

КОХЕРЕНТНОСТ НА СВЕТЛИННИТЕ ВЪЛНИ

Лектор: проф. д-р Т. Йовчева



1. Видимост на интерференчната картина

Разглеждаме два случая на интерференция на две монохроматични, кохерентни вълни ($\delta(t) = \text{const}$): с равни и с неравни амплитуди.

1 сл. $A_1 = A_2 = A_0$

$$I \approx A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cdot \cos \delta$$

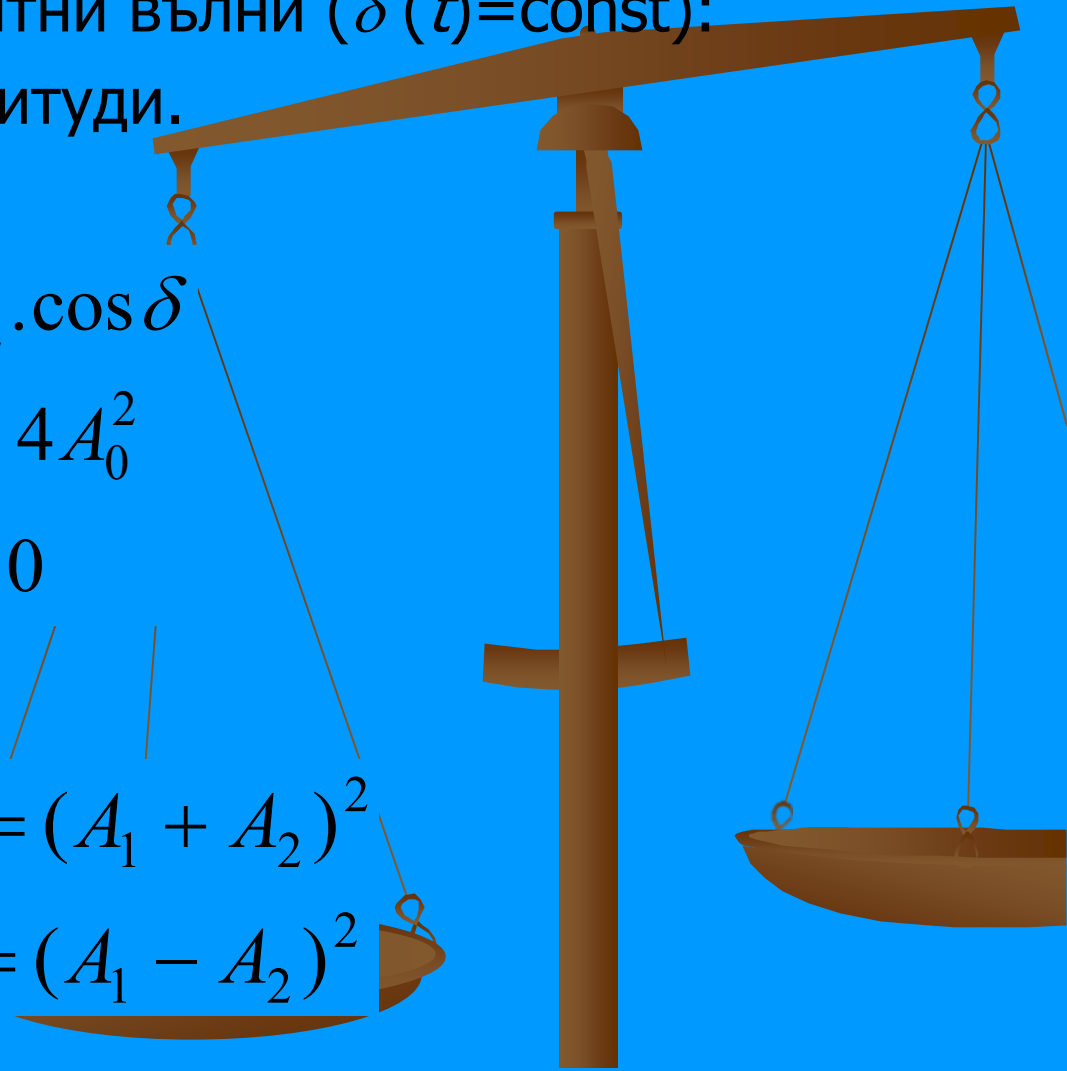
$$I_{\max} \approx A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 = 4A_0^2$$

$$I_{\min} \approx A_1^2 + A_2^2 - 2A_1A_2 = 0$$

2 сл. $A_1 \neq A_2$

$$I_{\max} \approx A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 = (A_1 + A_2)^2$$

$$I_{\min} \approx A_1^2 + A_2^2 - 2A_1A_2 = (A_1 - A_2)^2$$

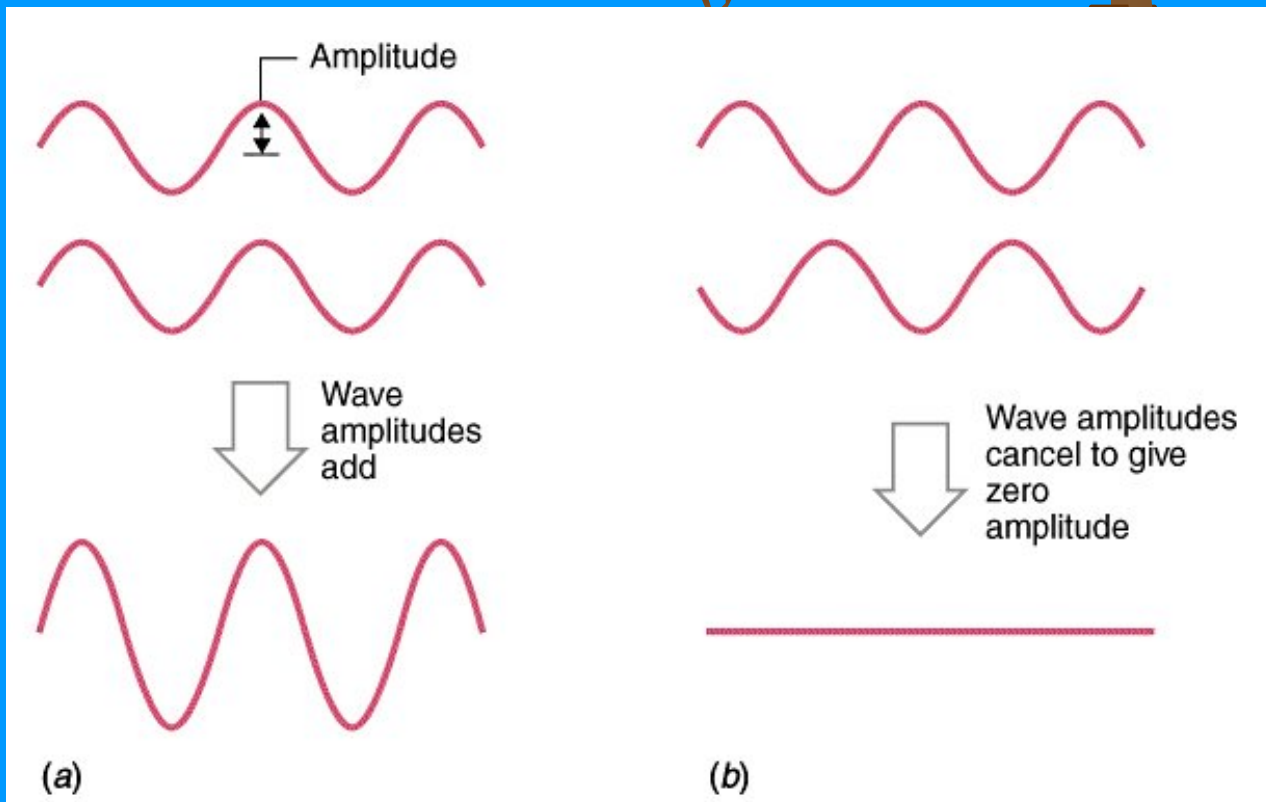


Извод:

1 случай:

$$A_1 = A_2 = A_0$$

I случай - максималната осветеност в интерференчната картина се редува с нулева осветеност.

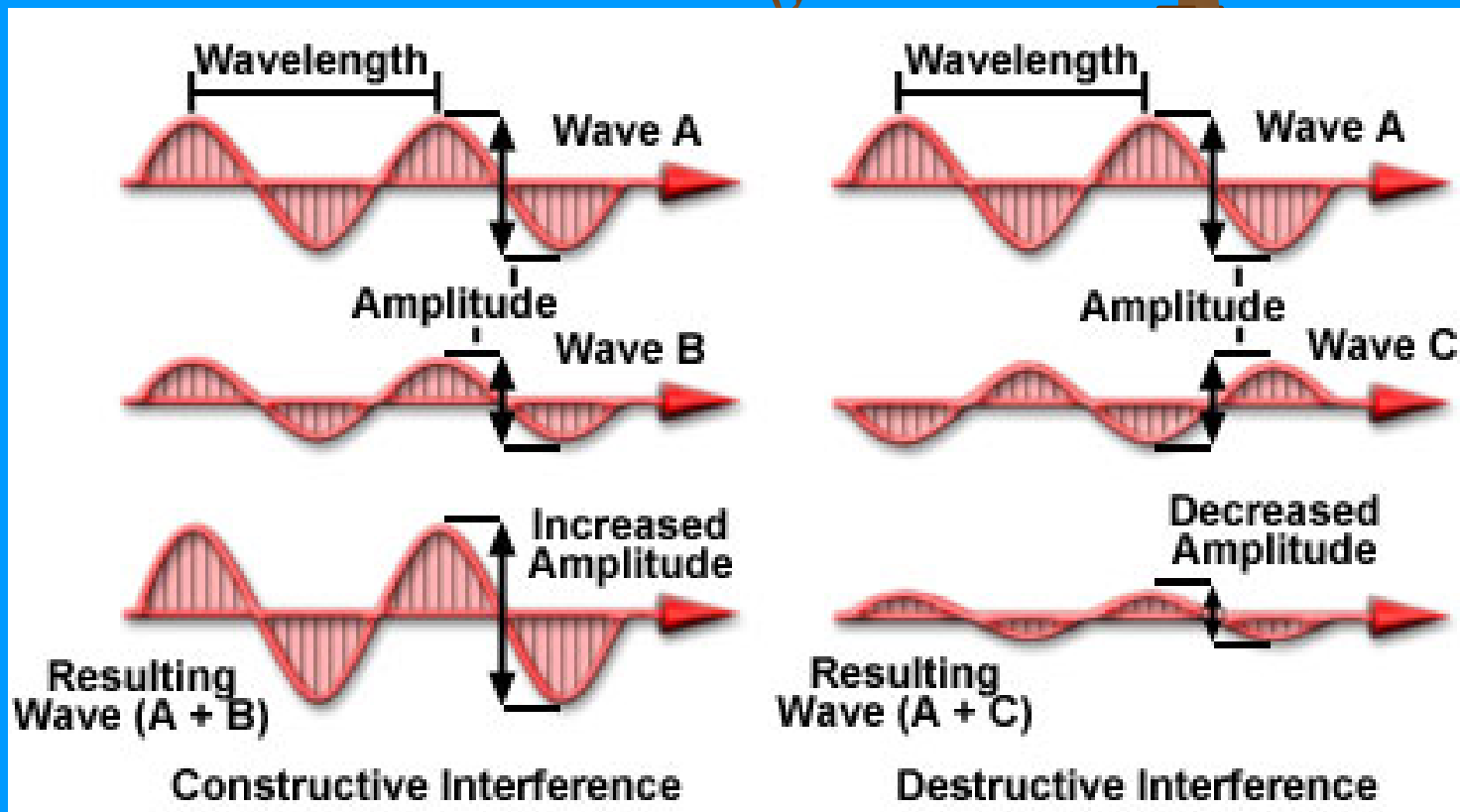


Извод:

2 случай:

$$A_1 \neq A_2$$

II случай - интерференцната картина се наслагва с равномерно осветен фон, пропорционален на $(A_1 - A_2)^2$.



Извод:

Възможността за наблюдаване на контрастна интерференчна картина съществено зависи от този фон. За оценка на тази контрастност или видимост, Майкелсон въвежда параметъра V – видимост на интерференчната картина:

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

I_{\max} , I_{\min} - максимална и минимална осветеност на интерференчните линии около дадена точка от интерференчното поле.



V се изменя от 0 до 1.

☞ $V = 1$ – най-контрастна за кохерентни вълни интерференчна картина (за $A_1 = A_2$);

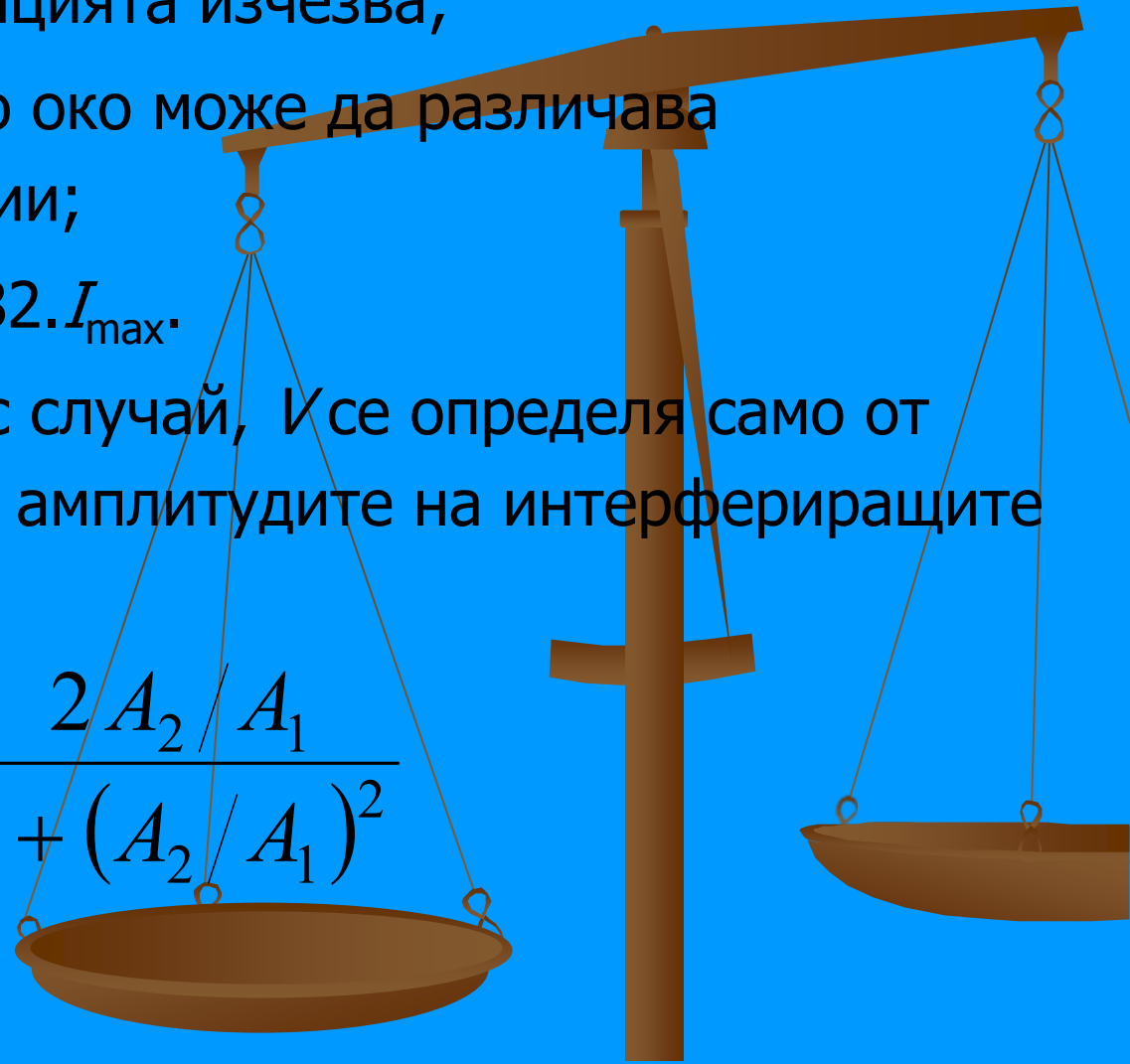
☞ $V = 0$ – интерференцията изчезва;

☞ $V \geq 0,1$ – човешкото око може да различава интерференчните линии;

☞ $V = 0,1$ при $I_{\min} \approx 0,82 \cdot I_{\max}$.

В разглеждания от нас случай, V се определя само от съотношението между амплитудите на интерфериращите вълни: ($A_1 \neq A_2$)

$$V = \frac{4A_1 \cdot A_2}{2(A_1^2 + A_2^2)} = \frac{2A_2 / A_1}{1 + (A_2 / A_1)^2}$$



И може да зависи и от:

- състоянието на поляризация на интерфериращите вълни;
- наличието на некохерентна светлина в състава на интерфериращите вълни.



Нека разгледаме интерференцията на две вълни с еднаква сумарна интензивност, които имат само част (γ) кохерентна светлина.

1 чл. - интензивност на кохерентната светлина

2 чл. - интензивност на некохерентната светлина

$$I_1 = I_2 = \gamma \cdot I_1 + (1 - \gamma) I_1$$

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 \cdot I_2} \cos \delta$$

интерференчен член

$$I = 2 \cdot I_1 + 2\sqrt{(\gamma \cdot I_1)^2} \cos \delta = 2I_1 + 2I_1 \cdot \gamma \cdot \cos \delta$$

$$\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}$$

$$I = 2I_1(1 + \gamma \cdot \cos \delta) = 2I_1(1 - \gamma + 2\gamma \cos^2 \delta/2)$$

Променящата се съставна част на осветеността на интерференчната картина се създава само от кохерентната част на светлината (последно събираемо).

$$I = 2.I_1 + 2\sqrt{(\gamma.I_1)^2} \cos \delta = 2I_1(1 - \gamma + 2\gamma \cos^2 \delta/2)$$

От горното уравнение \Rightarrow

$$I_{\max}(\delta = 2\pi m) = 2.I_1(1 + \gamma)$$

$$I_{\min}[\delta = (2m + 1)\pi] = 2.I_1(1 - \gamma)$$

Некохерентната част от светлината $(1-\gamma)$ създава равномерно осветен фон, аналогично на това, което се получава при интерференцията на две кохерентни вълни с различни амплитуди.

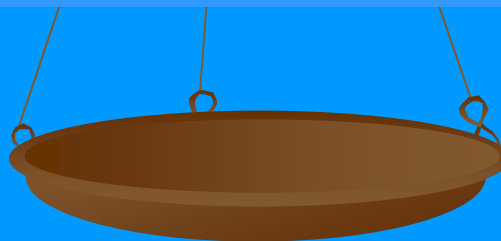
$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \gamma$$

\rightarrow частта на кохерентна светлина в интерфериращите вълни.

Извод:

Функцията на видимост на интерференчната картина, която може да се измери ($I \approx A \approx E_0^2$), позволява в такива случаи да се определи частта на кохерентната светлина, участваща в интерфериращите светлинни вълни.

$V=1$, ако се наблюдава интерференция от точков източник на светлина, а излъчването, което той дава е монохроматично.



Извод:

На практика:

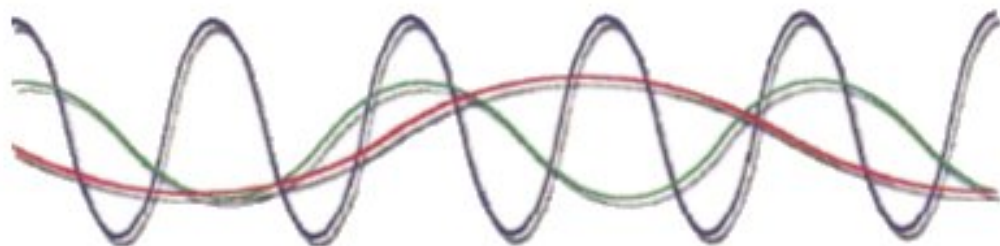
- 1) Източникът на светлина винаги има крайни размери;
- 2) Източникът не е напълно монохроматичен.

Тези две причини ограничават кохерентността и водят до снижаване на видимостта на интерференчната картина.

Затова се въвежда два вида кохерентност

- **Временна** (свързана с излъчената ширина на линията)
- **Пространствена** (свързана с физическия размер на източника)

☞ **Кохерентност** се нарича съгласуваното протичане на няколко трептения или вълнови процеси. Степента на тази съгласуваност е различна, за това се въвежда понятието **степен на кохерентност** на две вълни: $\gamma/(1-\gamma)$.



Sunlight (many different colors)



LED: one color (monochromatic) and waves not in phase (non-coherent)



LASER: One color (monochromatic) and waves in phase (coherent)

Кохерентни в класическия смисъл са две вълни, които имат:

- една и съща честота
- запазват постоянна разликата във фазите си за времето на наблюдение.

Условия за кохерентност ($V=1$)

- ▶ Пространствена кохерентност

$$\vec{k}_{01} = \vec{k}_{02} \quad - \text{вълните са излъчени от точков източник};$$

- ▶ Временна кохерентност

$$\omega_1 = \omega_2 \quad - \text{вълните са напълно монохроматични};$$

- ▶ $\delta(t) = \text{const}$;

- ▶ $A_{01}, A_{02} = \text{const}$;

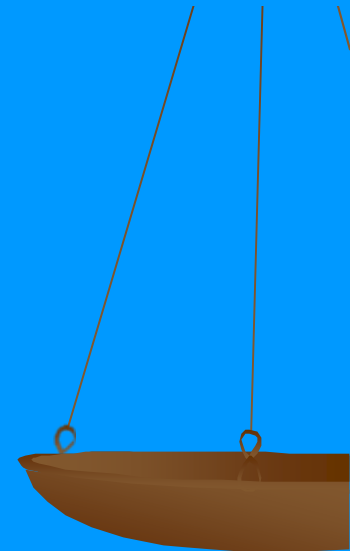
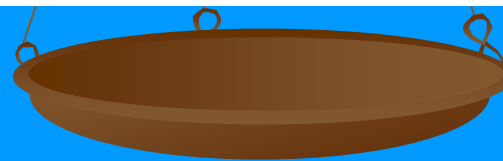
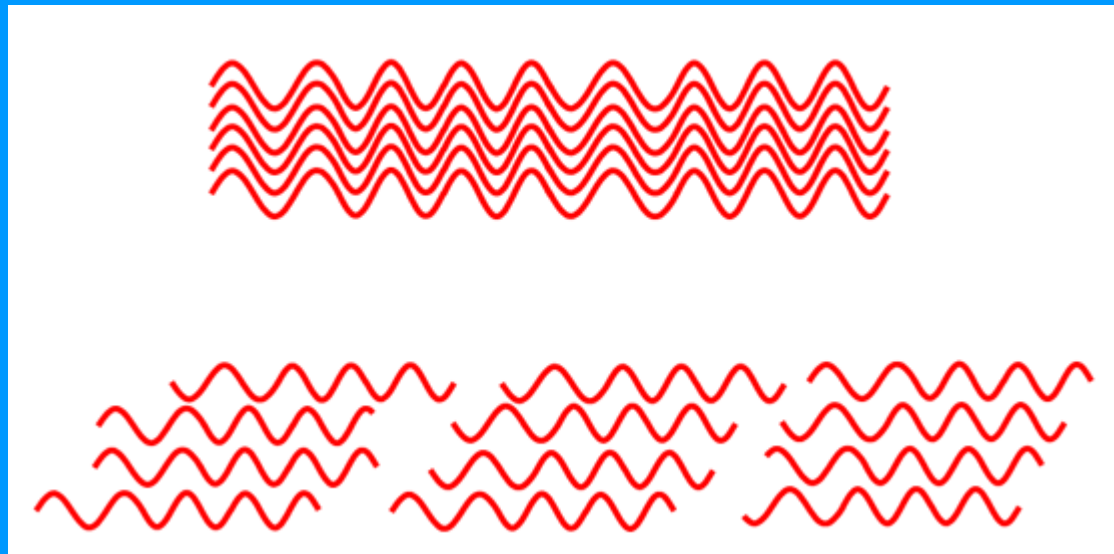
- ▶ еднаква поляризация ;

- ▶ $A_{01} = A_{02}$.



2. Временна кохерентност

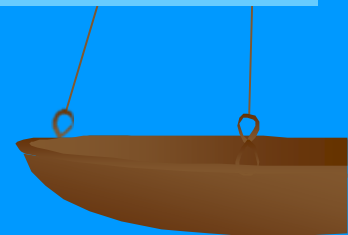
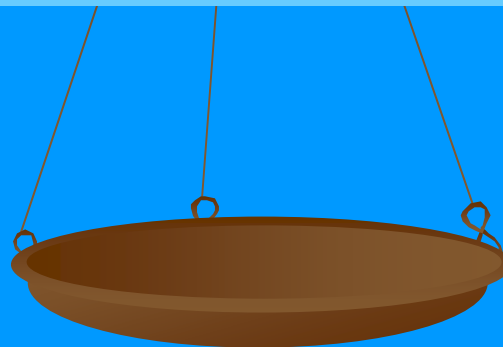
Крайната стойност на излъчвания интервал $\Delta\omega$ (или $\Delta\lambda$) се определя от това, че ЕМВ не е безкрайна във времето, а се излъчва на цугове с продължителност $\tau \sim 10^{-8}\text{с}$. Ширината на спектралния интервал, излъчван от източника е обратен на продължителността на цуга.



Въвеждането на разлика в хода между два лъча е еквивалентно на задържане на единия от тях във времето.

За това способността на светлинните трептения от една точка на изходния сноп (лъч), (т.е от една точка на източника на светлина) към интерференция след разделянето му и събирането на двата снопа с някаква разлика в хода се нарича временна кохерентност.

Тази разлика не трябва да е по-голяма от дължината на цуга.



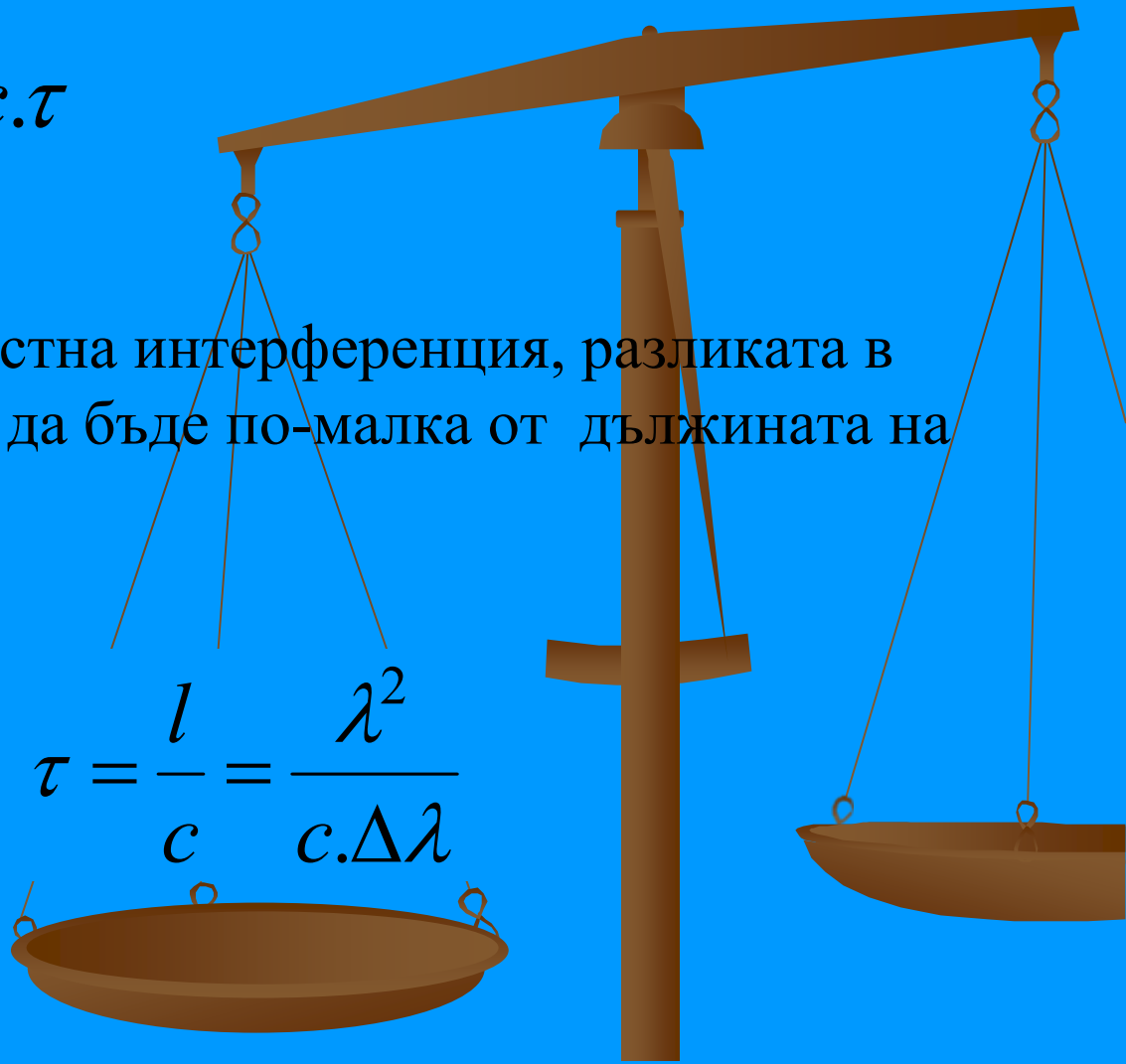
Максималната разлика в хода (на оптичните пътища), при която е възможна интерференция се нарича дължина на кохерентност на излъчването l , а съответното закъснение – време на кохерентност τ .

$$l = c \cdot \tau$$

За наблюдаване на контрастна интерференция, разликата в оптичните пътища трябва да бъде по-малка от дължината на кохерентност. $\Delta \leq l$

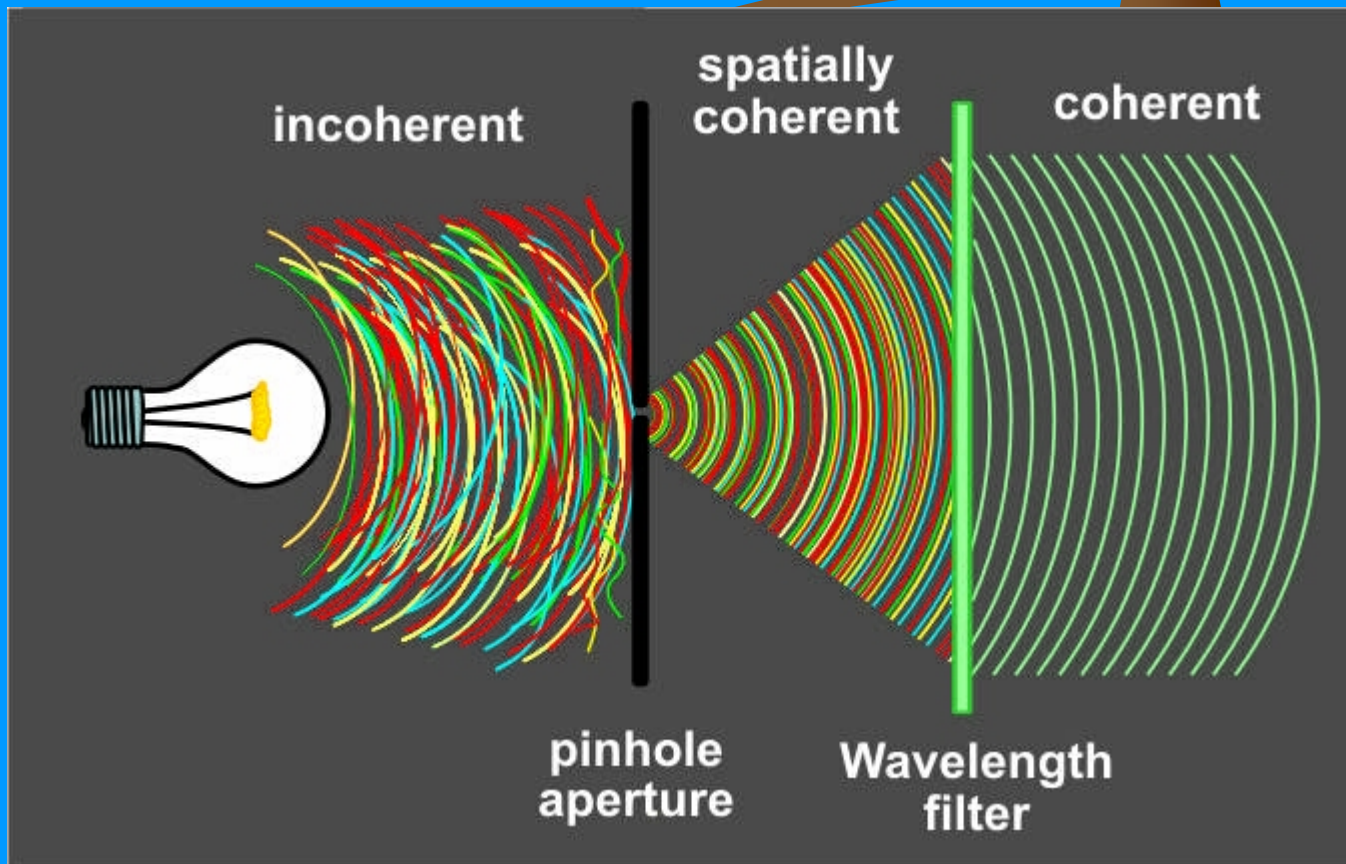
$$l = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$

$$\tau = \frac{l}{c} = \frac{\lambda^2}{c \cdot \Delta\lambda}$$



3. Пространствена кохерентност

Пространствената кохерентност е свързана с изменение в направленията на \vec{k} , което е свързано с единичния вектор \vec{k}_0 , определящ направлението на \vec{k} .

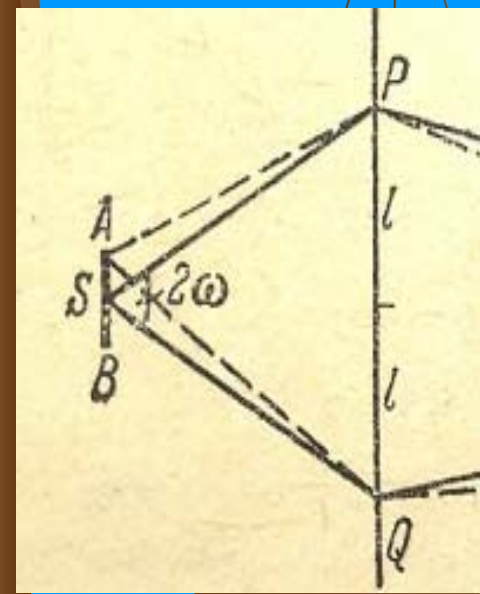


Различни \vec{k}_0 са възможни, ако вълните се излъчват не от точков източник, а от различни точки на протяжен неточков източник с размер $d = AB$.

За да се наблюдава отчетлива интерференчна картина, ъгловите размери на източника φ трябва да са:

$$\varphi \leq \frac{\lambda}{2d}$$

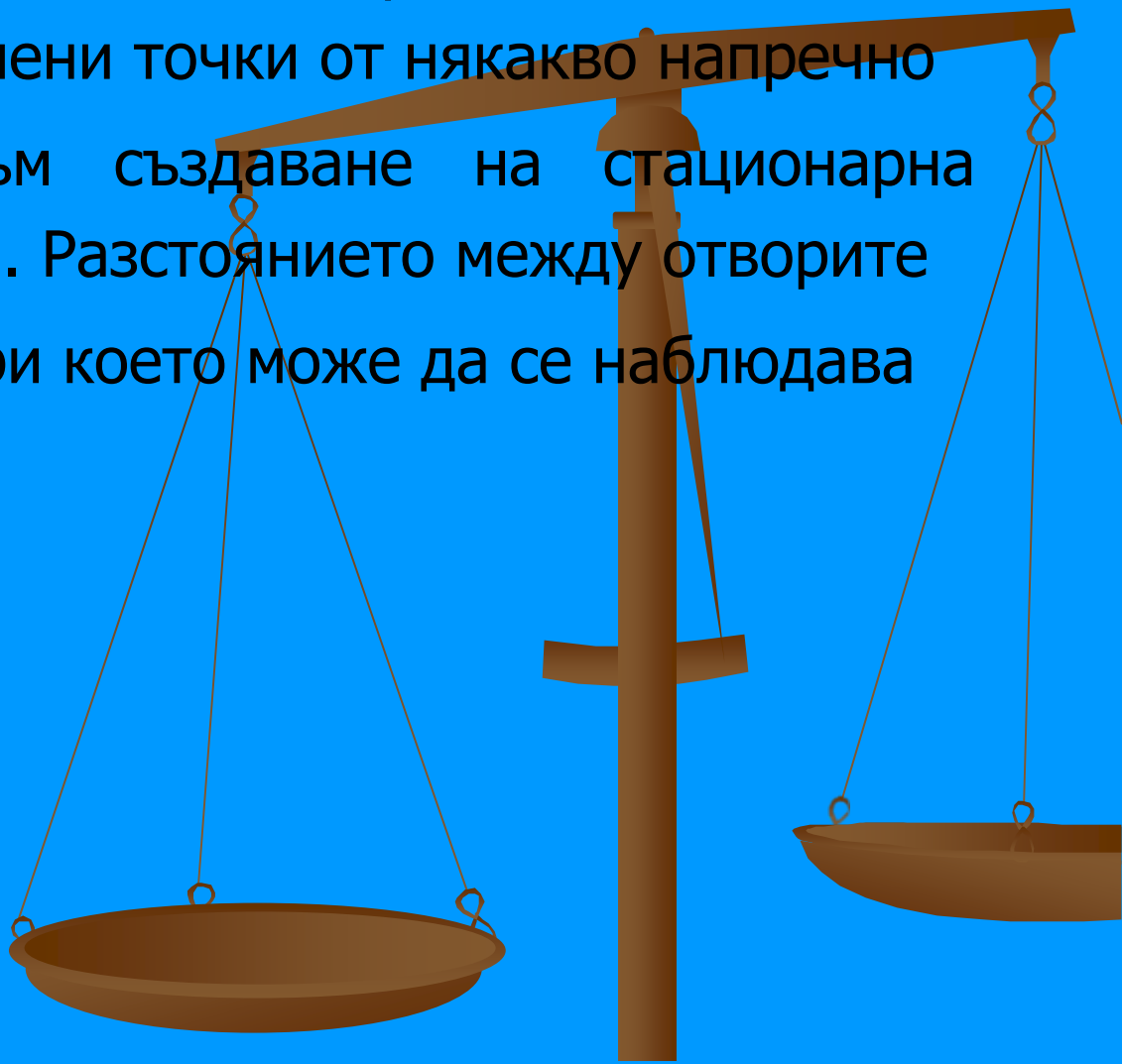
$$\varphi = \frac{AB}{SO}$$



Следователно:

Пространствената кохерентност характеризира способността на светлинните трептения от две пространствено отдалечени точки от някакво напречно сечение на снопа към създаване на стационарна интерференчна картина. Разстоянието между отворите S_1 и S_2 (опит на Юнг), при което може да се наблюдава интерференция е:

$$d < \frac{\lambda}{\varphi}$$



При строго монохроматична светлина ($\Delta\omega = 0$) всички нарушения на кохерентността носят чисто пространствен характер, т.е. те са свързани с разхвърляност в посоките на \vec{k} . Вълните са временно кохерентни.

За строго плоска вълна посоките са еднакви. Вълните са пространствено кохерентни ($\sigma \rightarrow \infty$).

