

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Final Examination  
2015/2016 Academic Session

May/June 2016

**JIF 317 – Atomic Physics**  
*[Ilmu Fizik Atom]*

Time : 3 hours  
*[Masa : 3 jam]*

---

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

Answer **ALL** questions. You may answer **either** in Bahasa Malaysia or in English.

Read the instructions carefully before answering.

Each question carries 20 marks.

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

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

*Jawab **SEMUA** soalan. Anda dibenarkan menjawab soalan **sama ada** dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.*

*Baca arahan dengan teliti sebelum anda menjawab soalan.*

*Setiap soalan diperuntukkan 20 markah.*

*Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai.*

Answer **ALL** questions.

1. (a) Using the planetary model of hydrogen atom, show that the total energy is

$$E = \frac{-e^2}{8\pi\epsilon_0 r}$$

where  $e$  is the electronic charge,  $\epsilon_0$  is the permittivity of free space and  $r$  is the atomic radius.

(8 marks)

- (b) Experiments show that a total energy of 13.6 eV is required to separate hydrogen atom into proton and electron. Find the orbital radius of hydrogen atom and the velocity of the electron.

(4 marks)

- (c) With the aid of the suitable diagram, explain the origin of line spectra.

(4 marks)

- (d) The longest wavelength at the Lyman series is 1215 Å. Calculate the Rydberg constant.

(4 marks)

2. (a) Explain how the quantum numbers can be obtained using the quantum mechanical treatment of a hydrogen atom. How do these quantum numbers differ from those of Bohr Model?

(4 marks)

- (b) The radial component of Schrödinger equation is given by

$$\frac{dR}{dr} = \left( \frac{2}{a_0^{5/2}} \right) e^{-r/a_0}$$

If the normalised radial function for  $n=1$ ,  $l=0$  and  $m_l=0$  is

$$R = \frac{2}{a_0^{3/2}} e^{-r/a_0}$$

show that the ground state electron energy is given by

$$E_1 = -\frac{me^4}{32\pi^2\epsilon_0^2\hbar^2}$$

where  $m$  is magnetic quantum number,  $e$  is electronic charge,  $\epsilon_0$  is permittivity of free space and  $\hbar$  is Planck constant.

(12 marks)

- (c) State the principal quantum number, orbital angular momentum quantum number and magnetic quantum number for the  $3f$  and  $4f$  states of hydrogen atom.

(4 marks)

3. (a) Taking into consideration the classical path of an electron, explain the interaction energy of the coupling of orbital angular momentum,  $l$  and spin angular momentum,  $s$ . Explain the physical phenomena observed experimentally arising from this interaction energy.

(8 marks)

- (b) Using Hund's rule, construct the electron configuration based on K, L, M, .... shell and s, p, d... sub-shell for  ${}_{26}\text{Fe}$ . Explain the physical properties attained by this element from the configuration constructed.

(4 marks)

- (c) State Pauli's Exclusion Principle. By considering two identical, indistinguishable and non-interacting particles, derive Pauli's Exclusion Principle.

(8 marks)

4. (a) With the aid of an energy level diagram, explain the Zeeman Effect.

(6 marks)

- (b) If the magnetic potential energy of an atom in a magnetic field is given by

$$U_m = \left( \frac{e}{2m} \right) LB \cos \theta$$

Show that the frequency of spectral splitting is given by

$$\Delta \nu = m_l \frac{eB}{4\pi m}$$

when  $B$  is the magnetic field,  $m_l$  is magnetic quantum number,  $m$  is electron mass and  $e$  is electronic charge.

(8 marks)

- (c) A sample of certain element is placed in a 0.30 Tesla magnetic field and suitably excited. How far apart are the Zeeman component of the 450 nm spectral line of this element?

$$\begin{aligned} e &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \\ \epsilon_0 &= 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m} \\ c &= 3.0 \times 10^8 \text{ m/s} \\ m_e &= 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg} \\ \hbar &= 1.054 \times 10^{-34} \text{ Js} \end{aligned}$$

(6 marks)

5. Write a short essay on any **TWO** of the following topics.

- (a) Rutherford and Bohr models of an atom
- (b) Spin and Stern-Gerlach experiment
- (c) The operation of LASER
- (d) Frank-Hertz experiment and the existence of energy levels in an atom
- (e) Selection rules
- (f) Electron probability density
- (g) The periodic table

(20 marks)

**Jawab SEMUA soalan.**

1. (a) Dengan menggunakan model planet atom hidrogen, tunjukkan bahawa jumlah tenaga atom ialah

$$E = \frac{-e^2}{8\pi\epsilon_0 r}$$

di mana  $e$  ialah cas elektron,  $\epsilon_0$  ialah ketulusan ruang dan  $r$  ialah jejari atom.

(8 markah)

- (b) Eksperimen menunjukkan bahawa jumlah tenaga sebanyak 13.6 eV diperlukan untuk mengasingkan proton dan elektron. Cari jejari orbit atom hidrogen dan halaju elektron.

(4 markah)

- (c) Dengan bantuan rajah yang sesuai, jelaskan asal usul spektra garisan.

(4 markah)

- (d) Jarak gelombang terpanjang untuk siri Lyman ialah 1215 Å. Kira pemalar Rydberg.

(4 markah)

2. (a) Jelaskan bagaimana nombor kuantum boleh diperolehi dengan menggunakan rawatan kuantum ke atas atom hidrogen. Bagaimana nombor-nombor kuantum ini berbeza dengan nombor kuantum model Bohr?

(4 markah)

- (b) Komponen jejarian persamaan Schrödinger diberikan oleh

$$\frac{dR}{dr} = \left( \frac{2}{a_0^{5/2}} \right) e^{-r/a_0}$$

Jika fungsi ternormal untuk  $n=1, l=0$  and  $m_l=0$  ialah

$$R = \frac{2}{a_0^{3/2}} e^{-r/a_0}$$

tunjukkan bahawa tenaga keadaan dasar elektron diberikan oleh

$$E_1 = -\frac{me^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2}$$

di mana  $m$  ialah nombor kuantum magnet,  $e$  ialah cas elektron,  $\epsilon_0$  ialah ketulusan ruang dan  $\hbar$  is pemalar Planck.

(12 markah)

- (c) Nyatakan nombor kuantum asas, nombor kuantum sudut orbitan dan nombor kuantum magnetik untuk keadaan  $3f$  dan  $4f$  atom hidrogen.

(4 markah)

3. (a) Dengan mengambil kira pintasan klasik elektron, jelaskan tenaga interaksi gandingan momentum sudut orbital,  $l$  dan momentum sudut spin,  $s$ . Jelaskan fenomena fizikal yang boleh dilihat secara eksperimen yang dihasilkan daripada tenaga interaksi ini.

(8 markah)

- (b) Dengan menggunakan petua Hund, bina konfigurasi elektron berasaskan petala K, L, M, .... dan sub-petala s, p, d... untuk  ${}_{26}\text{Fe}$ . Jelaskan sifat-sifat fizikal yang diperolehi oleh unsur ini hasil daripada konfigurasi yang dibina.

(4 markah)

- (c) Nyatakan Prinsip Eksklusif Pauli. Dengan mempertimbangkan dua zarah yang seiras, tidak boleh dibezakan dan bertindak balas, terbitkan Prinsip Eksklusif Pauli.

(8 markah)

4. (a) Dengan bantuan rajah paras tenaga, jelaskan Kesan Zeeman.

(6 markah)

- (b) Jika tenaga keupayaan atom dalam medan magnet diberikan oleh

$$U_m = \left( \frac{e}{2m} \right) LB \cos \theta$$

Tunjukkan bahawa frekuensi pemecahan spektra diberikan oleh

$$\Delta \nu = m_l \frac{eB}{4\pi m}$$

di mana B ialah medan magnet,  $m_l$  ialah nombor kuantum magnet,  $m$  ialah jisim elektron dan  $e$  ialah cas elektron.

(8 markah)

- (c) Satu sampel yang terdiri daripada satu unsur diletakkan di bawah 0.30 Tesla medan magnet dan teruja. Berapakah jarak komponen Zeeman bagi spektra garisan 450 nm unsur ini?

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\hbar = 1.054 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

(6 markah)

5. Tulis karangan ringkas untuk **DUA** tajuk-tajuk berikut.

- (a) Model atom Rutherford dan Bohr
- (b) Ujikaji spin dan Stern-Gerlach
- (c) Operasi LASER
- (d) Ujikaji Frank-Hertz dan kewujudan paras tenaga dalam atom
- (e) Petua pilihan
- (f) Kebarangkalian ketumpatan elektron
- (g) Jadual berkala

(20 markah)