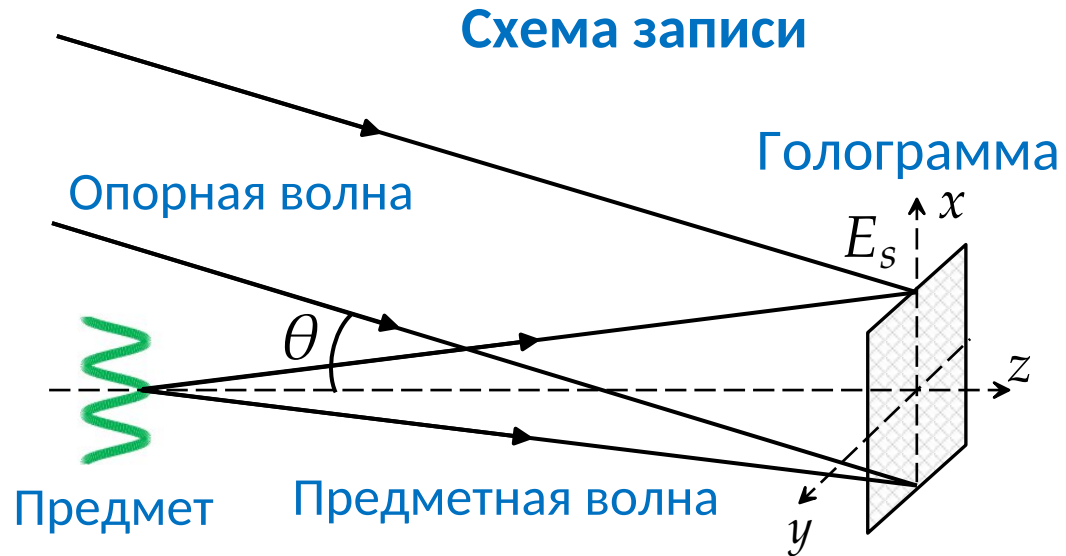


Голограмма - это картина интерференции предметной и опорной волн, которая содержит информацию об амплитуде и фазе предметной волны.

# Голография в монохроматическом свете. Восстановление изображения



# Световое поле при записи голограммы



Поле опорной волны на голограмме:

$$E_{\text{оп}} = Ae^{-ik_x x} \quad \text{где } k_x = k \sin \theta$$

Поле предметной волны на голограмме:

$$E_{\text{пр}} = f(x, y)$$

Суммарное поле:

$$E_s = f(x, y) + Ae^{-ik_x x}$$

Распределение интенсивности на голограмме:

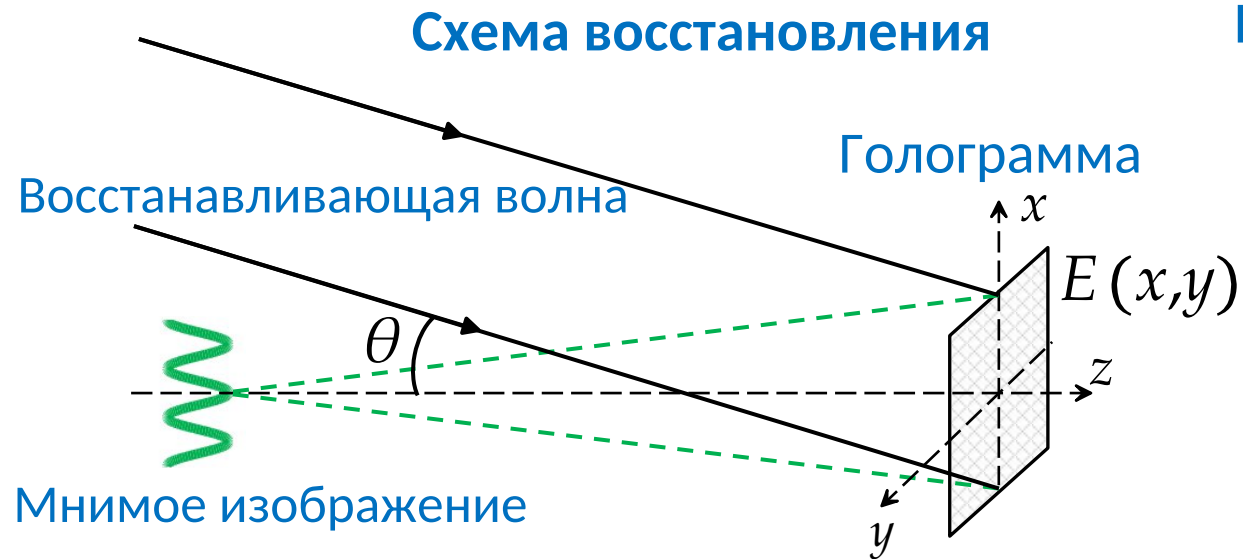
$$I(x, y) = E_s E_s^* = |f|^2 + |A|^2 + f A e^{ik_x x} + f^* A e^{-ik_x x}$$

Функция пропускания голограммы:

$$\tau(x, y) = C I(x, y) \quad \text{где } C - \text{константа.}$$

В дальнейшем  $C = 1$ .

# Световое поле при восстановлении голографического изображения



Восстановленное световое поле  $E(x, y)$  линейно по отношению к исходному предметному полю  $f(x, y)$

Поле восстанавливающей волны на голограмме:

$$E_B = e^{-ik_x x} \quad \text{где } k_x = k \sin \theta$$

Поле после прохождения голограммы:

$$E(x, y) = \tau(x, y) E_B = \tau(x, y) e^{-ik_x x}$$

Восстановленное световое поле:

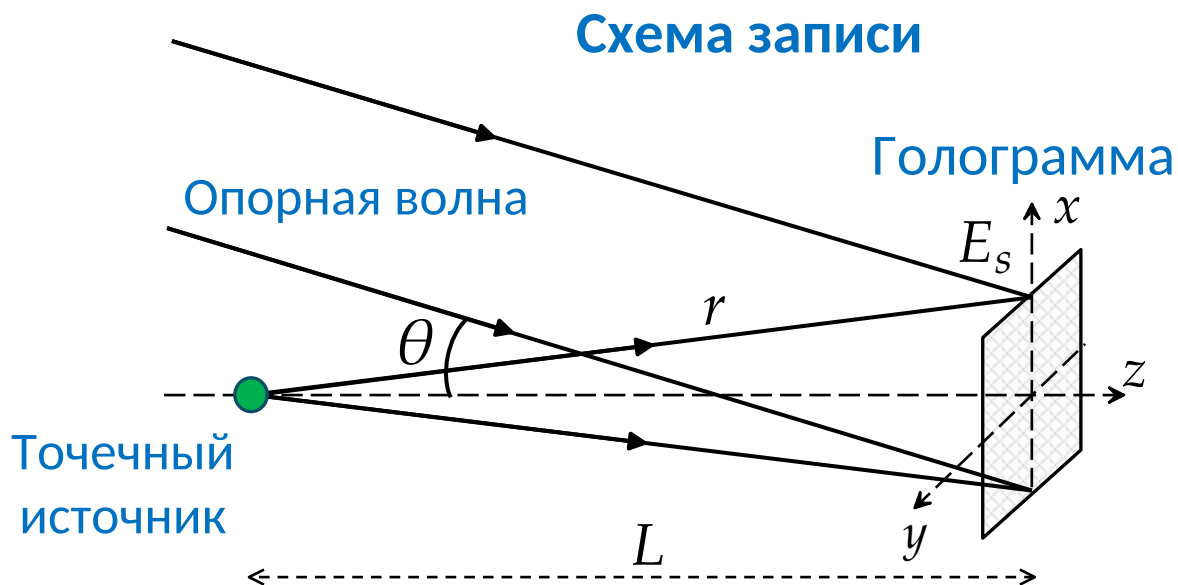
$$E(x, y) = Af(x, y) + (|f|^2 + |A|^2)e^{-ik_x x} + Af^*(x, y)e^{-i2k_x x}$$

поле восстанавливающей волны

поле действительного изображения

поле мнимого изображения

# Голограмма точечного источника



Поле опорной волны на голограмме:

$$E_{\text{оп}} = A e^{-ik_x x}$$

Поле сферической волны:

$$f(x, y) = \frac{a}{r} e^{ikr} = A_0 \exp\left(i \frac{k}{2L} (x^2 + y^2)\right)$$

Распределение интенсивности на голограмме:

$$I(x, y) = |A_0|^2 + A^2 + 2 |A_0| A \cos\left(\frac{k}{2L} (x^2 + y^2) + k_x x + \varphi_A\right)$$

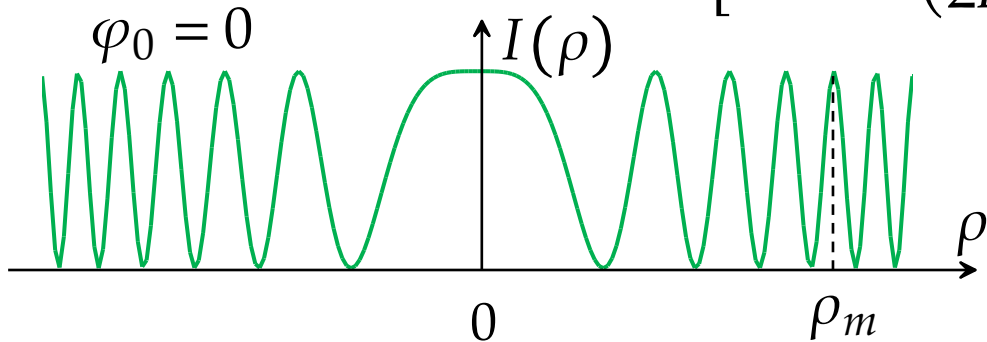
Формула:  $\frac{x^2}{2L} + x \sin \theta = \frac{(x + L \sin \theta)^2}{2L} - \frac{L \sin^2 \theta}{2}$

Замена переменной:  $\tilde{x} = x + L \sin \theta$

Интенсивность:  $I(x, y) = |A_0|^2 + A^2 + 2 |A_0| A \cos\left(\frac{k}{2L} (\tilde{x}^2 + y^2) + \varphi_0\right)$

# Функция пропускания голограммы точечного источника

Интенсивность:  $I(x,y) = 2A^2 \left[ 1 + \cos \left( \frac{k}{2L} (x^2 + y^2) + \varphi_0 \right) \right]$  при  $|A_0| = A$  и  $\theta = 0$



Условие максимума (при  $\varphi_0 = 0$ ):

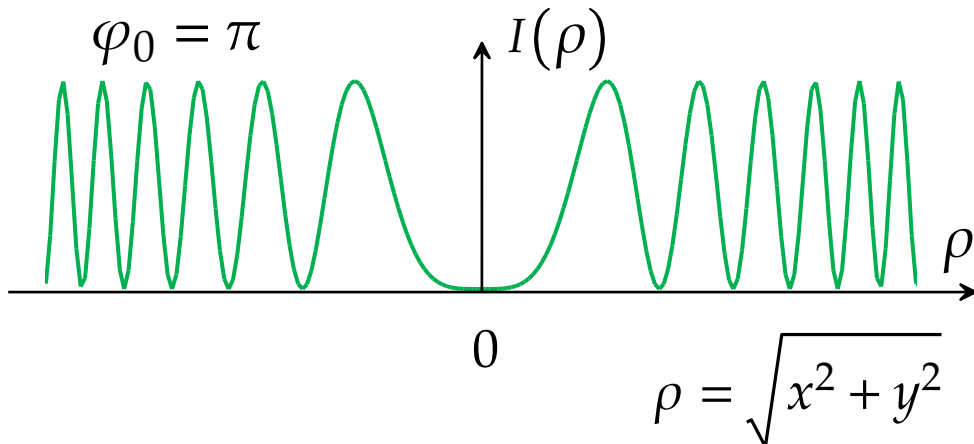
$$\frac{k}{2L} \rho_m^2 = 2\pi m$$

Положение максимумов:

$$\rho_m = \sqrt{2m\lambda L}$$

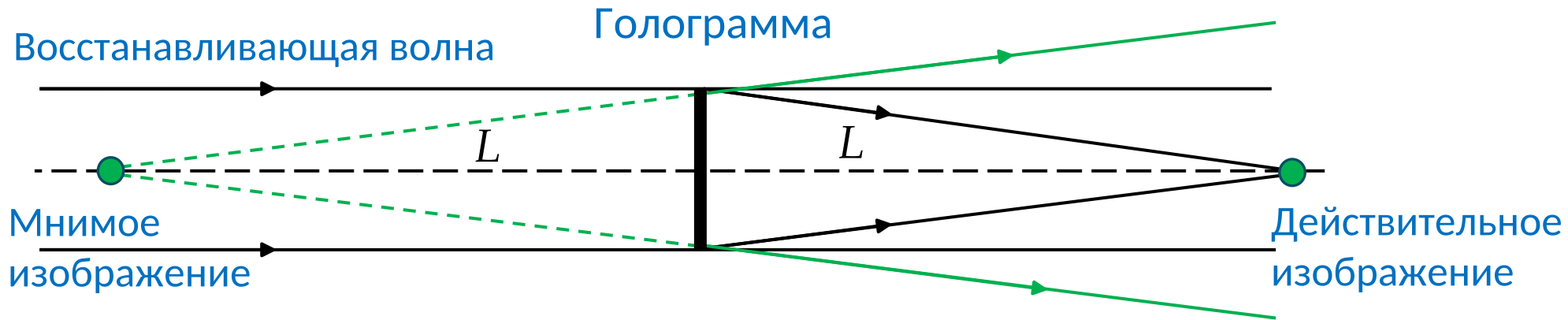
Расстояние между максимумами:

$$\Delta\rho = \rho_{m+1} - \rho_m = \frac{\sqrt{\lambda L}}{\sqrt{2m}} = \frac{\lambda L}{\rho_m}$$



# Запись и восстановление изображения точечного источника прямым пучком

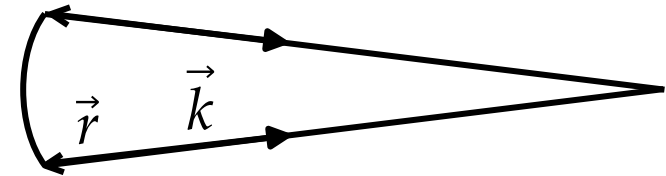
Запись и восстановление прямым пучком ( $\theta = 0$ ).



Действительное изображение создается полем сходящейся сферической волны:

$$f^*(x, y) = A_0^* \exp\left(-\frac{ik}{2L}(x^2 + y^2)\right) = \frac{a}{r} e^{-ikr} = \frac{a}{r} e^{i\vec{k}\vec{r}}$$

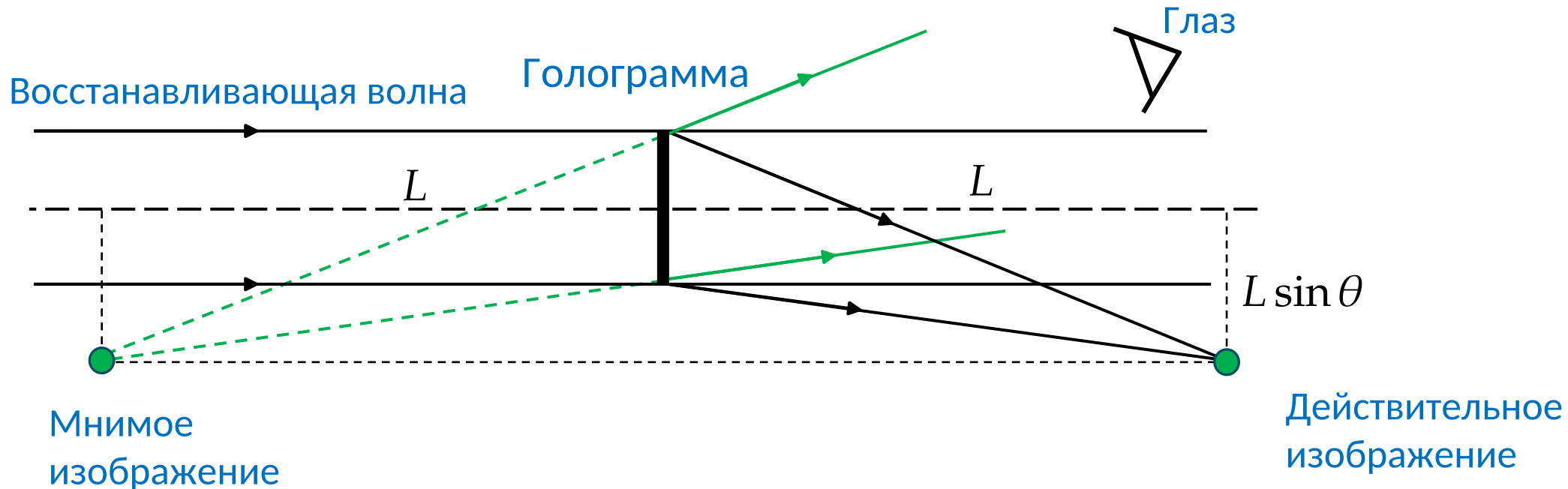
$\vec{k} \updownarrow \vec{r}$





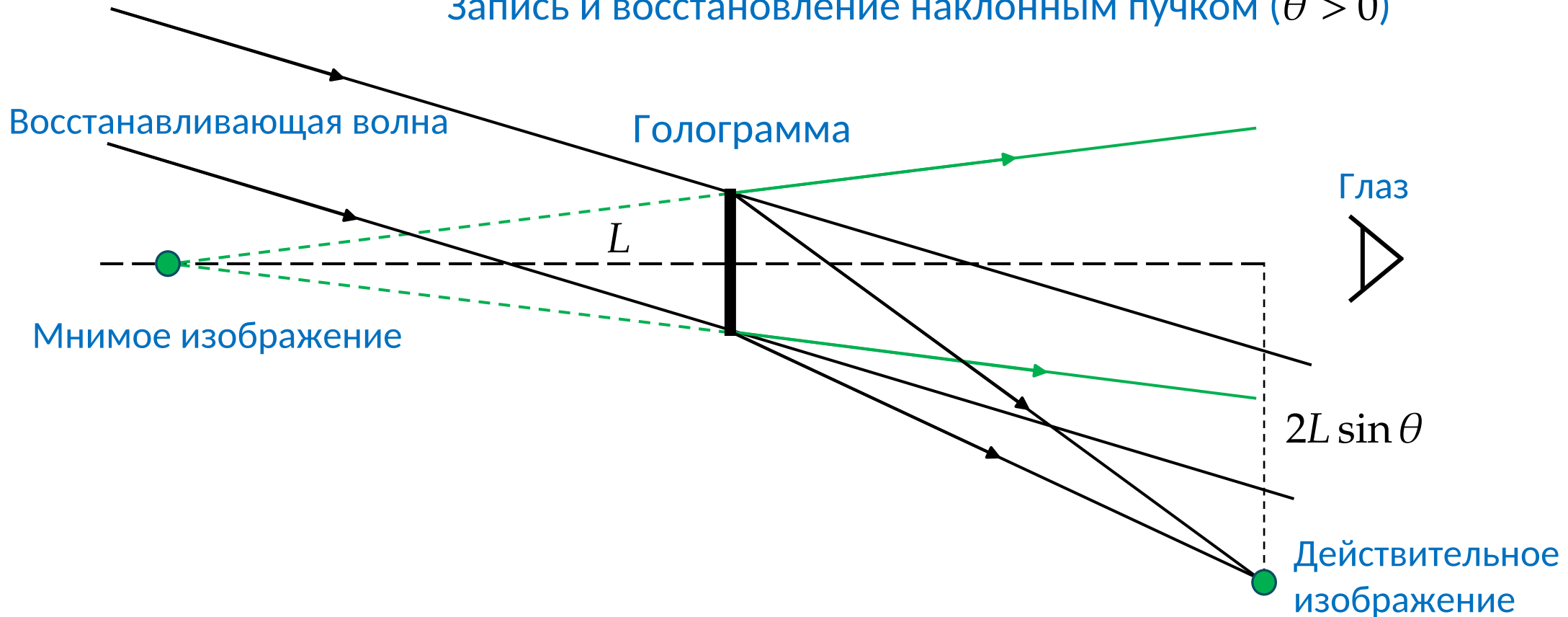
# Запись точечного источника наклонным пучком и восстановление прямым пучком

Запись наклонным ( $\theta > 0$ ) и восстановление прямым пучком ( $\theta = 0$ )



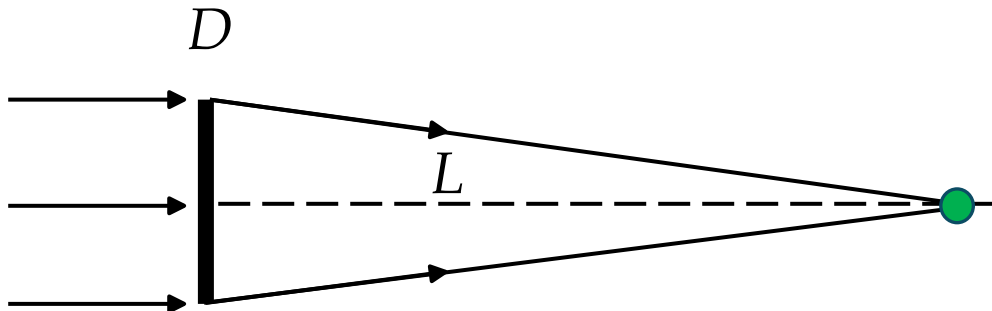
# Запись и восстановление изображения точечного источника наклонным пучком

Запись и восстановление наклонным пучком ( $\theta > 0$ )



# Разрешающая способность голограммы. Требования к монохроматичности излучения

Голограмма точечного источника



Минимальный размер деталей в голографическом изображении:

$$b = \frac{\lambda}{D} L$$

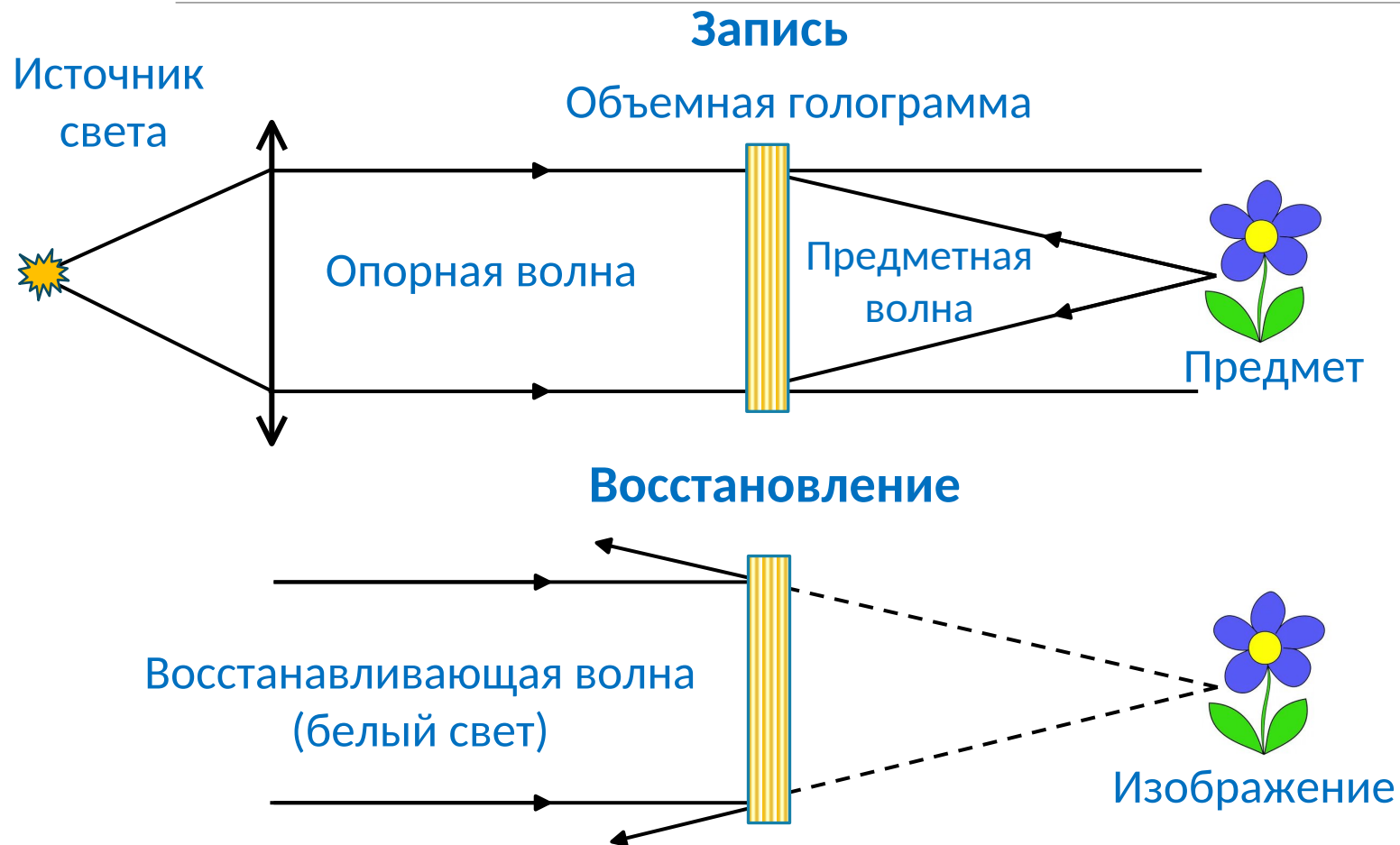
Требования к монохроматичности излучения:

Разность хода:

$$\Delta L = \sqrt{(D/2)^2 + L^2} - L \approx \frac{D^2 \lambda}{8L}$$

$$\Delta L = \frac{D^2 \lambda}{8L} \leq L_{\text{ког}} = \frac{\lambda^2}{\Delta \lambda}$$

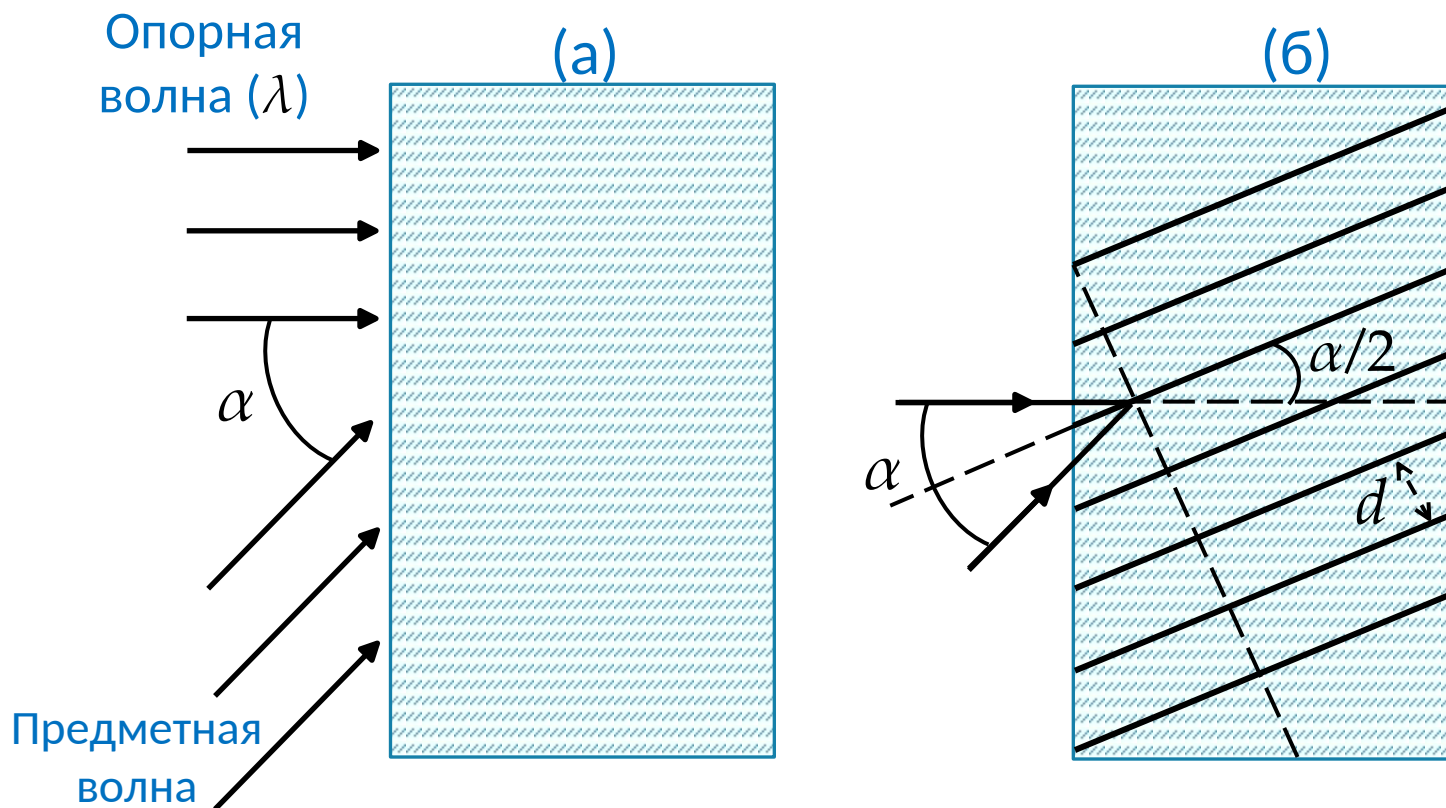
# Цветная голография Денисюка.



Денисюк Юрий Николаевич (1927-2006), советский физик, Ленинская премия (1970)

# Запись объемной голограммы

## Объемная голограмма



Требования к фотоэмульсии: 5000 линий/мм

Расстояние между плоскостями:

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

Голограмма представляет собой систему “зеркал” с периодом  $d$ .

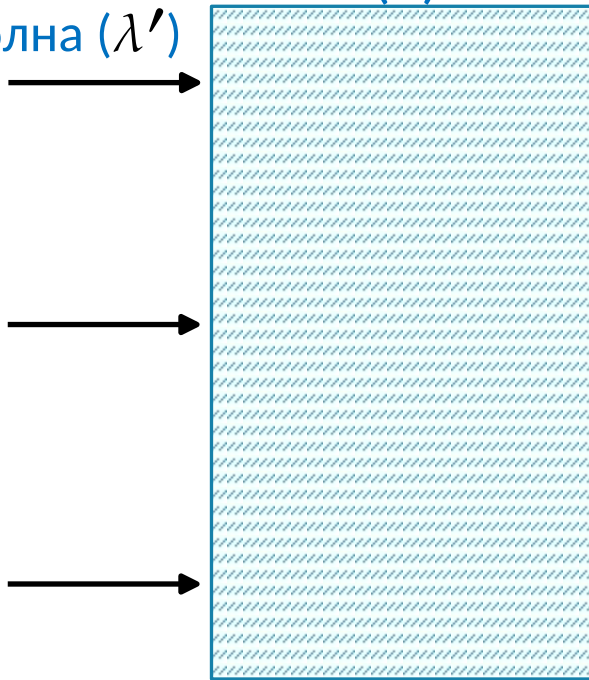
При записи используются три источника света: красный, зеленый и синий. Каждому цвету отвечает своя система “зеркал” со своим периодом.

# Восстановление изображения объемной голограммы

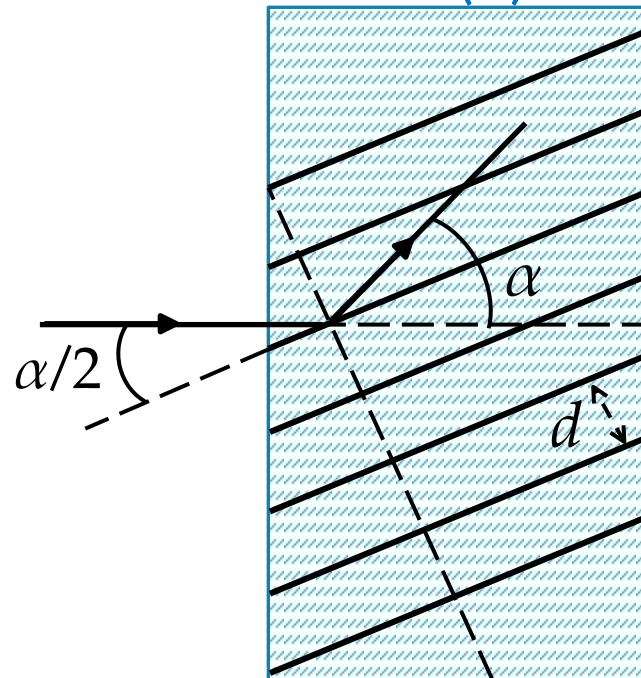
## Объемная голограмма

Восстанавливающая (а)

волна ( $\lambda'$ )



(б)



Условие отражения Брегга-Вульфа:

$$2d \sin \frac{\alpha}{2} = \lambda'$$

Расстояние между плоскостями:

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

Длина волны отраженного света:

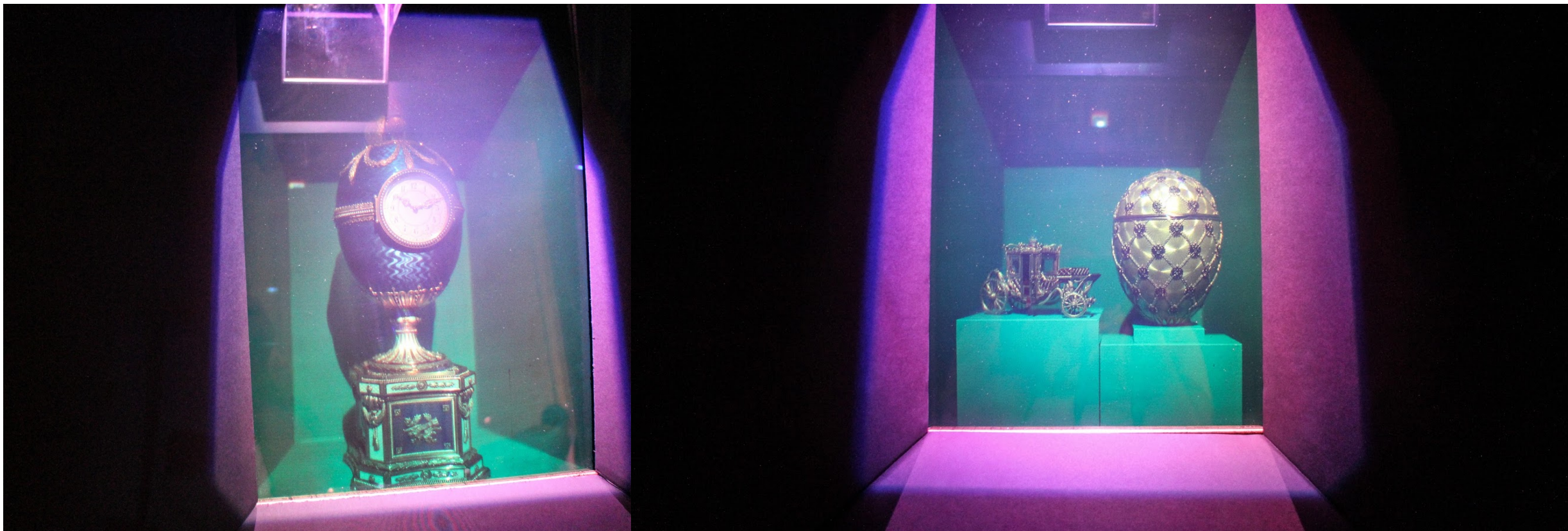
$$\lambda' = \lambda$$

В отраженном свете присутствуют те же цвета красный, зеленый и синий, что и при записи. Это дает цветное изображение в белом свете.



# Примеры голограмм (1)

---



# Примеры голограмм (2)

---





# «Мультиплексная» голограмма по методу Ллойда Кросса

