

Урок №5 (04.02.2013)

Решение задач на дифракцию. Влияние дифракции на разрешающую способность оптических приборов.

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

В среде с $n > 1$ частота волны остаётся той же, а длина волны увеличивается:
 $\lambda = n \cdot \lambda_0$.

1. Задачи.

1. Волосок диаметром d попал между двумя плоскопараллельными стеклянными пластинами. Свет с длиной волны в воздухе λ падает (и наблюдается) перпендикулярно пластинкам. Наблюдатель видит серию светлых и темных полос. Сколько полос увидит наблюдатель?

Решение.

Тонкой плёнкой в данном случае служит воздушный клин между двумя стеклянными пластинами. Из-за изменения фазы при отражении от нижней поверхности тёмные полосы соответствуют разности хода $0, \lambda, 2\lambda$, и т.д. Так как световые лучи перпендикулярны пластинам, разность хода равна $2l$, где l – ширина зазора между пластинами в данном месте. Следовательно, тёмные полосы наблюдаются там, где $2l = m\lambda$, $m = 0, 1, 2, 3, \dots$, а светлые – там, где $2l = (m + 1/2)\lambda$. В том месте, где находится волосок $l = d$. Наблюдатель увидит, таким образом, $m = [2d/\lambda]$ тёмных полос.

2. Мыльный пузырь кажется зелёным ($\lambda = 540$ нм) в точке, ближайшей к наблюдателю. Какова его минимальная толщина? Предположим, что $n = 1,35$.
3. Чему равна толщина оптического покрытия из MgF_2 ($n = 1,38$), предназначенного для гашения света в окрестности длин волн 550 нм при нормальном падении на стекло с $n = 1,50$?
4. На отверстие радиуса r падает перпендикулярно его плоскости плоская синусоидальная волна. Длина волны $\lambda \ll r$. Интенсивность волны по оси отверстия периодически меняется. На каком расстоянии от его центра находится последний максимум?

2. Дифракционные искажения.

Телескоп

Очевидно, что поток света от звезды можно рассматривать как параллельный пучок света от бесконечно удалённого точечного источника. Согласно представлениям геометрической оптики, такой пучок света должен собраться за линзой в точке, расположенной в фокальной плоскости.

Однако опыт показывает, что есть теоретический предел разрешения телескопа, – например, невозможно определить, является ли удалённый источник света одиночной звездой, или системой из двух звёзд. Связано это с дифракцией.

Вспомним, что в случае бесконечной щели, угол дифракционной расходимости у нас определяется формулой: $\sin \theta = \lambda/d$, где d – ширина щели. В случае круглого отверстия формула та же, с точностью до коэффициента: $\sin \theta = \frac{1,22\lambda}{d}$, где d – диаметр отверстия.

В телескопе роль отверстия выполняет объектив телескопа. Поэтому разрешение телескопа тем выше, чем больше внешний диаметр объектива.

Камера-обскура.

Камера-обскура, это просто ящик с отверстием в стенке.

Если бы свет распространялся согласно законам геометрической оптики, то изображение в камере-обскуре было бы тем чётче, чем меньше отверстие: предмет можно рассматривать как совокупность светящихся точек. Если предмет расположен достаточно далеко, то отверстие «фокусирует» параллельный поток лучей от каждой такой точки, вырезая из всего потока от этой точки лучик, размером с отверстие.

Но уменьшение размера отверстия приводит к увеличению дифракции, как было показано раньше. Для угла дифракции мы получили следующее отношение: $\theta = 1,22\lambda/d$, где d – диаметр отверстия в камере-обскуре. Тогда размер дифракционного пятна будет равен $a \approx 2L\theta = 2\frac{1,22\lambda}{d}L$, где L – расстояние от отверстия до экрана. Очевидно (в параллельных лучах) размер пятна не должен быть больше размера отверстия, следовательно, отверстие должно быть равно размеру пятна: $d \approx \sqrt{2\lambda L}$, т.е. должно быть порядка полутора зон Френеля.