

Тема 2. Интерференция. Дифракция.

П.1. Интерференция.

П.2. Явление дифракции.

П.3. Принцип Гюйгенса. Зоны Френеля.

П.4. Дифракция плоской волны на прямоугольной щели.

П.5. Дифракционная решетка.

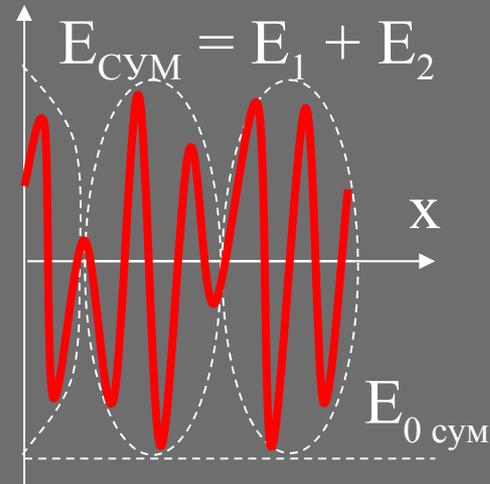
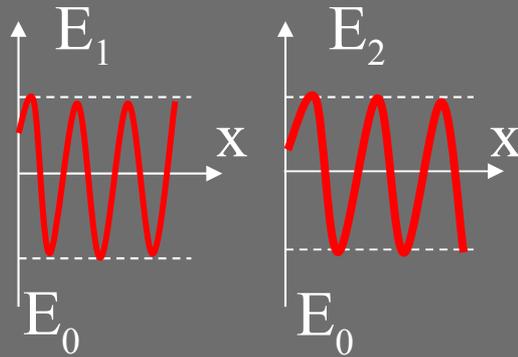
П.1. Интерференция.

Интерференцией называется явление сложения двух или нескольких волн, приводящее к появлению устойчивой картины перераспределения интенсивности суммарной волны в пространстве.

Известно: Из сложения двух сонаправленных колебаний с близкими частотами возникнут биения во времени.

Аналогично, при сложении двух волн с близкими длинами возникнут биения в пространстве.

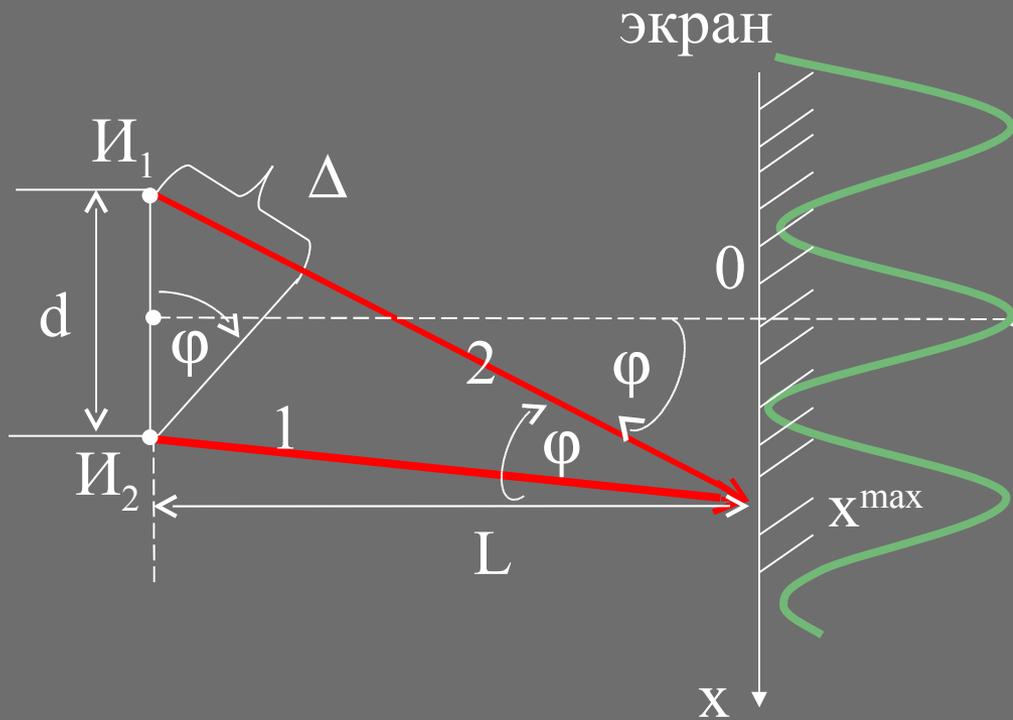
Пример.



При сложении волн (например, на экране) происходит сложение их мгновенных значений, с учетом фаз.

ТЕСТ

Интерференция двух гармонических волн в плоскости



КИНО

Для двух волн, распространяющихся в одной плоскости, будет меняться интенсивность волны на экране.

Для $L \gg x, d$ разность хода лучей $\Delta = d \sin \varphi \approx d \cdot \varphi$.

Из треугольника (И1,2,L): $\operatorname{tg} \varphi \approx \varphi = \frac{x}{L}$.

Условие максимума: $\Delta = n\lambda$ (разность хода равна целому числу длин волн), где n – целое число: $n = 0, 1, 2, 3 \dots$

Тогда:

$$\Delta = d \cdot \varphi_{\max} = d \frac{x_{\max}}{L} = n\lambda \quad \Rightarrow \quad x_{\max} = \frac{n\lambda L}{d}$$

Аналогичным образом можно получить условие минимума, положив разность хода равной нечетному числу полуволн:

$$\Delta = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

СРС 1/4 стр . Вывести формулу для x_{\min} .

Когерентными называются волны, которые интерферируют (в результате сложения которых наблюдается явление интерференции).

Когерентными называются источники, которые являются источниками когерентных волн.

У этих волн разность фаз должна оставаться постоянной.

Гармонические волны будут когерентными, но они являются абстракцией (моделью).

ДОПОЛНЕНИЕ

Принято выделять монохроматические волны и источники. Монохроматические (различаемые глазом как волны одного цвета) волны, взятые от разных источников не будут интерферировать (не будут когерентными). Чтобы получить когерентные волны надо взять их от одного источника.

ТЕСТ

ТЕСТ

П.2. Явление дифракции.

Проблема: Что происходит при распространении волн в присутствии неоднородностей (ограничений) в пространстве?

Дифракцией называется явление, возникающее при распространении волны в присутствии неоднородностей (ограничений), и заключающееся в появлении устойчивого перераспределения в пространстве интенсивности (амплитуды) волны.

Заключительная часть определения такая же, как и для интерференции, следовательно их природа одинакова.

Замечание: Одним из ярких проявлений дифракции является *проникновение волны в область геометрической тени*. На этом может быть основано определение явления дифракции.

Геометрическая тень – область пространства, куда свет не может проникнуть, если его моделировать как луч (т.е. куда не проникают световые лучи).

КИНО

ТЕСТ

П.3. Принцип Гюйгенса. Зоны Френеля.

Проблема: Как анализировать интерференционные и дифракционные картины?

Решение: Использовать свойство суперпозиции электромагнитных полей.

Его следствием является *принцип Гюйгенса-Френеля:*

Любая точка пространства, до которой дошла волна, может рассматриваться, как точечный источник вторичных сферических когерентных волн, а дальнейшее распространение волны можно определить как результат интерференции всех вторичных волн.

Пояснение.



Каждый вторичный точечный источник создает в точке наблюдения (Т.Н.) волну, у которой напряженность электрического поля можно вычислить по формуле:

$$|d\vec{E}| = dS \cdot \beta \frac{A_0}{r} \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \alpha_0),$$

где β – коэффициент, зависящий от расположения \vec{n} и \vec{r} .

$$\vec{E}_{\text{Т.Н.}} = \int_S d\vec{E} - \text{суммарное поле в точке наблюдения.}$$

Задача: Упростить чрезвычайно сложные вычисления.

Решение: Использовать зоны Френеля.

Зоны Френеля – такие участки на волновой поверхности, для которых волны от двух соседних участков при сложении дают минимум для амплитуды суммарной волны (гасят друг друга).

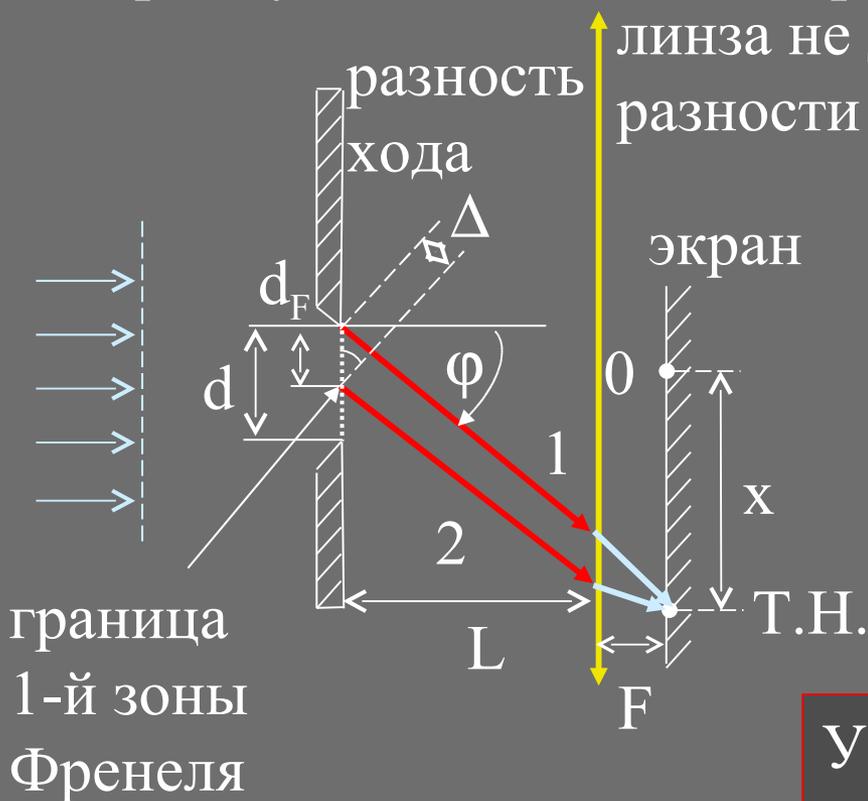
Следствие: Волны излучения от границ соседних зон должны отличаться по разности хода на $\frac{\lambda}{2}$, а количество источников в соседних зонах должно быть одинаковым.

ТЕСТ

П.4. Дифракция плоской волны на прямоугольной щели.

КИНО

Пример: Рассмотрим простейшую картину дифракции на прямоугольной щели. F – фокусное расстояние линзы.



Условие гашения:

$$\Delta = \frac{\lambda}{2} = d_F \sin \varphi \Rightarrow$$

ширина зоны: $d_F = \frac{\lambda / 2}{\sin \varphi}$,

количество зон Френеля:

$$N_F = \frac{d}{d_F}.$$

Условие минимума (четное число зон Френеля): $N_F = 2n$.

$$\sin \varphi_n^{\min} = n \frac{\lambda}{d}.$$

Условия max: $N_F = 2n + 1$ – нечетное число. Отсюда

$$\sin \varphi_n^{\max} = \frac{\lambda}{d} \left(n + \frac{1}{2} \right).$$

Задача: Оценить ширину щели для обычных условий.

Для малых углов φ можно считать, что $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi \approx \varphi$.

Тогда $\frac{x_1^{\min}}{L + F} = \operatorname{tg} \varphi_1^{\min} \approx \varphi_1^{\min}$. Пусть $\lambda = 0.5$ мкм. Тогда

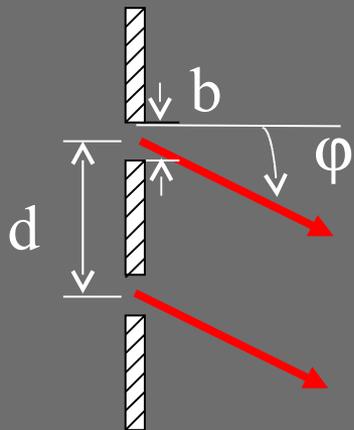
$$x_1^{\min} = (L + F) \varphi_1^{\min} = (L + F) \frac{\lambda}{d} \approx 1 \text{ см}, \quad d = \frac{(L + F) \lambda}{x_1^{\min}} = 0,05 \text{ мм}.$$

ТЕСТ

П.5. Дифракционная решетка.

Проблема: Как использовать дифракцию для решения задачи выделения отдельных гармонических волн?

Дифракционная решетка – это совокупность большого количества узких щелей в непрозрачном экране, расположенных на одном и том же расстоянии друг от друга. Щели узкие и длинные.



d – период дифракционной решетки

b – ширина щели

N – количество щелей в экране

φ – угол распространения ЭМВ

Нормированная
интенсивность

$$\frac{I_{\text{реш}}}{I_0} = \frac{\sin^2(\alpha)}{(\alpha)^2} \cdot \frac{\sin^2(N\beta)}{\sin^2(\beta)} = A(\alpha) \cdot B(\beta)$$

I_0 – интенсивность центрального максимума.

Обозначения:

$$\alpha = \frac{\pi b \sin \varphi}{\lambda}, \quad \beta = \frac{\pi d \sin \varphi}{\lambda}.$$

Условие отсутствия излучения $A(\alpha) = 0$, что будет при $\alpha = \pm k\pi$, т.е. при $b \cdot \sin \varphi_k = \pm k\lambda$, где $k = 1, 2, 3, \dots$ Отсюда

$$\sin \varphi_k = \pm k \frac{\lambda}{b} - \text{условие главных минимумов.}$$

Излучение максимально, когда

$$B(\beta_m) = N^2 \text{ т.е. при } \beta_m = \pm m\pi, \text{ где } m = 1, 2, 3, \dots$$

$$d \cdot \sin \varphi_m = \pm m\lambda \quad \Rightarrow \quad \sin \varphi_m = \pm m \frac{\lambda}{d} \quad - \text{ условие главных максимумов.}$$

Можно вычислить (см. учебник) ширину пучка -

$$\Delta \varphi \approx \frac{2\lambda}{Nd}$$

Вывод: На выходе из решетки излучение идет узкими пучками в направлении главных максимумов. Это свойство решетки используется для отделения волн с близкими длинами.

ТЕСТ

Исследование состава ЭМИ, состоящего из гармонических волн с различными длинами, называется спектральным анализом.

Основным прибором для такого анализа является дифракционная решетка.

Принцип дифракционной решетки используется при создании радиолокационных антенн с фазированной решеткой, широко применяемых в авиации.