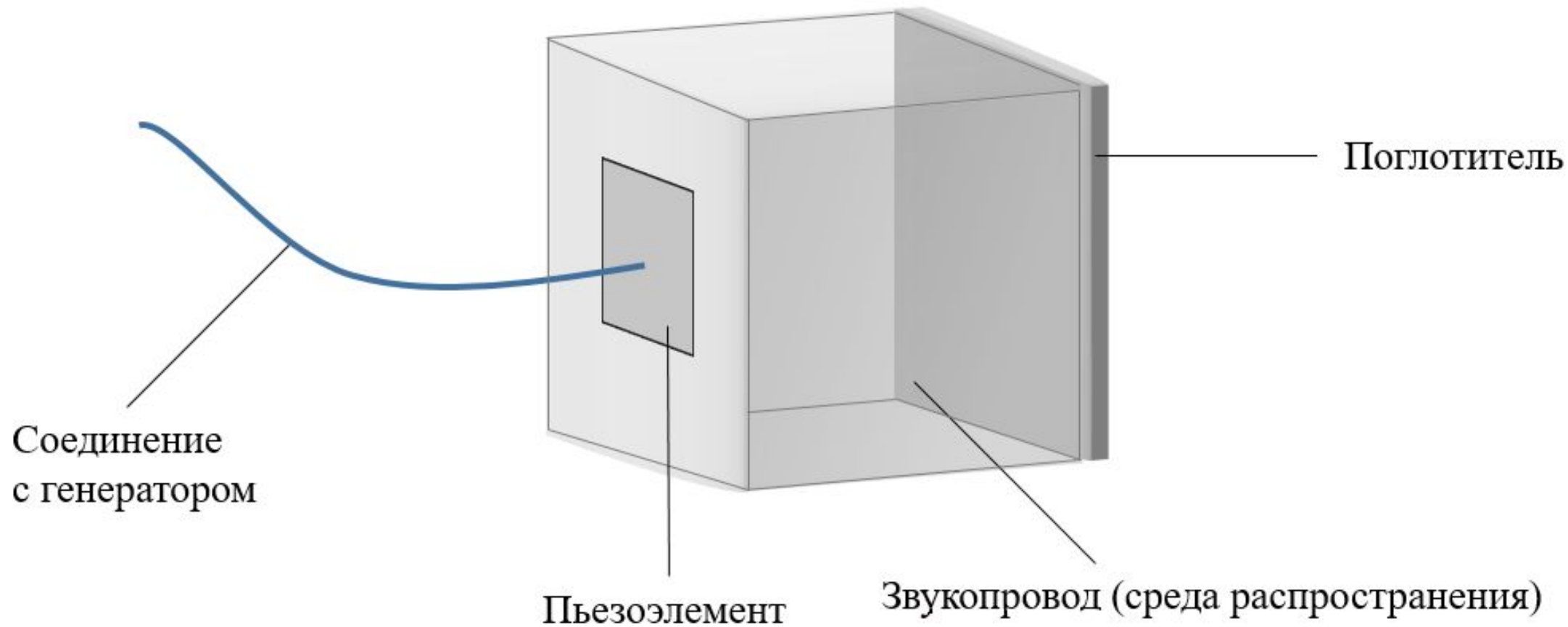


# Акустооптика, лекция 1

Функциональная электроника, 2022 г.

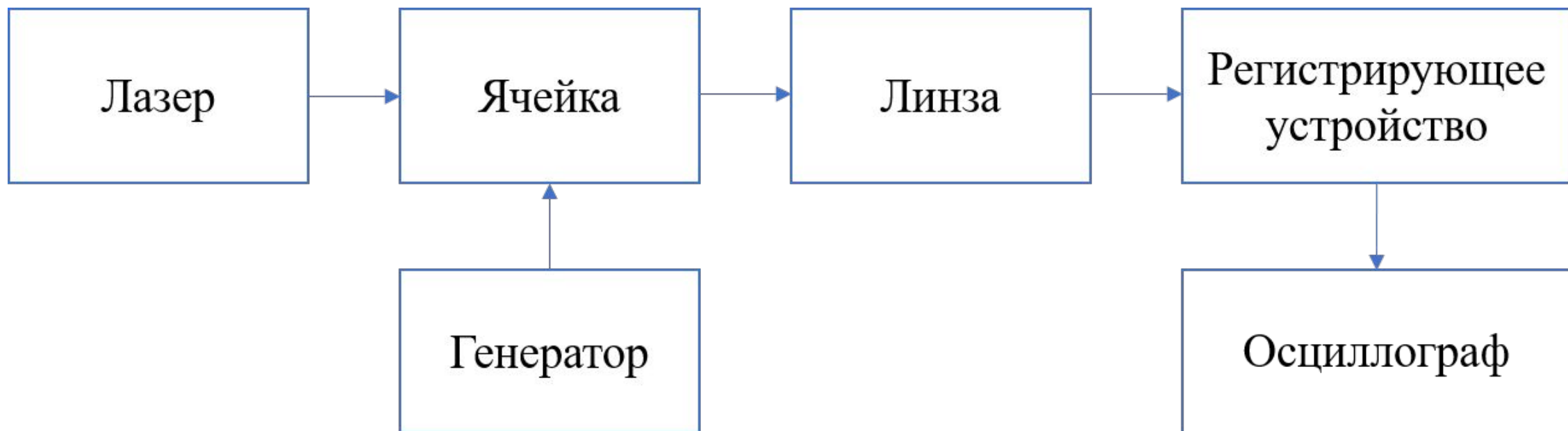
# Что такое акустооптика?

- **Акустооптика** – раздел физики, изучающий взаимодействие электромагнитных и упругих волн.
- Под действием механических деформаций, переносимых звуковой волной, возникает пространственная модуляция показателя преломления  $n$  (и соответственно диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ ), обусловленная **фотоупругим эффектом**. Оптические свойства среды меняются во времени с частотой звуковой волны, т. е. значительно медленнее и по сравнению с периодом электромагнитных колебаний в световой волне, и по сравнению со временем прохождения светового луча через звуковой пучок.



Вид акустооптической ячейки

# Пример экспериментальной установки



# Упругие волны в кристалле

В теории упругости вещество рассматривается как непрерывная, сплошная среда (континуум). В таком случае колебательному движению будет подвержен любой выделенный в среде элементарный объем и к нему можно применить 2-й закон Ньютона:

# Упругие волны в кристалле

В теории упругости вещество рассматривается как непрерывная, сплошная среда (континуум). В таком случае колебательному движению будет подвержен любой выделенный в среде элементарный объем и к нему можно применить 2-й закон Ньютона:

$$\rho \frac{\partial^2 U_i}{\partial t^2} = \frac{\partial T_{ij}}{\partial x_j}$$

Здесь  $U_i$  - вектор смещений бесконечно малого объема среды,  $T_{ij}$  - тензор механических напряжений,  $\rho$  – плотность кристалла.

Производная по координате в правой стороне представляет собой **силу**, действующую на единичный объем тела

# Упругие волны в кристалле

Если рассмотреть продольную синусоидальную волну, распространяющуюся в кристалле, то показатель преломления будет иметь следующий вид:

$$n = n_0 + \Delta n \sin(\omega t - kx),$$

где  $\Delta n$  – амплитуда изменения показателя преломления, вызванное распространяющейся упругой волной.

# ЭМ волны в кристалле

Электромагнитные процессы в кристалле без внешних зарядов и токов в общем случае описываются **уравнениями Максвелла**.

Вместе с рассмотренными выше уравнениями для упругих волн они описывают связанные акустоэлектромагнитные волны

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}, \\ \operatorname{div} \mathbf{H} = 0, \end{cases} \quad \begin{cases} \operatorname{rot} \mathbf{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}, \\ \operatorname{div} \mathbf{D} = 0, \end{cases}$$

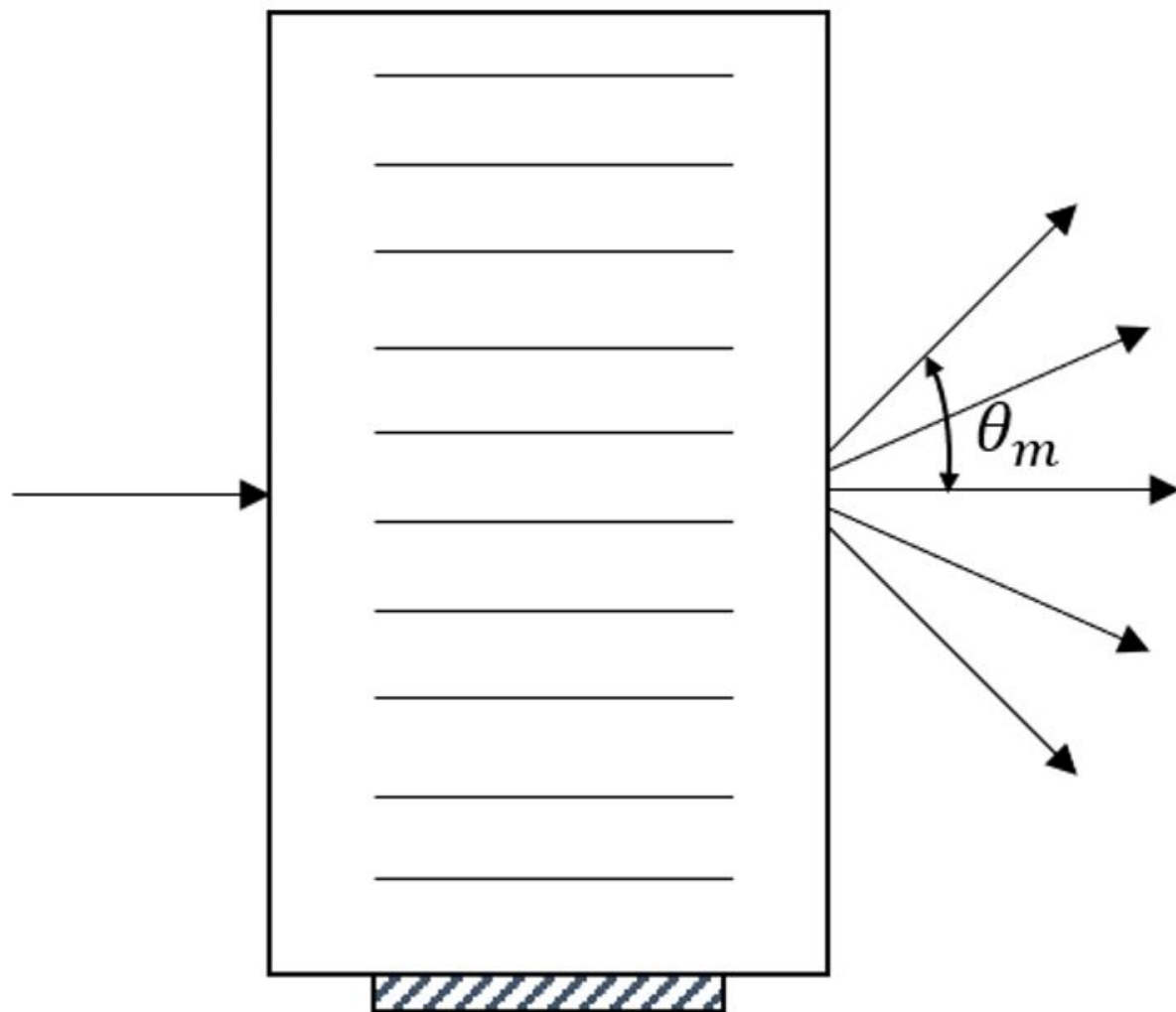
Уравнения Максвелла



Различают два вида дифракции, которые отличаются дифракционными спектрами:

- Дифракция **Рамана-Ната**
- Дифракция **Брэгга**

Также можно выделить промежуточный режим дифракции, реализуемый при переходе между основными двумя режимами.

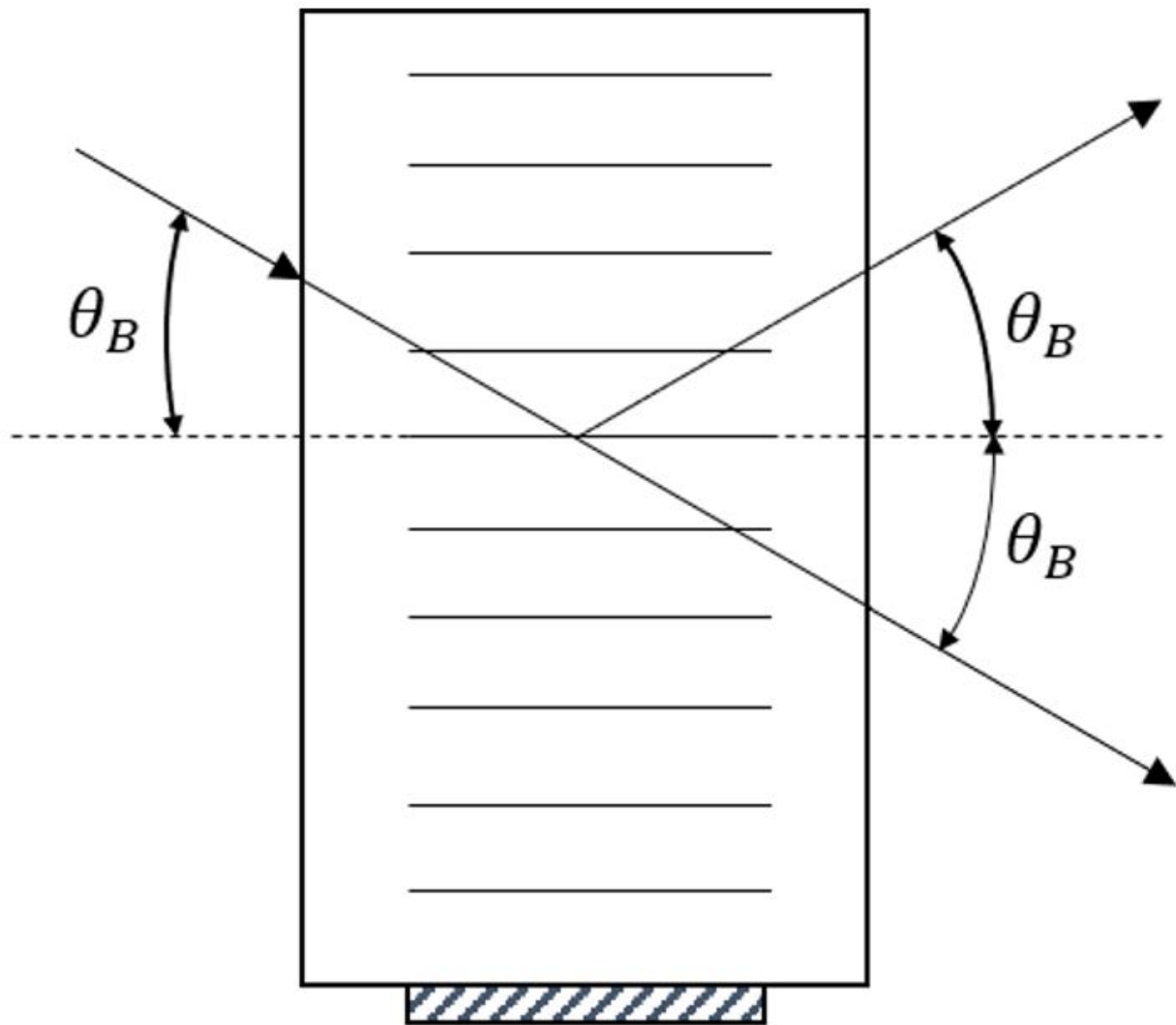


Ход лучей при дифракции  
Рамана-Ната

**Режим Рамана-Ната:** наблюдается на низких звуковых частотах и при не слишком большой длине взаимодействия (глубине акустического поля). Дифракционный спектр представляет собой расположенные по обе стороны от прошедшего пучка максимумы.

Угловое направление дифракционных максимумов:

$$\sin\theta_m = m\lambda/\Lambda$$



Ход лучей при  
дифракции Брэгга

**Дифракция Брэгга:**  
дифракционный спектр  
состоит из двух максимумов,  
соответствующих значениям  
 $m=0$  и  $m=1$ . Максимумы минус  
первого и высших порядков  
отсутствуют.

Интенсивность первого  
максимума будет наибольшей,  
если свет падает  
под углом к волновому фронту  
акустической волны,  
удовлетворяющим условию  
Брэгга:

$$\sin \theta_B = \lambda / 2\Lambda$$

# Параметр Клейна–Кука

Границу между двумя видами дифракции можно определить с помощью безразмерного параметра Клейна–Кука:

$$Q = 2\pi L\lambda/\Lambda^2$$

$Q \ll 1$  соответствует режиму Рамана-Ната,

$Q \gg 1$  соответствует режиму Брэгга

# Важные параметры и характеристики

При решении задач акустооптики вводят параметр **акустооптического качества**, состоящий из различных констант материала, например:

$$M_2 = n^6 p^2 / \rho v^3$$

С его помощью можно узнать, какая акустическая мощность нужна для данного кристалла для отклонения определенного процента излучения.

# Важные параметры и характеристики

При решении задач акустооптики вводят параметр **акустооптического качества**, состоящий из различных констант материала, например:

$$M_2 = n^6 p^2 / \rho v^3$$

С его помощью можно узнать, какая акустическая мощность нужна для данного кристалла для отклонения определенного процента излучения.

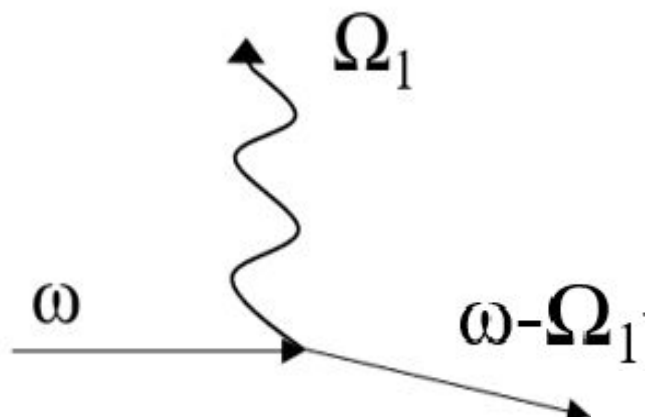
**Эффективность дифракции** в  $m$ -ом максимуме определяется как отношение интенсивности, наблюдаемой в  $m$ -ом дифракционном порядке, к интенсивности падающего излучения:

$$\eta = I_m / I_0$$

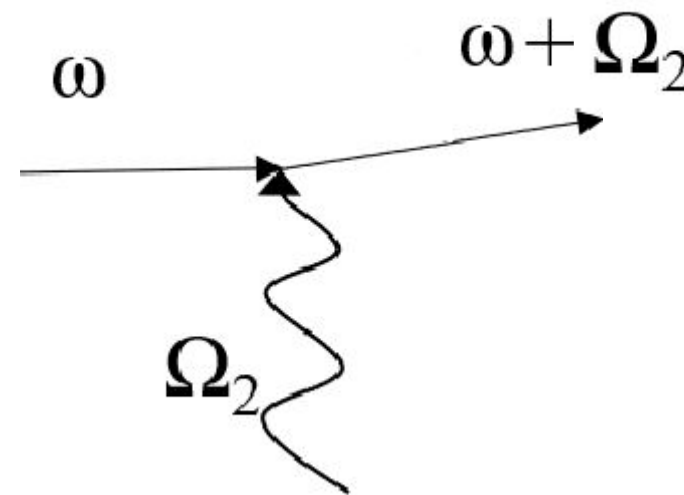
Если работа ведется в режиме *малой эффективности дифракции*, то  $\eta \ll 1$

# Векторные диаграммы

Векторные диаграммы служат для наглядной иллюстрации акустооптического взаимодействия. Этот процесс можно представить как трехчастичное фотон-фононное рассеяние.



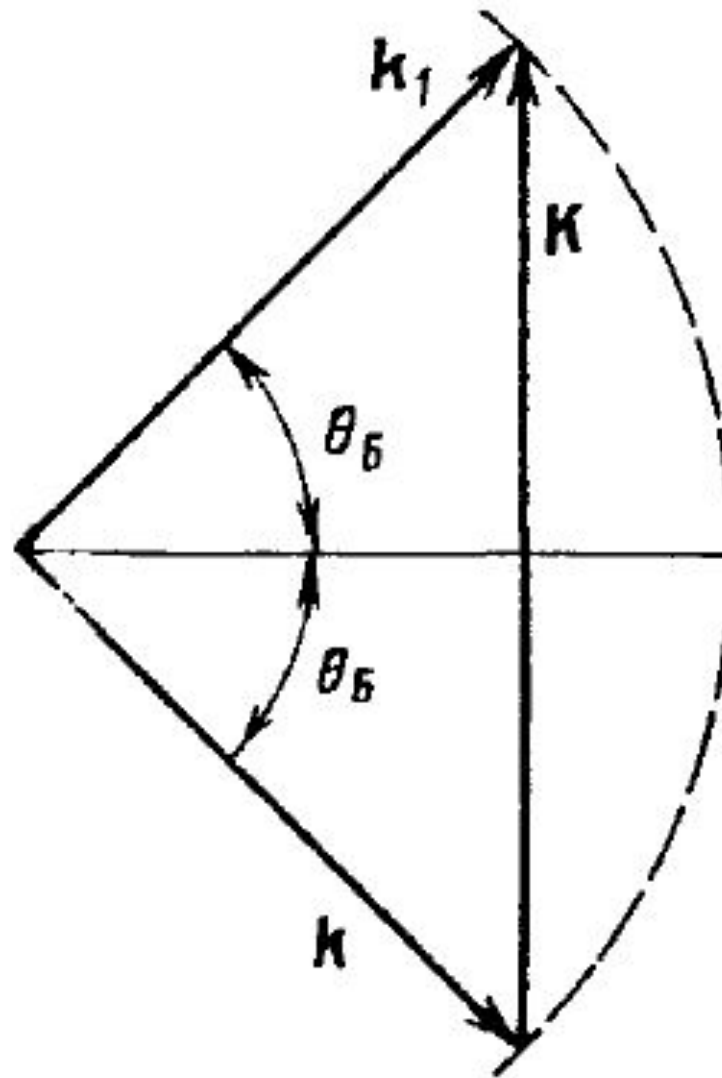
Процесс испускания фонона



Процесс поглощения фонона

# Векторные диаграммы

Векторная диаграмма  
взаимодействия плоских  
монохроматических  
световой и акустической  
волн





# Векторные диаграммы

Дифракция плоской световой волны на расходящейся акустической (слева);  
дифракция расходящейся световой волны на плоской акустической (справа)

