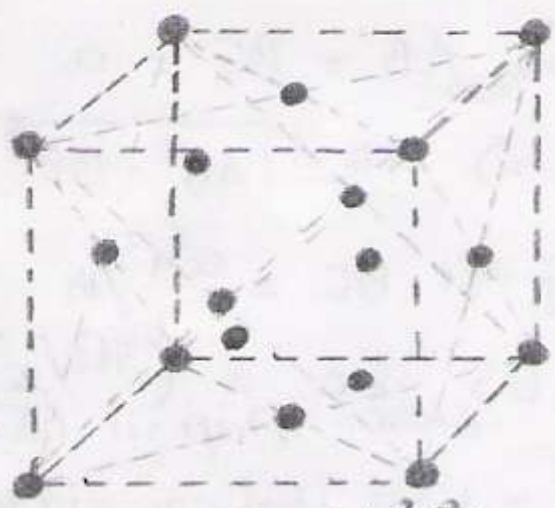




Cấu trúc tinh thể kim cương
Tinh thể chất rắn

Bài tập vật lý chất rắn chương I, II, III, IV

Bài 1. Về tất cả các mặt đối xứng (phản xạ gương), các trục đối xứng của một ô lập phương.

Gợi ý: có tất cả 9 mặt đối xứng, 3 trục 4, 4 trục 3 và 6 trục 2

Bài 2. Điền vào chỗ trống.

Loại ô	P	I	F	C	Kim cương	Lục giác xếp chặt
Thể tích ô đơn vị	a^3	a^3	a^3	a^3	a^3	$3\sqrt{2} a^3$
Số nút mạng trên 1 ô	1	2	4	2	8	6
Thể tích ô nguyên tố	a^3	$a^3/2$	$a^3/4$	$a^3/2$	$a^3/8$	$a^3/\sqrt{2}$
Số nút mạng trên đơn vị thể tích	$1/a^3$	$2/a^3$	$4/a^3$	$2/a^3$	$8/a^3$	$\sqrt{2}/a^3$
Số nút lân cận gần nhất	6	8	4	4	5	6
Khoảng cách giữa các lân cận gần nhất	a	$a\sqrt{3}/2$	$a/\sqrt{2}$	$a/\sqrt{2}$	$a\sqrt{3}/4$	a
Hệ số lấp đầy	0,52	0,68	0,74	0,37	0,34	0,74
Thể tích 1 nút mạng	$\frac{4}{3}\pi(\frac{a}{2})^3$	$\frac{4}{3}\pi(\frac{a\sqrt{3}}{4})^3$	$\frac{4}{3}\pi(\frac{a}{4})^3$	$\frac{4}{3}\pi(\frac{a}{4})^3$	$\frac{4}{3}\pi(\frac{a\sqrt{3}}{8})^3$	$\frac{4}{3}\pi(\frac{a}{2})^3$

Bài 3. Chứng minh tỉ số c/a trong cấu trúc lục giác xếp chặt là $\sqrt{8/3} = 1.633$

$$\#SLD = \frac{V_{\text{nút}}}{V_{\text{ô đơn vị}}}$$

Bài 4. Xác định chỉ số Miller của mặt đi qua các nút 200, 010 và 001 của mạng lập phương P và khoảng cách giữa các mặt mạng.

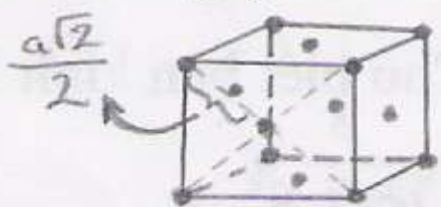
$$\text{Chỉ số Miller} = \left(\frac{h}{a}, \frac{b}{b}, \frac{c}{c} \right)$$

Bài 5. Vẽ các mặt (110), (212), (001) và (120) của tinh thể lập phương.

Bài 6. Chứng minh trong hệ lập phương khoảng cách d_{hkl} giữa hai mặt có chỉ số Miller (hkl) bằng

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad \text{trong đó } a \text{ là hằng số mạng.}$$

Bài 7. Tính khoảng cách giữa các mặt lân cận trong họ mặt (111) trong vật liệu kết tinh theo mạng lập phương tâm mặt với bán kính nguyên tử r. Khoảng cách giữa 2 nút lân cận: $\frac{a\sqrt{2}}{2} = 2r$



$$\Rightarrow a = \frac{4r}{\sqrt{2}} \Rightarrow d_{111} = \frac{4r/\sqrt{2}}{\sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2}} = \frac{4r}{\sqrt{6}}$$

$$\text{Đáp số: } d_{111} = \frac{4r}{\sqrt{6}}$$

Bài 8. Khoảng cách giữa hai nguyên tử lân cận trong tinh thể NaCl bằng 0,282 nm. Tính khối lượng riêng của NaCl. Biết NaCl kết tinh theo mạng lập phương tâm mặt F (hình 1.13 sgk), biết khối lượng mol của Na là 23 g/mol và khối lượng mol của Cl là 35.5 g/mol. $a = 2d_{Na-Cl} = 2 \cdot 0,282 = 0,564 \text{ (nm)} \Rightarrow V_{NaCl} = a^3 = 1,79 \cdot 10^{-28} \text{ (m}^3\text{)}$

Tinh thể NaCl gồm: Khối NaCl trong 1 ô cơ sở là: $m_{NaCl} = 4 \cdot \frac{23 \cdot 10^{-3}}{6,023 \cdot 10^{23}} + 4 \cdot \frac{35,5 \cdot 10^{-3}}{6,023 \cdot 10^{23}} = 3,89 \cdot 10^{-25} \text{ (kg)} \Rightarrow \rho = \frac{m}{V} = 2,17 \cdot 10^3 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

$$\text{Đáp số: } \rho = 2,16 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Bài 9. Tính khối lượng riêng của CsCl. Biết bán kính ion của Cs bằng 0,167 nm và của Cl bằng 0,181 nm, CsCl kết tinh theo mạng lập phương P (hình 1.12 sgk), khối lượng mol của Cl là 35.5 g/mol của Cs là 133 g/mol.

$$m_{CsCl} = 1 \cdot \frac{35,5 \cdot 10^{-3}}{6,023 \cdot 10^{23}} + \frac{133 \cdot 10^{-3}}{6,023 \cdot 10^{23}} = 2,8 \cdot 10^{-25} \text{ (kg)}; \quad \frac{a\sqrt{3}}{2} = r_{Cs} + r_{Cl} \Rightarrow a \Rightarrow V \Rightarrow \rho = \frac{m}{V} \approx 4315 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{Đáp số: } 4310 \text{ kg/m}^3$$

Bài 10. Đồng có cấu trúc fcc với bán kính nguyên tử là 0,1278 nm. Hãy xác định khối lượng riêng của đồng.

$$f_{cc} = \text{lập phương tâm mặt} \Rightarrow 4 \text{ nút} \Rightarrow \text{Khối Cu trong 1 ô cơ sở: } m_{Cu} = 4 \cdot \frac{64 \cdot 10^{-3}}{6,023 \cdot 10^{23}} = 4,25 \cdot 10^{-25} \text{ (kg)}$$

$$\text{Đáp số: } 8930 \text{ kg/m}^3$$

Bài 11. Xác định số ô đơn vị có trong 1 đơn vị thể tích của tinh thể a/ ClCs (Lập phương P), b/ Cu (lập phương tâm mặt F) và c/ Co (lục giác xếp chặt).

Cho biết khối lượng riêng của ClCs, Cu và Co lần lượt là bằng $4,027 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, $8,94 \text{ g/cm}^3$, $8,90 \text{ g/cm}^3$.

$$\text{Tinh thể CsCl gồm 1 nút Cs + 1 nút Cl: } m_{CsCl} = 1 \cdot \frac{35,5 \cdot 10^{-3}}{6,023 \cdot 10^{23}} + \frac{133 \cdot 10^{-3}}{6,023 \cdot 10^{23}} = 2,8 \cdot 10^{-25} \text{ (kg)}$$

$$\Rightarrow V_{\text{ô đơn vị}} = \frac{m}{\rho} = 6,95 \cdot 10^{-29} \text{ (m}^3\text{)}$$

$$\text{Đáp số: a/ } 1,44 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}; \text{ b/ } 2,1 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}; \text{ c/ } 4,5 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$$

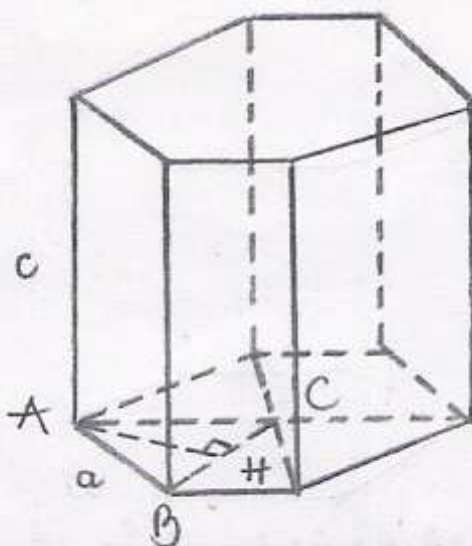
$$\Rightarrow \text{Số ô đơn vị / 1 đv thể tích} = 1 : (6,95 \cdot 10^{-29}) = 1,44 \cdot 10^{28} \text{ (m}^{-3}\text{)}$$

Bài 12. Cr kết tinh theo mạng lập phương tâm khối. Từ phép phân tích nhiễu xạ tia X, suy được khoảng cách giữa hai mặt lân cận thuộc họ mặt (211) $d = 1,18 \text{ Å}$. Hãy xác định khối lượng riêng của tinh thể Cr.

$$d = \frac{a}{\sqrt{2^2 + 1^2 + 1^2}} \Rightarrow a = d\sqrt{6} \Rightarrow V = a^3 = 6\sqrt{6}d^3 = 2,4 \cdot 10^{-29} \text{ (m}^3\text{)}$$

$$\Rightarrow \rho = \frac{m}{V} = 6917 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{Mạng bcc} \Rightarrow 2 \text{ nút} \Rightarrow m_{Cr} = 2 \cdot \frac{52 \cdot 10^{-3}}{6,023 \cdot 10^{23}} = 1,66 \cdot 10^{-25} \text{ (kg)}$$



$$\begin{aligned} \Delta ABC \text{ đều} &\Rightarrow AB = BC = a \\ \Rightarrow BH &= \frac{a}{2} \Rightarrow AH = \sqrt{AB^2 - BH^2} = \frac{a\sqrt{3}}{2} \\ \Rightarrow S_{\Delta ABC} &= \frac{1}{2} AH \cdot BC = \frac{a^2\sqrt{3}}{4} \\ \Rightarrow V_{\text{ô mạng}} &= 6 S_{\Delta ABC} \cdot c = \frac{(3\sqrt{3}/2)ca^2}{\text{Đáp số: } 6877 \text{ kg/m}^3} \end{aligned}$$

Cho biết khối lượng của 1 mol Cr bằng 50,0 g.

Bài 13. Thể tích của ô mạng lục giác xếp chặt (hep) của Titan là $0,106 \text{ nm}^3$. Tỷ số $c/a = 1,59$. Hỏi các giá trị c và a bằng bao nhiêu? Bán kính R của nguyên tử Ti theo phương của hình lục giác ở đáy ô mạng bằng bao nhiêu?

$$V_{\text{ô mạng}} = \left(\frac{3\sqrt{3}}{2}\right)ca^2 = \left(\frac{3\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 1,59a^3 = 0,106$$

$$\text{Đáp số: } c = 0,469 \text{ nm}; a = 0,2950 \text{ nm}; R = 0,1475 \text{ nm}.$$

$$\Rightarrow a = 0,295 (\text{nm}) \Rightarrow c = 0,469 (\text{nm}) \Rightarrow R = \frac{a}{2} = 0,1475 (\text{nm})$$

Bài 14. Khi dùng chùm tia X với bước sóng $1,54 \text{ \AA}$, tinh thể lập phương cho cực đại nhiễu xạ dưới góc 33° từ họ mặt (130). Xác định hằng số mạng của tinh thể đó. Nhiễu xạ: $2d \sin \theta = k\lambda$ ($k=1 \rightarrow$ để quan sát)

$$\Rightarrow d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = 1,414 (\text{\AA}) \Rightarrow a = d \cdot \sqrt{h^2 + k^2 + l^2} = 4,47 (\text{\AA})$$

$$\text{Đáp số: } a = 4,47 \text{ \AA}.$$

Bài 15. Hãy chứng minh rằng trong hệ lập phương thì phương mạng $[h k l]$ vuông góc với họ mặt mạng $\{h k l\}$.

Bài 16. Hãy tính mật độ nút mặt của tinh thể nhôm (Al) đối với họ mặt mạng $\{100\}$. Cho biết nhôm có cấu trúc fcc và hằng số mạng $a = 4,041 \text{ \AA}$.

$$S = a^2 = 16,33 (\text{\AA}^2)$$

$$\text{Đáp số: } 12,248 \cdot 10^{12} \frac{\text{nguyên tử}}{\text{mm}^2}.$$

Bài 17. Một tia X mà ta chưa biết bước sóng bị nhiễu xạ bởi tinh thể đồng có cấu trúc fcc tại góc $2\theta = 43^\circ 4'$. Cho biết đó là nhiễu xạ bậc một ($n=1$) trên họ mặt mạng $\{111\}$ và hằng số mạng của Cu là $a = 0,3615 \text{ nm}$.

$$a/ \text{Hãy xác định bước sóng } \lambda \text{ của tia X. } d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} = \frac{0,3615}{\sqrt{3}} = 0,21$$

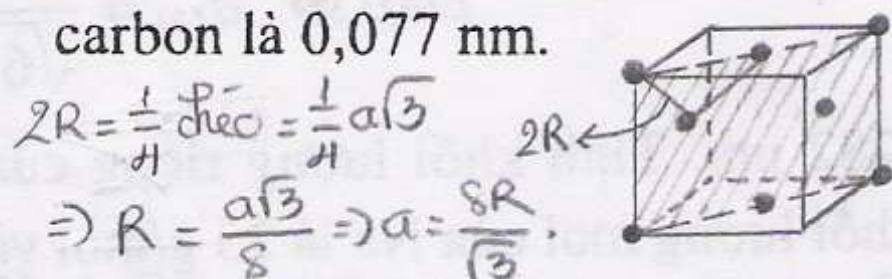
$$\Rightarrow \lambda = \frac{2d \sin \theta}{k} = \frac{2 \cdot 0,21 \cdot \sin 21^\circ 32'}{1} = 0,1542 (\text{nm})$$

b/ Cũng nguồn tia X đó được dùng để phân tích wolfram (W). Cho biết W có cấu trúc lập phương tâm khối bcc. Hỏi góc 2θ của nhiễu xạ bậc hai đối với họ mặt mạng $\{010\}$ là bao nhiêu? Cho biết bán kính nguyên tử W là $r = 0,1367 \text{ nm}$. bcc $\Rightarrow \frac{a\sqrt{3}}{2} = 2r \Rightarrow a = \frac{4r}{\sqrt{3}} = 0,32 (\text{nm}) \Rightarrow d = \frac{a}{\sqrt{0^2 + 1^2 + 0^2}} = \frac{0,32}{1} = 0,32 (\text{nm})$

$$\Rightarrow \sin \theta' = \frac{k\lambda}{2d'} = \frac{2 \cdot 0,1542}{2 \cdot 0,32} \approx 0,482 \Rightarrow 2\theta' \approx 57^\circ 38'$$

$$\text{Đáp số: } \lambda = 0,1543 \text{ nm } 2\theta = 58^\circ 4'$$

Bài 18. Hãy xác định mật độ nút mặt của kim cương đối với họ mặt mạng $\{110\}$. Cho biết bán kính R của nguyên tử carbon là $0,077 \text{ nm}$.



$$\text{Mật độ} = \frac{\text{Số nút}}{S} = \frac{4}{a^2 \sqrt{2}} = \frac{4}{12 \cdot \frac{64}{3} R^2} = \frac{3}{16 \sqrt{2} R^2}$$

$$\text{Đáp số: } 22,427 \cdot 10^{12} \text{ nguyên tử/mm}^2. \text{ HD: Diện tích } S = a^2 \sqrt{2} \text{ chứa 4 nguyên tử C.}$$

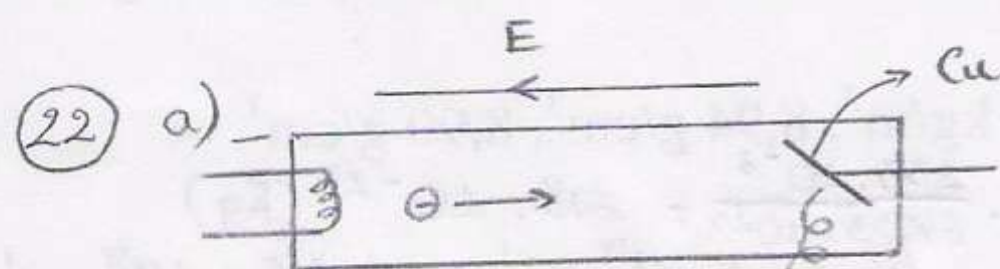
Bài 19. Tinh thể muối ăn NaCl được dùng để đo bước sóng λ của một tia X. Góc nhiễu xạ $2\theta = 27^\circ 30'$ đối với d_{111} của các ion Cl^- . Hỏi: ($a = 0,564 \text{ nm}$)

$$a/ \text{Bước sóng } \lambda \text{ của tia X? } d = \frac{a}{\sqrt{3}} = 0,326 (\text{nm}) \Rightarrow \lambda = \frac{2d \sin \theta}{k} = \frac{2 \cdot 0,326 \cdot \sin 13^\circ 45'}{1} = 0,154 (\text{nm})$$

$$b/ \text{Hỏi góc } 2\theta \text{ bằng bao nhiêu nếu } \lambda = 0,058 \text{ nm? } \sin \theta' = \frac{\lambda'}{2d} = \frac{0,058}{2 \cdot 0,326} \approx 0,089 \Rightarrow 2\theta' = 10^\circ 12'$$

$$\text{Đáp số: } a/ 0,154 \text{ nm } b/ 10^\circ 2'$$

Bài 20. Cho biết bán kính nguyên tử của đồng là $R = 0,1278 \text{ nm}$. Nếu dùng một chùm tia X đơn sắc có bước sóng $\lambda = 0,154 \text{ nm}$ thì hỏi góc nhiễu xạ 2θ ứng với sự nhiễu xạ bậc một trên họ mặt mạng $\{111\}$ bằng bao nhiêu?



$$b) \lambda_{\min} \Leftrightarrow Q = 0 \Rightarrow U \cdot e = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\text{ĐS: } 2\theta = 43^\circ 17'$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{hc}{Ue}$$

$$c) \text{Thể tích 1 ô mạng có 4 nút: } V = a^3 = 4 \frac{M}{\rho N_A} \Rightarrow a \approx 5,6 (\text{\AA})$$

$$\Rightarrow K/c \text{ giữa } 1 \text{ Na} \approx 1 \text{ Cl} = \frac{a}{2} = d.$$

$$\text{Nhiễu xạ: } 2d \sin \theta = k\lambda \quad (k=1)$$

$$\Rightarrow \sin \theta = \frac{\lambda}{2d} = \frac{0,15}{2 \cdot 2,8} \approx 0,089 \Rightarrow \theta = 5^\circ 6'$$

$$\begin{aligned} \textcircled{a} m_{\text{AlBr}_3} &= (26,98 + 3 \cdot 79,9) \cdot 10^{-3} = 266,68 \cdot 10^{-3} \text{ (kg)} \\ \text{Số phân tử AlBr}_3/\text{kg} &: \frac{N_A}{m_{\text{AlBr}_3}} = \frac{6,02 \cdot 10^{23}}{266,68 \cdot 10^{-3}} \approx 2,26 \cdot 10^{24} \text{ (phân tử/kg)} \\ 1 \text{ phân tử gồm 4 nguyên tử} &\Rightarrow \text{Số dao động tử} = 3N = 3 \cdot 4 \cdot 2,26 \cdot 10^{24} = 2,712 \cdot 10^{25} \\ \text{LT nhiệt dung cổ điển} &: C = 3Nk = 374 \text{ (J/kg.K)} \\ \Rightarrow \text{Nhiệt dung riêng} &: c_v = \rho C = 3,01 \cdot 10^3 \cdot 374 \approx 1,125740 \text{ (J/m}^3 \cdot \text{K)} \approx 1,12 \text{ (MJ/m}^3 \cdot \text{K)}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ (m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1}) \\ N_A &= 6,023 \cdot 10^{23} \text{ (phân tử/mol)} \\ h &= 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ (m}^2 \text{kg/s)} \end{aligned}$$

Tính chất nhiệt của tinh thể chất rắn

Bài 1. Tính nhiệt dung riêng c của tinh thể nhôm và đồng theo lý thuyết nhiệt dung cổ điển.

$$c = 3Nk = 3 \cdot \frac{6,023 \cdot 10^{23} \cdot 1 \text{ kg}}{0,027 \text{ kg}} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} = 924 \text{ (J/kg}^\circ\text{C)} \quad \text{Đáp số: } c_{\text{Al}} = 924 \text{ J/(kg}^\circ\text{C)}; c_{\text{Cu}} = 392 \text{ J/(kg}^\circ\text{C)}$$

Bài 2. Xác định nhiệt dung của một đơn vị thể tích của tinh thể AlBr_3 theo lý thuyết nhiệt dung cổ điển. Khối lượng riêng của tinh thể Bromua nhôm $\rho = 3,01 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

$$\text{Đáp số: } c = 1,12 \text{ MJ/(m}^3 \cdot \text{độ)}$$

Bài 3. Xác định nhiệt dung riêng và độ thay đổi nội năng của tinh thể Ni khi làm nóng nó từ $T_1 = 0^\circ\text{C}$ đến $T_2 = 200^\circ\text{C}$. Khối lượng của tinh thể $m = 20 \text{ g}$. $c_{\text{Ni}} = 3Nk = 3 \cdot \frac{6,023 \cdot 10^{23}}{0,065} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} = 383,6 \text{ (J/kg}^\circ\text{C)}$

$$\Rightarrow \Delta U = mc\Delta T = 0,02 \cdot 383,6 \cdot 200 = 1536 \text{ (J)}$$

$$\text{Đáp số: } c_{\text{riêng}} = \text{J/(kg}^\circ\text{C)}; \Delta U = 1700 \text{ J}$$

Bài 4. Tìm tần số dao động của các nguyên tử Bạc theo lý thuyết nhiệt dung của Einstein nếu nhiệt độ đặc trưng của Bạc $\theta_E = hv/k = 165 \text{ K}$.

$$\nu = \frac{\theta_E \cdot k}{h} = \frac{165 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}}{6,626 \cdot 10^{-34}} \approx 3,44 \cdot 10^{12} \text{ (Hz)}$$

$$\text{Đáp số: } \nu \approx 3,44 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$$

Bài 5. Xác định tỷ số của năng lượng của dao động tử lượng tử tính theo lý thuyết Einstein trên năng lượng trung bình của chuyển động nhiệt của các phân tử khí lý tưởng ở nhiệt độ $T = \theta_E = hv/k$.

$$\frac{E_{\text{Einstein}}}{E_{\text{nhiệt}}} = \frac{hv / [\exp(hv/KT) - 1]}{\frac{1}{2}KT} = \frac{2hv/KT}{[\exp(hv/KT) - 1]} = \frac{2}{e^1 - 1} \approx 1,16$$

$$\text{Đáp số: Tỷ số bằng } 1,155$$

Bài 6. Dùng lý thuyết nhiệt dung của Einstein, tính độ biến thiên ΔU của nội năng của một mol tinh thể khi làm nóng nó lên 2° từ nhiệt độ $T = \theta_E/2$.

$$U = 3N_A \cdot \frac{hv}{\exp(hv/KT) - 1}$$

$$\text{Đáp số: } \Delta U = 36 \text{ J}$$

Bài 7. Để làm nóng 10g Bạc từ 10K lên 20K cần nhiệt lượng $\Delta Q = 0,71 \text{ J}$. Xác định nhiệt độ đặc trưng Debye θ_D của Bạc. Xem $T \ll \theta_D$. $\Delta U = mc\Delta T = 234 \cdot KN \left(\frac{T}{\theta_D}\right)^3 \cdot \Delta T \rightarrow N = \frac{mN_A}{M}$ (tính cho N hạt tương ứng 10g)

$$\Rightarrow \Delta U = \int_{10}^{20} 234 \cdot KN \frac{1}{\theta_D^3} T^3 dT = \frac{234KN}{\theta_D^3} \cdot \frac{T^4}{4} \Big|_{10}^{20} = \frac{234 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 10 \cdot 6,023 \cdot 10^{23}}{4 \theta_D^3 \cdot 10^8} (20^4 - 10^4) = \Delta Q \Rightarrow \theta_D \approx 212 \text{ (K)}$$

$$\text{Đáp số: } \theta_D = 212 \text{ K}$$

Bài 8. Xác định xung lượng của phonon tương ứng với tần số $\nu = 0,1\nu_{\text{max}}$. Vận tốc âm trung bình trong tinh thể $v = 1380 \text{ m/sec}$, nhiệt độ Debye $\theta_D = 100 \text{ K}$. Bỏ qua sự tán sắc của các sóng âm trong tinh thể.

$$\text{Đáp số: } p = 10^{-25} \text{ N/sec}$$

Bài 9. Xác định vận tốc âm của tinh thể có nhiệt độ Debye $\theta_D = 300 \text{ K}$ và $a = 2,5 \text{ Å}$

(bỏ qua sự tán sắc của sóng trong tinh thể)

$$\text{Đáp số: } v = 3127 \text{ m/sec}$$

Bài 10. Nhiệt độ Debye của Vonfram $\theta_D = 310 \text{ K}$. Xác định bước sóng của phonon tương ứng với tần số $\nu = 0,1\nu_{\text{max}}$

Tính vận tốc âm trung bình trong Vonfram (bỏ qua sự tán sắc của sóng trong tinh thể). Cho biết W kết tinh theo mạng LPI. Khối lượng riêng của $W = 19,3 \text{ g/cm}^3$; Khối lượng mol của $W = 183,85 \text{ g/mol}$.

($\Delta T = 2^\circ$ khá nhỏ)

$$\textcircled{6} U = c \cdot \Delta T$$

$$U = 3N \frac{hv}{\exp(hv/KT) - 1} = \int f(T)$$

$$\frac{dU}{dT} = f'(T) \Rightarrow dU = f'(T) dT$$

$$\Rightarrow \Delta U = f'(T) \Big|_{T=\frac{\theta_D}{2}} \cdot \Delta T$$

$$f'(T) = \frac{hv}{KT^2} \cdot \exp(hv/KT) \cdot 3Nkv$$

$$\frac{f'(T)}{[\exp(hv/KT) - 1]^2}$$

$$\Rightarrow \Delta U = f'(T) \Big|_{T=\frac{h\nu}{2K}} \cdot \Delta T = \frac{12NKe^2}{(e^2 - 1)^2} \cdot 2$$

$$= \frac{12 \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot e^2}{(e^2 - 1)^2} \cdot 2$$

$$= 36 \text{ (J)}$$

$$\textcircled{8} p = \frac{h}{\lambda} = ?$$

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu}$$

$$\nu = 0,1 \nu_{\text{max}}$$

$$\theta_D = \frac{h\nu_{\text{max}}}{K}$$

$$\text{Từ } \theta_D \rightarrow \nu_{\text{max}}$$

$$\rightarrow \nu \rightarrow \lambda \rightarrow p$$

$$\textcircled{9} v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\lambda \nu}{1}$$

$$\theta_D = \frac{h\nu_{\text{max}}}{K} \Rightarrow \nu_{\text{max}}$$

$$\lambda_{\text{min}}$$

$$\Rightarrow \lambda_{\text{min}} = 2a \Rightarrow v$$

$$\text{Đáp số: } v = 4084 \text{ m/sec}; \lambda = 63,2 \text{ Å}$$

$$\textcircled{10} 1 \text{ cm}^3 \text{ chứa: } \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 19,3}{183,85} \text{ hạt}$$

$$1 \text{ hạt chiếm thể tích: } \frac{183,85}{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 19,3} \text{ cm}^3$$

$$\text{Mà } 1 \text{ ô đơn vị } W \text{ chứa } 2 \text{ hạt}$$

$$\Rightarrow 2 \text{ hạt chiếm thể tích: } \frac{2 \cdot 183,85}{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 19,3} \text{ cm}^3$$

$$\Rightarrow a^3 = \frac{2 \cdot 183,85}{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 19,3} \Rightarrow a = 3,16 \cdot 10^{-8} \text{ (cm)}$$

$$= 3,16 \text{ (Å)}$$

$$\lambda_{\text{min}} = 2a = 6,32 \text{ (Å)}$$

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{\lambda_{\text{min}} \nu_{\text{max}}}{0,1 \nu_{\text{max}}} = \frac{\lambda_{\text{min}}}{0,1} = \frac{6,32}{0,1} = 63,2 \text{ (Å)}$$

$$v = \lambda_{\text{min}} \nu_{\text{max}} = \lambda_{\text{min}} \frac{K\theta_D}{h}$$

$$= 2 \cdot 3,16 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 310}{6,62 \cdot 10^{-34}} \approx 4084 \text{ (m/s)}$$

CHƯƠNG VI: độ dẫn = $\frac{1}{\rho}$ nồng độ hạt

Mật độ dòng: $\vec{J} = \sigma \vec{E} = n e v_d = \frac{I}{S}$

$\sigma = \frac{n e^2 \tau}{m} \rightarrow$ thời gian hồi phục $\rightarrow v_{cuon}$

$u = \frac{e \tau}{m}$; $\lambda = v_T \cdot \tau \rightarrow$ độ linh động

$k_F = (3 \pi^2 n)^{1/3}$; $E_F = \frac{\hbar^2 k_F^2}{2m}$

$T_F = \frac{E_F}{k_B}$; $v_F = \frac{\hbar k_F}{m}$

$C = \frac{\pi^2 N_A R_D^2 Z}{2 E_F T} \rightarrow$ độ nhiễu loạn từ

lý thuyết Sommerfeld

khối lượng Cho 1 mol $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

$n = \frac{D \cdot N_A \cdot Z}{M} \rightarrow$ khối mol

$m =$ khối electron = $9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

$\frac{1}{2} m v_T^2 = \frac{3}{2} k_B T$

③ $n = \frac{10500 \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \cdot 1,3}{108} = 7,61 \cdot 10^{25} \text{ (m}^{-3}\text{)}$

$\Rightarrow v_d = \frac{I}{S \cdot n e} = 1,5 \cdot 10^5 \frac{1}{7,61 \cdot 10^{25}} = 0,0123 \text{ (m/s)}$

⑥ $\tau = \frac{\sigma m}{n e^2} = \frac{1,39 \cdot 10^7 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}{1,4 \cdot 10^{28} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2} = 3,5 \cdot 10^{-14} \text{ (s)}$

⑦ $n_{cu} = \frac{8890 \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \cdot 1}{64} = 8,4 \cdot 10^{25} \text{ (m}^{-3}\text{)}$

$\Rightarrow \tau = \frac{\sigma m}{n e^2} = 2,5 \cdot 10^{-14} \text{ (s)}$

$v_T = \sqrt{3 k_B T / m} = \sqrt{3 \cdot 26 \cdot 10^{-3} \text{ eV} / m} = 1,2 \cdot 10^5 \text{ (m/s)}$

$\Rightarrow \lambda = v_T \tau = 3 \cdot 10^{-6} \text{ (m)}$

CHƯƠNG VII:

$\sigma = (n_n \cdot u_n + n_p \cdot u_p) e$

$n_i = 2 \left(\frac{2 \pi k T}{h^2} \right)^{3/2} (m_n m_p)^{3/4} \exp \left(-\frac{E_g}{2 k T} \right)$

$n_o p_o = n_i^2$

$N_c = 2 \left(\frac{2 \pi m_n k T}{h^2} \right)^{3/2}$

$N_v = 2 \left(\frac{2 \pi m_p k T}{h^2} \right)^{3/2}$

$n_o = A_o \exp \left(-\frac{E_o}{2 k T} \right) \Rightarrow \ln n_o = \ln A_o - \frac{E_o}{2 k T}$

$\downarrow$ độ số

độ dẫn nhảy từ

mức Donor lên vùng dẫn

Loại N: $n = p + n_o$

$E_F = \frac{k T}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$= \frac{3 k T}{4} \ln \frac{m_p}{m_n} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$(E_v = 0 \Rightarrow E_c = E_g)$

Xs lấp đầy: $f = \frac{1}{\exp \left(\frac{E_c - E_F}{k T} \right) + 1}$

$n p = p_o n_o \exp \frac{E_{Fn} - E_{Fp}}{k T}$

$E_{Fn} - E_{Fp} =$ hiệu điện thế tiếp xúc

$U_o = \frac{k T}{e} \ln \frac{n_{ON}}{n_{OE}} = \frac{k T}{e} \ln \frac{p_{OE}}{p_{ON}}$

$\downarrow$ độ số

độ dẫn

Loại N: $n = p + n_o$

$E_F = \frac{k T}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$= \frac{3 k T}{4} \ln \frac{m_p}{m_n} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$(E_v = 0 \Rightarrow E_c = E_g)$

Xs lấp đầy: $f = \frac{1}{\exp \left(\frac{E_c - E_F}{k T} \right) + 1}$

$n p = p_o n_o \exp \frac{E_{Fn} - E_{Fp}}{k T}$

$E_{Fn} - E_{Fp} =$ hiệu điện thế tiếp xúc

$U_o = \frac{k T}{e} \ln \frac{n_{ON}}{n_{OE}} = \frac{k T}{e} \ln \frac{p_{OE}}{p_{ON}}$

$\downarrow$ độ số

độ dẫn

Loại N: $n = p + n_o$

$E_F = \frac{k T}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$= \frac{3 k T}{4} \ln \frac{m_p}{m_n} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$(E_v = 0 \Rightarrow E_c = E_g)$

Xs lấp đầy: $f = \frac{1}{\exp \left(\frac{E_c - E_F}{k T} \right) + 1}$

$n p = p_o n_o \exp \frac{E_{Fn} - E_{Fp}}{k T}$

$E_{Fn} - E_{Fp} =$ hiệu điện thế tiếp xúc

$U_o = \frac{k T}{e} \ln \frac{n_{ON}}{n_{OE}} = \frac{k T}{e} \ln \frac{p_{OE}}{p_{ON}}$

$\downarrow$ độ số

độ dẫn

Loại N: $n = p + n_o$

$E_F = \frac{k T}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$= \frac{3 k T}{4} \ln \frac{m_p}{m_n} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$(E_v = 0 \Rightarrow E_c = E_g)$

Xs lấp đầy: $f = \frac{1}{\exp \left(\frac{E_c - E_F}{k T} \right) + 1}$

$n p = p_o n_o \exp \frac{E_{Fn} - E_{Fp}}{k T}$

$E_{Fn} - E_{Fp} =$ hiệu điện thế tiếp xúc

$U_o = \frac{k T}{e} \ln \frac{n_{ON}}{n_{OE}} = \frac{k T}{e} \ln \frac{p_{OE}}{p_{ON}}$

$\downarrow$ độ số

độ dẫn

Loại N: $n = p + n_o$

$E_F = \frac{k T}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$= \frac{3 k T}{4} \ln \frac{m_p}{m_n} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$(E_v = 0 \Rightarrow E_c = E_g)$

Xs lấp đầy: $f = \frac{1}{\exp \left(\frac{E_c - E_F}{k T} \right) + 1}$

$n p = p_o n_o \exp \frac{E_{Fn} - E_{Fp}}{k T}$

$E_{Fn} - E_{Fp} =$ hiệu điện thế tiếp xúc

$U_o = \frac{k T}{e} \ln \frac{n_{ON}}{n_{OE}} = \frac{k T}{e} \ln \frac{p_{OE}}{p_{ON}}$

$\downarrow$ độ số

độ dẫn

Loại N: $n = p + n_o$

$E_F = \frac{k T}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$= \frac{3 k T}{4} \ln \frac{m_p}{m_n} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$(E_v = 0 \Rightarrow E_c = E_g)$

Xs lấp đầy: $f = \frac{1}{\exp \left(\frac{E_c - E_F}{k T} \right) + 1}$

$n p = p_o n_o \exp \frac{E_{Fn} - E_{Fp}}{k T}$

$E_{Fn} - E_{Fp} =$ hiệu điện thế tiếp xúc

$U_o = \frac{k T}{e} \ln \frac{n_{ON}}{n_{OE}} = \frac{k T}{e} \ln \frac{p_{OE}}{p_{ON}}$

$\downarrow$ độ số

độ dẫn

Loại N: $n = p + n_o$

$E_F = \frac{k T}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$= \frac{3 k T}{4} \ln \frac{m_p}{m_n} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$(E_v = 0 \Rightarrow E_c = E_g)$

Xs lấp đầy: $f = \frac{1}{\exp \left(\frac{E_c - E_F}{k T} \right) + 1}$

$n p = p_o n_o \exp \frac{E_{Fn} - E_{Fp}}{k T}$

$E_{Fn} - E_{Fp} =$ hiệu điện thế tiếp xúc

$U_o = \frac{k T}{e} \ln \frac{n_{ON}}{n_{OE}} = \frac{k T}{e} \ln \frac{p_{OE}}{p_{ON}}$

$\downarrow$ độ số

độ dẫn

Loại N: $n = p + n_o$

$E_F = \frac{k T}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$= \frac{3 k T}{4} \ln \frac{m_p}{m_n} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$(E_v = 0 \Rightarrow E_c = E_g)$

Xs lấp đầy: $f = \frac{1}{\exp \left(\frac{E_c - E_F}{k T} \right) + 1}$

$n p = p_o n_o \exp \frac{E_{Fn} - E_{Fp}}{k T}$

$E_{Fn} - E_{Fp} =$ hiệu điện thế tiếp xúc

$U_o = \frac{k T}{e} \ln \frac{n_{ON}}{n_{OE}} = \frac{k T}{e} \ln \frac{p_{OE}}{p_{ON}}$

$\downarrow$ độ số

độ dẫn

Loại N: $n = p + n_o$

$E_F = \frac{k T}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$= \frac{3 k T}{4} \ln \frac{m_p}{m_n} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$(E_v = 0 \Rightarrow E_c = E_g)$

Xs lấp đầy: $f = \frac{1}{\exp \left(\frac{E_c - E_F}{k T} \right) + 1}$

$n p = p_o n_o \exp \frac{E_{Fn} - E_{Fp}}{k T}$

$E_{Fn} - E_{Fp} =$ hiệu điện thế tiếp xúc

$U_o = \frac{k T}{e} \ln \frac{n_{ON}}{n_{OE}} = \frac{k T}{e} \ln \frac{p_{OE}}{p_{ON}}$

$\downarrow$ độ số

độ dẫn

Loại N: $n = p + n_o$

$E_F = \frac{k T}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$= \frac{3 k T}{4} \ln \frac{m_p}{m_n} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$(E_v = 0 \Rightarrow E_c = E_g)$

Xs lấp đầy: $f = \frac{1}{\exp \left(\frac{E_c - E_F}{k T} \right) + 1}$

$n p = p_o n_o \exp \frac{E_{Fn} - E_{Fp}}{k T}$

$E_{Fn} - E_{Fp} =$ hiệu điện thế tiếp xúc

$U_o = \frac{k T}{e} \ln \frac{n_{ON}}{n_{OE}} = \frac{k T}{e} \ln \frac{p_{OE}}{p_{ON}}$

$\downarrow$ độ số

độ dẫn

Loại N: $n = p + n_o$

$E_F = \frac{k T}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$= \frac{3 k T}{4} \ln \frac{m_p}{m_n} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$(E_v = 0 \Rightarrow E_c = E_g)$

Xs lấp đầy: $f = \frac{1}{\exp \left(\frac{E_c - E_F}{k T} \right) + 1}$

$n p = p_o n_o \exp \frac{E_{Fn} - E_{Fp}}{k T}$

$E_{Fn} - E_{Fp} =$ hiệu điện thế tiếp xúc

$U_o = \frac{k T}{e} \ln \frac{n_{ON}}{n_{OE}} = \frac{k T}{e} \ln \frac{p_{OE}}{p_{ON}}$

$\downarrow$ độ số

độ dẫn

Loại N: $n = p + n_o$

$E_F = \frac{k T}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$= \frac{3 k T}{4} \ln \frac{m_p}{m_n} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$(E_v = 0 \Rightarrow E_c = E_g)$

Xs lấp đầy: $f = \frac{1}{\exp \left(\frac{E_c - E_F}{k T} \right) + 1}$

$n p = p_o n_o \exp \frac{E_{Fn} - E_{Fp}}{k T}$

$E_{Fn} - E_{Fp} =$ hiệu điện thế tiếp xúc

$U_o = \frac{k T}{e} \ln \frac{n_{ON}}{n_{OE}} = \frac{k T}{e} \ln \frac{p_{OE}}{p_{ON}}$

$\downarrow$ độ số

độ dẫn

Loại N: $n = p + n_o$

$E_F = \frac{k T}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$= \frac{3 k T}{4} \ln \frac{m_p}{m_n} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$(E_v = 0 \Rightarrow E_c = E_g)$

Xs lấp đầy: $f = \frac{1}{\exp \left(\frac{E_c - E_F}{k T} \right) + 1}$

$n p = p_o n_o \exp \frac{E_{Fn} - E_{Fp}}{k T}$

$E_{Fn} - E_{Fp} =$ hiệu điện thế tiếp xúc

$U_o = \frac{k T}{e} \ln \frac{n_{ON}}{n_{OE}} = \frac{k T}{e} \ln \frac{p_{OE}}{p_{ON}}$

$\downarrow$ độ số

độ dẫn

Loại N: $n = p + n_o$

$E_F = \frac{k T}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$= \frac{3 k T}{4} \ln \frac{m_p}{m_n} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$(E_v = 0 \Rightarrow E_c = E_g)$

Xs lấp đầy: $f = \frac{1}{\exp \left(\frac{E_c - E_F}{k T} \right) + 1}$

$n p = p_o n_o \exp \frac{E_{Fn} - E_{Fp}}{k T}$

$E_{Fn} - E_{Fp} =$ hiệu điện thế tiếp xúc

$U_o = \frac{k T}{e} \ln \frac{n_{ON}}{n_{OE}} = \frac{k T}{e} \ln \frac{p_{OE}}{p_{ON}}$

$\downarrow$ độ số

độ dẫn

Loại N: $n = p + n_o$

$E_F = \frac{k T}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$= \frac{3 k T}{4} \ln \frac{m_p}{m_n} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$(E_v = 0 \Rightarrow E_c = E_g)$

Xs lấp đầy: $f = \frac{1}{\exp \left(\frac{E_c - E_F}{k T} \right) + 1}$

$n p = p_o n_o \exp \frac{E_{Fn} - E_{Fp}}{k T}$

$E_{Fn} - E_{Fp} =$ hiệu điện thế tiếp xúc

$U_o = \frac{k T}{e} \ln \frac{n_{ON}}{n_{OE}} = \frac{k T}{e} \ln \frac{p_{OE}}{p_{ON}}$

$\downarrow$ độ số

độ dẫn

Loại N: $n = p + n_o$

$E_F = \frac{k T}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$= \frac{3 k T}{4} \ln \frac{m_p}{m_n} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$(E_v = 0 \Rightarrow E_c = E_g)$

Xs lấp đầy: $f = \frac{1}{\exp \left(\frac{E_c - E_F}{k T} \right) + 1}$

$n p = p_o n_o \exp \frac{E_{Fn} - E_{Fp}}{k T}$

$E_{Fn} - E_{Fp} =$ hiệu điện thế tiếp xúc

$U_o = \frac{k T}{e} \ln \frac{n_{ON}}{n_{OE}} = \frac{k T}{e} \ln \frac{p_{OE}}{p_{ON}}$

$\downarrow$ độ số

độ dẫn

Loại N: $n = p + n_o$

$E_F = \frac{k T}{2} \ln \frac{N_v}{N_c} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$= \frac{3 k T}{4} \ln \frac{m_p}{m_n} + \frac{E_c + E_v}{2}$

$(E_v = 0 \Rightarrow E_c = E_g)$

Xs lấp đầy: $f = \frac{1}{\exp \left(\frac{E_c - E_F}{k T} \right) + 1}$

<