قسم أ.د. أحمد البحيري

سلم تصحيح أسئلة امتحان مقرر الكم الصف (1)
الفصل الدراسي الثاني 2023-2024 - الاستاذ المشارك فيزياء

إجابة السؤال الثالث: (15 درجة)

في نصف الناقل النقي $N_c = N_v$ وهذا يتحقق

شرط $m_n^* = m_p^*$

وفي نصف الناقل النقي يتحقق $n = p$ أي:

$$\frac{2N_c}{\sqrt{\pi}} F_{\frac{1}{2}}(\xi) = \frac{2N_v}{\sqrt{\pi}} F_{\frac{1}{2}}(\eta) \quad (1)$$

} 5 درجات

وحسب الفرض $N_c = N_v$ يلزم:

$$F_{\frac{1}{2}}(\xi) = F_{\frac{1}{2}}(\eta) \Rightarrow \xi = \eta$$

وحسب تابع التوزع لفيرمي وديراك نجد:

$$\frac{E_f - E_c}{KT} = \frac{E_v - E_f}{KT} \Rightarrow E_f = \frac{E_v + E_c}{2} \quad (2)$$

} 3 درجات

بالعلاقة (2) نشير إلى أن سوية فيرمي E_f تقع في منتصف حزمي الطاقة.

وبالتالي نؤكد كي يكون n و p في نصف الناقل النقي يلزم:

$$n = N_c e^{\xi} = N_c e^{E_f - E_c / kT}$$
$$p = N_v e^{\eta} = N_v e^{E_v - E_c / kT} \quad (3)$$

} 5 درجات

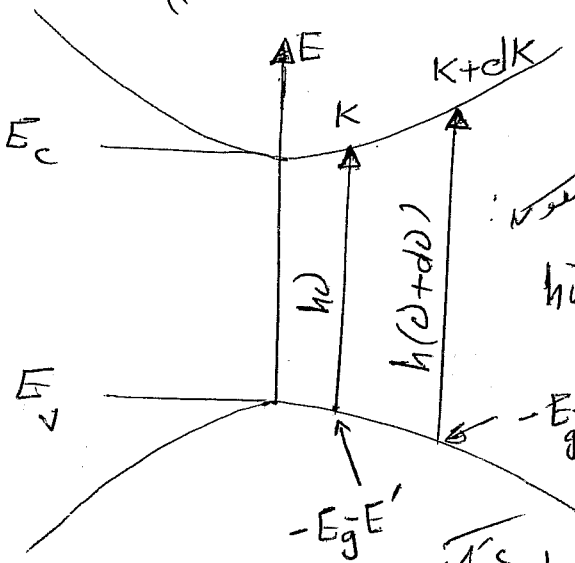
وهنا تجدر الإشارة إلى أن عرض المجال المحظور E_g في أنصاف النواقل أكبر من $2KT$، أي يكون $\xi \ll -1$ وكذلك $\eta \ll -1$ والعلاقة بين:

$$\xi = \frac{E_f - E_c}{KT}, \quad \eta = \frac{E_v - E_f}{KT} \quad \text{(درجتان)}$$

قسم أ.د. أحمد البحيري

⊙ إجابة السؤال الرابع (15 درجة)

(1) معالجة حالة امتصاص ذاتي عند الانتقالات الضوئية المباشرة بين حافتي الطاقة لنصف ناقل رمزه كالتالي: k ، $k+dk$



- لتكن إنتقالات الالكترونات بين حافتي طاقة من الحالة k إلى الحالة $k+dk$
- طاقة الفوتون الممتص بالامتصاص وعلى فاقد إنفاظ الطاقة تكون:

$$h\nu = E_c(k) - E_v(k) = E_c(0) + \frac{\hbar^2k^2}{2m_n^*} - E_v(0) + \frac{\hbar^2k^2}{2m_p^*}$$

$$= E_g + \frac{\hbar^2k^2}{2m_r^*} \quad (4)$$ / 3 درجات /

- إن معامل الامتصاص α حسب العلاقة $\left[\alpha = \frac{1}{L_{ph}}\right]$ يتناسب مع طول المقدرة الحرة للفوتون L_{ph} الذي يتعين بسرعة الفوتون V_{ph} وزمن المقدرة للفوتون τ_{ph} ، أي أن:

$$\alpha = \frac{1}{L_{ph}} = \frac{1}{\tau_{ph}V_{ph}} = g(\nu)\frac{\bar{h}}{c} \quad (2)$$ / درجة /

- إن إحتمال امتصاص كوانت بتردد طاقة محصورة بين $h\nu$ ، $h(\nu+d\nu)$ وتفاعل، يتناسب مع احتمال إنتقال إلكترون $p(\nu)$ مع عدد الحالات الكوانتية $N(E')$ في حافة إستقبال في مجال طاقة من $-E_g-E'$ إلى $-E_g-E-dE$ أي أن: $g(\nu)d\nu = 2p(\nu)N(E')dE'$ (3) / درجة /

حيث 2 هنا تأخذ بين الحسبان التجاهين الممكنين لإستقطاب الضوء.

- تعين كثافة الحالات $N(E')$ في حافة إستقبال بالعلاقة:

$$N(E') = \frac{4\pi(2m_p^*)^{3/2}}{\hbar^3}E'^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

وبالتالي:

$$g(\nu)d\nu = \frac{8\pi}{\hbar^3}(2m_p^*)^{3/2}p(\nu)E'^{\frac{1}{2}}dE' =$$

$$= \frac{2}{\pi^2}p(\nu)k^2dk \quad (5)$$ / درجات /

$$g(\nu) = \frac{2}{\pi^2}p(\nu)k^2\frac{dk}{d\nu} = \frac{2(2m_r^*)^{3/2}}{\pi\hbar^2}p(\nu)(h\nu - E_g)^2 \quad (6)$$

في حالة الامتصاص الكوانتي في واحدة الحجوم

- حالة الامتصاص الذاتي لنصف ناقل تكون:

$$\alpha_J = g(\nu)\frac{\bar{h}}{c} = B(h\nu - E_g)^{\frac{1}{2}}$$ / 3 درجات /

#

● قسم أ.د. أحمد البيطار

السؤال الخامس (20 درجة)

يتضمن توضيح مفهوم الاقتران الإكسيتوني للضوء

- تعريف الإكسيتون: التأثير المتبادل بين الإلكترون والثقب يدعى بالإكسيتون

- معادلة شرودينغر لجملة (الإلكترون - ثقب) تكتب بالشكل:

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m_n^*}\nabla_n^2 - \frac{\hbar^2}{2m_p^*}\nabla_p^2 - \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r}\right]\psi(r_n, r_p) = E_{ex}\,\psi(r_n, r_p) \quad (1)$$

(3 درجات)

- معادلة شرودينغر وفق الإحداثيات الجديدة (نصف القطر الشعاعي $\vec{R}$ لمركز الثقالة ونصف القطر الشعاعي $\vec{r}$ للإلكترون بالنسبة للثقب) تكتب بالشكل:

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2M^*}\nabla_R^2 - \frac{\hbar^2}{2m_r^*}\nabla_r^2 - \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r}\right]\psi(R, r) = E_{ex}\,\psi(R, n) \quad (2)$$

(3 درجات)

- حل المعادلة (2) يكتب بالشكل:

$$\psi(R, r) = e^{ikR}\,\psi(n) \quad (3)$$

(3 درجات)

- في الجملة الجديدة يكون $\psi(n)$ حل للمعادلة التالية:

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m_n^*}\nabla_r^2 - \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r}\right]\psi(n) = E\psi(n) \quad (4)$$

(3 درجات)

إن المعادلة (4) تصف حركة الإلكترون في الإكسيتون حيث E هي الطاقة الكلية لجملة الإلكترون والثقب الكهربائية وهي تكتب بالشكل:

$$E = -\frac{e^4 m}{32\hbar^2\pi^2\varepsilon_r^3\varepsilon_0^2}\frac{1}{n^2} = -\frac{R'}{n^2} \quad (5)$$

(3 درجات)

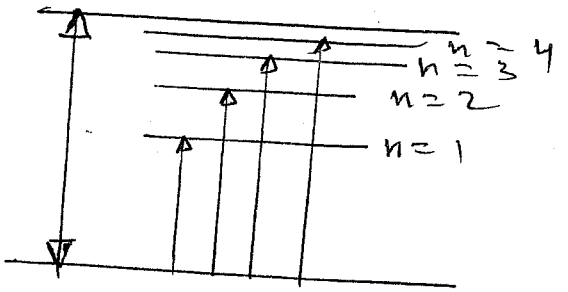
- وبالتالي الطاقة الكلية للإكسيتون تساوي:

$$E_{ex} = \frac{\hbar^2 K_{ex}^2}{2M^*} - \frac{R'}{n^2} \qquad (6)$$

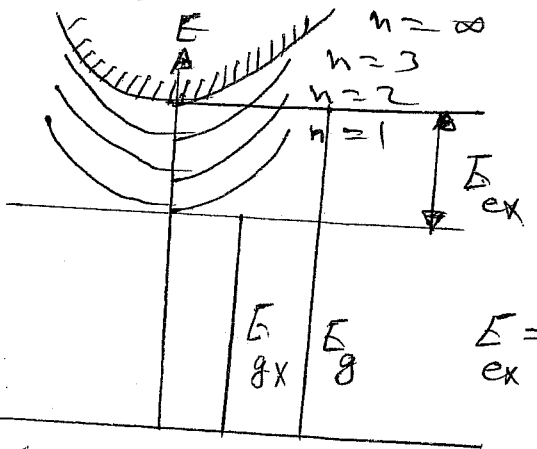
- عند شروط تماثل لما في m_p^* ، m_n^* ، $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$ وإذا كان الانتقال إصرفي للإكسيتون يتميز عند $k=0$ فإن الإكسيتون يتميز بالعلاقة التي تعطى بالشكل [1] والمعطاة بالعلاقة

$$h\nu = h\nu_\infty - \frac{R'}{n^2} \qquad (7)$$

حيث $h\nu$ تتغير من E_g عند $k=0$

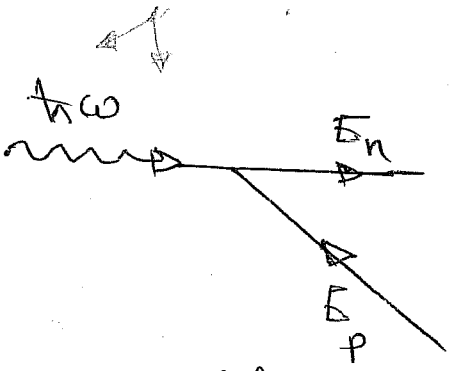


شكل [1]



$E_{ex} = E_g - E_{gx}$

شكل [3] الخطوط الطيفية للإكسيتون وتأثيره أيضا موجود في الإلكترونات



خطوط إبتدائية

شكل [2]

انتهت إجابة السؤال الثاني