



# ЦИКЛОТРОННО-ФОНОННЫЙ РЕЗОНАНС

ЦИКЛОТРОННО-ФОНОННЫЙ РЕЗОНАНС, резонансное поглощение электромагнитной энергии, обусловленное переходами электронов между [Ландау уровнями](#) при участии оптич. фононов. Наблюдается при распространении электромагнитных волн в полупроводнике, находящемся в постоянном магнитном поле напряжённостью

***H***. Для возникновения Ц.-ф. р. необходимо достаточно сильное (квантующее) магнитное поле

$$H > mckT / |e| \hbar$$

*m* и

*e* – эффективная масса и заряд электрона,

*c* – скорость света,

$\hbar$  – постоянная Планка,

*k* – постоянная Больцмана,

*T* – темп-ра) и оптич. ветви в колебат. спектре полупроводника (см. [Динамика кристаллической решётки](#)).

В квантующем магнитном поле электроны имеют непрерывный энергетич. спектр для движения вдоль поля и дискретный – для поперечного движения. Если зависимость энергии

$\mathcal{E}$  электрона от его квазиимпульса

*p* изотропна и квадратична, то энергия электрона определяется соотношением

$$\mathcal{E}_n(p_H) = (n + 1/2)\hbar\omega_c + p_H^2/2m,$$

где

*n* – целое положительное число,

*p<sub>H</sub>* – компонента квазиимпульса в направлении

**H,**

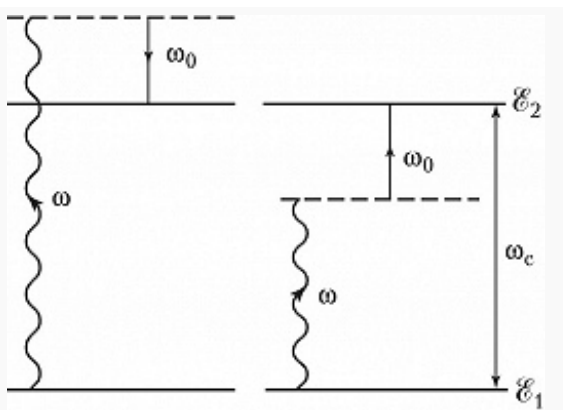
$\omega_c = |e|H/mc$  – циклотронная частота электрона. Условие

$$\varepsilon_n - \varepsilon_{n-1} = \hbar\omega$$

$\omega$  – частота внешнего электромагнитного поля,

$\rho_H$  фиксировано) приводит к циклотронному резонансу. Однако при условии, что расстояние между уровнями Ландау совпадает с суммой или разностью энергий оптич. фонона и фотона, в поглощении электромагнитной энергии также наблюдается резонанс на частоте

$\omega$  (рис.).



Электронные переходы с участием оптического фонона (постоянная Планка  $\hbar=1$ ,  $\omega_0$  – частота оптического фонона).

Ц.-ф. р. обусловлен перебросом электронов между уровнями Ландау за счёт взаимодействия электронов с оптич. фононами и фотонами. В отсутствие фотона Ц.-ф. р. переходит в магнитофононный резонанс. Коэф. поглощения электромагнитной энергии при Ц.-ф. р. зависит от характера поляризации электромагнитной волны. Ц.-ф. р. имеет место, если вектор напряжённости электрич. поля волны

$\mathbf{E} \perp \mathbf{H}$ , в противном случае Ц.-ф. р. отсутствует.

Если хотя бы один из размеров образца

$d$  достаточно мал (напр., образец – тонкая плёнка), то возникает дополнит. размерное квантование спектра (см. Размерные эффекты). Если ось

$Oz$  направлена вдоль толщины плёнки

$d$ , то дискретизация электронного спектра в этом направлении приводит к т. н.

размерно-фононному резонансу, связанному с переходом электрона между уровнями размерно-квантованного спектра за счёт поглощения оптич. фонона и фотона. Если вдоль оси

$Oz$  приложить квантующее поле

$\mathbf{H}$ , то электронный спектр становится полностью дискретным и кроме линий Ц.-ф. р. и размерно-фононного резонанса возникают новые серии линий размерно-

циклотронно-фононного резонанса.

Наряду с обычным Ц.-ф. р., наблюдаются Ц.-ф. р., сопровождающийся переворотом спина электрона, и многофононный циклотронно-фононный резонанс.

## Литература

Лит. см. при ст. [Циклотронный резонанс](#).

Processing math: 100%