

Урок №1 (10.01.2008)

Интерференция и дифракция. Дифракция Френеля.

1. Повторение.

Прежде всего, общая мысль: свет во многих экспериментах демонстрирует свою волновую природу. Вспомним основные понятия и идеи:

- Свет как волна: уравнение световой волны $E(x, t) = E_0 \cos(kx - \omega t + \varphi_0)$.
- Что мы видим? Интенсивность.
- Что такое цвет? Спектр.
- Когерентность.
- Оптическая длина хода луча.
- Сложение световых волн с учётом разности фаз.

Интерференция.

Опыт Юнга. Интерференция от двух тонких щелей. Что такое угол θ , входящий в уравнение $\sin \theta = \frac{\lambda}{d} n$.

Дифракционная решётка. Для главных максимумов всё та же формула: $\sin \theta_{\max} = \frac{\lambda}{d} n$. При этом минимумы возникают при условии $\sin \theta_{\min} = \frac{m\lambda}{Nd}$, где $m = 1, 2, \dots, N - 1$. Между минимумами располагается $N - 2$ побочных максимума.

Дифракция.

Дифракция, как оптическое явление, может быть описана так: это все наблюдаемые эффекты непрямолинейного распространения лучей света. Объяснение всем подобным наблюдениям можно дать, используя принцип Гюйгенса и учитывая интерференцию от бесконечного количества бесконечно малых вторичных источников. Математическое описание общего случая слишком сложно для школьного курса, поэтому рассматриваются несколько простых вариантов, получивших названия по именам учёных, их рассмотревших: дифракция Фраунгофера и дифракция Френеля.

В прошлом семестре мы познакомились с дифракцией Фраунгофера, или дифракцией в параллельных лучах.

Основные идеи Фраунгофера:

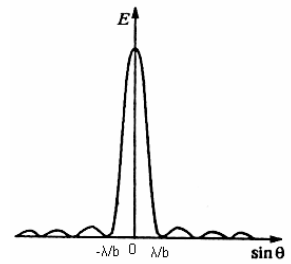
- Возьмем тонкую щель – больше освещенность и легче наблюдать. В качестве источника света берем светящуюся нить.
- Соберем параллельные лучи линзой – теперь оптическая разность хода разных лучей зависит только от угла, под которым щель видна от данной точки экрана (нет дополнительной разности хода от разных частей щели – основного эффекта в дифракции Френеля).

Амплитуда напряжённости поля в точке экрана P , из которой щель видна под углом θ , в этом случае равна:

$$E(\theta) = E_0 \frac{\sin(\varphi/2)}{\varphi/2}, \text{ где } \varphi \text{ — это разность фаз между лучами}$$

от крайних вторичных источников. Интенсивность $I(\theta)$ в точке P пропорциональна квадрату амплитуды:

$$I(\theta) = I_0 \frac{\sin^2(\varphi/2)}{(\varphi/2)^2}, \text{ где } \varphi = 2\pi \frac{b \sin \theta}{\lambda}.$$



Дифракция не только показывает непрямолинейность распространения светового луча, но и приводит к затуханию бесконечной в идеальном случае интерференционной картины.

И ещё одно очень важное замечание: все эффекты, которые мы рассматриваем в волновой оптике зависят от длины волны λ , поэтому все максимумы возникают в разных местах экрана для разных длин волн (кроме нулевого). Поэтому дифракционную решётку, например, можно использовать для спектрального разложения.

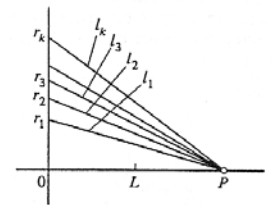
2. Дифракция Френеля.

Зоны Френеля.

Рассматриваем падение плоской монохроматической волны на преграду с круглым отверстием. Нас интересует освещённость экрана, расположенного за препятствием в точке P на оси симметрии отверстия.

Мысленно разбиваем волновую поверхность падающей волны в месте преграды на кольцевые зоны по правилу: расстояния от краев соседних зон до точки P должны отличаться на $\frac{\lambda}{2}$,

$$\text{т.е. } l_1 = L + \frac{\lambda}{2}, l_2 = L + 2 \frac{\lambda}{2} \text{ и т.д.}$$



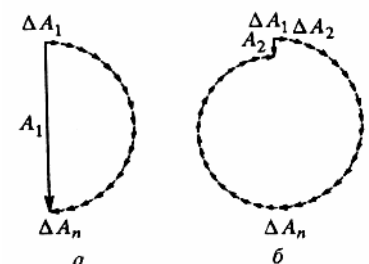
Зоны Френеля будут иметь форму дисков, радиусы которых легко находятся:

$$r_k = \sqrt{l_k^2 - L^2} = \sqrt{k\lambda L + k^2 \frac{\lambda^2}{4}} \approx \sqrt{k\lambda L}.$$

Обратим внимание на то, что площади зон Френеля почти одинаковы, если $k\lambda/L \ll 1$!

Дифракция Френеля на круглом отверстии и пятно Араго-Пуассона.

Представим себе отверстие в преграде диафрагмой, диаметр которой можно менять. Пусть сначала радиус отверстия много меньше радиуса первой зоны Френеля. Тогда будем считать, что колебания от всех точек этой поверхности приходят к точке P в фазе. Амплитуду таких колебаний можно изобразить на векторной диаграмме вектором ΔA_1 .



Увеличим в два раза диаметр диафрагмы. Тогда полная амплитуда в точке P будет равна длине суммы двух векторов ΔA_1 и ΔA_2 , расположенных под небольшим углом друг относительно друга. И так далее.

Откроем теперь диафрагму так, чтобы разность фаз между крайними лучами стала равной π . Суммарная амплитуда колебаний в точке P в этом случае будет равна длине вектора A_1 (см. рис. a). В этом случае говорят, что открыта *одна зона Френеля*.

Если диафрагму увеличивать дальше, то в конце концов разность фаз между крайними лучами станет равной 2π – будут открыты две зоны Френеля. В этом случае суммарная амплитуда колебаний в центре экрана станет равной длине вектора A_2 , т.е. в центре экрана появится тёмное пятно. Длина вектора A_2 очень мала и определяется разностью площадей первой и второй зоны Френеля.

Совершенно аналогично объясняется эффект появления *пятна Араго-Пуассона*.

В начале 1817 года Парижская академия наук выдвинула на премию задачу о дифракции. При этом сама формулировка задачи подразумевала, что явление дифракции получит свое объяснение в рамках корпускулярной теории света. Да и из пяти членов комиссии трое (Пуассон, Био и Лаплас) были убежденными сторонниками корпускулярной теории света, и только Араго придерживался волновой. Пятый член комиссии Гей-Люссак не был компетентен в рассматриваемом вопросе, но был известен исключительной честностью. В 1818 году Френель представил в Академию в запечатанном конверте (так как конкурс был анонимным) под девизом "Nature simplex et fecunda" ("Природа проста и плодотворна") "Записку о теории дифракции". В этой записке он описывает многочисленные опыты и измерения по дифракции, результаты которых объясняет, используя принцип, известный ныне как принцип Гюйгенса-Френеля, то есть на основе волновой теории. При обсуждении работы Пуассон обратил внимание на то, что из теории автора записки вытекает вывод, который как будто противоречит здравому смыслу: в самом центре тени, отбрасываемой небольшим диском, должно находиться светлое пятно.

Но вернемся в Парижскую академию наук. После выдвинутого Пуассоном возражения другой член комиссии Араго тут же произвел опыт, и оказалось, что пятно действительно есть. В результате работа под девизом "Природа проста и плодотворна" (то есть работа Френеля) получила заслуженную премию, а волновая теория - всеобщее признание. Светлое пятно в центре тени носит название пятна Араго-Пуассона или просто пятна Пуассона. Отметим, что светлое пятнышко в центре тени в 1715 году (почти за 100 лет до появления работы Френеля) наблюдал Деллиль, но его наблюдения не привлекли внимания, так как они не были связаны с какой-либо теорией.

Дифракционные явления можно наблюдать на отверстиях, у которых $d \sim r_1$, т.е. на расстояниях $L \sim d^2/\lambda$. При размере преграды $\sim 0,5$ мм и длине волны 500 нм, по-

лучим $L = \frac{(5 \cdot 10^{-4})^2}{5 \cdot 10^{-7}} = 0,5$ м.

Важно только помнить, что препятствие должно быть освещено параллельным пучком света, от точечного источника.