中六物理練習卷：放射衰變、核能與輻射安全

中六（S6）　物理　｜　時限：75 分鐘　｜　總分：100 分　｜　共 12 題

甲部：放射衰變與半衰期（4 題 25 分）

放射衰變：α 衰變使質量數減 4、原子序減 2；β⁻ 衰變質量數不變、原子序加 1；γ 發射只放出能量。寫核反應式時要同時核對質量數與原子序的守恆。

1. 解釋 α 粒子、β 粒子與 γ 射線三者的本質，並比較它們的電荷、穿透能力與電離能力（每項各一句）。

答案：α 粒子是氦原子核（2 個質子加 2 個中子），帶 +2 電荷，穿透力最弱（一張紙或幾厘米空氣已阻擋），但電離能力最強。β 粒子是高速電子，由核內中子衰變放出，帶 −1 電荷，穿透力中等（幾毫米鋁片可阻擋），電離能力中等。γ 射線是波長極短的電磁波，不帶電，穿透力最強（需厚鉛或厚混凝土），電離能力最弱。

2. 寫出下列核反應的完整方程式，要標明質量數與原子序：(a) 鈾-238 放出 α 粒子；(b) 碳-14 放出 β 粒子；(c) 氮-14 受 α 粒子撞擊後放出一個質子。

答案：(a) U-238 → Th-234 + α：質量數 238 = 234 + 4，原子序 92 = 90 + 2。(b) C-14 → N-14 + β⁻ + 反微中子：質量數 14 不變，原子序由 6 升至 7。(c) N-14 + α → O-17 + p：質量數 14 + 4 = 17 + 1，原子序 7 + 2 = 8 + 1。三式都要核對兩邊質量數與原子序總和相等。

3. 什麼是放射性核素的半衰期？(a) 用衰變常數說明半衰期與衰變快慢的關係；(b) 一個樣本經過 4 個半衰期後，未衰變的原子核佔原本的幾分之幾？(c) 半衰期會不會因溫度、壓力或化學狀態而改變？解釋。

答案：(a) 半衰期 t½ 是放射性原子核數目（或活度）減至原本一半所需的時間，與衰變常數的關係為 t½ = ln2 / λ；λ 越大衰變越快，半衰期越短。(b) 每過一個半衰期剩一半，4 個半衰期後剩 (1/2)^4 = 1/16。(c) 不會改變。核衰變源自原子核內部的不穩定結構，是隨機的核過程，與外界溫度、壓力、化學狀態無關，故半衰期是每種核素的固定特徵。

4. 某放射性樣本初時活度為 800 Bq，半衰期 5 日。(a) 求 15 日後的活度；(b) 求活度首次低於 50 Bq 所需的最短時間；(c) 說明「活度」與「劑量」的分別。

答案：(a) 15 日 = 15 ÷ 5 = 3 個半衰期，活度 = 800 × (1/2)^3 = 100 Bq。(b) 由 800 降至 50 Bq 需 800 ÷ 50 = 16 倍，即 4 個半衰期 = 20 日；20 日時剛好是 50 Bq，要「低於」50 Bq 故需略多於 20 日（4 個半衰期以上）。(c) 活度是每秒衰變次數（Bq），描述放射源本身；劑量（Gy、Sv）描述物質或人體吸收輻射後的效果，同一活度的源在不同距離與不同屏蔽下可造成很不同的劑量。

乙部：核反應、結合能與核能（4 題 33 分）

半衰期與衰變：$t_{1/2} = \ln 2 / \lambda$，$A = \lambda N$。每過一個半衰期未衰變的核數減半，n 個半衰期後剩 (1/2)^n。計算時 λ 與時間的單位要一致，並留意題目問「低於」時要取超過整數個半衰期的答案。

5. 鈷-60 的半衰期為 5.27 年，某樣本含 1.0 × 10^18 個鈷-60 原子核。(a) 求衰變常數 λ（以 y^{-1} 計）；(b) 用 A = λN 求活度（以 Bq 計）；(c) 解釋為何 10 年後活度不是零。

答案：(a) $\lambda = \ln 2 \div t_{1/2} = 0.693 \div 5.27$ 年 $= 0.132\ y^{-1}$。(b) 換成 SI：$\lambda = 0.132 \div (365.25 \times 24 \times 3600) = 4.2 \times 10^{-9}\ s^{-1}$，故 $A = \lambda N = 4.2 \times 10^{-9} \times 1.0 \times 10^{18} = 4.17 \times 10^{9}$ Bq。(c) 10 年約等於 10 ÷ 5.27 = 1.9 個半衰期，仍有約 (1/2)^1.9 ≈ 27% 原子核未衰變，活度約為原本四分之一；衰變是隨機過程，不會在某一固定時間全部停止。

6. 氦-4 原子核的質量虧損為 0.0304 u，已知 1 u 相當於 931.5 MeV。(a) 求氦-4 的結合能（MeV）；(b) 求每核子結合能；(c) 解釋為何每核子結合能越大，原子核越穩定。

答案：(a) 結合能 = 質量虧損 × 931.5 = 0.0304 × 931.5 = 28.3 MeV。(b) 氦-4 有 4 個核子，每核子結合能 = 28.3 ÷ 4 = 7.08 MeV。(c) 每核子結合能是把一個核子從核中移走所需的平均能量，數值越大表示核子束縛越緊、分開越難，故核越穩定；此值在鐵-56 附近最大（約 8.8 MeV），故重核裂變與輕核融合都會放能。

7. 比較核裂變與核融合：(a) 兩者分別涉及什麼核？(b) 各舉一個反應式；(c) 兩者同樣靠質量虧損放能，為何都會放出能量？(d) 為何核融合在地球上難以持續進行？

答案：(a) 裂變是一個重核（如 U-235、Pu-239）分裂成兩個較輕的核；融合是兩個很輕的核（如氘與氚）結合成較重的核。(b) 裂變：U-235 + n → Ba-141 + Kr-92 + 3n；融合：H-2 + H-3 → He-4 + n。(c) 兩者生成物的每核子結合能都比反應物高，總質量減少，減少的質量按 $E = mc^2$ 轉為能量放出。(d) 兩個核都帶正電，需極高溫度（約 10^8 K）才有足夠動能克服靜電排斥，並要長時間約束高溫等離子體（磁約束或慣性約束）；目前輸入能量仍高於輸出，故難以持續發電。

8. 鈾-235 每次裂變平均放出 200 MeV（1 eV = 1.6 × 10^{-19} J）。(a) 求 1 克鈾-235 完全裂變放出的能量 (J)；(b) 已知 1 kWh = 3.6 × 10^{6} J，求相當於多少 kWh；(c) 說明反應堆中減速劑與控制棒的作用。

答案：(a) 摩爾數 = 1 ÷ 235 mol，核數 = (1/235) × 6.02 × 10^23 = 2.56 × 10^21 個；每次裂變 200 MeV = 200 × 1.6 × 10^{-19} = 3.2 × 10^{-11} J；總能量 = 2.56 × 10^21 × 3.2 × 10^{-11} = 8.20e+10 J。(b) 8.20e+10 ÷ 3.6 × 10^{6} = 2.28e+04 kWh，約 2.3 × 10^4 kWh，相當於燃燒數噸煤。(c) 減速劑（水、石墨）把快中子減速為熱中子，提高引發 U-235 裂變的機會；控制棒（硼、鎘）吸收中子，插入越深吸收越多，用以調節反應速率、防止失控。

丙部：輻射安全、劑量與應用評估（4 題 42 分）

核能與劑量：結合能 = 質量虧損 × 931.5 MeV，每核子結合能越大核越穩定；裂變與融合都因生成物結合能較高而放能。吸收劑量 D = E/m（Gy），等效劑量 H = D × 輻射加權因數（Sv）。

9. 輻射安全：(a) 使用 γ 射源時寫出三項防護措施並各說明理由；(b) 為何處理 γ 射源要用鉛而不用紙？(c) 舉出兩個背景輻射來源；(d) 說明蓋革計數器與雲霧室的分別。

答案：(a) ①縮短接觸時間，因劑量與曝露時間成正比；②增加距離，因輻射強度按距離平方反比下降；③加厚屏蔽（鉛、混凝土）吸收光子；另可佩戴個人劑量計監測累積劑量。(b) γ 射線不帶電、穿透力極強，紙或鋁片幾乎不吸收；鉛原子序高、密度大，對光子的吸收與散射截面大，幾厘米厚已能大幅衰減。(c) 氡氣等天然放射性氣體（花崗岩、土壤）、宇宙射線（尤其高空）、醫療 X 光及核試或事故的落塵。(d) 蓋革計數器把每個游離事件放大成電脈衝，可測計數率與劑量率，但不能分辨粒子種類與能量；雲霧室顯示粒子徑跡，可觀察 α、β 徑跡的長短與彎曲，屬定性觀察。

10. 一名工作人員的 0.50 kg 組織吸收了 0.020 J 的 β 輻射能量。(a) 求吸收劑量（Gy 及 mGy）；(b) β 的輻射加權因數為 1，求等效劑量（Sv）；(c) 若同一能量由 α 輻射（加權因數 20）吸收，等效劑量是多少？並解釋差別。

答案：(a) 吸收劑量 = 能量 ÷ 質量 = 0.020 ÷ 0.50 = 0.040 Gy = 40 mGy。(b) 等效劑量 = 吸收劑量 × 加權因數 = 0.040 × 1 = 0.040 Sv（即 40 mSv）。(c) 同一能量由 α 吸收：0.040 × 20 = 0.80 Sv。α 粒子質量大、電荷高，沿途密集電離，破壞 DNA 的效率遠高於 β，故加權因數大 20 倍；但 α 穿透力極弱，主要風險在吸入或攝入體內。

11. 碳-14 的半衰期為 5730 年，活樹木體內的碳-14 與大氣保持平衡，生物死亡後不再補充。(a) 某古代木器的碳-14 活度只有活木的 25%，求其年齡；(b) 寫出所用公式；(c) 說明此定年法的兩個限制。

答案：(a) 25% = (1/2)^2，表示經過 2 個半衰期，年齡 = 2 × 5730 = 11460 年。(b) $A = A_0\ (1/2)^{(t/t_{½})}$，故 $t = (t_{½} \div \ln 2) \times \ln(A_0 / A) = (5730 \div 0.693) \times \ln 4 = 11460$ 年。(c) 限制：①只適用於含碳的有機殘骸，不能定年岩石；②有效範圍約 5 萬年，樣本太舊時殘餘活度太低、誤差極大；③受現代碳或地下水污染會使結果偏年輕，須先校正。

12. 核能發電的評估：(a) 寫出兩項優點與兩項缺點，每項一句；(b) 說明高放射性廢料為何要深埋地質處置；(c) 寫出現代反應堆三項安全設計及其作用；(d) 就香港情況，你認為應否大幅增加核電比例？用兩個理由支持立場。

答案：(a) 優點：①發電不排二氧化碳與二氧化硫，空氣污染遠少於燃煤；②能量密度極高，1 克鈾-235 相當於數噸煤，燃料運輸與儲存成本低。缺點：①嚴重事故會釋放大量放射性物質，影響範圍廣且清理困難；②高放射性廢料含長壽命核素，需長期監管與處置，選址困難。(b) 長壽命核素的放射性要數萬年才降至安全水平，故廢料先玻璃固化，再以金屬與混凝土容器多層包封，埋於數百米深的穩定岩層，用多重屏障隔離地下水與生物圈，並長期監測。(c) ①控制棒吸收中子，調節反應速率；②多重獨立冷卻系統與應急電源，停堆後仍能帶走餘熱；③厚混凝土安全殼把放射性物質封在廠內，可承受事故壓力；④負溫度反應性係數令溫度上升時反應自動減弱。(d) 立場示例：支持小幅增加，因核電不排碳、供電穩定，可替代部分煤電；反對大幅增加，因香港無合適廠址與廢料處置途徑，且人口稠密，事故成本極高，應優先發展再生能源與區域合作。

TutorZone 中六（S6）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。