

---

# UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
2014/2015 Academic Session

December 2014 / January 2015

## EBB 236/3 – Materials Thermodynamics [Termodinamik Bahan]

Duration : 3 hours  
[Masa : 3 jam]

---

Please ensure that this examination paper contains NINE printed pages before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi SEMBILAN muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]*

This paper consists of SEVEN questions. ONE question in PART A, TWO questions in PART B, TWO questions in PART C and TWO questions in PART D.

*[Kertas soalan ini mengandungi TUJUH soalan. SATU soalan di BAHAGIAN A, DUA soalan di BAHAGIAN B, DUA soalan di BAHAGIAN C dan DUA soalan di BAHAGIAN D.]*

**Instruction:** Answer FIVE questions. Answer ALL questions from PART A, ONE question from PART B, ONE question from PART C, ONE question from PART D and ONE question from any parts. If a candidate answers more than five questions only the first five questions answered in the answer script would be examined.

*[Arahan: Jawab LIMA soalan. Jawab SEMUA soalan dari BAHAGIAN A, SATU soalan dari BAHAGIAN B, SATU soalan dari BAHAGIAN C, SATU soalan dari BAHAGIAN D dan SATU soalan dari mana-mana bahagian. Jika calon menjawab lebih daripada lima soalan hanya lima soalan pertama mengikut susunan dalam skrip jawapan akan diberi markah.]*

The answers to all questions must start on a new page.

*[Mulakan jawapan anda untuk semua soalan pada muka surat yang baru.]*

You may answer a question either in Bahasa Malaysia or in English.

*[Anda dibenarkan menjawab soalan sama ada dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.]*

In the event of any discrepancies in the examination questions, the English version shall be used.

*[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah digunapakai.]*

**PART A / BAHAGIAN A**

1. [a] Show that when the surface tension of the  $\alpha$ - $\alpha$  grain boundary equals twice the surface tension of the  $\alpha$ - $\beta$  grain boundary, ( $\gamma_{\alpha\alpha}=2\gamma_{\alpha\beta}$ ) the critical volume  $V^*$  for the double spherical cap is zero. Under this condition would you expect supercooling?

*Tunjukkan bahawa apabila ketegangan permukaan sempadan butiran  $\alpha$ - $\alpha$  bersamaan dengan dua kali ketegangan permukaan sempadan butiran  $\alpha$ - $\beta$ , ( $\gamma_{\alpha\alpha}=2\gamma_{\alpha\beta}$ ), isipadu kritikal  $V^*$  untuk "cap" sfera berganda adalah sifar. Di bawah keadaan ini adakah anda jangkakan penyejukan lampau berlaku?*

(30 marks/markah)

- [b] Three phases  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\delta$  meet at a common boundary which is normal to section of the sample examined. The angles measured inside the phases  $\alpha$  and  $\beta$  are  $100^\circ$  and  $120^\circ$  respectively. If the value of the interface energy for  $\alpha$ - $\beta$  interfaces is  $0.8 \text{ J/m}^2$ , find the  $\delta$  angle and corresponding values for the other two interfaces.

*Tiga fasa  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\delta$  berkumpul di sempadan yang normal kepada bahagian sampel yang diperiksa. Sudut yang diukur di dalam fasa  $\alpha$  dan  $\beta$  adalah masing-masing  $100^\circ$  dan  $120^\circ$ . Jika nilai tenaga antaramuka bagi antaramuka  $\alpha$ - $\beta$  ialah  $0.8 \text{ J/m}^2$ , kirakan sudut  $\delta$  dan nilai bagi antaramuka yang selainnya.*

(35 marks/markah)

- [c] The activity of zinc in liquid cadmium-zinc alloys at 708 K is related to the alloy composition by the following equation:

$$\ln \gamma_{Zn} = 0.87N_{Cd}^2 - 0.3N_{Cd}^3$$

Calculate the activity of cadmium at  $N_{Cd} = 0.1$ .

*Aktiviti zink dalam cecair aloi kadmium-zink pada 708 K adalah berkaitan dengan komposisi aloi melalui persamaan berikut:*

$$\ln \gamma_{Zn} = 0.87N_{Cd}^2 - 0.3N_{Cd}^3$$

*Kirakan aktiviti kadmium pada  $N_{Cd} = 0.1$ .*

(35 marks/markah)

**PART B / BAHAGIAN B**

2. [a] Derive the Clausis-Clayperon equation for liquid-vapor equilibrium in terms of pressure, molar heat of vaporization and temperature.

*Terbitkan persamaan Clausis Claperon untuk keseimbangan cecair-gas dalam ungkapan tekanan, haba pengewapan molar dan suhu.*

(50 marks/markah)

- [b] Silicon has melting point at 1683 K and boiling point at 2750 K at 1 atmosphere, with a heat of fusion 46.7 kJ/mole and a heat of vaporization of 297 kJ. Calculate the triple point and sketch the phase diagram.

*Silikon mempunyai takat lebur pada 1683 K dan takat didih pada 2750 K pada 1 atmosfera. Haba pelakuran bagi silikon adalah 46.7 kJ/mol dan haba pengewapan adalah 297 kJ. Kirakan titik tripel dan lakarkan gambar rajah fasa.*

(50 marks/markah)

3. [a] Sketch a schematic diagram of the energies involved in transformation of homogeneous nucleation.

*Lakarkan gambar rajah skema bagi tenaga yang terlibat dalam transformasi penukleusan homogen.*

(20 marks/markah)

- [b] Based on the schematic diagram above, derive the expression for a spherical nucleus of critical size and the free energy formation of such a nucleus in a vapor- liquid transformation.

*Berdasarkan rajah skema di atas, terbitkan ungkapan bagi nukleus sfera yang bersaiz kritikal dan tenaga bebas untuk pembentukan nukleus dalam transformasi wap-cecair.*

(30 marks/markah)



- [c] Assuming that the pressure dependence of the transformation temperatures can be neglected below one atmosphere, calculate the pressure at the triple point  $(\alpha, \gamma, G)$ ,  $(\gamma, \delta, G)$ ,  $(\delta, L, G)$  for pure iron. Assume also that all heats of transformation are temperature independent. For iron  $T_v = 3008$  K,  $T_m = 1808$  K,  $T^{\gamma\delta} = 1673$  K,  $T^{\alpha\gamma} = 1180$  K. Corresponding heats of transformation are respectively 354.1, 16.15, 0.63 and 0.91 (KJ/g atom).

*Andaikan kesandaran tekanan terhadap suhu transformasi boleh diabaikan di bawah satu atmosfera, kira tekanan pada titik tripel  $(\alpha, \gamma, G)$ ,  $(\gamma, \delta, G)$ ,  $(\delta, L, G)$  bagi besi tulen. Andaikan semua haba transformasi adalah tak bersandar suhu. Bagi besi  $T_v = 3008$  K,  $T_m = 1808$  K,  $T^{\gamma\delta} = 1673$  K,  $T^{\alpha\gamma} = 1180$  K, dan haba transformasi masing-masing adalah 354.1, 16.15, 0.63 dan 0.91 (KJ/g atom).*

(50 marks/markah)

**PART C / BAHAGIAN C**

4. [a] Briefly explain the difference between macrostate and microstate of a system in statistical thermodynamics. Give an appropriate example to support the answer.

*Terangkan secara ringkas perbezaan antara keadaan makro dan keadaan mikro bagi suatu sistem dalam termodinamik statistik. Berikan contoh yang sesuai untuk menyokong jawapan tersebut.*

(40 marks/markah)

- [b] Consider a system with 4 particles that are allowed to occupy 2 energy states. Tabulate the macrostates and microstates of this system.

*Pertimbangkan suatu sistem yang mempunyai 4 partikel yang boleh merangkumi 2 keadaan tenaga. Jadualkan keadaan makro dan keadaan mikro untuk sistem ini.*

(20 marks/markah)

- [c] Starting from the Gibbs definition of entropy and the definition of the partition function, prove that the Helmholtz free energy is given by

$$F = -kT \ln(Z)$$

*Bermula dari definisi entropi Gibbs dan definisi fungsi sekatan, buktikan bahawa tenaga bebas Helmholtz diberikan oleh*

$$F = -kT \ln(Z)$$

Given: / Diberi:

F = Helmholtz free energy / F = Tenaga bebas Helmholtz

k = Boltzmann's constant / k = pemalar Boltzmann

T = Temperature / T = suhu

Z = Partition function / Z = fungsi sekatan

(40 marks/markah)

5. [a] Define fugacity for non-ideal gas by deriving an appropriate equation. Then state the relationship between fugacity and activity of a given gas system.

*Takrifkan fugasitas untuk gas-tak-ideal dengan menerbitkan satu persamaan yang sesuai. Kemudian nyatakan hubungan fugasitas dengan aktiviti untuk sistem gas yang diberikan.*

(20 marks/markah)

- [b] A container having three compartments contains 1 mole of gas A, 2 moles of gas B and 3 moles of gas C, respectively, at the same temperature and pressure (298 K and 1 atm). The partitions are lifted and the gases are allowed to mix. Calculate the change in the Gibbs free energy  $G^M$ . Assume the gases behave ideally.

*Satu bekas mempunyai tiga bahagian yang mengandungi 1 mol gas A, 2 mol gas B dan 3 mol gas C masing-masing pada suhu dan tekanan yang sama (298 K dan 1 atm). Sekatan diangkat dan gas dibenarkan untuk bercampur. Kira perubahan dalam tenaga bebas Gibbs  $G^M$ . Andaikan gas berkelakuan ideal.*

(40 marks/markah)

- [c] If species A behaves ideally in the whole composition range of A-B binary solutions, the species B also behaves ideally. Prove the statement by using appropriate equations.

*Jika spesies A berkelakuan ideal dalam komposisi keseluruhan larutan binari A-B, spesies B juga berkelakuan ideal. Buktikan pernyataan itu dengan menggunakan persamaan yang sesuai.*

(40 marks/markah)

**PART D / BAHAGIAN D**

6. [a] Describe how the free energy changes with the number of vacancies.

*Terangkan bagaimana tenaga bebas berubah dengan jumlah kekosongan.*

(40 marks/markah)

- [b] Take the energy to form a mole of vacancies in Fe as 27,000 calories and the vibrational entropy as  $1.0k$  per vacancy, where  $k$  is Boltzman's constant. Compute the number of vacancies per cubic centimeter of Fe at  $70^\circ\text{C}$  and at its melting point ( $1538^\circ\text{C}$ ). Take the density of Fe as  $7.88 \text{ g/cm}^3$  and the AMR for Fe = 56.

$$1 \text{ calory} = 4.184 \text{ J/mole}$$

*Katakan tenaga untuk membentuk satu mol kekosongan dalam Fe adalah 27,000 kalori dan entropi getaran adalah  $1.0 k$ /kekosongan, yang mana  $k$  adalah pemalar Boltzman. Kirakan bilangan kekosongan per sentimeter padu bagi Fe pada suhu  $70^\circ\text{C}$  dan pada suhu takat lebur ( $1538^\circ\text{C}$ ). Diberikan ketumpatan Fe adalah  $7.88 \text{ g/cm}^3$  dan JMR untuk Fe = 56.*

$$1 \text{ kalori} = 4.184 \text{ J/mol}$$

(60 marks/markah)

7. [a] Suppose the interaction parameters for divacancies are about 10 percent of the values of corresponding single defect parameters:

*Katakan parameter interaksi bagi dwikekosongan adalah 10 peratus daripada nilai parameter kecacatan tunggal berikut:*

$$\overline{\Delta H_{\text{int}}} = 0.1\overline{\Delta H_v}$$

$$\overline{\Delta S_{\text{int}}} = 0.1\overline{\Delta S_v}$$

$$\overline{\Delta H_v} = 95800 \text{ J/mole}$$

$$\overline{\Delta S_v} = 8.85 \text{ J/mole.K}$$

Calculate the equilibrium concentration of divacancies at 600K and at 1500K.

*Kirakan kepekatan keseimbangan bagi dwikekosongan pada 600K dan 1500K.*

(50 marks/markah)

...9/-



- [b] The surface energy of the interface between copper and its vapor is estimated to be  $1.25\text{J/m}^2$  at  $1100\text{K}$ . The average dihedral angle measured for grain boundaries intersecting the free surface is  $152^\circ$ . Alumina dispersed copper alloys are made by dispersing fine particles of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in copper powder and consolidating the aggregate. The particles are left at the grain boundaries in the copper matrix. Prolonged heating at elevated temperature gives the particles their equilibrium shape. The average dihedral angle measured inside the particle is found to be  $125^\circ$ . Estimate the specific interfacial energy of the alumina-copper interface.

*Tenaga permukaan di antaramuka kuprum dan wapnya dianggarkan  $1.25\text{J/m}^2$  pada  $1100\text{K}$ . Purata sudut dihedral yang diukur bagi sempadan butir yang bersetentang dengan permukaan bebas adalah  $152^\circ$ . Aloi kuprum yang diperkuat dengan alumina dihasilkan dengan menyerakkan partikel halus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ke dalam serbuk tembaga dan agregatnya digabungkan. Partikel tersebut terbentuk di kawasan sempadan butir dalam matriks kuprum. Pemanasan berterusan pada suhu tertentu akan menghasilkan bentuk yang stabil. Sudut purata dihedral yang diukur di dalam partikel adalah  $125^\circ$ . Anggarkan tenaga antaramuka spesifik bagi antaramuka alumina-kuprum.*

(50 marks/markah)