سلم تصحيح فيزياء - السنة الثالثة

السؤال الأول: (20 درجة)

- لو كان تابع التوزع f_0 في حال عدم وجود أي حقول أو مؤثرات خارجية، وعند تطبيق حقل كهربائي E سوف تتحرك الإلكترونات حركة عجلية ويصبح توزع السرع الجديد f حيث أن:

$$f - f_0 << 1$$

وفي حالة المستقرة أي بعد انقضاء زمن طويل بالنسبة لزمن الاسترخاء t_m يكون

$$\frac{\partial f}{\partial t} = 0$$

وتصبح معادلة بولتزمان:

$$\frac{-eE_x}{m} \cdot \frac{\partial f}{\partial V_x} + V_x \frac{\partial f}{\partial x} = -\frac{f - f_0}{t_m}$$

بإصلاح المعادلة السابقة نجد:

$$f = f_0 - t_m \left(-\frac{eE_x}{m} \cdot \frac{\partial f_0}{\partial V_x} + V_x \frac{\partial f_0}{\partial x} \right) \quad \cdots (1)$$

وبما أن الموصل الكهربائي M، فإن f_0 تابع للطاقة ودرجة الحرارة والموصل الكهربائي M

$$\frac{\partial f_0}{\partial x} = \frac{\partial f_0}{\partial \mu} \cdot \frac{\partial \mu}{\partial x} + \frac{\partial f_0}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$$

إذا لم يكن هناك تدرج حراري أي $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$ إذن $\frac{\partial \mu}{\partial x} = 0$

عندئذ تصبح المعادلة (1) بالشكل:

$$f = f_0 - t_m \left(- \frac{e E_x}{m} \cdot \frac{\partial f_0}{\partial V_x} \right)$$

وهو التوزع المستقر بوجود حقل كهربائي.

تكون عادية كثافة التيار:

$$J_x = - \int e V_x (f - f_0) \cdot dV_x dV_y dV_z = \sigma \cdot E_x$$

$$= - \int \frac{E_x \cdot e^2}{m} \cdot t_m \cdot V_x \frac{\partial f_0}{\partial V_x} dV_x dV_y dV_z \Longrightarrow$$

$$\sigma = - \int \frac{\lambda \cdot e^2 \cdot V_x}{m V_x} \frac{\partial f_0}{\partial V_x} \underbrace{dV_x dV_y dV_z}_{\text{طيبة كروية في فراغ السرع}} \quad \text{---} \quad (2)$$

نصف قطر الكرة S وسماكة ds فتكون حجم $\frac{4}{3} \pi S^2$

عندئذ تصبح المعادلة (2) بالشكل:

$$\sigma = \frac{4\pi \cdot e^2}{3m} \int_0^a \lambda \cdot S^2 \cdot \left(- \frac{\partial f_0}{\partial V_x} \right) \cdot ds$$

$$f_0 = n \cdot \left(\frac{m}{2\pi K_0 T} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot e^{\left[- m (V_x^2 + V_y^2 + V_z^2) / 2 K_0 T \right]}$$ حيث

$$\Rightarrow \delta = \frac{4 . e^2 . \lambda . n}{3 (2\pi m . k_0 T)^{\frac{1}{2}}}$$

السؤال الثاني: (18 درجة)

- حتى يمكن الإلكترون من مغادرة سطح المعدن يجب أن يحقق الشرطان .

$$E \geq \varnothing + E_f$$

$$P_x \geq P_{x_0} = \left(\frac{\varnothing + E_f}{2m} \right)^{\frac{1}{2}}$$

ولا تتبع عامل الدينامكي عند حاجز الكمون ويكون احتمال أن يغادر الإلكترون حاجزاً $1 - r(p_x)$ حيث $r(p_x)$ هو عامل الدينامكي وان p_x مركبة الدفع

لنفرض أن عدد الإلكترونات التي تتراوح مركبة دفعها الخطي المعدن بين (p_x) و $(p_x + dp_x)$ هو $n(p_x)\, dp_x$ وبالتالي فإن عدد الإلكترونات التي تصل إلى وحدة السطح في واحدة الزمن هو:

$$v_x\, n(p_x)\, dp_x$$

وتكون كثافة التيار :

$$J = -\frac{e}{2m} \int_{p_{x_0}}^{\infty} p_x\, n(p_x) \left[1 - r(p_x) \right] dp_x$$

حيث :

$$n(p_x)\, dp_x = \frac{2}{h^3} \cdot \frac{dp_y\, dp_z}{1 + e^{E - E_f / KT}}$$

نعوض في معادلة J نجد:

$$J = -\frac{e}{2m}\int_{P_{x_0}}^{\infty}(1-r)\,p_x\cdot\frac{2}{h^3}\,e^{(-p_x^2/2mkT)}\,E_f/kT\cdot e^{\cdot}dp_x$$

$$= \frac{e}{2m}\cdot\frac{2}{h^3}\cdot e^{-\phi/kT}(1-r)\cdot 4\pi m^2\cdot k^2T^2$$

$$\int_0^{\infty} x\cdot e^{-a^2x^2}dx = \frac{\pi}{a^2}\cdot \Longrightarrow$$ حيث

$$J = \frac{4\pi\cdot em\cdot k^2}{h^3}T^2(1-r)\cdot e^{-\phi/kT}$$

$$= A(1-r)\cdot T^2\cdot e^{-\phi/kT}$$

وهي تمثل معادلة كثافة تيار الجهد الحراري:

- والعوامل التي تعيق الجهد الحراري:

① اختلاف الصفيح في تابع العمل بين مستوٍ بلوري ومستوٍ آخر.

② تعلق تابع العمل بدرجة الحرارة.

③ تلوث السطح يغير احتمال الجهد

④ وجود شحنة فراغية سالبة قرب السطح المعدن تزيد تابع العمل.

السؤال الثالث: (20 درجة)

- اذكر سلوك الجاكرون في نموذج الجاكرون الحر المقوسين يوصف بمعادلة الحرود تقر

$$\left[\frac{-\hbar^2}{2m}\nabla^2 + U(r)\right]\psi(r) = E.\ \psi(r) \qquad (1)$$

تنص نظرية بلوخ أن حلول معادلة شرودنغر ذات الطاقة الكامنة الدورية هي على شكل موجة مستوية e^{ikr} في التابع الدوري $U_k(r)$ الذي له دور الشبكة نفسه.

$$\psi_k(r) = U_k(r) \cdot e^{ik.r}$$

حيث:

$$U_k(r) = U_k(r + T)$$

لبرهان أن الصفة الموجية لدورية الطاقة الكامنة للإلكترون في البلورة ينتج أن تابعه الموجي

$$\psi_k(r) = U_k(r) \cdot e^{ikr}$$

وأن هذا التابع يحقق معادلة شرودنغر، إذا عوضنا كل r بـ $r + T_n$ في معادلة شرودنغر وبما أن تابع الطاقة دوري فإن النقاط r و $r + T_n$ متكافئة فيزيائياً ويمكن أن نطبق التابع الموجي $\psi(r)$ على $\psi(r + T_n)$ الا بضربه بثابت c.

$$\psi(r + T_n) = C.\ \psi(r) \quad \ldots (3)$$

لتعيين علاقة c بـ T_n فإذا أجرينا انسحابين $T_{n'}, T_n$ على التوالي يقابلهما الضروبان c, c' فإن الانسحاب الحاصل يساوي المجموع $T_n + T_{n'}$ والضرب الحاصل يساوي الجداء $c.c'$

حيث:

$$C = e^{ikT_n} \quad \text{---} \quad (4)$$

أي أننا أدخلنا في التابع الذي الحد واحد التخيلي i وفي هذه الحالة يبقى كل من c والتابع الموجي منتهياً عندما نزيد T_n بصورة لانهائية.

وبتعويض (4) في (3) نجد:

$$\psi(r+T_n) = e^{ikT_n} \cdot \psi(r) \quad \text{---} \quad (5)$$

$$\psi(r) = e^{-ikT_n} \cdot \psi(r+T_n) = e^{ikr} \cdot U_k(r)$$

$$U_k(r) = e^{-ik(r+T_n)} \cdot \psi(r+T_n) \quad \text{---} \quad (6)$$

من (5) و(6) نجد:

$$U_k(r+T_m) = e^{-ik(r+T_n+T_m)} \cdot \psi(r+T_n+T_m)$$

$$= e^{-ik(r+T_n)} \cdot \psi(r+T_n) = U_k(r)$$

من هذا نستنتج أن $U_k(r)$ لا يعتمد على n وهكذا فإن التابع الموجي:

$$\psi_k(r) = U_k(r) \cdot e^{ikr}$$

خواص تابع بلوخ:

① له شكل الموجة المارية المستوية لأنه يحوي e^{ikr}.

② منتشر في البلورة كلها وليس محصوراً في عقدة معينة أي لا يخص ذرة معينة من البلورة وإنما يشمل كامل البلورة.

سؤال الرابع: (12 درجة)

$$V_d = \frac{e E t_m}{m} \quad \text{---} (1)$$

$$\sigma = \frac{N \cdot e^2 t_m}{m} \Rightarrow t_m = \frac{\sigma \cdot m}{N \cdot e^2} \Rightarrow$$

$$\frac{e t_m}{m} = \frac{\sigma}{N \cdot e} \quad \text{---} (2)$$

نعوض (2) في (1) نجد:

$$V_d = \frac{\sigma \cdot E}{N \cdot e} \quad \text{---} (3)$$

$$E = \frac{V}{\ell} = \frac{IR}{\ell} = \frac{I}{A} \cdot \frac{\rho \ell}{S} = \frac{I \cdot \rho}{S} \quad \text{---} (4)$$

نعوض (4) في (3) نجد:

$$V_d = \frac{\sigma}{N \cdot e} \left(\frac{I}{\sigma \cdot S} \right) = \frac{I}{N \cdot e \cdot S}$$

$$V_d = \frac{5}{5 \times 10^{28} \times 1.6 \times 10^{-19} \times \pi (10^{-3})^2} = 1.99 \times 10^{-4} \ m/sec$$

انتهى السؤال