С.Л. Парновський

Оптика

Лекція 7

Хвильова оптика. Інтерференція.

$$\boxed{I \sim E^2} + \boxed{\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2} =$$

$$I = \left\langle E^2 \right\rangle = I_1 + I_2 + J_{12},\ J_{12} = 2\left\langle \vec{E}_1 \vec{E}_2 \right\rangle$$

Нема інтерференції двох лінійно поляризованих хвиль з перпендикулярними поляризаціями (Френель, Араго).

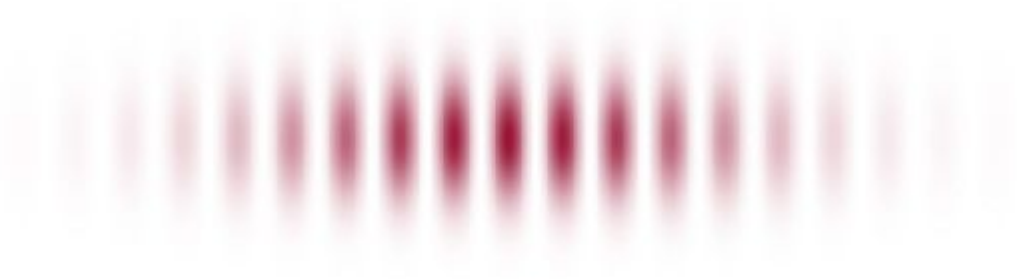
Когерентне світло.

$$\vec{E}_1 \sim A\cos(\omega t), \vec{E}_2 \sim B\cos((\omega + \Delta\omega)t + \delta)$$

Якщо час проведення досліджень t, то при $t\Delta\omega > 1$ не буде інтерференції.

Фотон може інтерферувати лише сам з собою.

Можлива інтерференція
світла від двох лазерів.



$$\vec{E}_1 \sim A\cos(\omega t), \vec{E}_2 \sim B\cos(\omega t+\delta) = B[\cos(\omega t)\cos\delta - \sin(\omega t)\sin\delta]$$

$$J_{12} = 2\langle \vec{E}_1\vec{E}_2 \rangle = 2AB\left[\langle \cos^2(\omega t)\rangle \cos\delta - \langle \sin(\omega t)\cos(\omega t)\rangle \sin\delta\right] =$$

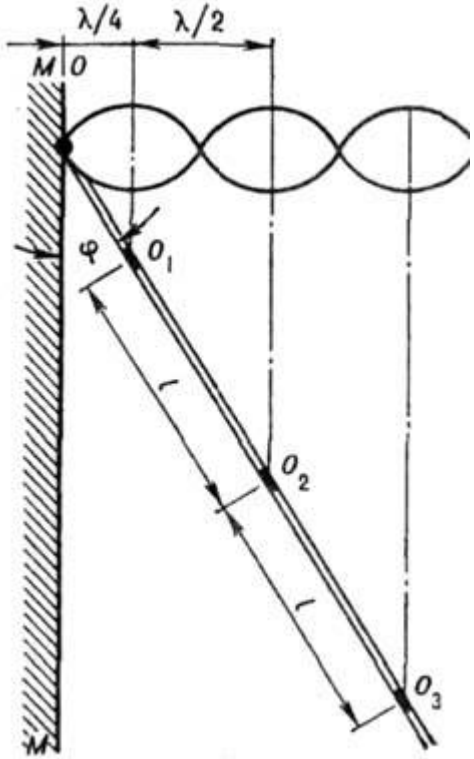
$$= AB\cos\delta$$

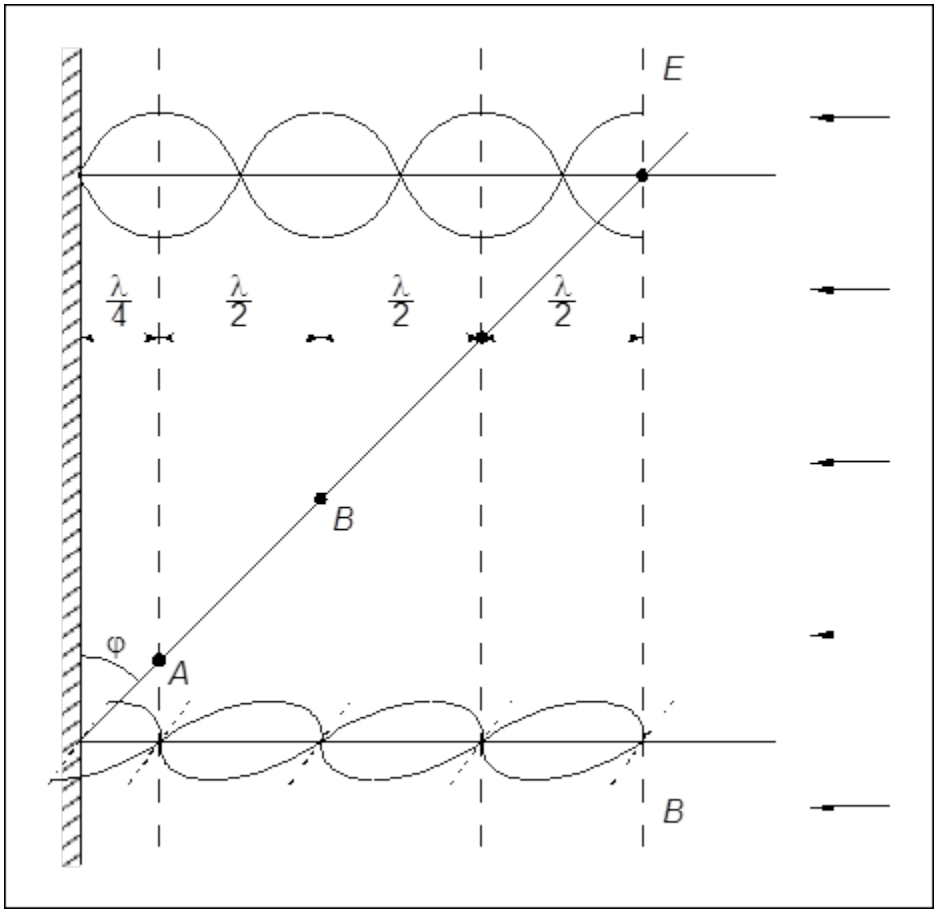
$$\boxed{I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\delta,\ \delta = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta L}$$

$$I_{\max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2},\ |\delta| = 0, 2\pi, 4\pi, 6\pi, \ldots$$

$$I_{\min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2},\ |\delta| = \pi, 3\pi, 5\pi, 7\pi, \ldots$$

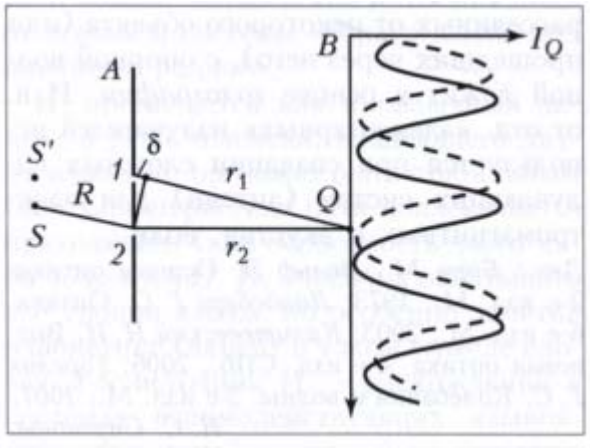
Стоячі хвилі. Досліди Вінера.



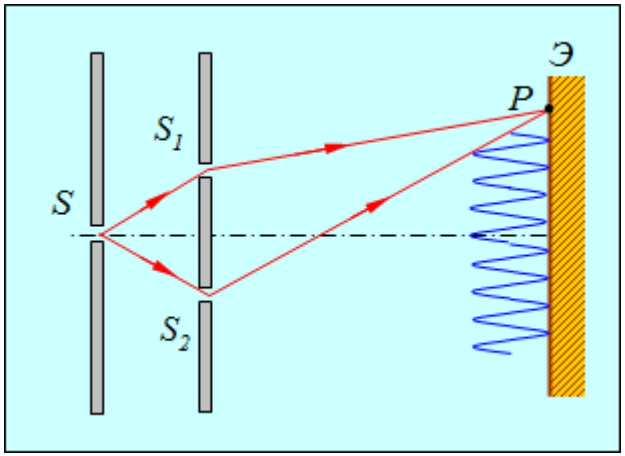


Кольорова фотографія Ліпмана, Нобелівська премія 1891 р.

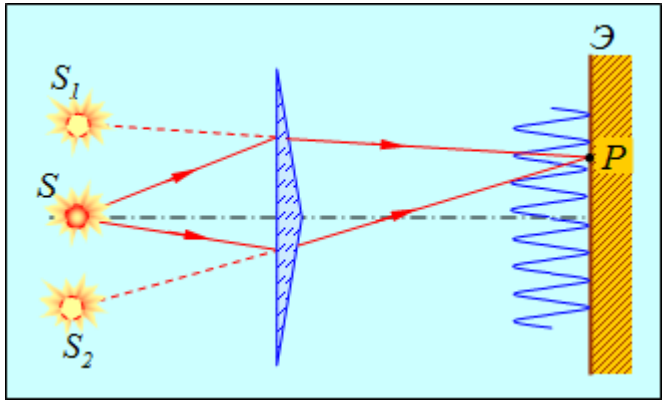
Двопроменева інтерференція. Метод розділення хвильового фронту.



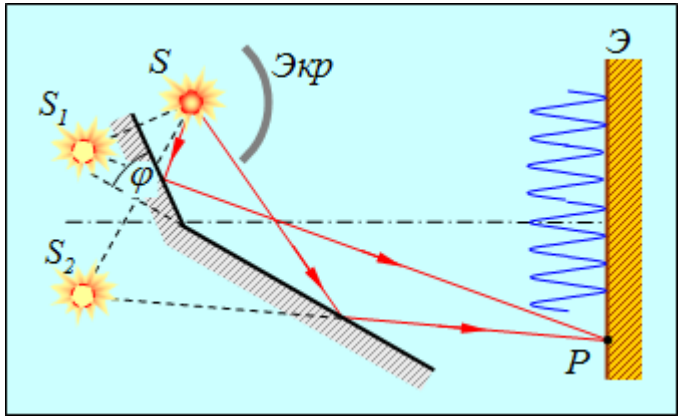
Дослід Юнга



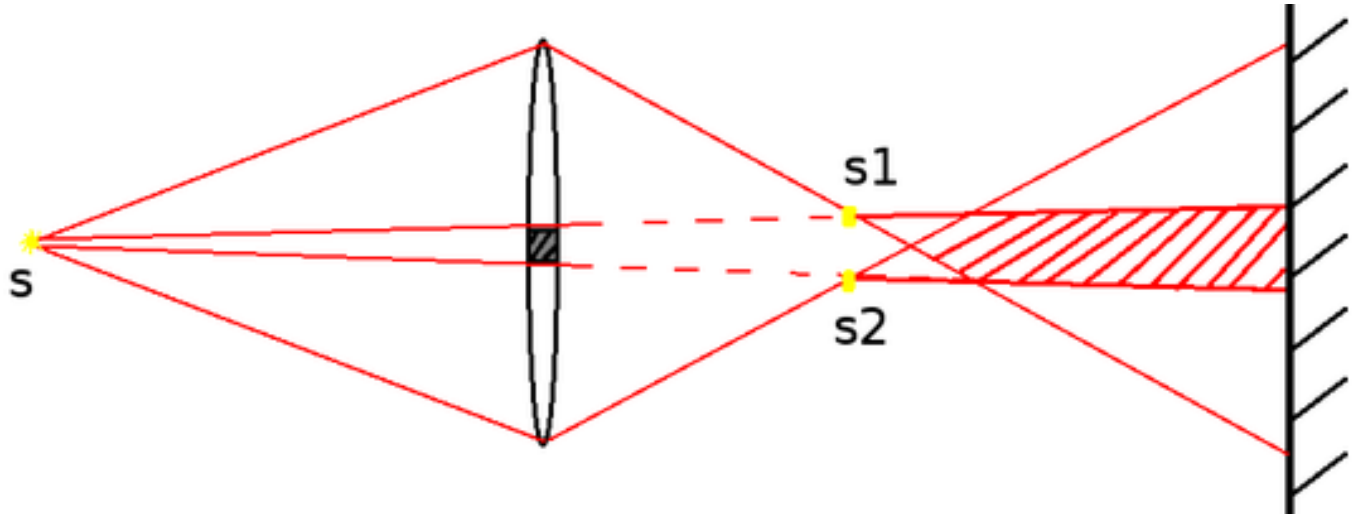
Біпризма Френеля

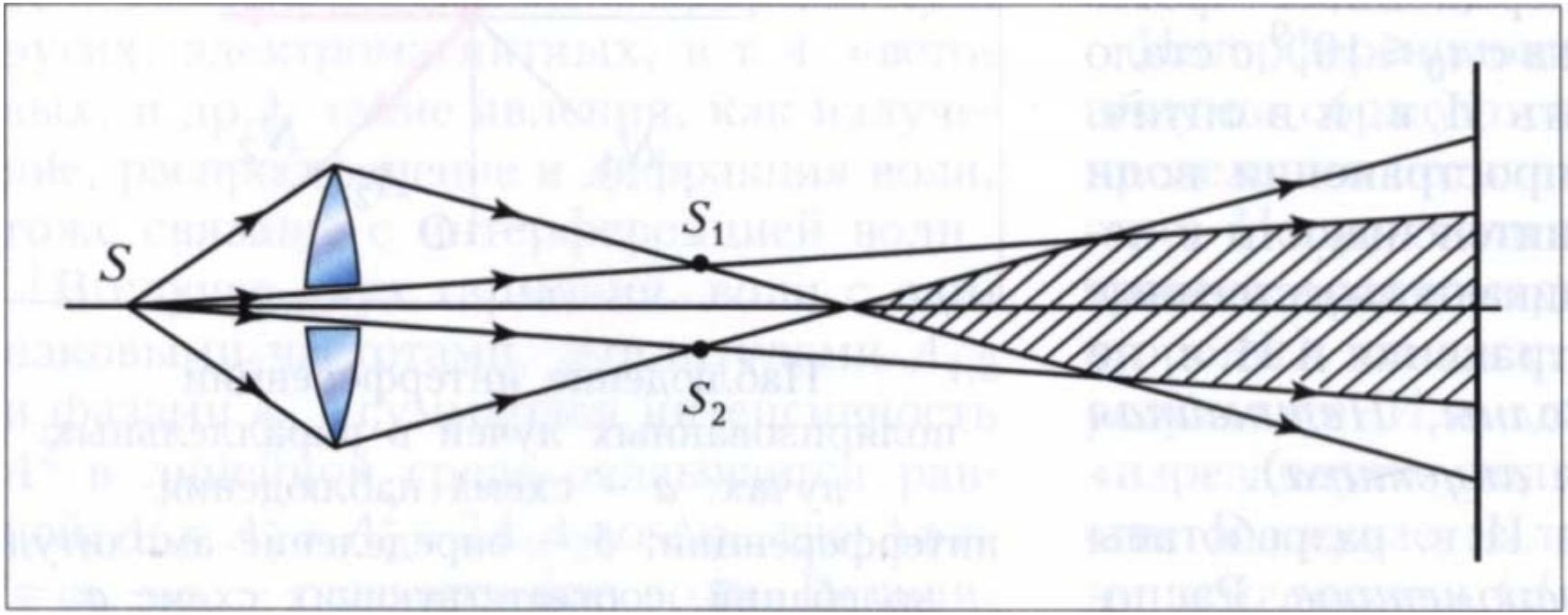


Бідзеркало Френеля

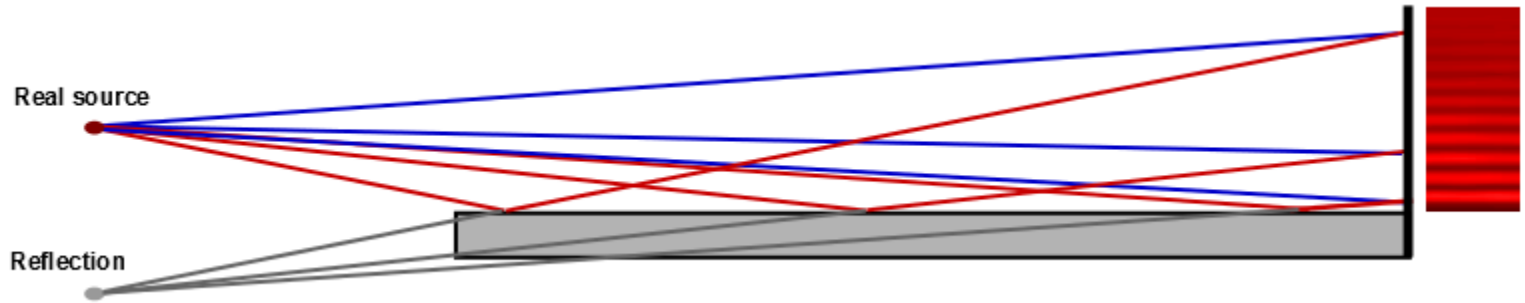


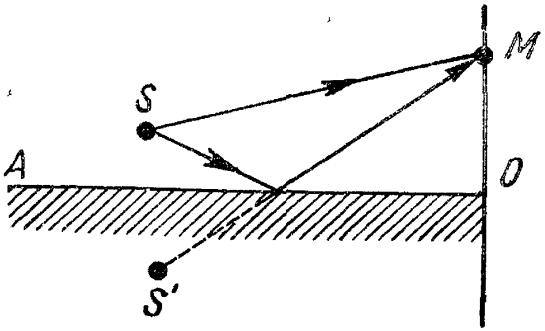
Біпризма Бійє





Дзеркало Ллойда





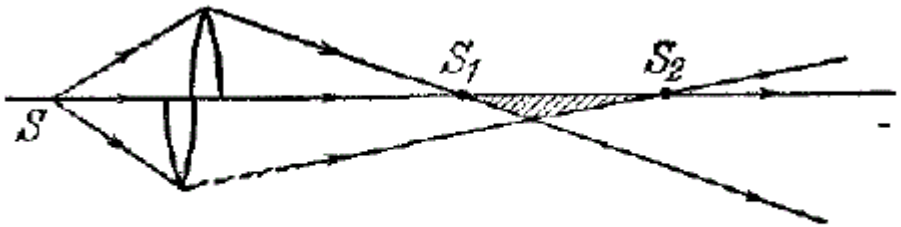
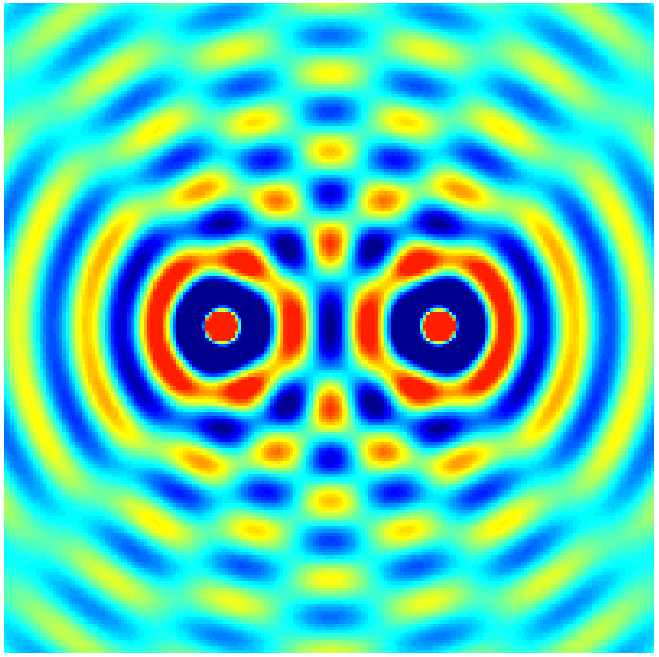
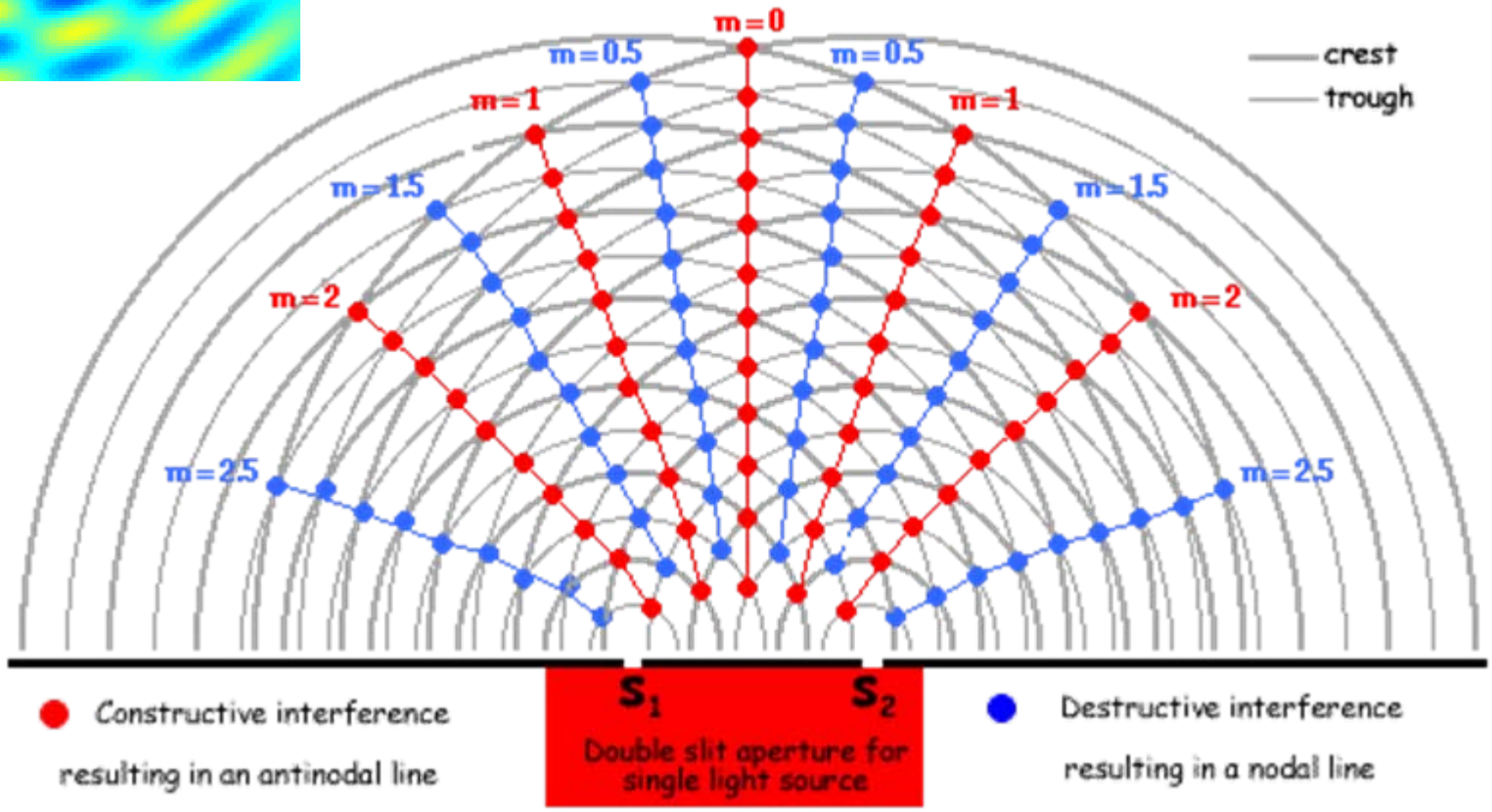


Рис. 7.9. Опыт Меслина.




m=0
m=0.5
m=0.5
m=1
m=1
m=1.5
m=1.5
m=2
m=2
m=2.5
m=2.5
crest
trough
S1
S2
Double slit aperture for single light source
Constructive interference resulting in an antinodal line
Destructive interference resulting in a nodal line

Формули

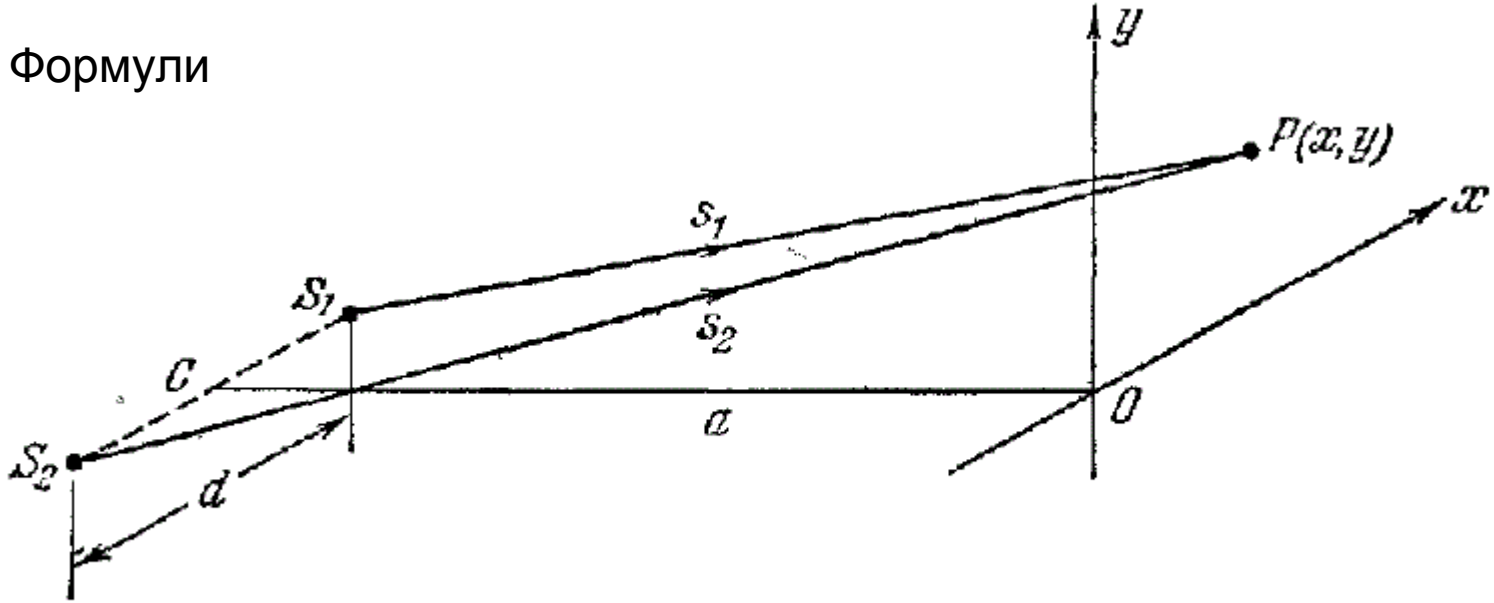


Рис. 7.3. Интерференция света от двух точечных источников.

$$s_1 = S_1P = \sqrt{a^2 + y^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2},\ s_2 = S_2P = \sqrt{a^2 + y^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2}$$

$$s_2{}^2 - s_1{}^2 = 2xd,\ \Delta L = n(s_2 - s_1) = n\frac{s_2{}^2 - s_1{}^2}{s_2 + s_1} = \frac{2nxd}{s_2 + s_1} \approx \frac{nxd}{a}$$

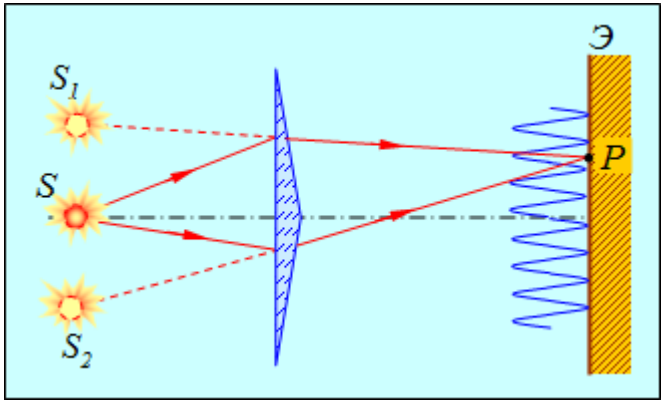
$$\boxed{\delta = \frac{2\pi}{\lambda}\frac{nxd}{a}}$$

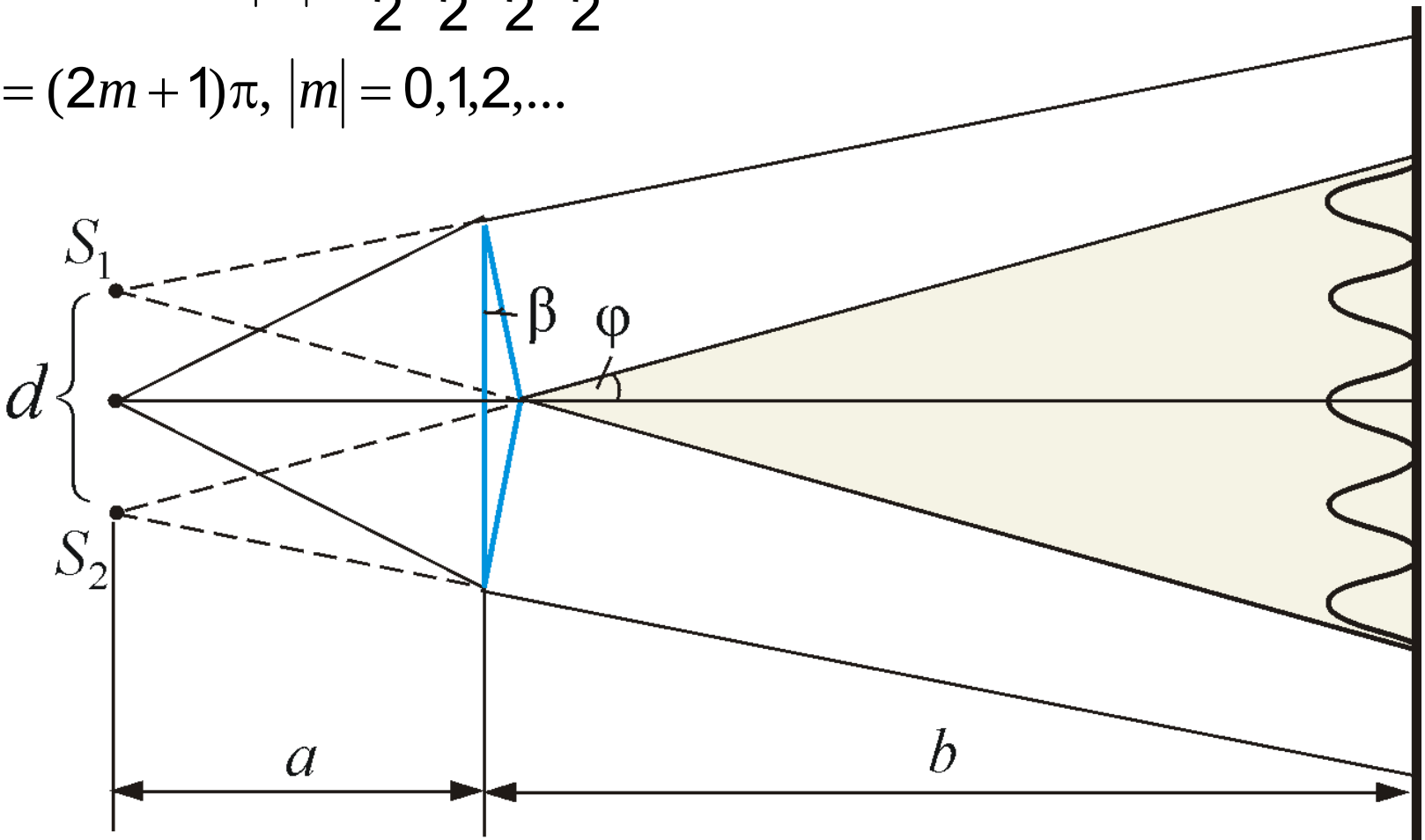
$$x = \frac{ma\lambda}{nd}$$

$$\max \Rightarrow \delta = 2m\pi,\ |m| = 0,1,2,3,\ldots$$

$$\min \Rightarrow \delta = 2m\pi,\ |m| = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \frac{7}{2}, \ldots$$

$$\min \Rightarrow \delta = (2m+1)\pi,\ |m| = 0,1,2,\ldots$$



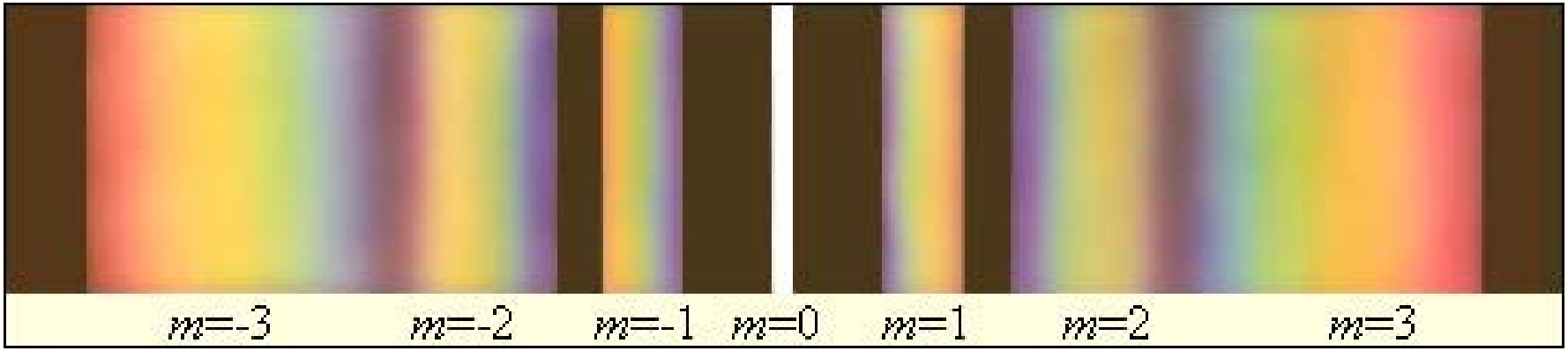


Але є проблеми. 1) Немонохроматичність джерела.

Квазімонохроматичне джерело випромінює хвилі у інтервалі довжин Δλ<<λ.
Ширина максимуму буде $\Delta x = \frac{ma\Delta\lambda}{nd}$

Якщо |m|<<λ/Δλ, то максимуми не будуть накладатися.

У білому світлі з λ/Δλ біля 2 інтерференційна картина виглядатиме на кшталт



Використовується для визначення нульового порядку

Вплив розмірів джерела, зокрема ширини щілини.

Позначення див. Борн, Вольф “Основы оптики”, літерою ξ позначено координату поперек щілини завширшки e.

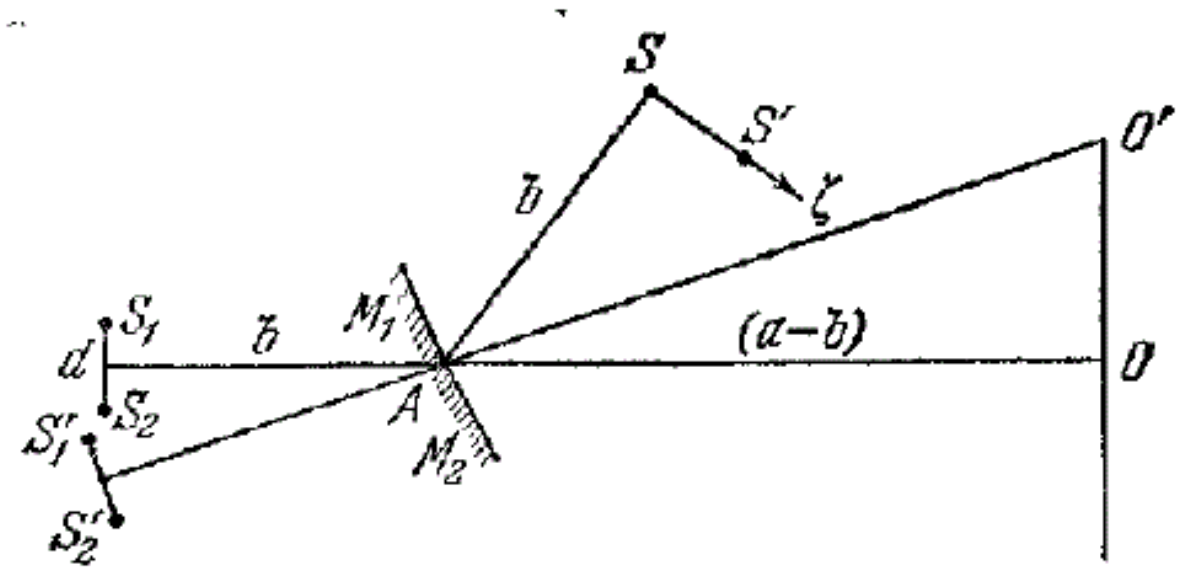


Рис. 7.10. Зеркала Френеля, освещаемые источником в виде щели.

$$\Delta L' = \Delta L - D\xi,\ D = \frac{(a-b)nd}{ab},\ \delta(\xi) = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta L'$$

$$I \sim \int_{-e/2}^{e/2} \left(1+\cos\delta(\xi)\right)d\xi = 2I_1\left[1+\frac{\sin u}{u}\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\Delta L\right)\right],\ u = \frac{\pi De}{\lambda}$$

Видність смуг за Майкельсоном

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

У нашому випадку

$$V = \frac{|\sin u|}{u}$$

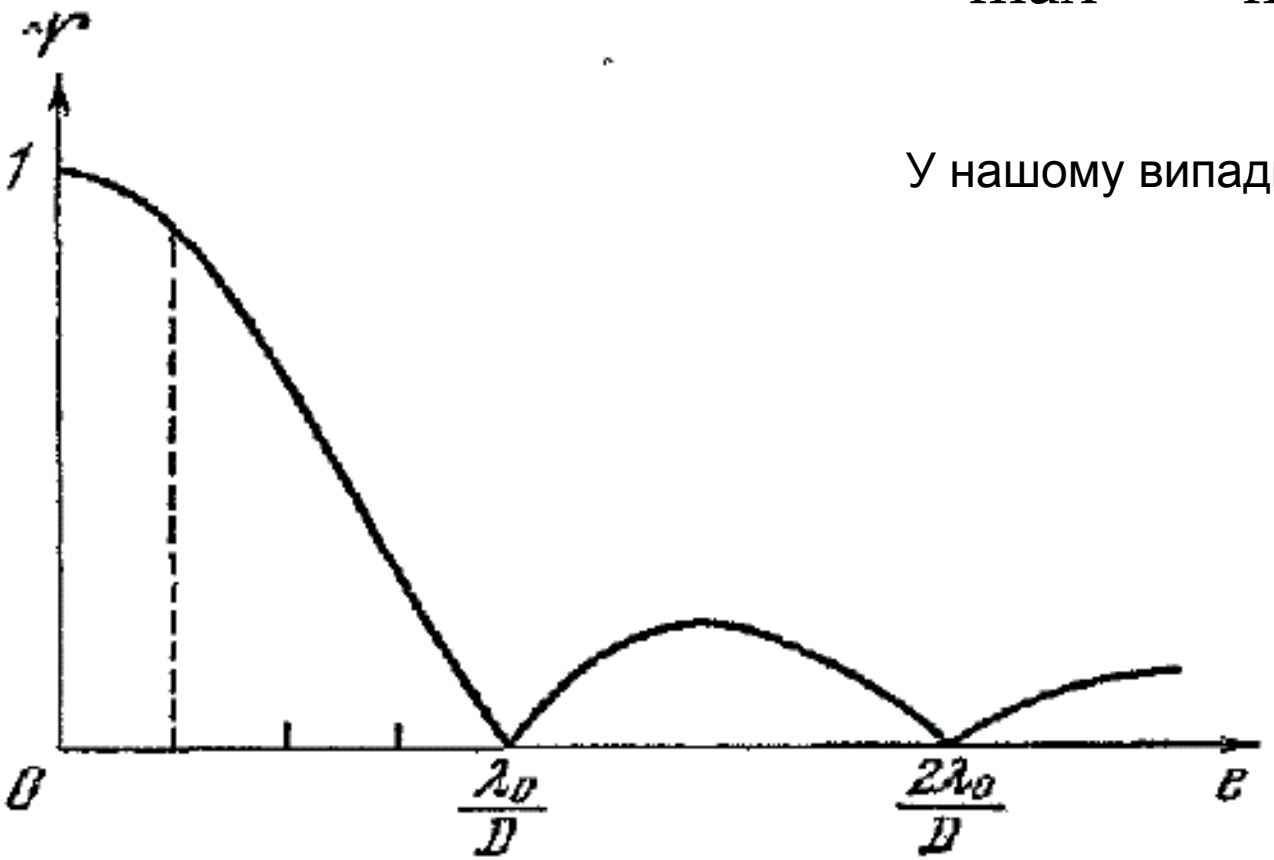


Рис. 7.11. Изменение видности полос при увеличении ширины источника в виде щели (зеркала Френеля).

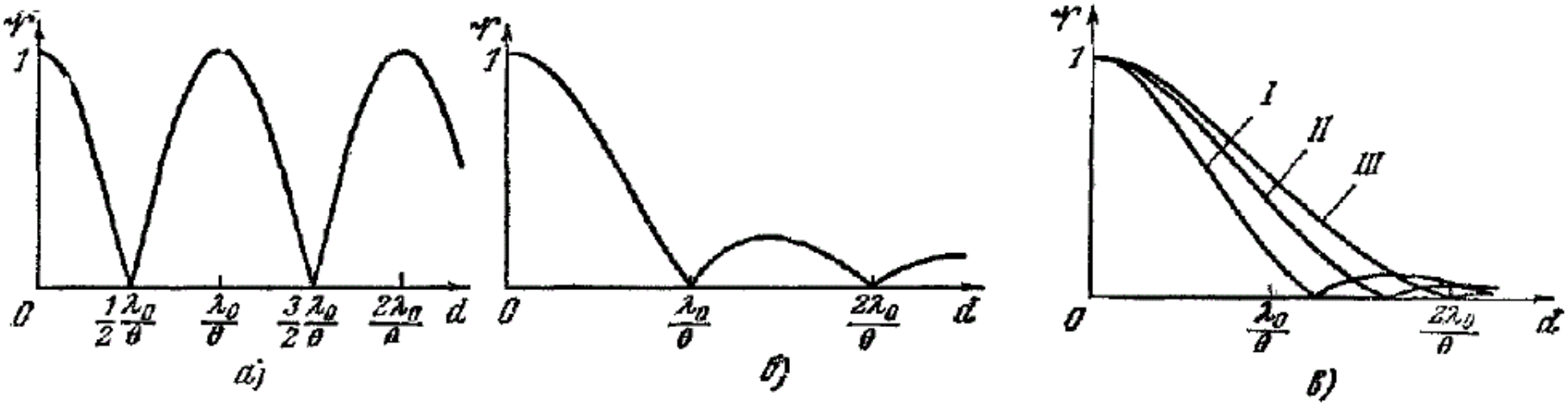
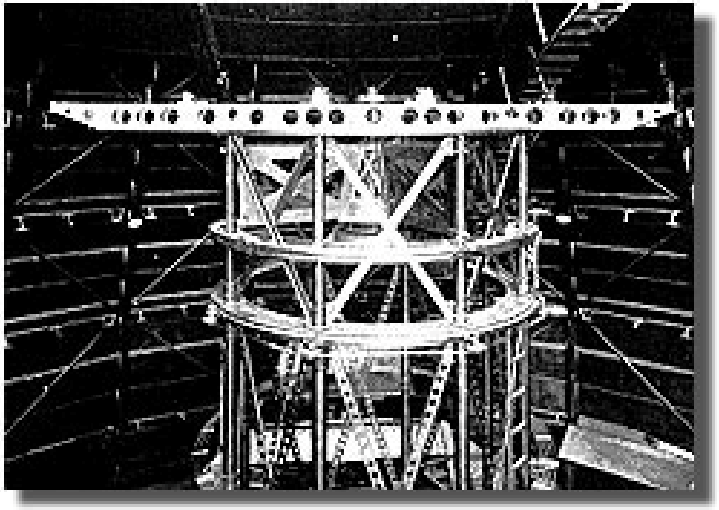


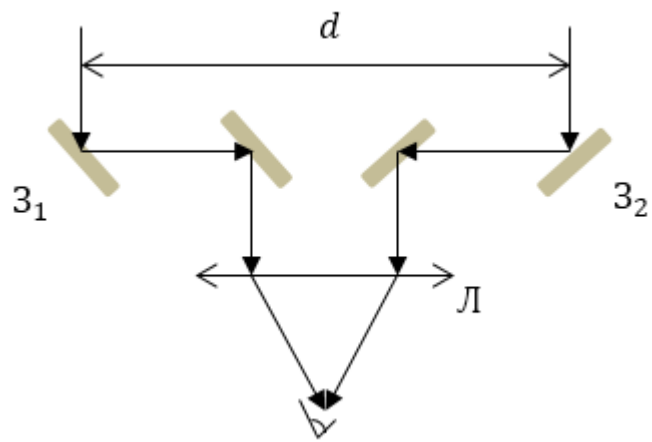
Рис. 7.15. Изменение видности полос в зависимости от расстояния между отверстиями (см. рис. 7.14).

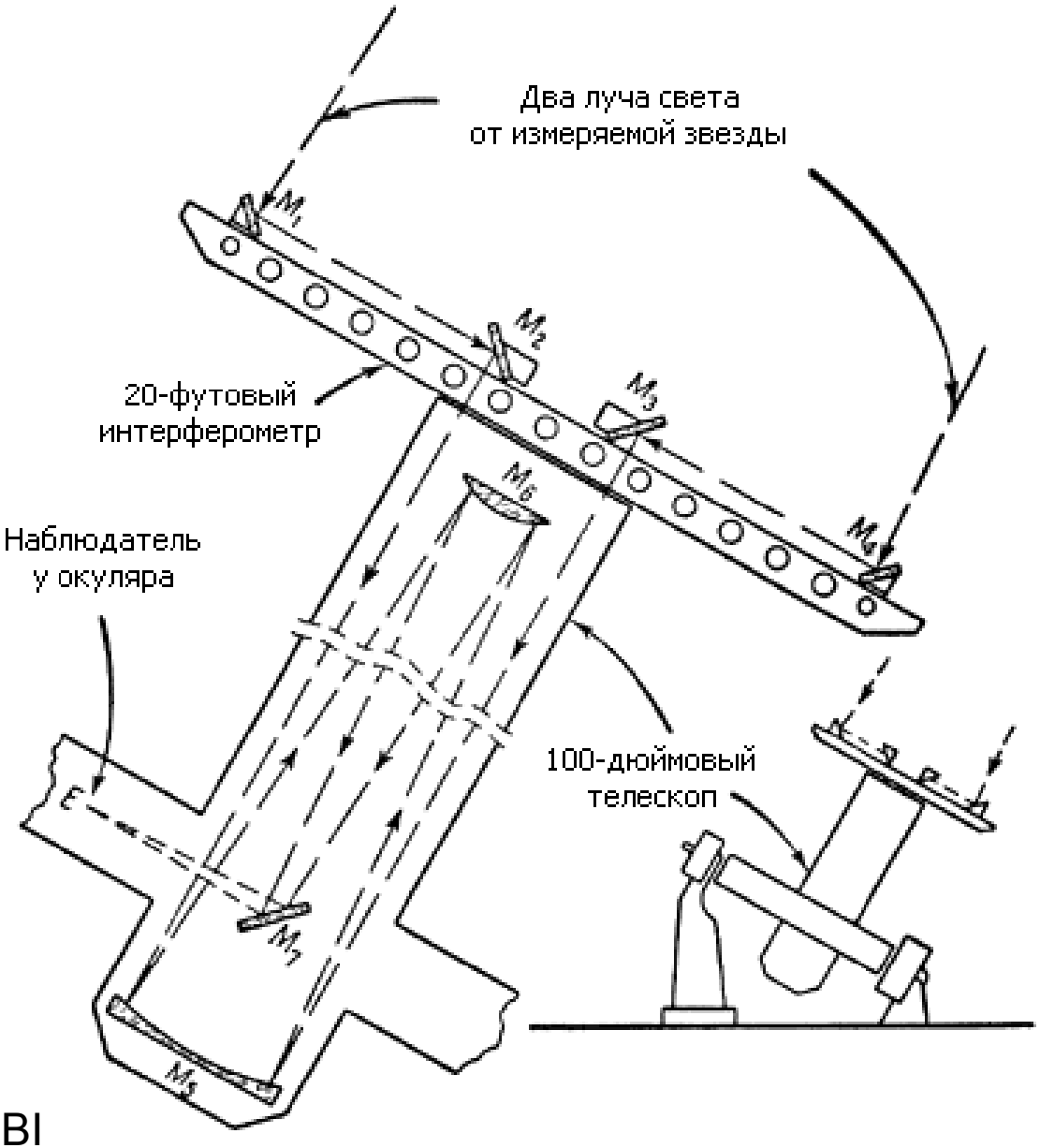
а — два одинаковых точечных источника с угловым расстоянием θ, б - однородный прямоугольный источник угловой ширины θ со сторонами, параллельными линии, соединяющей отверстия в — источник в виде круглого диска с угловым диаметром $\theta = 2\beta_0$ и распределением интенсивности $I(\beta) \sim (\beta_0^2 - \beta^2)^v$, где β — угловой радиус, отсчитываемый от центра [3]

Зоряний інтерферометр Майкельсона



The 20-foot beam on top of the 100-inch Hooker Telescope on Mt. Wilson in Southern California.





Виміряно кутовий розмір зорі Бетельгейзе (α Оріона) 0.047“. Лінійний діаметр 4.1 10^8 км у 300 разів перевищує сонячний і більший за діаметр орбіти Землі.

Радіоінтерферометри, VLBI

На этом основано устройство

Інтер-
фero-
метр
Релея

интерферометра Рэлея [2], применяемого для точных измерений показателей преломления газов. Схема современной модели этого прибора показана на рис. 7.13. Свет от щели S коллимируется линзой L_1 и затем падает на две другие щели S_1 и S_2, параллельные S. Параллельные пучки света от S_1 и S_2 проходят через разные газовые кюветы T_1 и T_2 и собираются линзой L_2, в фокальной плоскости которой образуются интерференционные полосы, параллельные щелям *). Помещение газовых кювет в пучки света заставляет значительно увеличить расстояние между щелями S_1 и S_2, вследствие чего интерференционные полосы располагаются тесно, и для их наблюдения требуется большое увеличение. Ширина щели S также не может быть большой, и, следовательно, яркость картины невелика. Так как увеличение требуется только в направлении, перпендикулярном к полосам, то для этой цели хорошо подходит цилиндрический окуляр в виде тонкой стеклянной палочки с длинной осью, параллельной полосам. Картина, рассматриваемая таким образом, значительно ярче, чем при использовании сферического окуляра. Применение цилиндрического окуляра имеет еще и другое важное преимущество, позволяя получить вторую фиксированную систему полос с таким же расстоянием между полосами, как и у главной, но образованную светом от источников S_1 и S_2, прошедшим ниже газовых кювет. Вторая система полос может служить шкалой для отсчета. С помощью стеклянной пластинки G эту шкалу смещают по вертикали так, чтобы ее верхний край соприкасался с нижним краем главной системы. Резкая линия раздела между ними — это край пластинки G, наблюдаемый через линзу

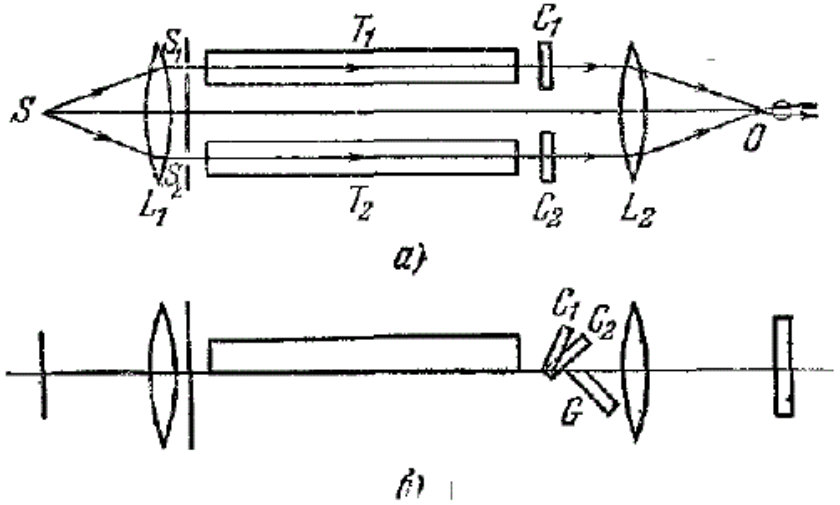
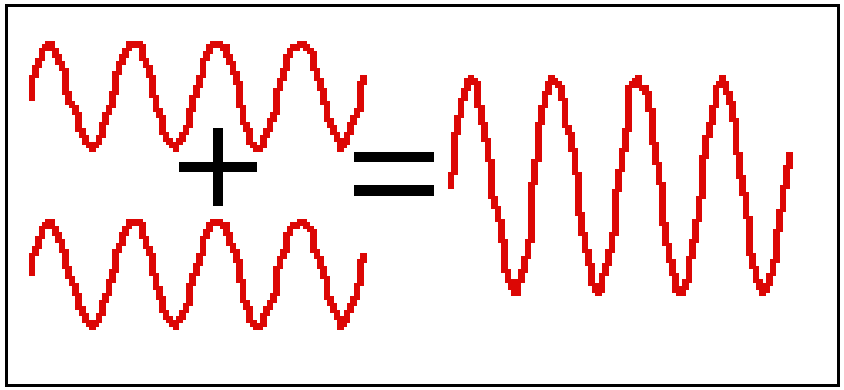


Рис. 7.13. Схема интерферометра Рэлея.
а — горизонтальное сечение, *б* — вертикальное сечение.

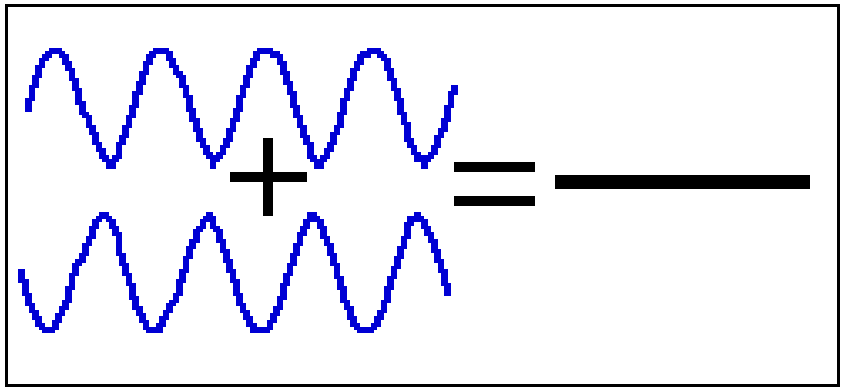
используя компенсатор, нулевые порядки. Разница между двумя установками компенсатора позволяет определить по его калибровке смещение порядка Δm в главной системе полос, вызванное присутствием газа в кювете. Показатель преломления этого газа n' находят из (28), а именно:

$$(n'-1)=\frac{\lambda_0}{l}\Delta m, \tag{29}$$

где l — длина газовой кюветы. При обычных значениях $l = 100$ *см*, $\lambda_0 = 5500$ Å и точности установки в 1/40 порядка можно обнаружить изменение $(n'-1)$ *) около 10^{-8}.



Constructive Interference



Destructive Interference

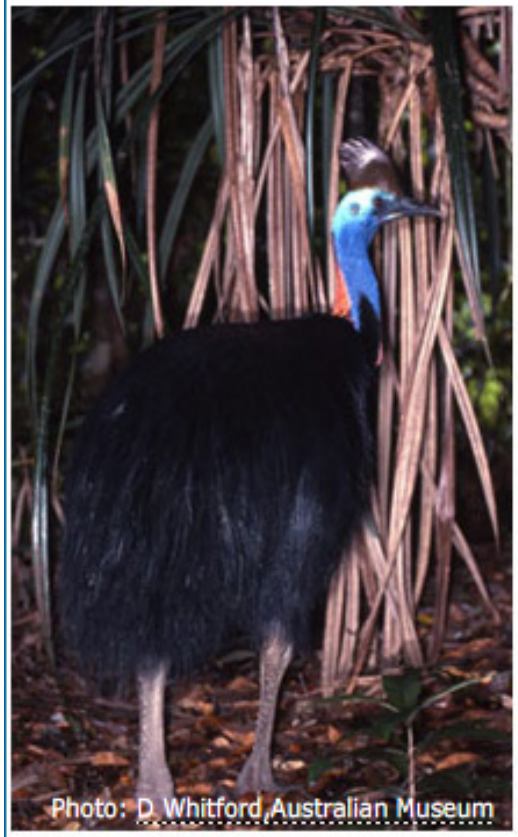


Photo: D Whitford,Australian Museum

Photo: Carl Bento, Australian Museum

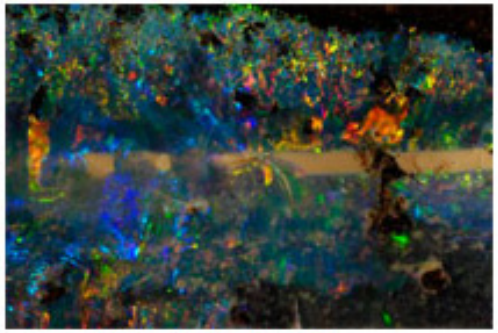


Photo: Australian Museum

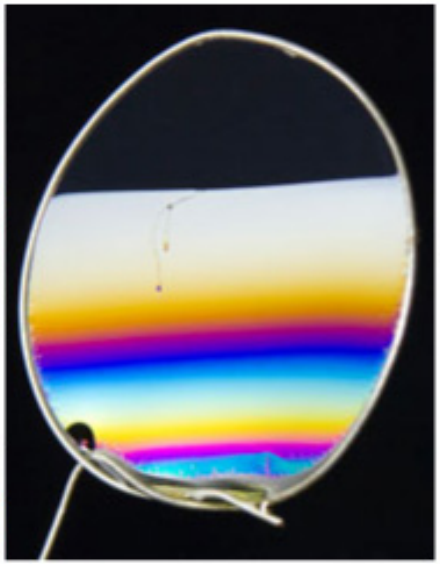


Photo: Max Beatson, Australian Museum

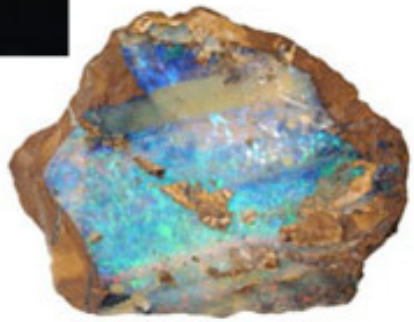


Photo: Australian Museum

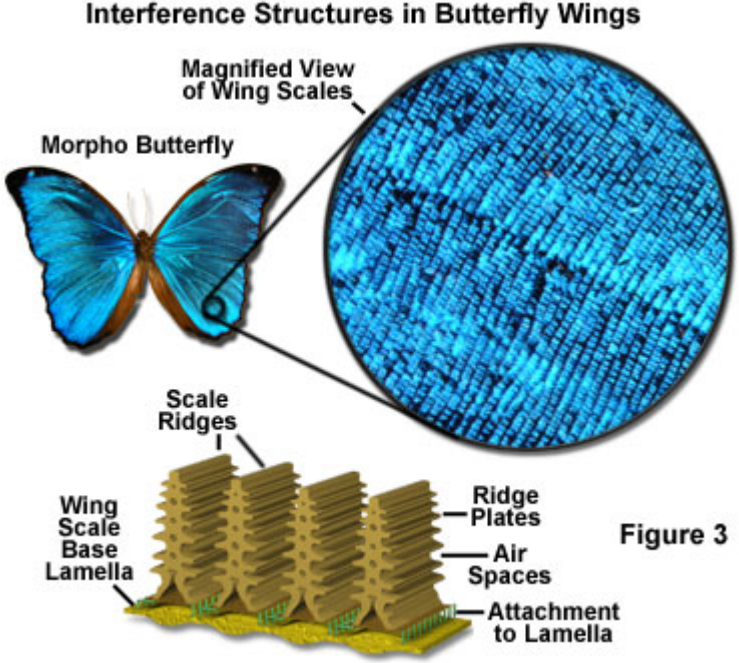
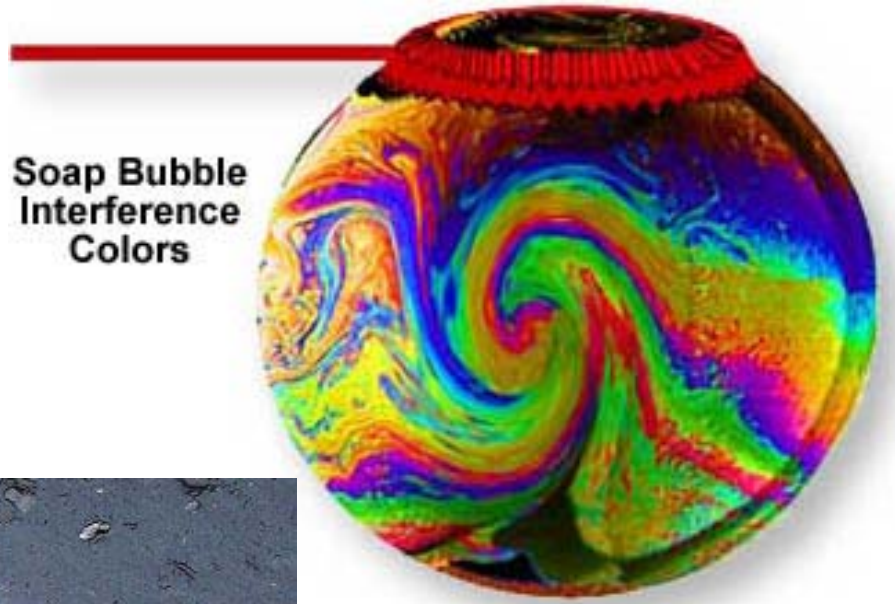

Interference Structures in Butterfly Wings
Magnified View of Wing Scales
Morpho Butterfly
Scale Ridges
Wing Scale Base Lamella
Ridge Plates
Air Spaces
Attachment to Lamella

Figure 3


Soap Bubble Interference Colors