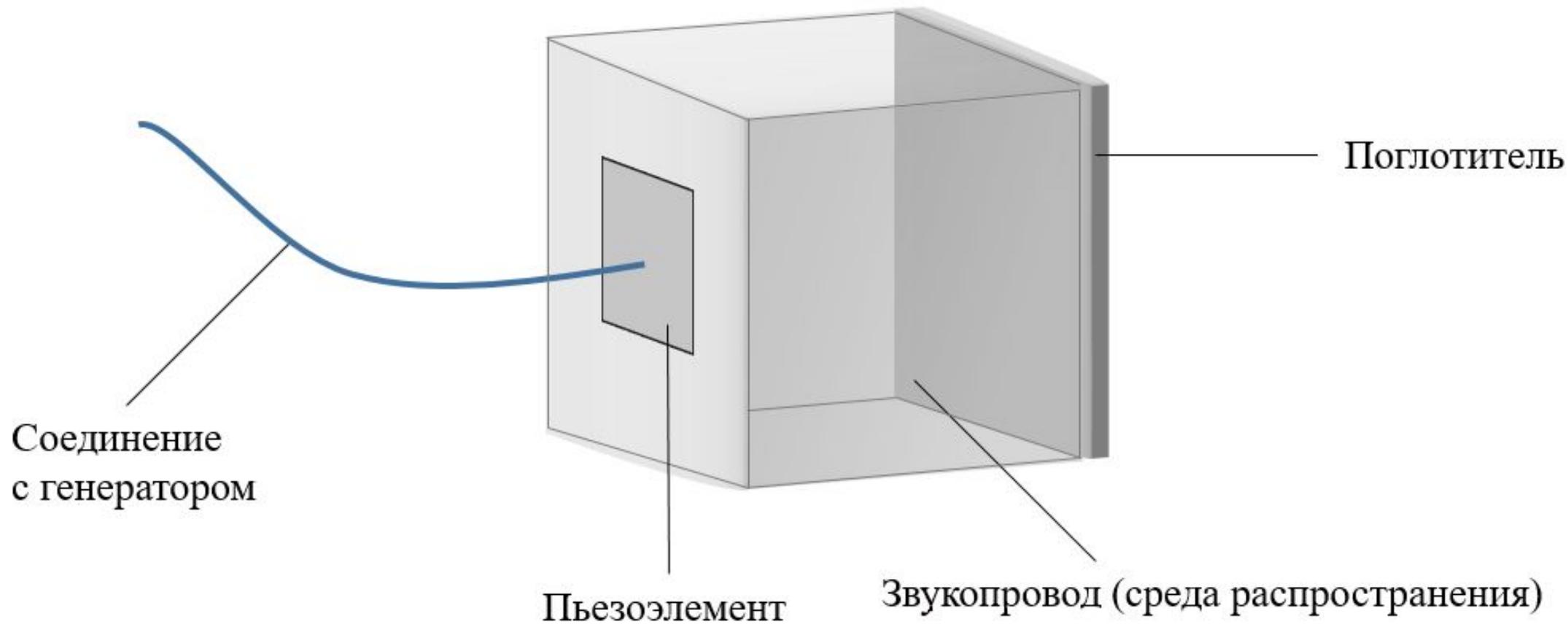


Акустооптика, лекция 1

Функциональная электроника, 2022 г.

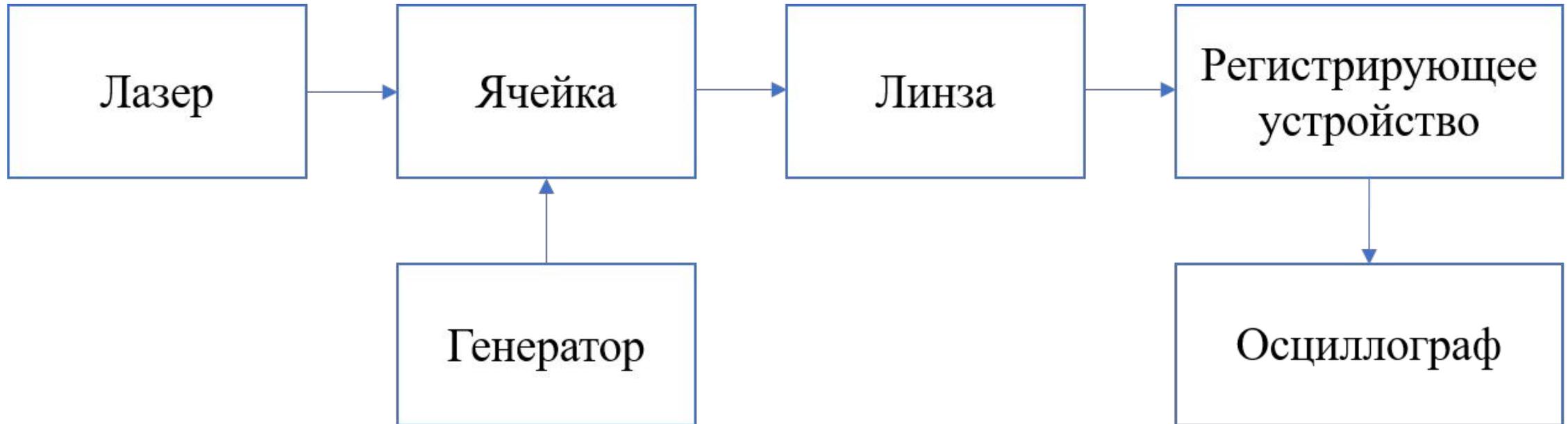
Что такое акустооптика?

- **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 ϵ), 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, ρ – 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 Δn – 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

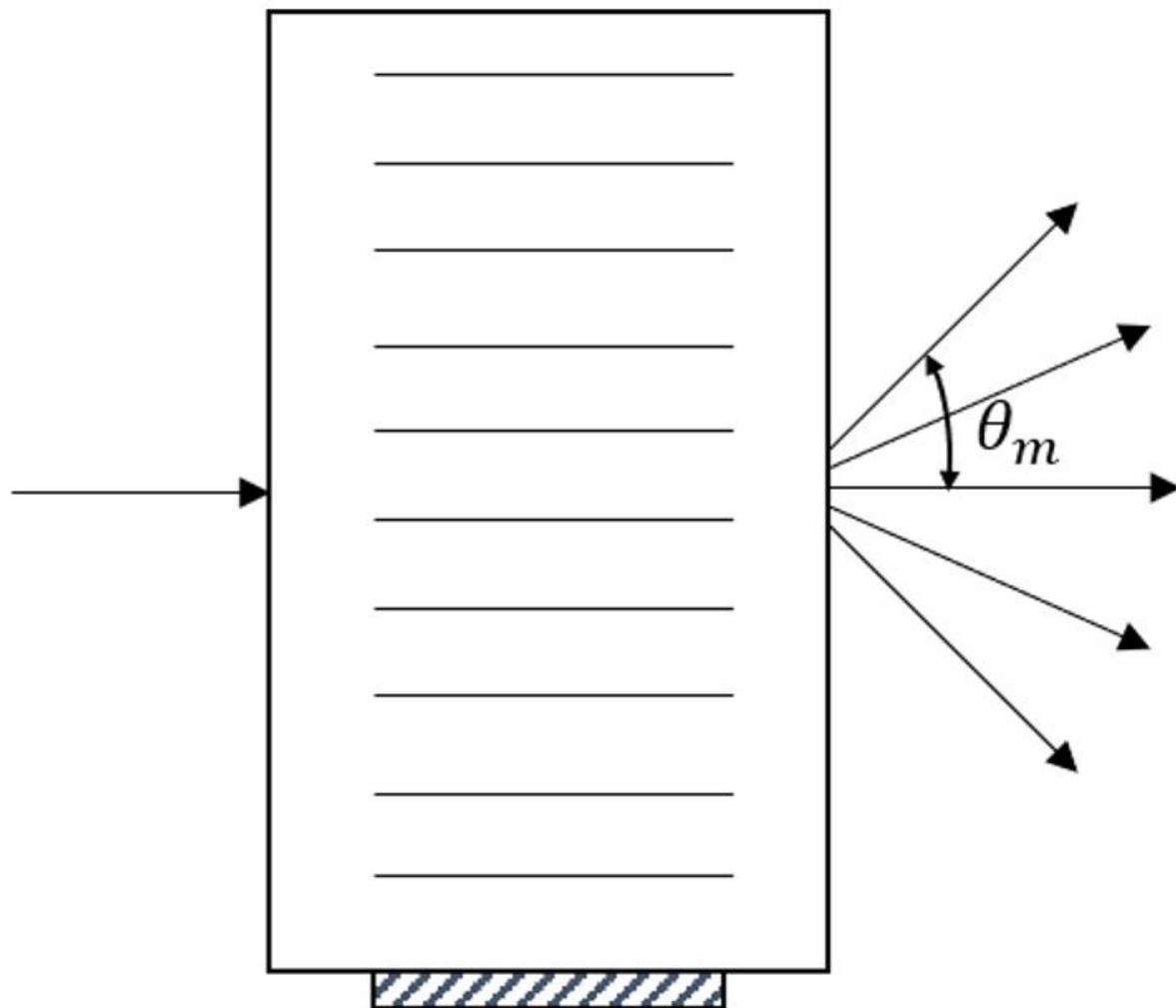
$$\begin{cases} \operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}, \\ \operatorname{div} \mathbf{H} = 0, \end{cases} \quad \begin{cases} \operatorname{rot} \mathbf{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}, \\ \operatorname{div} \mathbf{D} = 0, \end{cases}$$

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.

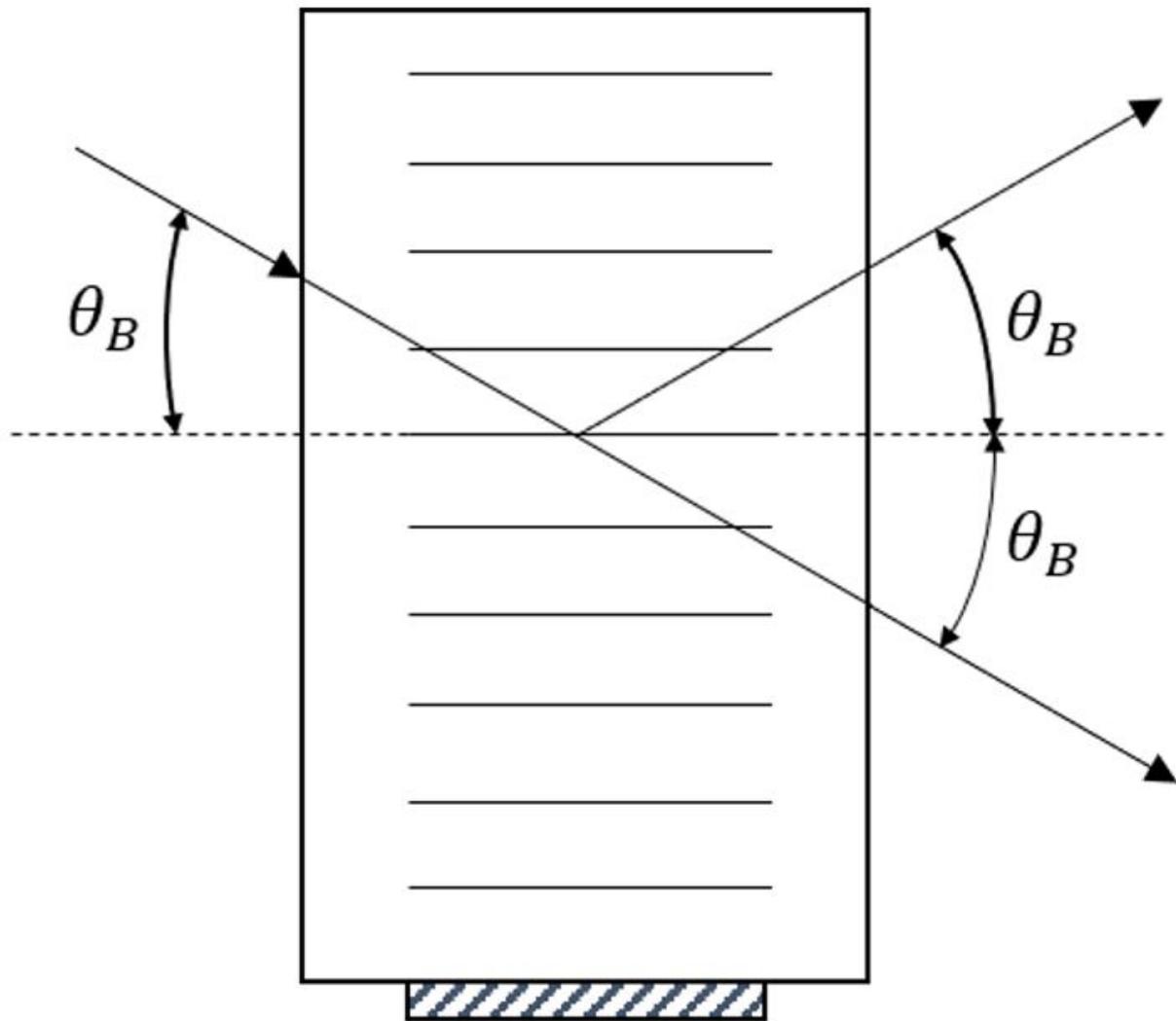


Ход лучей при дифракции
Рамана-Ната

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.

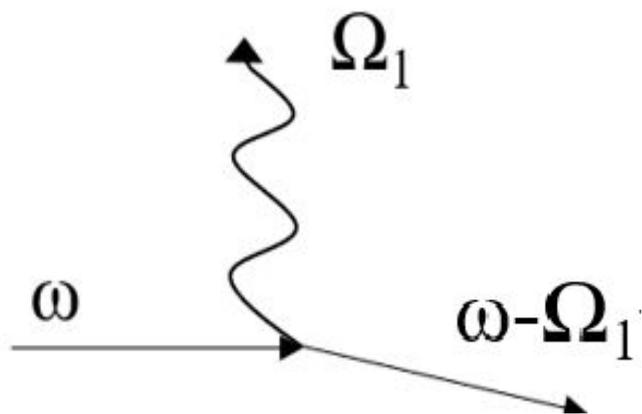
Эффективность дифракции в m -ом максимуме определяется как отношение интенсивности, наблюдаемой в m -ом дифракционном порядке, к интенсивности падающего излучения:

$$\eta = I_m / I_0$$

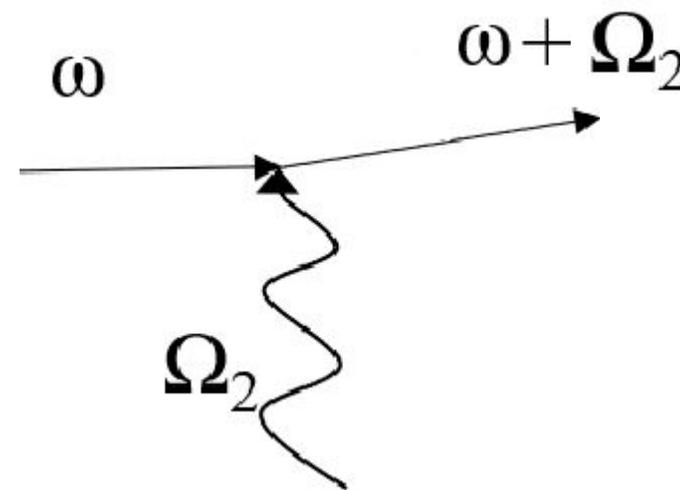
Если работа ведется в режиме *малой эффективности дифракции*, то $\eta \ll 1$

Векторные диаграммы

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



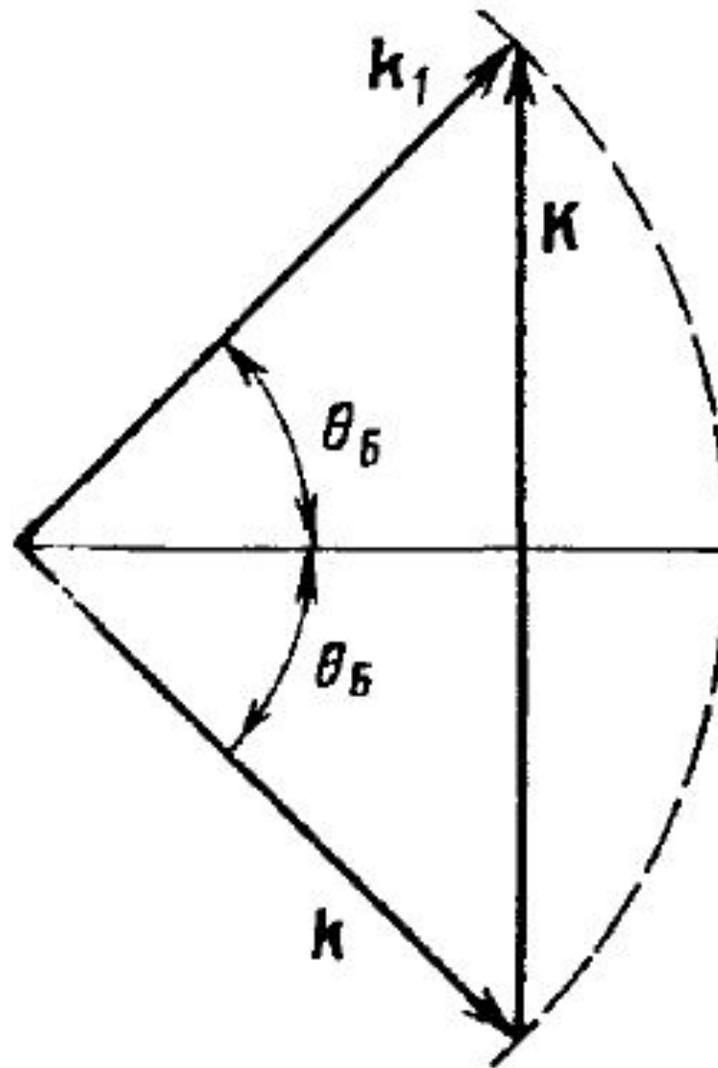
Процесс испускания фонона



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)

