

Урок №4 (02.02.2013)

Дифракция Френеля. Оптические эффекты. Решение задач.

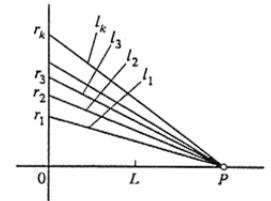
1. Дифракция Френеля.

Зоны Френеля.

Рассматриваем падение плоской монохроматической волны на преграду с круглым отверстием. Нас интересует освещенность 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 $\frac{\lambda}{2}$,

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



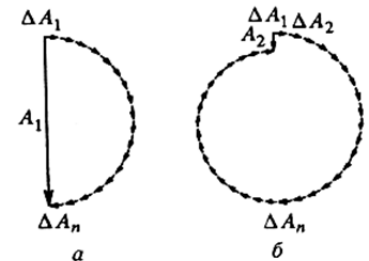
Зоны Френеля будут иметь форму дисков, радиусы которых легко находятся:

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

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

Здесь ещё неплохо подумать о том, как именно будет выглядеть зависимость яркости света в точке P от расстояния от экрана до отверстия.

2. Интерференционные и дифракционные эффекты.

Интерференция в тонких плёнках.

- Отражение от плоскопараллельных пластинок («нефтяные пятна»).
- Кольца Ньютона.
- Интерференция на клине.
- Осветление оптики.

При отражении света от среды с большим показателем преломления его фаза изменяется на $\frac{\pi}{2}$.