

# ЛЕКЦИЯ 13

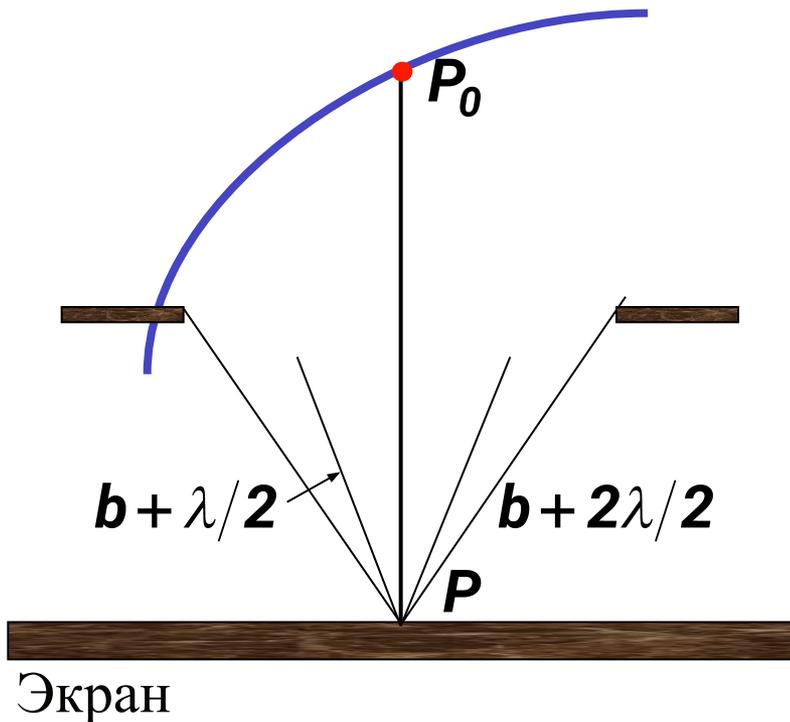
## ПЛАН ЛЕКЦИИ

- 1. Дифракция в сходящихся лучах (дифракция Френеля):**
  - дифракция на круглом отверстии;
  - дифракция на диске.
- 2. Дифракция в параллельных лучах (дифракция Фраунгофера):**
  - дифракция от щели;
  - дифракционная решетка.
- 3. Спектральное разложение. Разрешающая способность решетки.**

# ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

## *Дифракция в сходящихся лучах (дифракция Френеля).*

Дифракция Френеля: на препятствие падает сферическая или плоская волна, а экран находится на конечном расстоянии от препятствия.



## Дифракция на круглом отверстии.

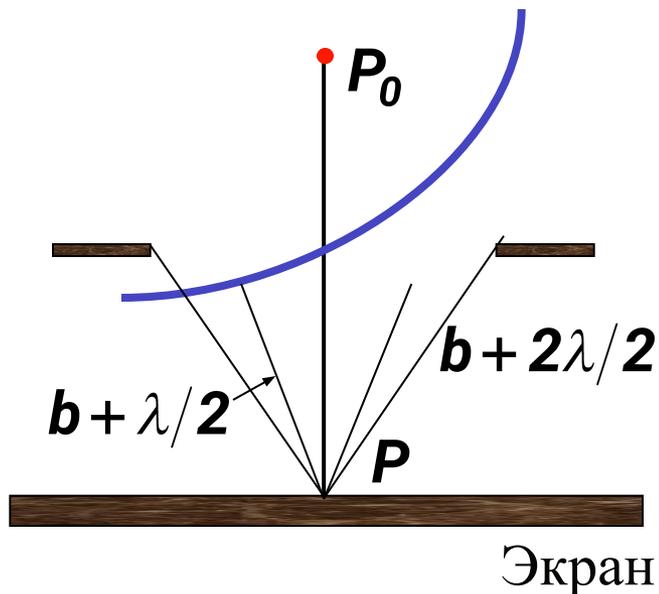
На пути сферической световой волны стоит непрозрачный экран с круглым отверстием.

Вид картины зависит от числа зон Френеля, которые укладываются на открытой части волновой поверхности в плоскости отверстия.

## ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

*Дифракция в сходящихся лучах (дифракция Френеля).*

Амплитуда результирующего колебания в точке  $P$ .



$$A = \frac{A_1}{2} \pm \frac{A_m}{2}$$

$$(A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \dots A_m \dots)$$

Знак «+» в этом выражении соответствует нечетным, «-» - четным  $m$ .

Если отверстие открывает нечетное число зон Френеля, то в точке наблюдается максимум, если четное – то минимум.

Если отверстие открывает только одну зону Френеля, то в точке  $P$  будет максимальная интенсивность.

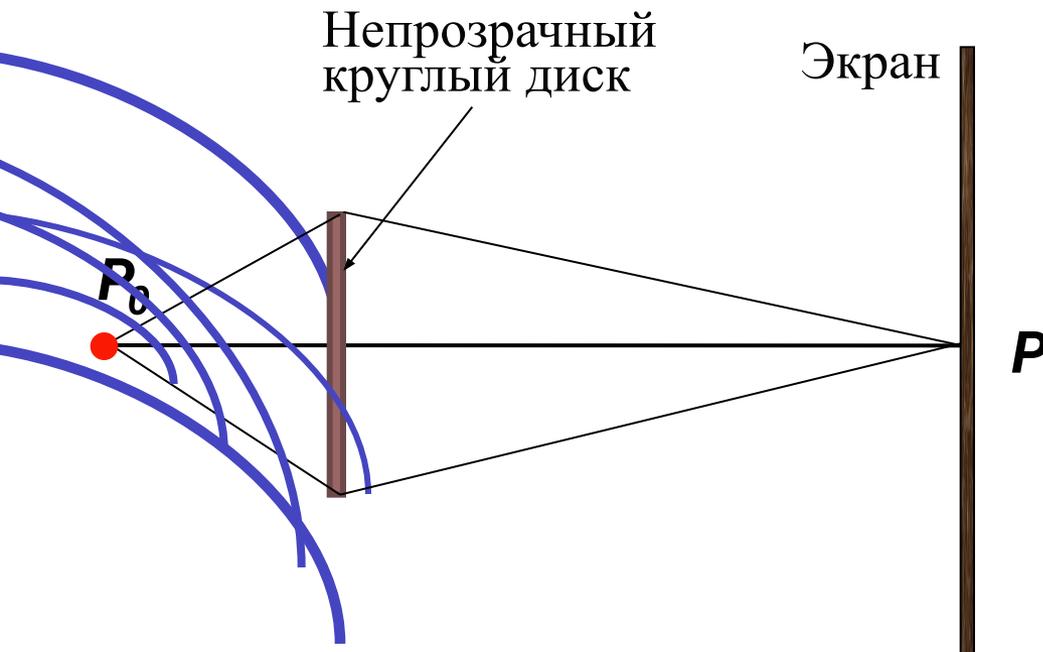
Наименьшая интенсивность соответствует двум открытым зонам Френеля.

# ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

## Дифракция в сходящихся лучах (дифракция Френеля).

### Дифракция на диске.

Поставим на пути сферической световой волны от источника  $P_0$  непрозрачный круглый диск.



Если диск закроет  $m$  первых зон Френеля, амплитуда  $A$  в точке  $P$  будет равна

$$A = A_{m+1} - A_{m+2} + A_{m+3} - \dots$$

$$A = \frac{A_{m+1}}{2}$$

В точке  $P$  - максимум, соответствующий половине действия первой открытой зоны Френеля.

Центральный максимум окружен concentрическими темными и светлыми кольцами, а интенсивность в максимумах убывает с ростом расстояния от центра картины.

# ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

## *Дифракция в параллельных лучах (дифракция Фраунгофера)*

### Дифракция от щели

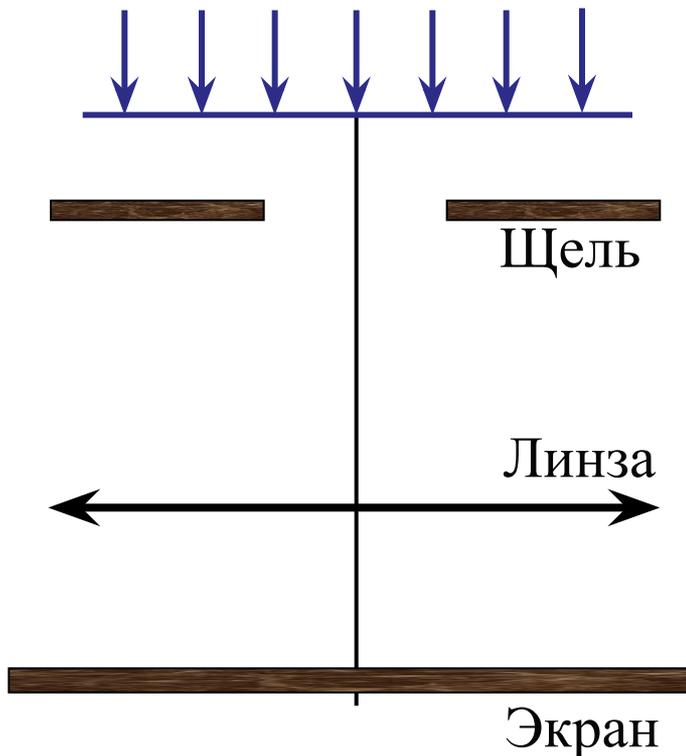


Схема дифракции Фраунгофера: точечный источник света помещается в фокусе собирающей линзы; дифракционная картина исследуется на экране в фокальной плоскости второй собирающей линзы, установленной за препятствием.

Плоская монохроматическая световая волна падает нормально на непрозрачное препятствие с узкой, бесконечно длинной щелью.

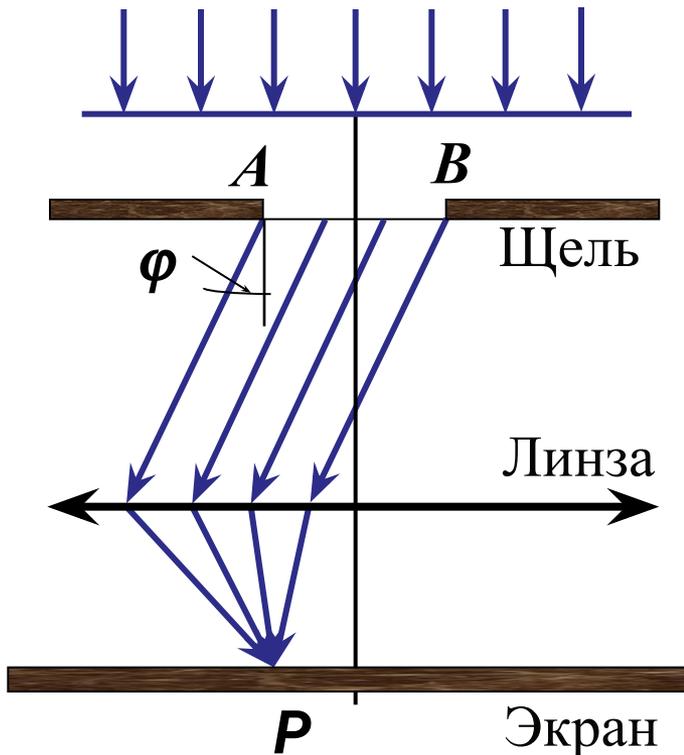
Задача: исследовать распределение интенсивности света на экране.

Воспользуемся принципом Гюйгенса – Френеля.

# ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

## Дифракция в параллельных лучах (дифракция Фраунгофера)

### Дифракция от щели



Каждая точка щели является источником когерентных вторичных волн (плоскость щели совпадает с фронтом падающей волны).

Параллельные пучки лучей, выходящие из щели в направлении  $\varphi$  (угол дифракции), собираются линзой в точке **P**.

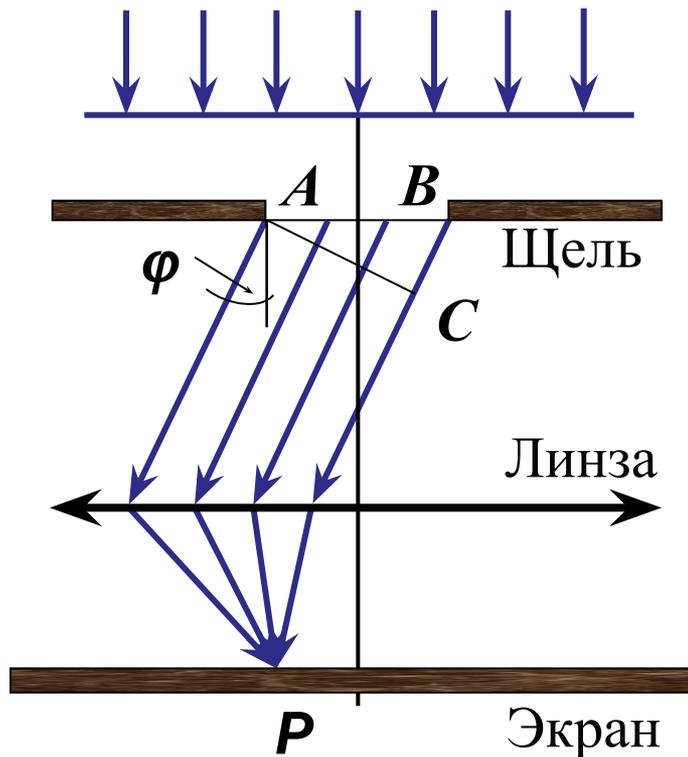
Открытая часть волновой поверхности **AB** разбивается на зоны Френеля, которые имеют вид полос, параллельных боковому ребру щели.

# ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

## Дифракция в параллельных лучах (дифракция Фраунгофера)

### Дифракция от щели

Определим число зон  $N$ , уместяющихся на щели.



Ширина одной зоны  $\Delta x$  определяется как

$$\Delta x = \frac{\lambda/2}{\sin \varphi}$$

Пусть  $a = AB$  – ширина щели.

Отсюда 
$$N = \frac{a}{\Delta x}$$

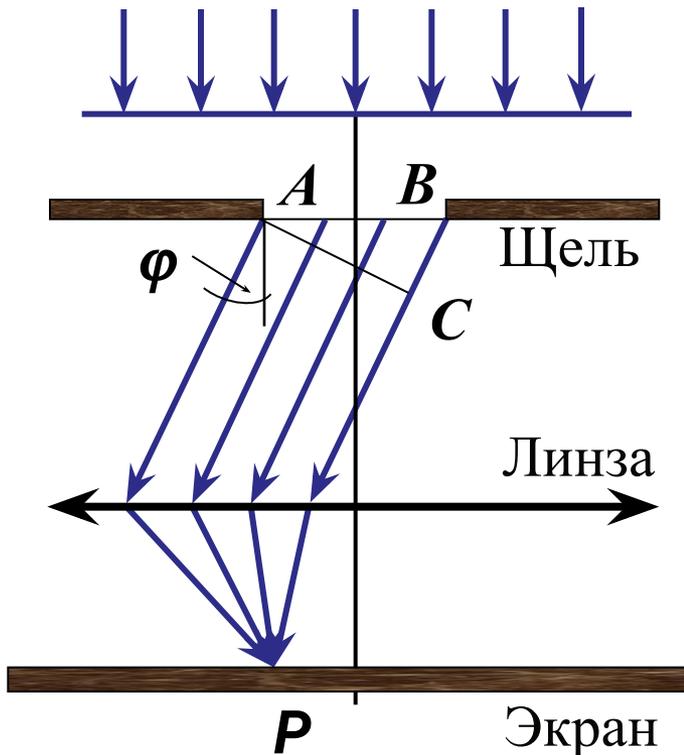
Вторичные волны имеют одинаковые фазы и амплитуды в плоскости щели (зоны Френеля).

Следовательно, колебания, возбуждаемые в точке  $P$  двумя соседними зонами, равны по амплитуде и противоположны по фазе.

# ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

## Дифракция в параллельных лучах (дифракция Фраунгофера)

### Дифракция от щели



Запишем условия для минимумов и максимумов дифракционной картины на экране (для точки  $P$ ):

а) дифракционный минимум (полная темнота):

$$a \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2}, \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

б) дифракционный максимум:

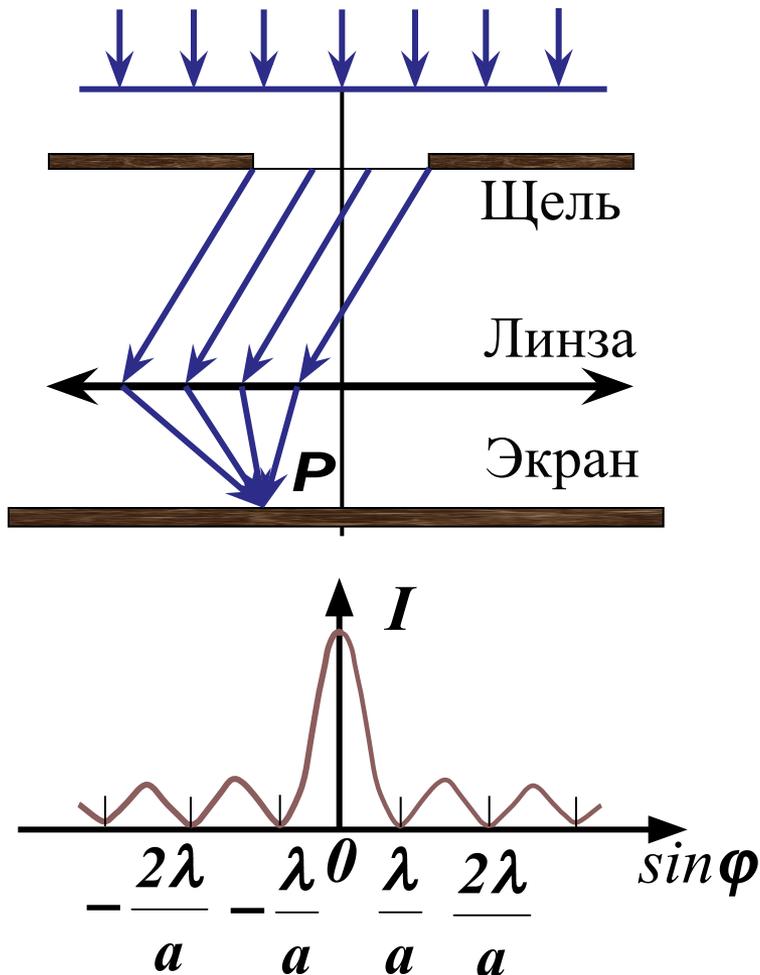
$$a \sin \varphi = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

В направлении  $\varphi = 0$  наблюдается *центральный дифракционный максимум*, поскольку колебания, вызываемые в центральной части экрана всеми участками щели, происходят в одинаковой фазе.

# ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

## Дифракция в параллельных лучах (дифракция Фраунгофера)

### Дифракция от щели



Изобразим дифракционный спектр в виде зависимости

$$I = f(\sin \varphi)$$

Минимум:  $a \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2},$

→  $\sin \varphi = \pm m \frac{\lambda}{a}$

$$I = f(\sin \varphi) = \pm m \frac{\lambda}{a}$$

Основная часть световой энергии сосредоточена в центральном максимуме.

С увеличением угла дифракции интенсивность побочных максимумов резко уменьшается.

# ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

## *Дифракция в параллельных лучах (дифракция Фраунгофера)*

### Дифракционная решетка

В случае дифракции Фраунгофера на одной щели распределение интенсивности на экране определяется углом  $\varphi$ .

Перемещение щели параллельно самой себе не изменит дифракционную картину, а две расположенные рядом одинаковые щели дадут картину как результат интерференции волн, идущих от обеих щелей.

*Дифракционная решетка* - это большое число одинаковых, отстоящих друг от друга на одно и то же расстояние щелей.

На практике щели - это прозрачные участки стеклянных пластинок, разделенные непрозрачными штрихами.

Современные решетки - свыше 1000 штрихов на длине в 1 мм.

Расстояние между серединами соседних щелей - *период* решетки.

# ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

## *Дифракция в параллельных лучах (дифракция Фраунгофера)*

### Дифракционная решетка

Допустим, что на дифракционную решетку с  $N$  щелями нормально к ней падает плоская монохроматическая волна.

За решеткой расположена линза, в фокальной плоскости которой находится экран.

Дифракционная картина на экране будет результатом двух видов интерференции световых лучей:

- а) интерференция лучей, дифрагировавших на каждой щели в отдельности;
- б) интерференция лучей, дифрагировавших от разных щелей.

Рассмотрим для простоты дифракцию Фраунгофера на двух щелях, затем обобщим полученные результаты на случай множества подобных щелей.

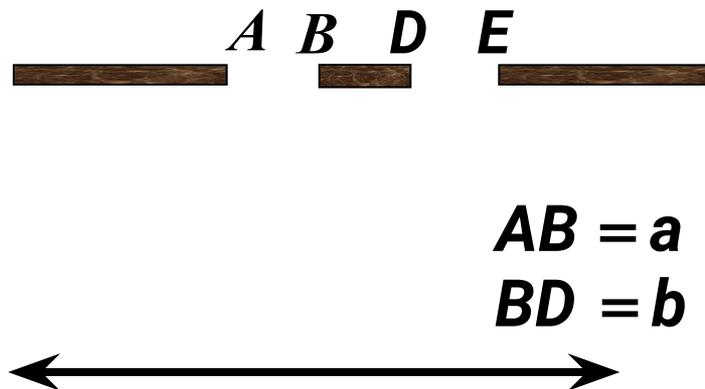
## ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

### *Дифракция в параллельных лучах (дифракция Фраунгофера)*

#### Дифракционная решетка

Пусть ширина щелей равна **a** расстояние между ними **b**.

Тогда  **$a + b = d$**



Параллельное перемещение щели при наличии линзы не изменит дифракционной картины, поэтому минимумы, соответствующие дифракции на одной щели, останутся минимумами и при дифракции на двух и более щелях.

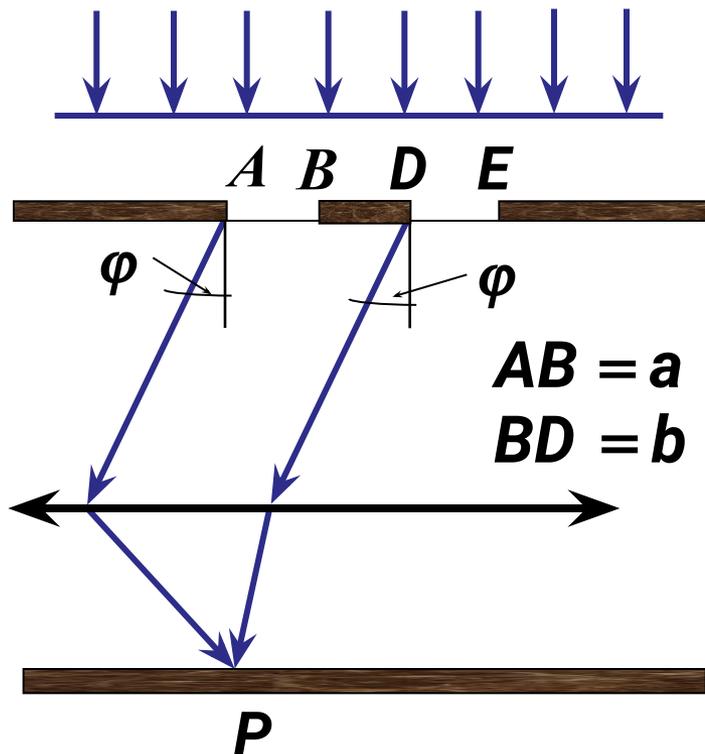
Иначе, если в каком-то направлении каждая щель не посылает света, то в этом направлении не будет света и от всей совокупности щелей.

# ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

## Дифракция в параллельных лучах (дифракция Фраунгофера)

### Дифракционная решетка

Следовательно, так называемые *главные* минимумы интенсивности наблюдаются в направлениях, определяемых записанным ранее условием для одной щели:



$$a \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2}, \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

Из-за взаимной интерференции световых лучей, посылаемых разными щелями (условие б), в некоторых направлениях они будут гасить друг друга.

Возникнут *дополнительные* минимумы.

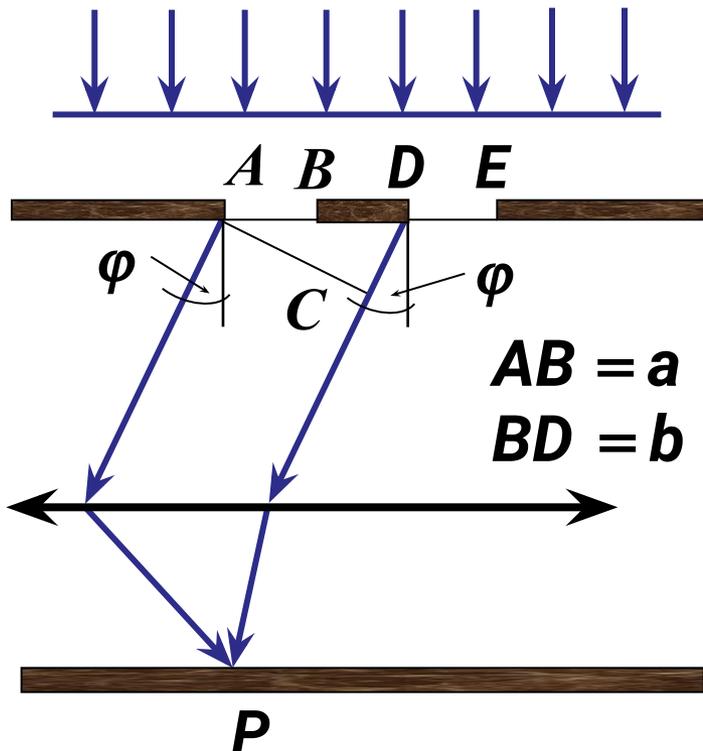
Определим условия их образования.

# ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

## Дифракция в параллельных лучах (дифракция Фраунгофера)

### Дифракционная решетка

Очевидно, что это будут направления, которым соответствует разность хода лучей (**CD**)  $\lambda/2$ ,  $3\lambda/2$ , и т.д., посылаемых от соответствующих точек обеих щелей, например, из точек **AD**.



Такие направления определяются условием

$$\begin{aligned} DC &= AD \sin \varphi = (a + b) \sin \varphi = \\ &= d \sin \varphi = \frac{\lambda}{2}, 3 \frac{\lambda}{2}, \dots \end{aligned}$$

Таким образом, условие дополнительных минимумов будет выглядеть так:

$$d \sin \varphi = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

# ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

## Дифракционная решетка

Соответственно, направления, задающие главные максимумы, определяются условиями:

$$d \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2} = \pm m \lambda, \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

В этих направлениях действие одной щели усиливает действие другой.

Таким образом, для двух щелей дифракционная картина определяется условиями:

главные минимумы:

$$a \sin \varphi = \lambda, \quad 2\lambda, \quad 3\lambda, \dots$$

дополнительные минимумы:

$$d \sin \varphi = \frac{\lambda}{2}, \quad \frac{3\lambda}{2}, \quad \frac{5\lambda}{2}, \dots$$

главные максимумы:

$$d \sin \varphi = 0, \quad \lambda, \quad 2\lambda, \quad 3\lambda, \dots$$

т.е. между двумя главными максимумами располагается дополнительный минимум, а максимумы становятся более узкими, чем в случае одной щели.

# ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

## Дифракционная решетка

### Спектральное разложение.

Условие главных максимумов дифракционной решетки ( $d \sin \varphi = \pm m \lambda$ ) содержит длину волны  $\lambda$ .

Поэтому если на решетку падает, например, белый свет, разным длинам волн будут соответствовать сдвинутые друг относительно друга максимумы, которые на экране выглядят как последовательность цветных полос.

Иначе, каждому значению  $m \neq 0$  соответствует спектр, который начинается с фиолетовой полосы, и заканчивается красной.

При большом числе щелей в решетке эти полосы не перекрываются и четко отделены друг от друга.

Таким образом, *дифракционная решетка позволяет установить спектральный состав направленного на нее излучения.*