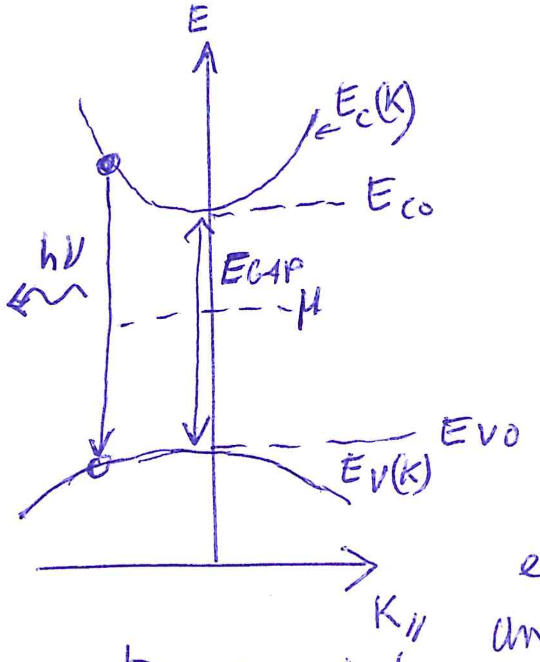
BANDE BIDIMENSIONALI - CALCOLO DELLA PROBABILITA' DI EMISSIONE DI UN FOTONE DI ENERGIA $h\nu$



Supponiamo che gli elettroni siano in uno stato di quasi-equilibrio e che la probabilità che uno stato in banda di conduzione a un certo K sia occupato sia $f(E_c(K))$ [$f(E)$ Distribuzione di Fermi] e che la probabilità che uno stato in banda di valenza sia vuoto sia data da $1-f(E_V(K))$, che la densità degli elettroni in banda di ~~valenza~~ conduzione sia bassa e quella delle lacune in banda di valenza anche, (e che $K_BT << E_{gap}$)

Allora μ deve essere nella gap lontano sia da E_{c0} che da E_{V0}.

La probabilità $P(h\nu)$ che un fotone sia emesso a energia $h\nu$ la ottengo sommando su tutti i possibili processi per i vari K

$$P(h\nu) \propto 2\int \frac{d^2K}{(2\pi)^2} |\langle i|\vec{A}\cdot\vec{p}|f\rangle|^2 f(E_c(K))(1-f(E_v(K)))\,\delta(E_c(K)-E_v(K)-h\nu)$$

dove ho usato la regola d'oro di Fermi e ho tenuto conto che lo stato iniziale deve essere occupato e quello finale vuoto, e che stato iniziale e finale devono avere lo stesso K. Sto considerando stati in una piccola regione dello spazio K vicino a $K=0$, posso approssimativamente considerare un valor medio (sui K) dell'elemento di matrice e quindi portarlo fuori dall'integrale

Quindi
(2)

$P(h\nu)$ approx proporzionale a $\overline{\langle k i | \vec{A}\cdot\vec{p} | f k \rangle}^2 \, 2 \int \frac{d^2 k}{(2\pi)^2} \, e^{-\frac{E_c(k)}{K_B T}} \, e^{\frac{E_V(k)}{K_B T}} \, \delta(E_c(k) - E_V(k) - h\nu)$

(lontano da μ ad alte energie $f(E_c(k))$ è proporzionale a $e^{-\frac{E_c(k)}{K_B T}}$
lontano da μ a basse energie $(1 - f\, E_V(k))$ è proporzionale a $e^{\frac{E_V(k)}{K_B T}}$)

$$P(h\nu) \propto e^{-\frac{h\nu}{K_B T}} \, 2 \int \frac{d k^2}{(2\pi)^2} \, \delta(E_c(k) - E_V(k) - h\nu)$$

l'integrale è uguale a $\frac{2}{(2\pi)^2} \int_C dl \, \frac{1}{|\nabla_K (E_c(k) - E_V(k) - h\nu)|}$

dove C è la curva su cui $E_c(k) - E_V(k) - h\nu = 0$

Se $E_c(k) = E_{0c} + \frac{\hbar^2 K^2}{2 m_c^*}$

$E_V(k) = E_{0V} - \frac{\hbar^2 K^2}{2 |m_V^*|}$

allora la curva C è un cerchio di raggio $K' = \frac{1}{\hbar} \sqrt{(h\nu - (E_{c0} - E_{V0})) \, 2 m_0^*}$

con $\frac{1}{m_0^*} = \frac{1}{m_c^*} + \frac{1}{|m_V^*|}$

$$\left(E_c(k) - E_V(k) = E_{c0} - E_{V0} + \frac{\hbar^2 K^2}{2 m_c^*} + \frac{\hbar^2 K^2}{2 |m_V^*|} = E_{c0} - E_{V0} + \frac{\hbar^2}{2 m_0^*} K^2 \right)$$

$$|\nabla_K (E_c(k) - E_V(k) - h\nu)| = \frac{\hbar^2}{m_0^*} K$$

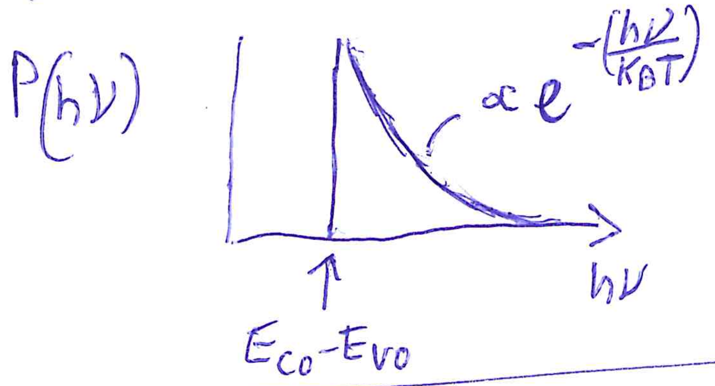
quindi $\frac{2}{(2\pi)^2} \int_C dl \, \frac{1}{|\nabla_K (E_c(k) - E_V(k) - h\nu)|} = \frac{2}{(2\pi)^2} \, \frac{2\pi K'}{\frac{\hbar^2 K'}{m_0^*}}$

$= \frac{m_0^*}{\pi \hbar^2}$ per $h\nu > E_{c0} - E_{V0}$

$= 0$ per $h\nu < E_{c0} - E_{V0}$

quindi $P(h\nu) \propto e^{-\left(\frac{h\nu}{K_B T}\right)} \frac{m_0^*}{\pi \hbar^2}$ per $h\nu > (E_{c0} - E_{v0})$

$= 0$ per ~~E_{c0}~~ $h\nu < (E_{c0} - E_{v0})$

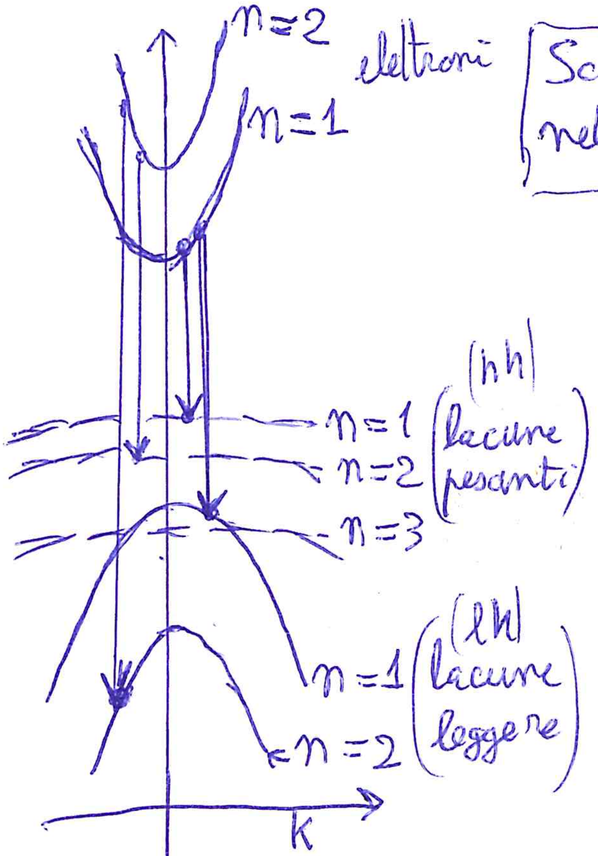


Spettro di fotoluminescenza da coppia di bande bidimensionali.

Nelle condizioni del vostro esperimento l'elemento di matrice $\langle i|\bar{A}\cdot\bar{p}|f\rangle$ sarà apprezzabilmente diverso da zero solo per transizioni tra stati con lo stesso numero quantico n (n è il numero quantico relativo agli stati nei pozzi quantici unidimensionali (lungo la direzione x)).

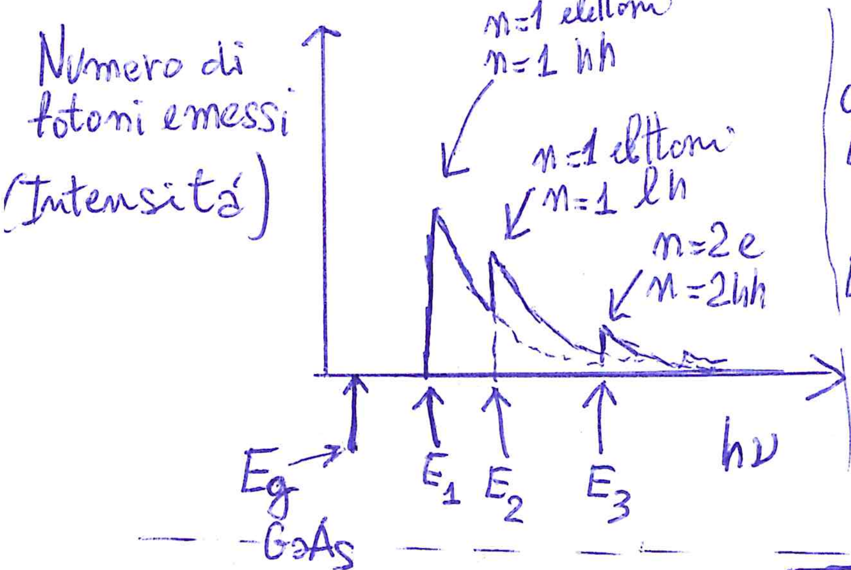
Quindi negli spettri di fotoluminescenza saranno apprezzabili solo i contributi relativi alle transizioni tra ~~il~~ la prima banda $(n=1)$ degli elettroni in conduzione e la prima banda delle lacune pesanti e la prima banda delle lacune leggere $(n=1)$, la seconda banda per gli elettroni $(n=2)$ e le seconde bande per le lacune leggere e pesanti, etc $(n=2)$,

e non le transizioni $1 \to 2$ o $2 \to 1$ o ...



Schema delle transizioni permesse nelle condizioni del vostro esperimento

Lo spettro di fotoluminescenza totale, nelle approssimazioni sino a qui usate, sarà dato dalla somma dei contributi delle transizioni tra singole coppie di bande (da n=1 elettroni a n=1 lacune pesanti, da n=1 elettroni a n=1 lacune leggere, da n=2 elettroni a n=2 lacune pesanti, da n=2 elettroni a n=2 lacune leggere, ...)



con

$$E_1 = E_{g\,GaAs} + E'_{1c} + E'_{1hh}$$

$$E_2 = E_{g\,GaAs} + E'_{1c} + E'_{1lh}$$

$$E_3 = E_{g\,GaAs} + E'_{2c} + E'_{2hh}$$

$$\ldots$$