中六物理練習卷：放射現象、半衰期與核能

物理　|　時限：75 分鐘　|　總分：100 分　|　共 24 題

第一部分：放射衰變的種類與輻射探測（16 分）

實驗桌上放着三個未標明的放射源，分別發出 α、β 及 γ 輻射，另有薄紙、3 mm 厚鋁板、25 mm 厚鉛磚和一個蓋革－米勒計數器。

1. (a) 比較三種輻射的本質、電荷及穿透本領。（4 分）

答案：答案：α 輻射是氦核（兩個質子與兩個中子），電荷 +2e，一張薄紙已可阻擋；β 輻射是高速電子（或正電子），電荷 −1e，需數毫米鋁板才明顯衰減；γ 輻射是高能光子，不帶電，需厚鉛或混凝土才顯著減弱。空氣中的射程依次為數厘米、數米與數百米以上。評分：本質 2 分、電荷 1 分、穿透本領 1 分。

2. (b) 把射線導入指向紙面向內的均勻磁場，說明 α 與 β 粒子的偏轉方向有何不同，並指出哪一種射線不偏轉。（4 分）

答案：答案：α 粒子帶正電，β 粒子帶負電，兩者以相同方向進入同一磁場時所受磁力方向相反，故偏向相反的兩側；α 粒子質量大，偏轉半徑明顯較大，軌跡彎曲較小。γ 射線不帶電，不受磁力作用，完全不偏轉。評分：電荷相反與方向相反 2 分、半徑與質量 1 分、γ 不偏轉 1 分。

3. (c) 解釋為何量度樣本前必須先量背景輻射，並說明如何處理讀數。（4 分）

答案：答案：背景輻射來自宇宙射線、岩石與建築材料的天然放射性核素，以及儀器與周圍環境；若不扣除，樣本計數率會偏高。做法是先在不放樣本的情況下量度數分鐘，取平均背景計數率，再由樣本計數率減去。由於放射性衰變是隨機過程，重複讀數會有漲落，故需多次量度取平均，並以計數的不確定度（約為計數值的平方根）表示準確程度。評分：背景來源 2 分、扣除方法 1 分、隨機漲落與不確定度 1 分。

4. (d) 一個氡-222 核放出一個 α 粒子。寫出核反應方程式，並用質量數與原子序數守恆說明之。（4 分）

答案：答案：Rn-222 衰變為 Po-218 並放出 He-4，即 Rn-222（原子序 86）→ Po-218（原子序 84）＋ He-4（原子序 2）。質量數：222 = 218 + 4；原子序數：86 = 84 + 2，兩者均守恆。評分：產物正確 1 分、方程式 2 分、守恆說明 1 分。

第二部分：活度、半衰期與指數衰變（17 分）

某放射源的初始活度為 6400 Bq，半衰期為 5.0 天。（取 ln 2 = 0.693）

5. (a) 20 天後該源的活度為多少？（4 分）

答案：答案：20 天等於 5.0 天 × 4，即 4 個半衰期。活度 = 6400 ÷ 2^4 = 6400 ÷ 16 = 400 Bq。評分：半衰期數目 1 分、算式 2 分、數值及單位 1 分。

6. (b) 活度降至 200 Bq 需時多少天？（4 分）

答案：答案：6400 ÷ 200 = 32 = 2^5，即 5 個半衰期。時間 = 5 × 5.0 天 = 25 天。評分：比例 1 分、半衰期數目 1 分、時間及單位 2 分。

7. (c) 在 (a) 的時刻，樣本中未衰變的放射性核數目約為多少？（5 分）

答案：答案：半衰期以秒計 = 5.0 × 86400 = 432000 s；衰變常數 λ = 0.693 ÷ 432000 = 1.60 × 10^-6 s^-1；由 A = λN 得 N = A ÷ λ = 400 ÷ 1.60 × 10^-6 = 2.49 × 10^8。評分：換算秒數 1 分、λ 1 分、公式 1 分、代數與數值 2 分。

8. (d) 兩個不同核素的活度相同，是否代表核數目相同？試加以解釋。（4 分）

答案：答案：不一定。由 A = λN，同一活度下 N 與 λ 成反比；λ = ln 2 ÷ 半衰期，半衰期長的核素 λ 較小，故要有較多核數目才產生相同活度。例如半衰期相差 100 倍，原子核數目便相差約 100 倍。評分：指出不一定 1 分、引用 A = λN 1 分、λ 與半衰期的反比關聯 1 分、例子或數值說明 1 分。

第三部分：質量虧損、結合能與核穩定度（17 分）

已知質子質量 1.007276 u、中子質量 1.008665 u、氦-4 原子核質量 4.001506 u、1 u 對應 931.5 MeV。

9. (a) 求氦-4 原子核的質量虧損（以 u 表示）。（5 分）

答案：答案：兩個質子與兩個中子的總質量 = 2 × 1.007276 + 2 × 1.008665 = 4.031882 u；質量虧損 = 4.031882 − 4.001506 = 0.030376 u。評分：核子總質量 2 分、相減 1 分、數值 2 分。

10. (b) 求該核的結合能（MeV）及每核子結合能。（5 分）

答案：答案：結合能 = 0.030376 × 931.5 = 28.30 MeV；每核子結合能 = 28.30 ÷ 4 = 7.07 MeV。評分：結合能算式 2 分、數值 1 分、每核子計算 2 分。

11. (c) 用 E = mc² 計算 1 u 所對應的能量，以焦耳表示。（取 c = 3.00 × 10^8 m s^-1，1 u = 1.66 × 10^-27 kg）（3 分）

答案：答案：E = 1.66 × 10^-27 kg × (3.00 × 10^8 m s^-1)^2 = 1.49 × 10^-10 J。評分：代入 1 分、平方 1 分、數值與單位 1 分。

12. (d) 解釋為何核融合只在輕核之間放能，而核裂變只在重核發生時放能。（4 分）

答案：答案：每核子結合能在鐵-56 附近達到最大，即該處核最穩定。輕核融合後產物的每核子結合能上升，多餘能量以動能放出；重核裂變後的碎片同樣更接近該峰值，故亦放能。相反，鐵-56 再融合或再分裂都會令每核子結合能下降，過程需吸收能量。評分：峰值位置 2 分、兩個方向各 1 分。

第四部分：核裂變與核融合的能量比較（17 分）

已知氘核 2.014102 u、氚核 3.016049 u、氦-4 原子核 4.002603 u、中子 1.008665 u，1 u 對應 931.5 MeV、1 MeV 對應 1.602 × 10^-13 J；一次鈾-235 裂變約放出 200 MeV，涉及 235 個核子加一個中子。

13. (a) 考慮反應 氘 + 氚 → 氦-4 + 中子，求每次反應放出的能量（MeV）。（5 分）

答案：答案：反應物質量 = 2.014102 + 3.016049 = 5.030151 u；產物質量 = 4.002603 + 1.008665 = 5.011268 u；質量虧損 = 5.030151 − 5.011268 = 0.018883 u；能量 = 0.018883 × 931.5 = 17.59 MeV。評分：兩邊質量 2 分、虧損 1 分、能量 2 分。

14. (b) 把 (a) 的能量換算為焦耳。（4 分）

答案：答案：17.59 MeV × 1.602 × 10^-13 J MeV^-1 = 2.82 × 10^-12 J。評分：換算因子 2 分、數值 1 分、單位 1 分。

15. (c) 分別求核融合與核裂變的每核子放能，並比較兩者。（5 分）

答案：答案：核融合每次涉及 5 個核子，每核子 = 17.59 ÷ 5 = 3.52 MeV；核裂變每次涉及 236 個核子，每核子 = 200 ÷ 236 = 0.85 MeV。兩者相除 = 3.52 ÷ 0.85 = 4.2，故以每核子計，核融合放能約為核裂變的 4.2 倍。評分：兩個每核子值各 2 分、比較 1 分。

16. (d) 指出實現受控核融合的兩項主要困難。（3 分）

答案：答案：兩核都帶正電，必須克服庫侖勢壘，故要極高溫（約 10^8 K）令燃料成為等離子體；同時需足夠的約束時間與密度（如磁約束或慣性約束）才能令放出的能量多於維持反應所耗的能量。評分：庫侖勢壘與高溫 2 分、約束或淨能量增益 1 分。

第五部分：輻射劑量、防護與應用（16 分）

一名病人接受檢查時吸收了 0.030 J 的 γ 輻射能量，受照射組織質量 2.0 kg。γ 輻射的輻射權重因子為 1，α 輻射為 20。

17. (a) 求病人所受的吸收劑量，以 mGy 表示。（5 分）

答案：答案：吸收劑量 = 能量 ÷ 質量 = 0.030 J ÷ 2.0 kg = 0.015 Gy = 15 mGy。評分：公式 2 分、代入 1 分、換算 mGy 2 分。

18. (b) 求 γ 輻射的等效劑量；若同一吸收劑量由 α 輻射造成，等效劑量為多少？（4 分）

答案：答案：等效劑量 = 吸收劑量 × 權重因子。γ：15 mGy × 1 = 15 mSv；α：15 mGy × 20 = 300 mSv，即為 γ 的 20 倍，顯示同一吸收劑量下 α 輻射的生物損害明顯較大。評分：γ 值 1 分、α 值 2 分、比較 1 分。

19. (c) 在沒有屏蔽的情況下，距離由 0.50 m 增至 1.50 m，輻射強度變為原來的幾分之幾？（3 分）

答案：答案：點源遵循平方反比定律，強度比 = (1.50 ÷ 0.50)^2 = 9，故強度變為原來的 1/9。評分：平方反比 1 分、計算 1 分、答案 1 分。

20. (d) 說明輻射防護的三項基本原則，並舉一個醫療應用例子說明如何權衡利弊。（4 分）

答案：答案：三項原則為縮短受照射時間、增加與源的距離、加設適當屏蔽。醫療例子：X 射線攝影與放射治療利用輻射作診斷或治療，須以最低合理可行的劑量達到目的（劑量盡量低原則），並由醫護人員評估診斷或治療效益是否大於輻射風險。評分：三項原則 2 分、例子 1 分、權衡說明 1 分。

第六部分：碳-14 定年與放射衰變的應用（17 分）

碳-14 的半衰期為 5730 年。活着的生物體內碳-14 活度維持在 A0，死亡後不再補充，活度按指數規律下降。（取 ln 2 = 0.693）

21. (a) 某樣本的碳-14 活度為 0.25 A0，求其年齡。（5 分）

答案：答案：0.25 = 1/4 = (1/2)^2，即經過 2 個半衰期。年齡 = 2 × 5730 年 = 11460 年。評分：認出 2 個半衰期 2 分、計算 2 分、單位 1 分。

22. (b) 解釋為何碳-14 定年不適用於上千萬年的樣本。（4 分）

答案：答案：活度隨時間指數衰減，經過十個半衰期（約 57300 年）後只剩約千分之一的活度；再久便低於背景輻射的漲落，計數率無法與背景區分，相對不確定度極大，故不能給出可靠年齡。評分：指數衰減 1 分、活度低於背景 2 分、不確定度或儀器極限 1 分。

23. (c) 另一樣本的活度為 0.35 A0。用衰變常數 λ = ln 2 ÷ 半衰期 求其年齡。（5 分）

答案：答案：λ = 0.693 ÷ 5730 = 1.21 × 10^-4 年^-1；由 A = A0 e^(−λt) 得 t = ln(A0 ÷ A) ÷ λ = ln(1 ÷ 0.35) ÷ 1.21 × 10^-4 = 1.050 ÷ 1.21 × 10^-4 = 8679 年。評分：λ 1 分、取對數 2 分、代數 1 分、答案與單位 1 分。

24. (d) 列出使用碳-14 定年時需要接受的兩個假設。（3 分）

答案：答案：一是認為大氣中碳-14 的濃度在樣本生存期間大致恆定，故 A0 可用現代同類生物的值代入；二是認為樣本自死亡後與外界沒有碳交換，屬封閉系統（另可指出忽略同位素分餾效應）。評分：每個假設 1.5 分，答對兩個得 3 分。

TutorZone 物理練習卷｜題目與文章為原創，並非任何學校或出版社的教材。