

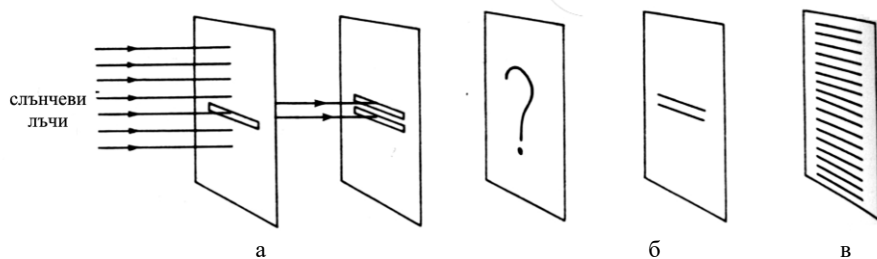
Приложение IV

ИНТЕРФЕРЕЦИЯ И ДИФРАКЦИЯ НА СВЕТИНАТА

IV.1. Интерференция от два и повече точкови източници

До началото на XIX в. за същността на светлината се води оживен спор. Едни учени твърдели, че това е поток от микрочастици, а други – вълна. Липсват обаче убедителни опити, които да доказват едното или другото твърдение. Съществувала идея как да се докаже какво е светлината – частица или вълна. Тя е показана на фиг. IV-1. От светлината с екран се отделя тесен сноп, който попада върху два близки отвора. Ако светлината е съставена от частици, на екрана бихме видели две светли линии. Ако обаче светлината е вълна – много светли линии.

Такъв опит за пръв път успешно е бил направен от английския физик Томас Юнг (Thomas Young) през 1801 г. Резултатът от опитите на



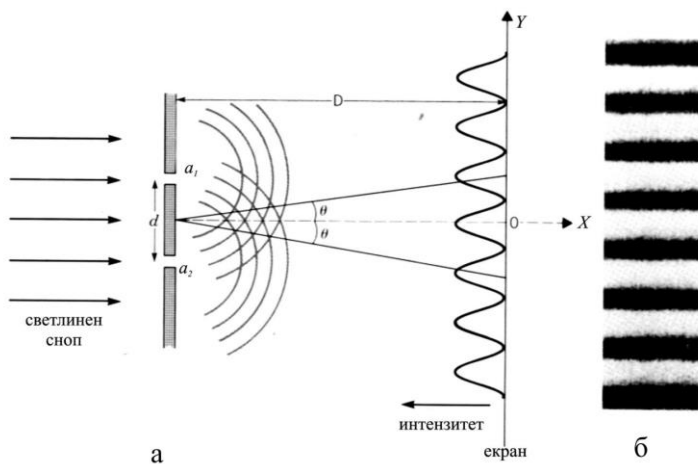
Фиг. IV-1. Идея за проверка дали светлината е поток от частици или вълна. Ако е поток от частици, на екрана ще видим две ярки линии (б) а ако е вълна – много линии (в).

Юнг е показан на фиг. IV-2. На екрана се получават множество светли ивици. Той е използвал много тесни отвори с ширина a , така че дължината на вълната на светлината е по-голяма от тази ширина – $\lambda > a$.

Отворите, които са източници на вълната, при размери $\lambda > a$ се наричат точкови източници. За получаване на интерференчна картина това условие $\lambda > a$ е задължително. Неизпълнението му е една от основните причини за неуспеха на експериментите преди този на Юнг.

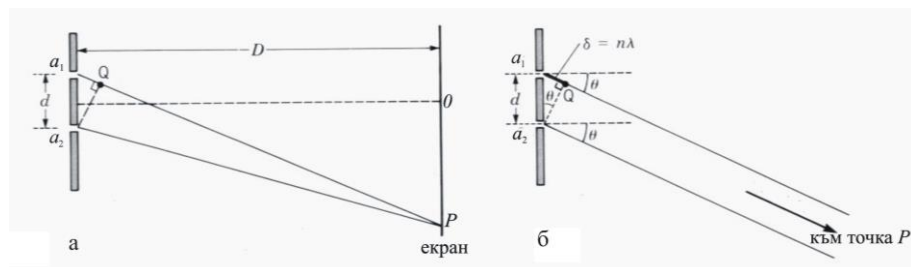
За изясняване на физичните механизми на получаване на интерференчната картина от опита на Юнг е необходимо да разгледаме каква е резултантната вълна в точка P на екрана (фиг. IV-3).

Вълната от отвор a_1 изминава по-дълъг път и е отместена в сравнение с вълната от отвор a_2 с фаза ϕ_0 . В точка P за интензитетите от първия (E_1) и втория (E_2) отвор можем да запишем



Фиг. IV-2. Схема на опита на Юнг: светлината от два отвора a_1 и a_2 се проектира върху екран, получава се интерференчна картина (а). Фотография на картината (б).

$$\begin{aligned} E_1 &= E_0 \cos(\omega t - \phi_0), \\ E_2 &= E_0 \cos(\omega t). \end{aligned} \quad (IV.1)$$



Фиг. IV-3. Интерференция от 2 точкови източника (a_1 и a_2), разположени на разстояние d .

Амплитудата E_0 е еднаква (това е един и същи светлинен сноп, отделен с един отвор (фиг. IV-1)). В точка P двете трептения се сумират:

$$E_z = E_1 + E_2 = 2E_0 \cos \phi_0 / 2 \cos(\omega t + \phi_0 / 2). \quad (IV.2)$$

Ако разликата от пътищата $\delta = d \sin \theta$ е четно число полуълни, т.е. $d \sin \theta = 2n(\lambda/2)$, то в точка P вълните се усилват и се получава светло петно (за δ вж. фиг. IV-3). Ако разликата от пътищата е нечетно число полуълни, вълните се гасят и се получава тъмно петно:

$$\delta = d \sin \theta = 2n \frac{\lambda}{2} \quad \text{при } (n = 2, 4, 6, \dots) - \text{усилване,} \quad (\text{IV.3})$$

$$\delta = d \sin \theta = (2n + 1) \frac{\lambda}{2} \quad \text{при } (n = 1, 3, 5, \dots) - \text{гасене.}$$

Гореспоменатите условия означават, че когато вълните се настигат във фаза $\phi = 2n\pi$, се наблюдава усилване, а когато – в противофаза $\phi = (2n + 1)\pi$ – гасене:

$$\phi_1 = 2n\pi \quad \text{при } (n = 2, 4, 6, \dots) - \text{усилване,} \quad (\text{IV.4})$$

$$\phi_2 = (2n + 1)\pi \quad \text{при } (n = 1, 3, 5, \dots) - \text{гасене.}$$

Интензитетът на вълната върху екрана е

$$I_{\Sigma} = E_{\Sigma}^2 = 4E_0^2 \cos^2 \phi_0 \cos^2 (\omega t + \phi_0 / 2). \quad (\text{IV.5})$$

Там, където вълните се сумират, имаме $\cos \phi = 1$:

$$I_{\Sigma 0} = 4E_0^2 = 4I_0, \quad (\text{IV.6})$$

Тук I_0 е амплитудата на интензитета на един източник.

При наличие на повече от два източника, например N , анализът показва, че качествено картината е почти същата (вж. фиг. 4-9), но амплитудата на интензитета е N^2 пъти по-голяма в сравнение с амплитудата на интензитета на един източник I_0 .

IV.2. Дифракция от един и два отвора. Понятие за дифракционна решетка

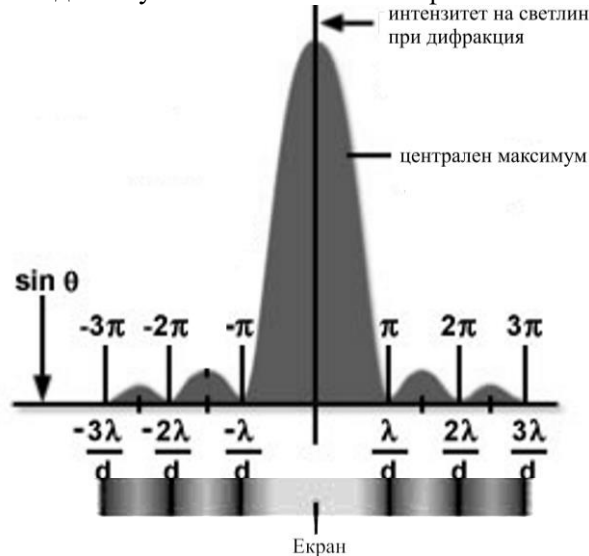
Заобикаляне на препятствия и проникване на светлината (и въобще на електромагнитните вълни) в областта на сянката“ се нарича дифракция. Дифракцията е характеристика на всички видове вълни.

Дифракцията е послужила като убедително доказателство за вълновата теория на светлината. Може да се каже, че дифракцията след опита на Юнг е показала несъмнено нейния вълнов характер.

Да разгледаме дифракцията от един отвор (за физическото обяснение на дифракционната картина вж. например § 71 в Иванов, С. Т., Л. Л. Трайков, *Обща физика, том II, Класическа физика*, Херон прес, 2010, София). Отворът е с крайна ширина. Това ще рече, че неговата ширина d е по-голяма от дължината на вълната $d > \lambda$ (прието е, когато отворът е един, с d да се означава неговата ширина, а когато отворите са повече – с d да се означава разстоянието между тях). В случай на $d < \lambda$ отворът е точков. Именно с такива отвори като източници се запознахме при анализа на интерференцията. Графиката на разпределението на интензитета на светлината е показана на фиг. IV-4.

А сега нека вземем два отвора с крайна ширина, т.е. два източника на светлина. Ако източникът беше един с крайна ширина, т.е. един

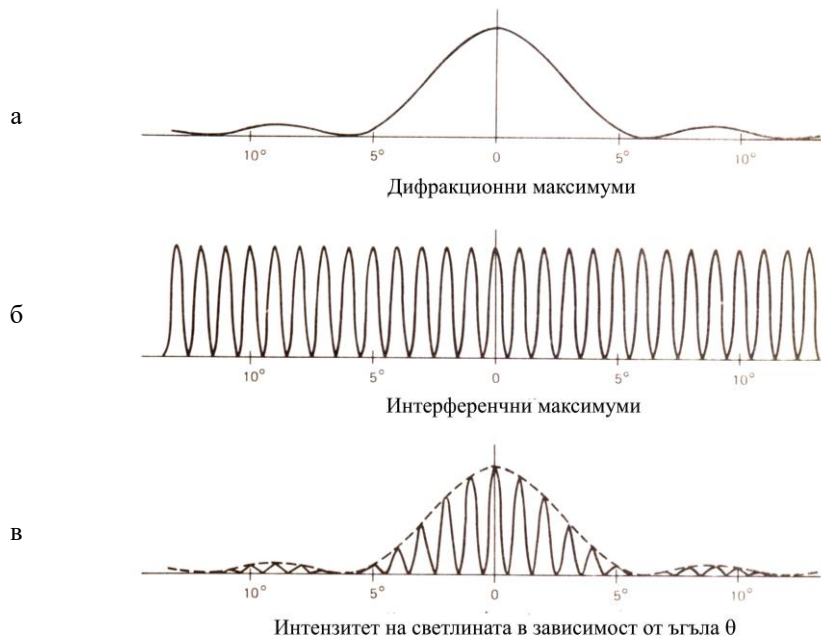
краен отвор, щяхме да получим познатата ни дифракционна картина от фиг. IV-4 – това е показано на фиг. IV-5а. Ако бяха два точкови отвора, щяхме да получим познатата ни от фиг. IV-2 интерференчна



Фиг. IV-4. Разпределение на интензитета на светлината след дифракция от един отвор с крайна ширина. Показани са ъглите на първите два минимума.

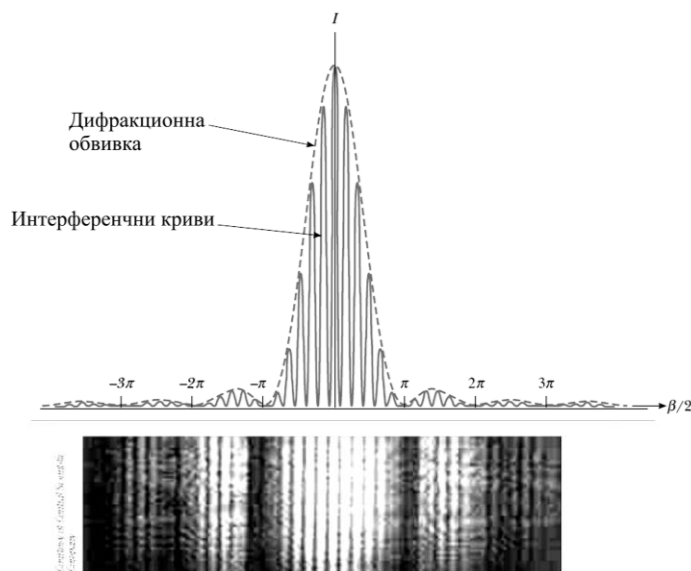
картина – това е показано на фиг. IV-5б.

В резултат на наслагането на двете картини се наблюдава интерференчнодифракционна картина (фиг. IV-5в).



Фиг. IV-5. (а) Дифракция от един отвор с крайна ширина. (б) Интерференция от два точкови отвора. (в) Интерференчно-дифракционна картина от два отвора с крайна ширина.

На фиг. IV-6 е представена една експериментално заснета интерференчно-дифракционна картина от два отвора с крайна ширина ($3\text{ }\mu\text{m}$),



Фиг. IV-6. Горе – интерференчно-дифракционна картина от две цепнатини с ширина $a = 3\text{ }\mu\text{m}$, разположени на разстояние $d = 18\text{ }\mu\text{m}$. През двата отвора преминава светлина от лазер с дължина на вълната 650 nm . Долу – снимка на интерференчно-дифракционната картина.

разположени на разстояние $18\text{ }\mu\text{m}$. Към тях се насочва кохерентна червена лазерна светлина с $\lambda = 650\text{ nm}$ и те стават кохерентни източници на светлина. На фигурата са показани интензитетът на светлината и снимка на интерференчно-дифракционната картина.

При наличие на много отвори се получава устройство, което има практическо приложение и се нарича дифракционна решетка. Картината наподобява интерференчните картини на фиг. 4-9. Максимумите, получени от много отвори с крайна ширина, са по-отчетливи и с по-силен интензитет от максимумите, получени от два отвора. По сила на интензитета те са почти равни. Колкото повече отвори има дифракционната решетка, толкова повече се приближават два съседни дифракционни максимума. Анализът на дифракционната решетка много напомня на интерференцията в опита на Юнг, при който картината се получава от два точкови отвора.