

К.—Ф. э. теоретически предсказан в 1958 независимо В. Францем [1] и Л. В. Келдышем [2]. К.—Ф. э. используется для исследования зонной структуры полупроводников и измерения поля E в приповерхностной структуре полупроводников [3, 4].

Для невырожденных изотропных параболич. энергетич. зон (см. *Зонная теория*) коэф. поглощения света α в электрич. поле E в случае прямых разрешенных переходов определяется выражением:

$$\alpha \propto (2m^*)^{3/2} \theta^{1/2} \left\{ \left[\text{Ai}' \left(\frac{\mathcal{E}_g - \hbar\omega}{\theta} \right) \right]^2 + \frac{\mathcal{E}_g - \hbar\omega}{\theta} \times \left[\text{Ai} \left(\frac{\mathcal{E}_g - \hbar\omega}{\theta} \right) \right]^2 \right\}. \quad (1)$$

Здесь $\theta = (\hbar e E)^{2/3} / (2m^*)^{1/3}$; $m^*^{-1} = m_s^{-1} + m_d^{-1}$; m_s — эффективная масса электрона проводимости, m_d — дырки, Ai — функция Эйри. При $\hbar\omega < \mathcal{E}_g$ и $\mathcal{E}_g - \hbar\omega \gg \theta$:

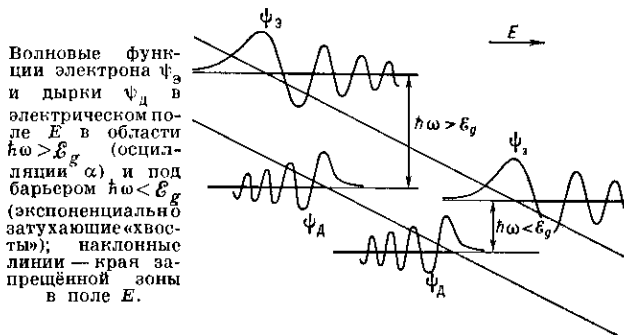
$$\alpha \propto \frac{e\hbar E}{m^*(\mathcal{E}_g - \hbar\omega)} \exp \left[-\frac{4V\sqrt{2m^*}(\mathcal{E}_g - \hbar\omega)^{3/2}}{3\hbar e E} \right]. \quad (2)$$

Из (2) видно, что $\alpha \neq 0$ и поглощение экспоненциально спадает с увеличением параметра $(\mathcal{E}_g - \hbar\omega)/\theta$ (т. к. при больших положит. аргументах Ai экспоненциально затухает).

При $\hbar\omega > \mathcal{E}_g$ и $\hbar\omega - \mathcal{E}_g \gg \theta$, т. е. в области больших отрицат. аргументов, ф-ция Ai и, следовательно, α имеют осциллирующий характер:

$$\alpha \propto (2m^*)^{3/2} \left\{ (\hbar\omega - \mathcal{E}_g)^{1/2} - \frac{\hbar e E}{4V\sqrt{2m^*}(\hbar\omega - \mathcal{E}_g)} \times \cos \left[\frac{4V\sqrt{2m^*}(\hbar\omega - \mathcal{E}_g)^{3/2}}{3\hbar e E} \right] \right\}. \quad (3)$$

Первое слагаемое в (3) соответствует поглощению в отсутствие поля ($E=0$), второе описывает келдыш—францевские осцилляции, затухающие с ростом $\hbar\omega$.



Ф-лы (2, 3) имеют простой физ. смысл. В электрич. поле энергетич. зоны наклоняются (рис.). Если суммарная энергия электрона и дырки, равная $\hbar\omega$, больше \mathcal{E}_g , то в этом случае волновые ф-ции электрона ψ_e и дырки ψ_d перекрываются; коэф. поглощения α велик, а его осцилляции объясняются интерференцией падающей и отраженной от потенц. барьера (обусловленного полем E) электронных волн. Интерференц. картина частично сглаживается после усреднения по направлениям движения. При суммарной энергии $\hbar\omega < \mathcal{E}_g$ классически доступные области для электрона и дырки пространственно разделены, однако их волновые ф-ции ψ_e и ψ_d всё же перекрываются своими экспоненциальными «хвостами» под барьером. Т. о., в электрич. поле поглощение при $\hbar\omega < \mathcal{E}_g$ пропорц. вероятности туннелирования электрона и дырки под барьером.

В реальных кристаллах энергетич. зоны могут быть анизотропны и вырождены. В этом случае при $\hbar\omega < \mathcal{E}_g$

возникает зависимость коэф. поглощения α от поляризации света. При $\hbar\omega > \mathcal{E}_g$ в (3) появляются два осциллирующих слагаемых (отвечающие тяжёлым и лёгким дыркам), каждое со своей поляризац. зависимостью; возникают биения.

Кулоновское притяжение электрона и дырки (экситонный эффект) при $\hbar\omega < \mathcal{E}_g$ увеличивает α на 3 порядка как за счёт понижения потенц. барьера кулоновским полем, так и за счёт увеличения вероятности нахождения электрона и дырки в одной точке. При $\hbar\omega > \mathcal{E}_g$ кулоновское притяжение также сильно увеличивает поглощение, изменяет период и фазу осцилляций, но не влияет на их относит. амплитуду.

Наиб. ярко К.—Ф. э. проявляется в спектрах электроотражения, где при $\hbar\omega > \mathcal{E}_g$ также возникают осцилляции, аналогичные (3). В Ge наблюдалось ок. 10 осцилляций электроотражения, что позволило идентифицировать вклады лёгких и тяжёлых дырок, а также выделить эффекты ненаработности зон.

Лит.: 1) Franz W., Einfluss eines elektrischen Feldes auf eine optische Absorptionskante, «Z. Naturforsch.», 1958, Bd 13A, S. 484; Келдыш Л. В., О влиянии сильного электрического поля на оптические характеристики непрозрачных кристаллов, «ЖЭТФ», 1958, т. 34, с. 1138; 2) Кардона М., Модуляционная спектроскопия, пер. с англ., М., 1972; 3) Арнонов А. Г., Исселевич А. С., Электрооптика экситонов, в кн.: Экситоны, под ред. Э. И. Рабша, М. Д. Стерджа, М., 1985. А. С. Исселевич.

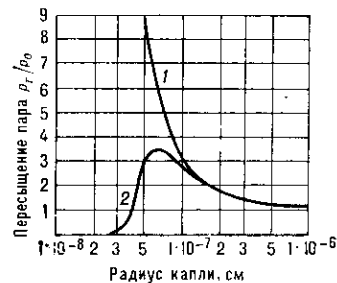
КЕЛЬВИН (К) — единица термодинамич. темп-ры, одна из основных в СИ; К. равен 1/273,16 части термодинамич. темп-ры тройной точки воды. Названа в честь У. Томсона (лорда Кельвина; W. Thomson, Lord Kelvin). До 1968 именовалась градус Кельвина ($^{\circ}\text{K}$). Применяется как единица *Международной практической температурной шкалы*, 1 К = 1 $^{\circ}\text{C}$.

КЕЛЬВИНА УРАВНЕНИЕ — зависимость давления насыщ. пара (или растворимости твёрдых тел) от кривизны поверхности раздела двух сосуществующих фаз (т. е. от размера малых капелек жидкости, пузырьков, кристалликов). При данной темп-ре T в равновесных условиях

$$\frac{p}{p_0} = \exp \left(\frac{2\sigma V}{rRT} \right) = \frac{c}{c_0},$$

где r — ср. радиус кривизны поверхности раздела фаз, p — давление насыщ. пара над сферич. поверхностью, p_0 — давление насыщ. пара над плоской поверхностью в тех же условиях (c и c_0 — соответственно растворимости), σ — межфазное поверхностное натяжение, V — молярный объём конденсированной фазы, R — универсальная газовая постоянная. Величина $2\sigma/r$ наз. *капиллярным давлением*. В случае выпуклых поверхностей (капли, кристаллы) $r > 0$, в случае вогнутых поверхностей (пузырьки) $r < 0$.

К. у. впервые выведено У. Томсоном (лордом Кельвином) в 1871 из условия равенства *химических потенциалов* в смежных фазах, находящихся в термодинамич. равновесии. Из К. у. следует, что давление над частицами малых размеров повышается, а в малых пузырьках или над вогнутой поверхностью понижено по сравнению с давлением насыщ. пара над плоской поверхностью. Соответственно растворимость малых капелек или кристаллов выше растворимости крупных капелек или кристаллов. Пересыщение $(p - p_0)/p_0$ становится заметным лишь для очень малых частиц (рис.).



Равновесное насыщение пара у поверхности капелек воды с разными r : 1 — для незаряженных капелек; 2 — для капелек с сдвинутым зарядом.