Интерференция на светлината – определение, необходими условия. Интерференция от два източника – опит на Юнг

Интерференция на светлината – определение, необходими условия

Интерференцията на светлината е едно от първите наблюдавани явления, които доказват вълновия ѝ характер. Условието, необходимо за да се наблюдава интерференция от два (или повече) светлинни източника, е същото както и за всички други вълни – те трябва да са кохерентни (18 въпрос). Тогава в дадена точка от пространството ще се наслагват хармонични трептения с еднакви честоти и за амплитудата на резултантното трептение ще получим (13 и 18 въпроси):

(1) $A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\Delta\Phi$,

а фазовата разлика **ΔΦ** няма да зависи от времето. Ако използваме величината интензитет ***I*** на вълната (звукова, светлинна и др.), която въведохме в 17 въпрос ($\boldsymbol{I \sim A^2}$), можем да запишем (1) като:

(2) $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\Delta\Phi$,

т.е. интензитетът на светлината във всяка точка зависи само от фазовата разлика на двете вълни в тази точка. Тази фазова разлика (в случая на синхронизирани източници, $\varphi_1=\varphi_2$) се дава (18 въпрос) с:

(3) $\Delta\Phi = \left(k_2x_2 - k_1x_1\right) + \left(\varphi_1 - \varphi_2\right) = k_2x_2 - k_1x_1$.

Ако двете вълни се разпространяват в една и съща среда с показател на пречупване ***n***, скоростите им на разпространение ще бъдат равни ($\boldsymbol{v_1=v_2=v=c/n}$) и вълновите числа също ще са равни ($\boldsymbol{k_1=k_2=k=\omega/v=\omega n/c}$) и (3) ще придобие познатия ни вид (18 въпрос):

$$\Delta\Phi = k\left(x_2 - x_1\right) = \frac{\omega}{c}\left(nx_2 - nx_1\right) = \frac{2\pi f}{c}\left(nx_2 - nx_1\right) = \frac{2\pi}{\lambda}\left(nx_2 - nx_1\right) = \frac{2\pi}{\lambda}\left(l_2 - l_1\right) = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta ,$$

като тук Δ е разликата в оптичните пътища (19 въпрос) $\boldsymbol{l_1}$ и $\boldsymbol{l_2}$ на двете вълни, а λ – дължината на светлинната вълна във вакуум. Ако светлината се разпространява във вакуум (или въздух), ***n*=1** и оптичните пътища на двете вълни съвпадат с геометричните им пътища. Ако двете вълни се разпространяват в различни среди, с коефициенти на пречупване $\boldsymbol{n_1}$ и $\boldsymbol{n_2}$, преди точката, в която се наслагват, разликата в оптичните им пътища ще бъде $\Delta = n_2x_2 - n_1x_1$. Условията за минимум и максимум на интензитета ***I*** са същите, които изведохме в 18 въпрос (но тук **Δ** е разликата в оптичните пътища):

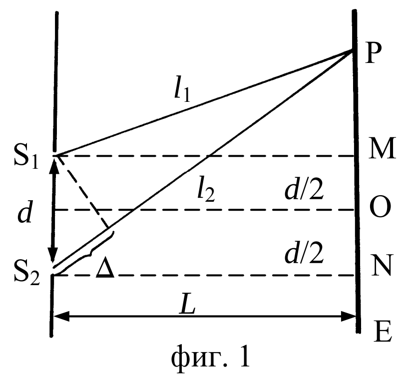
(4) $\Delta = (2m+1)\dfrac{\lambda}{2}$ – min

(5) $\Delta = 2m\dfrac{\lambda}{2}$ – max,

т.е. в точките, за които е изпълнено (4), ще се наблюдава намаляване на интензитета (2) на светлината (интерференчен минимум), а в тези, за които е изпълнено (5) – увеличаване на интензитета (2) на светлината (интерференчен максимум). Следователно, интерференция на светлината е явление, при което се наблюдава преразпределение на интензитета на светлината в пространството, вследствие наслагване на кохерентни светлинни вълни.

Интерференция от два източника – опит на Юнг

Ще разгледаме като пример класическия опит на интерференция от два процепа (фиг. 1), осъществен за първи път от английския физик Т. Юнг през 1803 г. За да получи кохерентни светлинни източници, той разделил светлината от един източник **S** (който не е показан на фиг. 1) на две части, като я насочил към екран с два тесни процепа $\mathbf{S_1}$ и $\mathbf{S_2}$, разположени на малко разстояние ***d*** един от друг. Процепите действат като два източника на кохерентни вълни с еднаква кръгова честота **ω**. На разстояние ***L*** зад екрана с процепите се поставя екран **E**, върху който се наблюдава интерференчната картина. Точката **O** на екрана се намира срещу средата на разстоянието ***d*** между процепите, следователно оптичните пътища на двете вълни от $\mathbf{S_1}$ и $\mathbf{S_2}$ до **O** са еднакви и в тази точка ще се наблюдава интерференчен максимум (**Δ=0, ΔΦ=0, cosΔΦ=1**). В произволна **т. P** от екрана, намираща се на разстояние ***x*** от **т. O** (***x*=OP**), може да се наблюдава усилване или отслабване на интензитета на светлината, в зависимост от разликата Δ в оптичните пътища $\boldsymbol{l_1}$ и $\boldsymbol{l_2}$ на двете вълни от източниците $\mathbf{S_1}$ и $\mathbf{S_2}$ до тази точка. Интерференчната картина, която се наблюдава,



фиг. 1

представлява редуващи се светли и тъмни ивици, разположени на еднакво разстояние от двете страни на централна светла ивица.

Опитът на Юнг е извършен във въздух (***n*=1**), затова оптичните пътища на двете вълни съвпадат с геометричните и можем да ползваме геометрични зависимости за определяне на Δ. Трябва да отбележим още две важни особености: разстоянието ***d*** между процепите трябва да е много по-малко от разстоянието ***L*** до екрана, за да се наблюдава интерференчна картина; интерференчните линии се наблюдават ясно само на малки разстояния ***x*** от централния максимум. Първата особеност ни позволява да считаме че разстоянията l_1 и l_2 са почти равни ($l_1 \approx l_2$), а втората ни дава основание да приемем, че тези разстояния са почти равни на ***L*** ($l_1 \approx l_2 \approx L$).

За да намерим разликата $\Delta = l_2 - l_1$, ще разгледаме правоъгълните триъгълници **S₁MP** и **S₂NP**:

$$\left.\begin{aligned} l_1^2 &= L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2 \\ l_2^2 &= L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2 \\ l_2^2 - l_1^2 &= (l_2 + l_1)(l_2 - l_1) \end{aligned}\right\} 2L\Delta = \left(x + \frac{d}{2}\right)^2 - \left(x - \frac{d}{2}\right)^2 = 2xd$$

$$\Delta = \frac{xd}{L}.$$

Ако разстоянието ***x*** е такова, че $\Delta = 2\mathrm{m}\dfrac{\lambda}{2}$, в **т. P** ще наблюдаваме интерференчен максимум:

$$\frac{x_{\max} d}{L} = 2\mathrm{m}\frac{\lambda}{2}$$

$$(6)\quad x_{\max} = \mathrm{m}\frac{\lambda L}{d},$$

т.е. на разстояния (6) от централния максимум ще наблюдаваме максимумите от порядък **1, 2, 3 …** (за **m=1, 2, 3 …**). Ако разстоянието ***x*** е такова, че $\Delta = (2\mathrm{m}+1)\dfrac{\lambda}{2}$, в **т. P** ще наблюдаваме интерференчен минимум:

$$\frac{x_{\min} d}{L} = (2\mathrm{m}+1)\frac{\lambda}{2}$$

$$(7)\quad x_{\min} = \frac{(2\mathrm{m}+1)}{2}\frac{\lambda L}{d}$$

т.е. на разстояния (7) от централния максимум ще наблюдаваме минимумите от порядък **1, 2, 3 …** (за **m=1, 2, 3 …**).

Разстоянието между два съседни минимума или максимума от интерференчната картина се нарича ширина на интерференчната ивица. Лесно може да се покаже от (6) и (7), че това разстояние е едно и също, независимо от поредния номер **m** на максимума или минимума. Разстоянието $\Delta x_{\max}$ между два съседни максимума с поредни номера **m** и **m+1**, е:

$$\Delta x_{\max} = (\mathrm{m}+1)\frac{\lambda L}{d} - \mathrm{m}\frac{\lambda L}{d} = \frac{\lambda L}{d}$$

и не зависи от **m**, а между два съседни минимума:

$$\Delta x_{\min} = \frac{(2(\mathrm{m}+1)+1)}{2}\frac{\lambda L}{d} - \frac{(2\mathrm{m}+1)}{2}\frac{\lambda L}{d} = \frac{(2\mathrm{m}+3)}{2}\frac{\lambda L}{d} - \frac{(2\mathrm{m}+1)}{2}\frac{\lambda L}{d} = \frac{\lambda L}{d}.$$

Виждаме, че:

$$(8)\quad \Delta x = \Delta x_{\min} = \Delta x_{\max} = \frac{\lambda L}{d}.$$

От (8) следва също, че ако разстоянието ***d*** между процепите е голямо ($d \approx L$) отделните ивици ще бъдат неразличими, тъй като за видимата светлина $\lambda \approx 10^{-7}$ **m** и Δx ще бъде от същия порядък. Ето защо, за да се наблюдава интерференчна картина, е необходимо да бъде изпълнено условието $d \ll L$.