

Тема семинара:
Волновая оптика

Волновые явления

1. Интерференция
2. Дифракция
3. Поляризация

Интерференция

Интерференция света — пространственное перераспределение светового потока при наложении двух или нескольких когерентных световых волн, т.е. волн, имеющих одинаковую частоту и постоянную разность фаз их колебаний, в результате чего в одних местах возникают максимумы, а в других — минимумы интенсивности, так называемая интерференционная картина.

Когерентность

Условия, при которых может наблюдаться явление интерференции, сводятся к **когерентности** накладывающихся волн, то есть необходимо, чтобы:

1. Волны имели одну частоту.
2. Волны имели постоянную разность фаз.
3. Волны имели одинаковую поляризацию – одинаковое направление векторов \vec{E} и \vec{B} .

Амплитуда колебаний среды в данной точке максимальна, если разность хода двух волн, возбуждающих колебания в этой точке, равна целому числу длин волн (условие интерференционных максимумов):

$$d = \pm k\lambda, k = 0, 1, 2, \dots$$

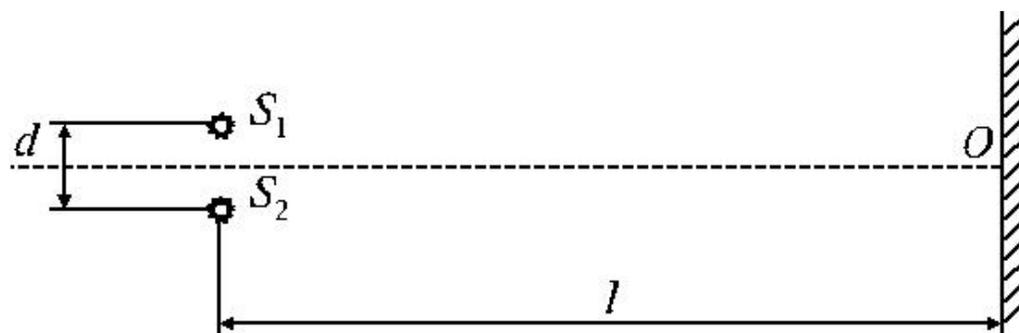
Амплитуда колебаний среды в данной точке минимальна, если разность хода двух волн, возбуждающих колебания в этой точке, равна нечетному числу полуволен (условие интерференционных минимумов):

$$d = \pm(2k + 1)\lambda / 2, k = 0, 1, 2, \dots$$

Ширина интерференционной полосы $x = l\lambda/d$; d — расстояние между двумя когерентными источниками, находящимися на расстоянии l от экрана, параллельного обоим источникам, причем $l \gg d$.

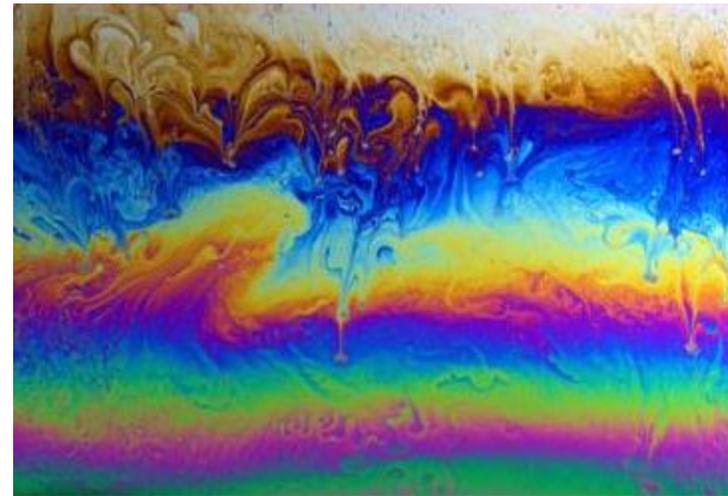
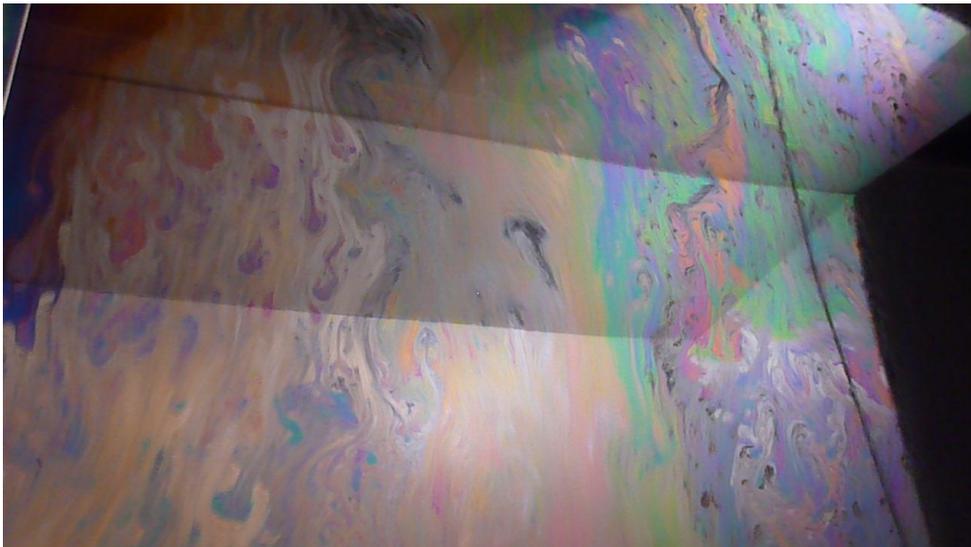
Задача 1

Два когерентных источника S_1 и S_2 испускают монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Определить, на каком расстоянии x от точки O будет первый максимум освещенности, если $l = 4$ м, $d = 1$ мм (рис.).



Интерференция в тонких пленках

Интересные и практически значимые интерференционные эффекты возникают при попадании плоской световой волны на поверхность тонкой пленки, толщина которой сравнима с длиной волны. В этом случае интерферируют волны, отраженные от двух поверхностей пленки, создавая ее характерную окраску. Как и почему появляется эта окраска?



Интерференция в тонких пленках

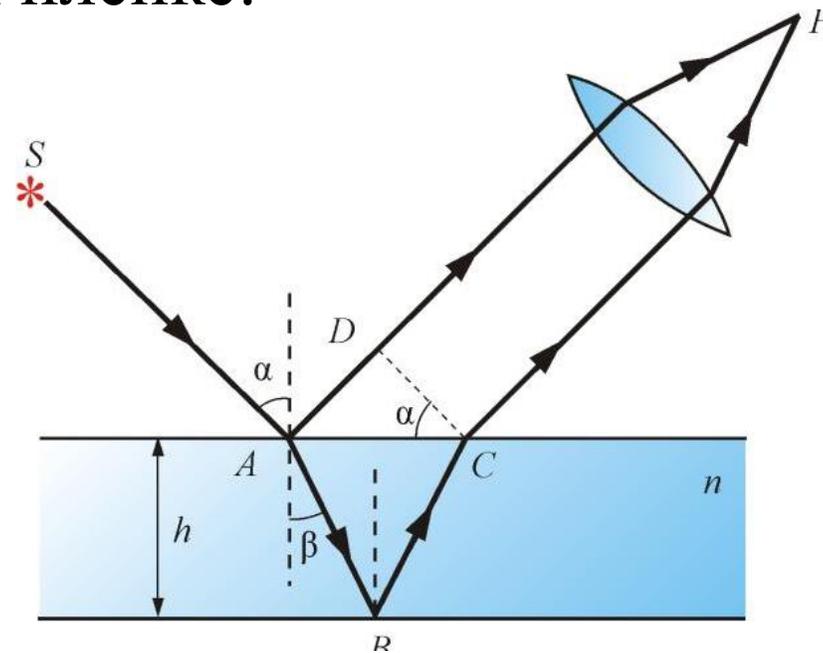
Условие максимума интерференции в тонкой пленке:

$$2h\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}$$

Условие минимума интерференции в тонкой пленке:

$$2h\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} = (m + 1)\lambda$$

$$m = 0, 1, 2, 3, \dots$$



Задача 2

В просветленной оптике для устранения отражения света на поверхность линзы, сделанной из стекла с показателем преломления $n_1 = 1,5$, наносится тонкая пленка с показателем преломления $n = 1,26$. При какой толщине d пленки отражение света от линзы не будет наблюдаться? Длина волны падающего света $\lambda = 550$ нм, луч падает на пластинку нормально.

Дифракция света

Дифракция света — явление отклонения света от прямолинейного направления при прохождении у края преграды. Дифракция волн — совокупность явлений, наблюдаемых при прохождении волн в неоднородных средах, приводящих к отклонению волн от первоначального прямолинейного распространения.

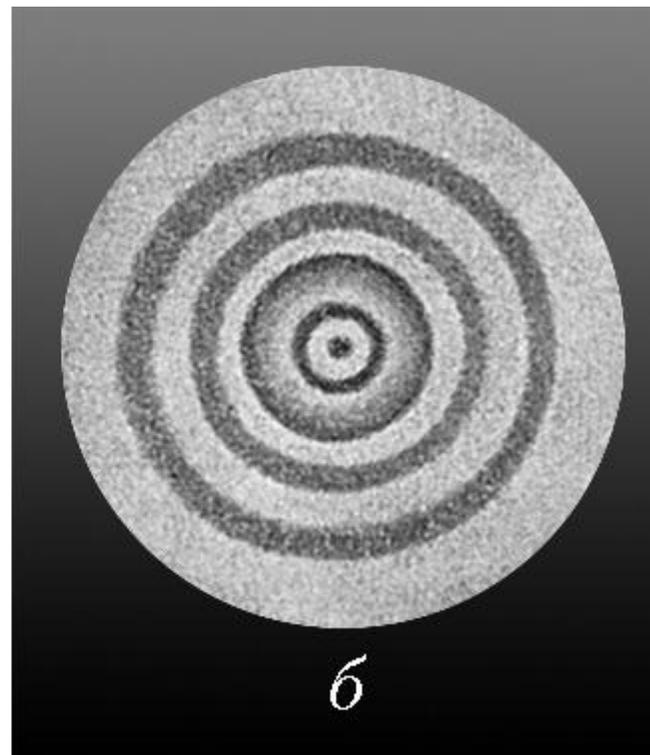
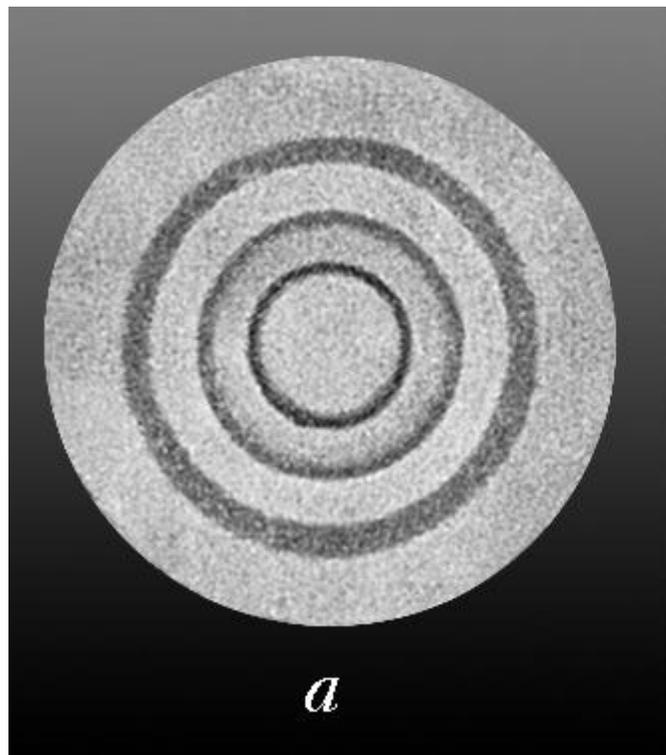
Принцип Гюйгенса–Френеля. Каждая точка поверхности, которой достигла в данный момент волна, является точечным источником вторичных волн: волновая поверхность в любой момент времени представляет собой не просто огибающую вторичных волн, а результат их интерференции.

Дифракция света

Есть два варианта анализа дифракционных картин с применением принципа Гюйгенса – Френеля – так называемой **дифракции Френеля** – сферической волны на круглом отверстии и **дифракции Фраунгофера** – плоской волны на узкой бесконечной щели.

Дифракция Френеля

Дифракция Френеля на круглом отверстии при открытом нечетном (а) и четном (б) числе зон Френеля.

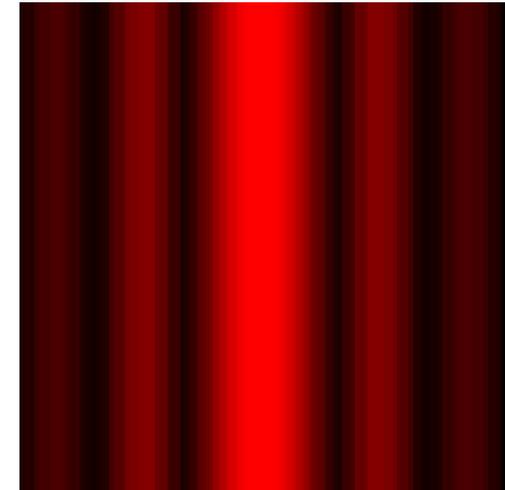
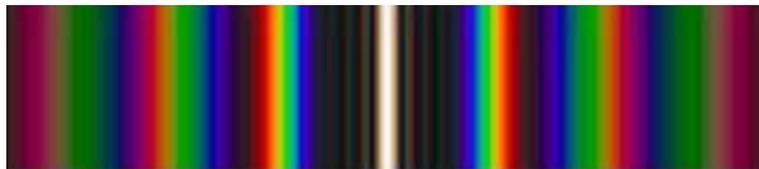


Дифракция Фраунгофера

Наиболее типичная дифракционная картина наблюдается, когда a порядка нескольких λ .

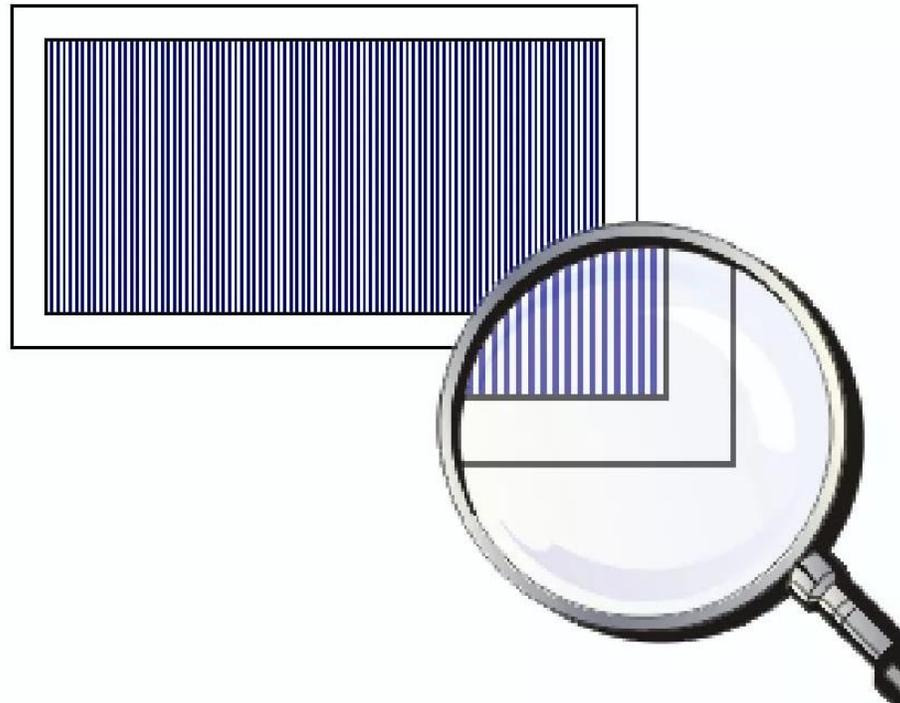
Если освещать щель потоком света, состоящего из совокупности длин волн $\lambda_1, \lambda_2, \dots$, положение максимумов и минимумов интенсивности для разных λ будут разведены по величине угла α и мы получим на экране совокупность цветных полос, каждая из которых соответствует определенной длине волны. Только центральный максимум останется белым, то есть смесью различных длин волн.

На рис. снизу представлены картины дифракции Фраунгофера от одной щели в белом (слева) и в монохроматическом (справа) свете.

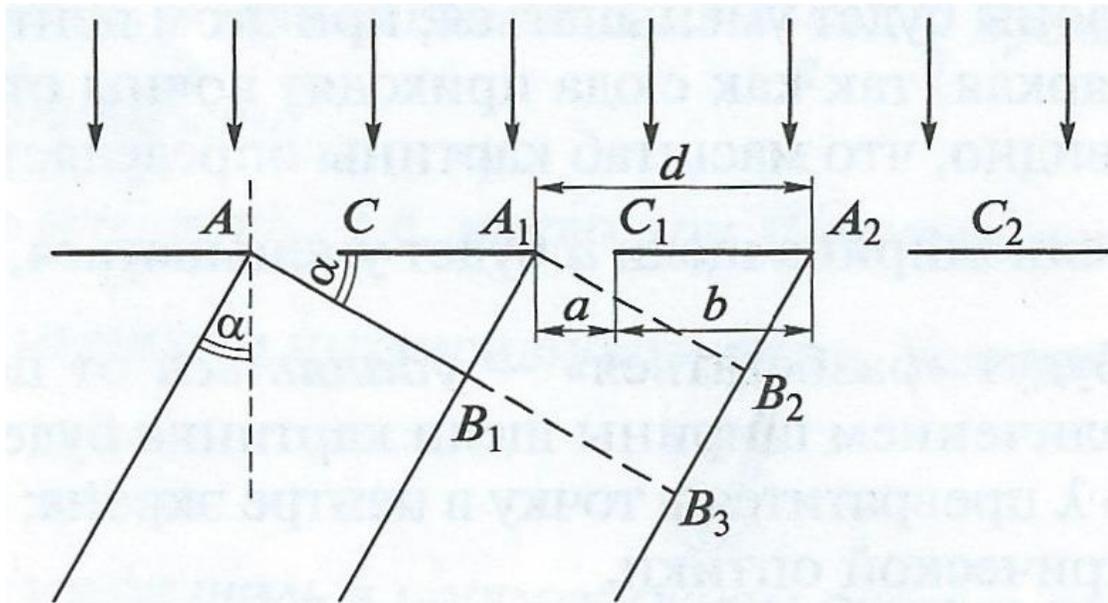


Дифракционная решетка

Дифракционной решеткой называют совокупность большого числа параллельных равноотстоящих щелей в непрозрачном экране.

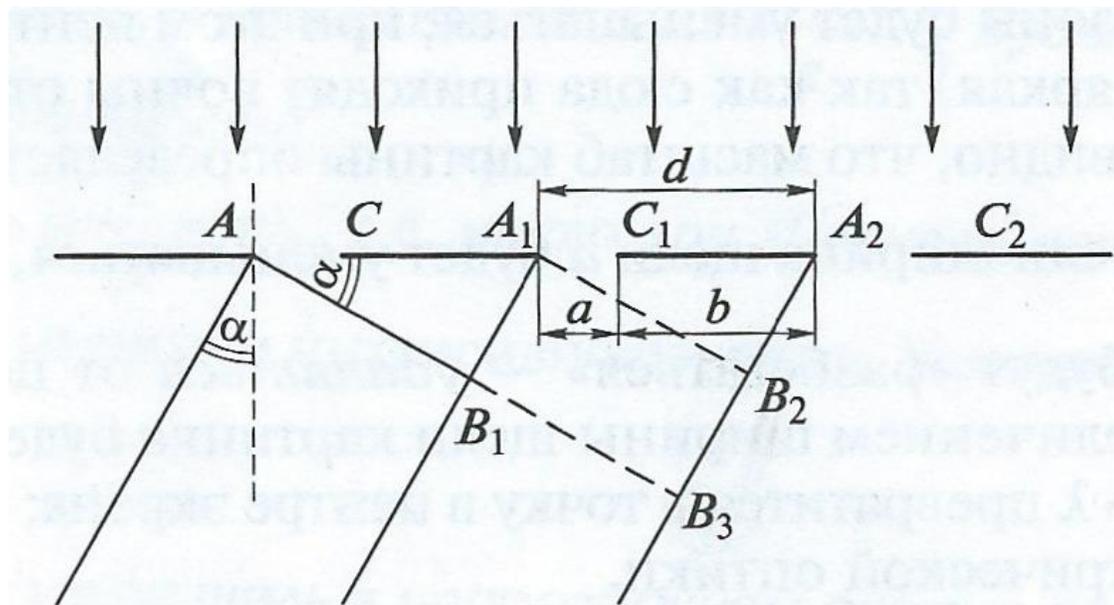


Дифракционная решетка



Таким образом, картина, наблюдаемая на экране, будет определяться как дифракцией пучков, идущих от разных щелей, так и дифракцией от одной щели, особенности которой рассмотрена выше (дифракция Фраунгофера).

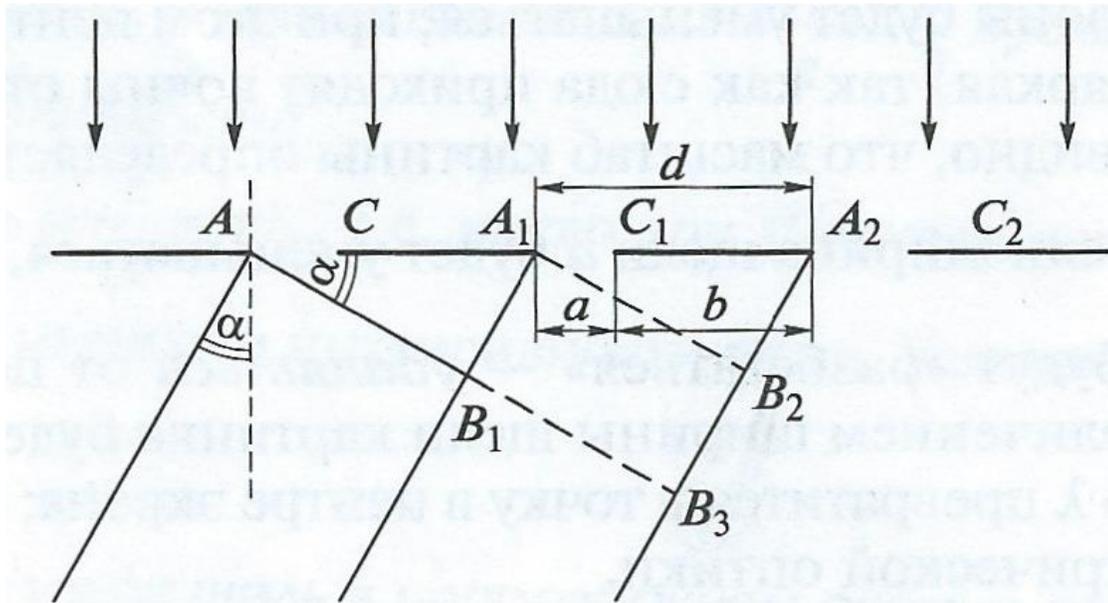
Дифракционная решетка



Рассмотрим решетку, которая имеет N щелей, ширина одной щели a , расстояние между щелями b ; $d = a + b$ – период дифракционной решетки. Пусть на решетку падает плоская волна. Выбираем направление распространения вторичных волн, идущих под углом α к нормали к пластинке. Проведем перпендикуляр AB_3 к направлению распространения вторичных волн. Теперь нам нужно учесть результат интерференции вторичных волн, идущих от различных щелей. Из рис. видно, что разность хода лучей, идущих от крайних точек двух первых щелей A и A_1 , A_1 и A_2 и т.д.

$$A_1B_1 = A_2B_2 = \dots = d \sin \alpha = (a + b) \sin \alpha.$$

Дифракционная решетка



Если

$$d \sin \alpha = m \lambda$$

волны от соседних щелей, приходя в *фазе* и под соответствующим углом α возникнут так называемые главные максимумы, положение которых определяется условием

$$\sin \alpha = m \frac{\lambda}{d}$$

Задача 3

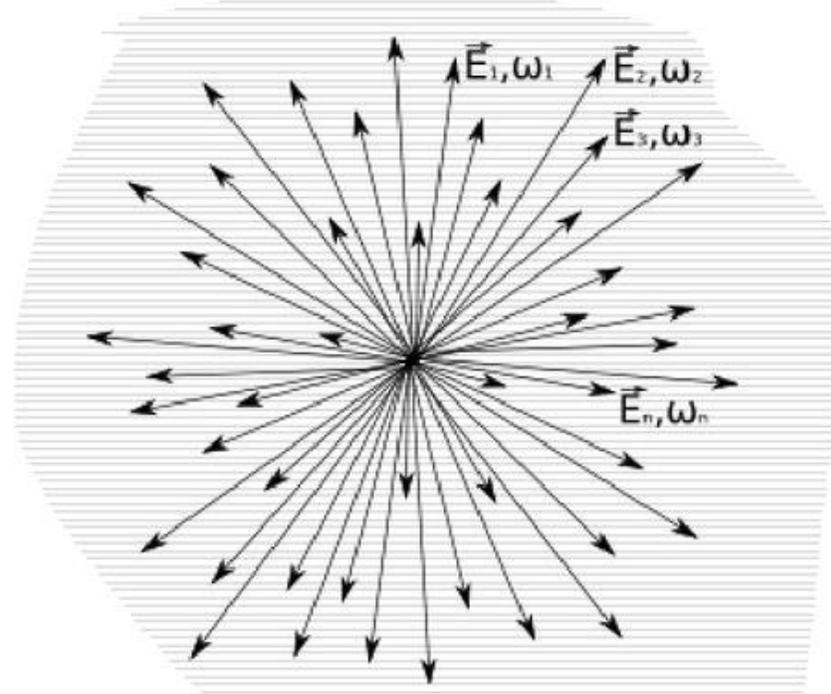
Дифракционная решетка имеет $N = 100$ штрихов на $l = 1$ мм длины. Определить длину волны λ монохроматического света, падающего на решетку нормально, если угол между максимумами первого порядка равен $\varphi = 8^\circ$.

Задача 4

Каков наибольший порядок максимума для волны с $\lambda = 600$ нм в дифракционной решетке, имеющей $N = 300$ штрихов на $l = 1$ мм?

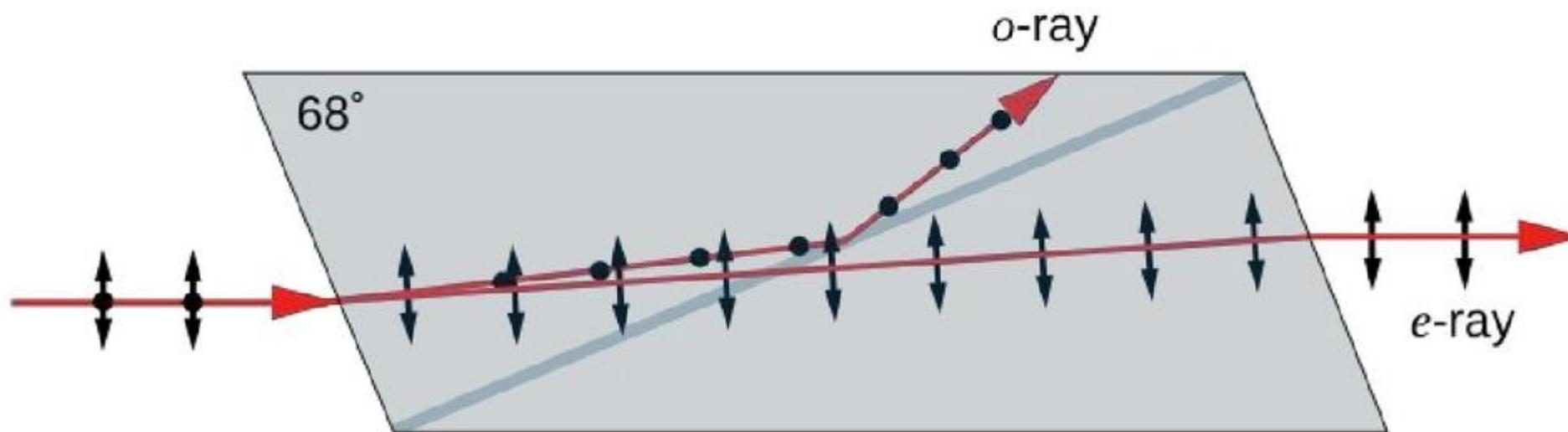
Поляризация света

Свет представляет собой поперечные электромагнитные волны. Естественный свет (солнечный, ламп накаливания) неполяризован, т.е. все направления колебаний электрического и магнитного векторов, перпендикулярные световым лучам, равноправны.



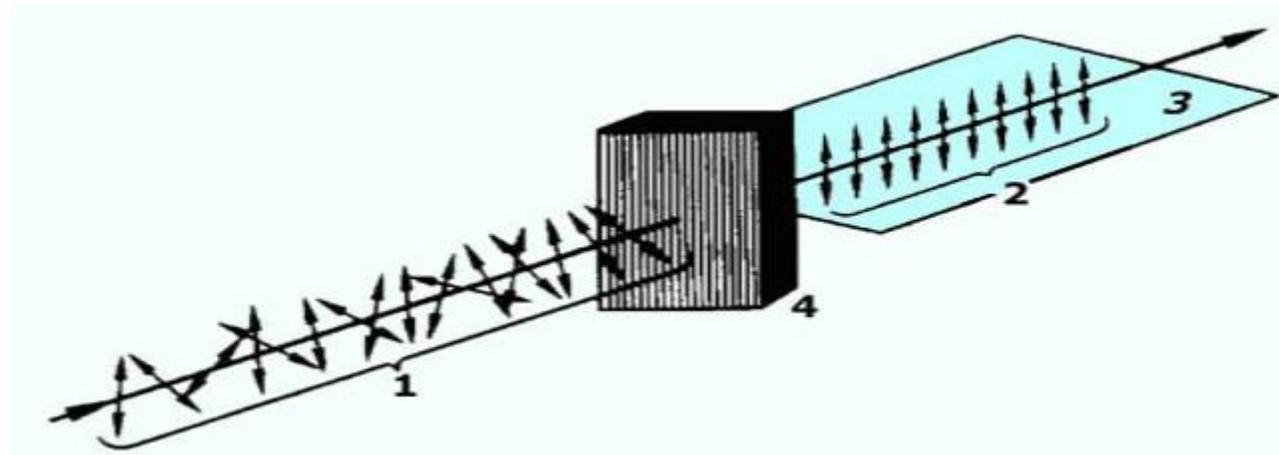
Поляризация света

Призма Николя



Поляризация света

Поляризация света — упорядочение в ориентации векторов напряженностей электрического и магнитного полей световой волны в плоскости, перпендикулярной световому лучу. Естественный свет (1), проходя через поляризатор (4), становится плоскополяризованным (2), при этом интенсивность его будет составлять половину интенсивности естественного света.



Поляризация света

Закон Малюса

$$I = I_0 \cos^2 \varphi,$$

где I — интенсивность плоскополяризованного света, прошедшего через анализатор; I_0 — интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор; φ — угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора.

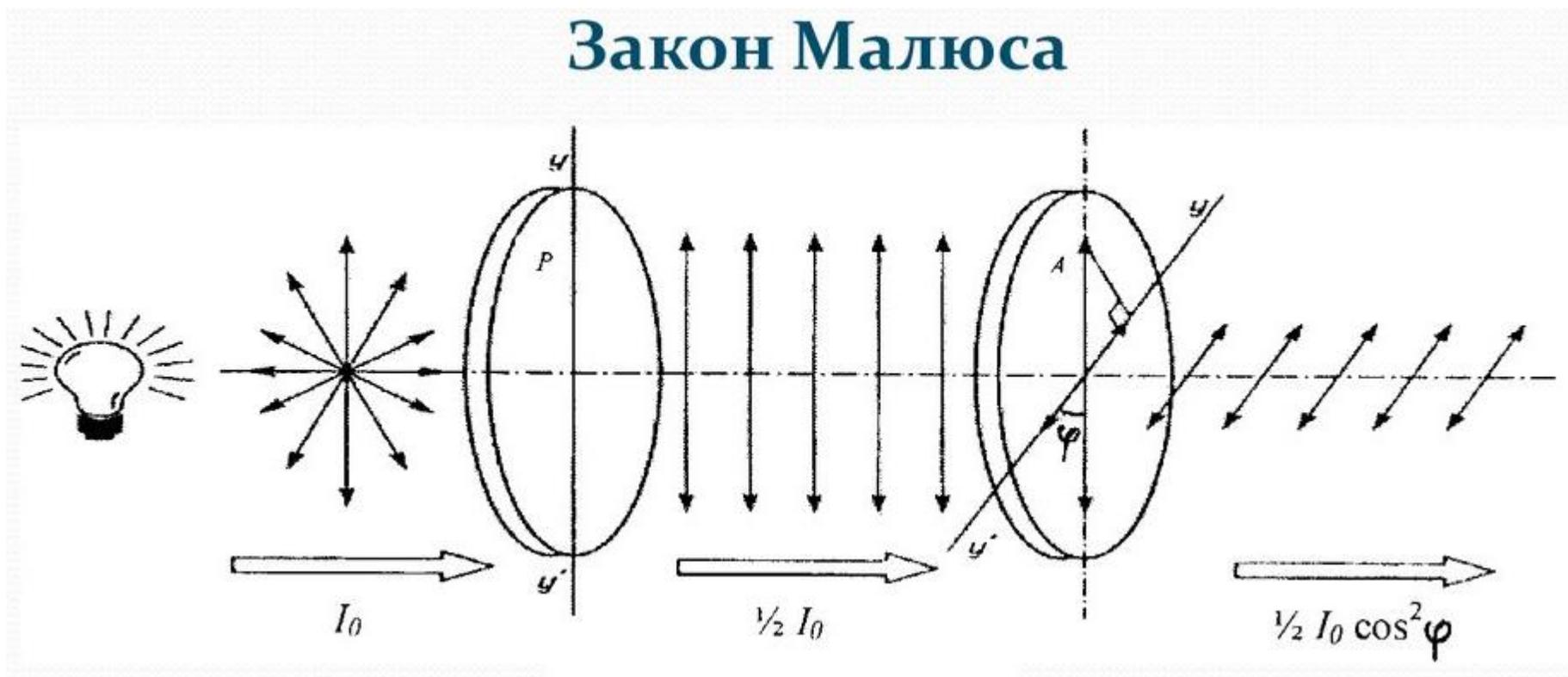
Закон Брюстера

$$\operatorname{tg} \theta_B = n_{21},$$

где θ_B — угол падения, при котором отраженный от диэлектрика луч является плоскополяризованным; n_{21} — относительный показатель преломления.

Закон Малюса

$$I = I_0 \cos^2 \varphi,$$

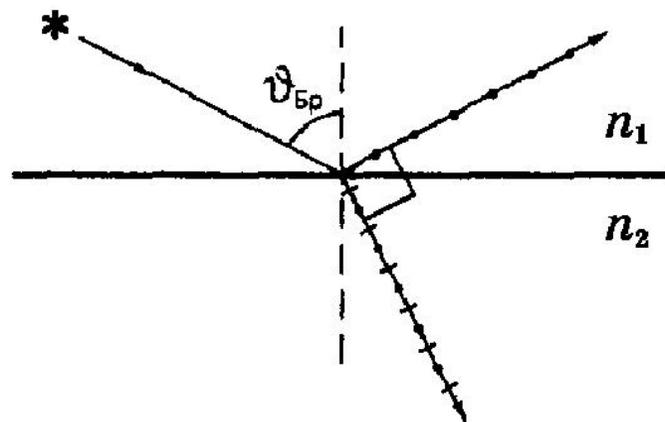


Закон Брюстера

$$\operatorname{tg}\theta_{\text{В}} = n_{21},$$

где $\theta_{\text{В}}$ — угол падения, при котором отраженный от диэлектрика луч является плоскополяризованным; n_{21} — относительный показатель преломления.

Угол Брюстера



Задача 5

Во сколько раз ослабляется естественный свет, проходя через два николя, главные плоскости которых составляют угол $\alpha = 30^\circ$, если в каждом из николей теряется 10% падающего на него светового потока?

Домашнее задание

Задачи 4.2.21, 4.2.26, 4.2.38

Литература

Л.Г. Антошина, С.В. Павлов, ЛА. Скипетрова. Общая физика: сборник задач. М., 2006.