

HKDSE 物理練習卷

中六 (DSE) 物理 | 時限：60 分鐘 | 總分：100 分 | 共 30 題

甲部 天文學和航天科學 (30 分)

每題 2 分，選出最適合的答案。

1. 地球半徑為 R ，地表重力場強度為 9.8 N kg^{-1} 。距離地心 $2R$ 處的重力場強度是多少？

答案：重力場強度與距離平方成反比： $g \propto 1/r^2$ 。距離由 R 變 $2R$ ，場強變為 $1/4$ ，即 $9.8 \div 4 = 2.45 \text{ N kg}^{-1}$ (約 2.5)。(2 分)

2. 一枚衛星在離地 400 km 的圓軌道上運行 (地球半徑 $6.37 \times 10^6 \text{ m}$ ， $GM = 3.98 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$)。它的軌道速率最接近以下哪一項？

答案： $r = 6.37 \times 10^6 + 4.0 \times 10^5 = 6.77 \times 10^6 \text{ m}$ ； $v = \sqrt{GM/r} = \sqrt{(3.98 \times 10^{14} \div 6.77 \times 10^6)} \approx 7.67 \times 10^3 \text{ m s}^{-1}$ (約 7.7 km s^{-1})。(2 分)

3. 承上題，該衛星的週期最接近以下哪一項？

答案： $T = 2\pi r/v = 2\pi \times 6.77 \times 10^6 \div 7669 \approx 5.55 \times 10^3 \text{ s} \approx 92.4 \text{ 分鐘}$ 。(2 分；只寫「約 1.5 小時」給 1 分。)

4. 兩枚衛星繞同一行星作圓軌道運行，軌道半徑比為 $1:4$ 。它們的週期比是多少？

答案：克卜勒第三定律： $T^2 \propto r^3$ ，所以 $T \propto r^{3/2}$ 。半徑變 4 倍 $\rightarrow$ 週期變 $4^{3/2} = 8$ 倍，即 $1:8$ 。(2 分；只寫 $T^2 \propto r^3$ 給 1 分。)

5. 地球表面的環繞速率約 7.9 km s^{-1} 。由地球表面發射的逃逸速度約是多少？

答案： $v_{\text{esc}} = \sqrt{2GM/R} = \sqrt{2} \times v_{\text{orb}} = 1.414 \times 7.9 \approx 11.2 \text{ km s}^{-1}$ 。(2 分)

6. 一位質量 60 kg 的太空人在月球表面 (月球 $g = 1.62 \text{ N kg}^{-1}$)。他的重量是多少？

答案： $W = mg = 60 \times 1.62 = 97.2 \text{ N}$ (約 97 N)。質量不變，重量變小是因為月球 g 較小。(2 分)

7. 一顆恆星的視差為 0.04 角秒。它距離地球多遠？

答案： $d(\text{pc}) = 1 / p(\text{arcsec}) = 1 \div 0.04 = 25 \text{ pc}$ ，即 $25 \times 3.26 \approx 81.5 \text{ 光年}$ 。(2 分；只寫公式給 1 分。)

8. 一顆恆星的視星等為 8，絕對星等為 3。它的距離是多少？

答案： $m - M = 5 \log(d/10) \rightarrow 8 - 3 = 5 = 5 \log(d/10) \rightarrow d/10 = 10^{1.0} = 10 \rightarrow d = 100 \text{ pc}$ 。(2 分)

9. 哈伯常數取 $70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ 。一個距離 200 Mpc 的星系，退行速率是多少？

答案： $v = H_0 d = 70 \times 200 = 14000 \text{ km s}^{-1}$ (即 $1.4 \times 10^4 \text{ km s}^{-1}$)。(2 分)

10. 某星系的靜止波長為 486 nm 譜線被觀測到在 495.7 nm。它退行速率是多少 (取 $c = 3.0 \times 10^5 \text{ km s}^{-1}$)？

答案： $z = \Delta\lambda/\lambda_0 = 9.72 / 486 = 0.020$ ； $v = zc = 0.020 \times 3.0 \times 10^5 \approx 6000 \text{ km s}^{-1}$ 。(2 分)

11. 一座口徑 0.20 m 的望遠鏡觀測波長 550 nm 的光。它的角解像度 (以 rad 為單位) 約是多少？

答案： $\theta = 1.22\lambda/D = 1.22 \times 550 \times 10^{-9} \div 0.20 \approx 3.35 \times 10^{-6} \text{ rad}$ (約 0.69 角秒)。(2 分)

12. 兩座望遠鏡口徑分別為 0.30 m 和 0.06 m。大口徑望遠鏡的集光力是細口徑的多少倍？

答案：集光力與口徑平方成正比： $(0.30 \div 0.06)^2 = 5^2 = 25$ 倍。(2 分)

13. 一顆恆星表面溫度約 5800 K。維恩定律 $\lambda_{\text{max}} = 2.9 \times 10^{-3} / T$ ，它的輻射峰值波長約是多少？

答案： $\lambda_{\text{max}} = 2.9 \times 10^{-3} \div 5800 = 5.0 \times 10^{-7} \text{ m} = 500 \text{ nm}$ (可見光)。(2 分)

14. 兩顆恆星半徑相同，但其中一顆表面溫度是另一顆的 2 倍。溫度較高者的光度是較低者的多少倍？

答案： $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$ ，半徑相同 $\rightarrow L \propto T^4 \rightarrow 2^4 = 16$ 倍。(2 分；只寫 $L \propto T^4$ 給 1 分。)

15. 下列哪一項是地球同步衛星的必要條件？

答案：週期必須等於地球自轉週期 (約 24 小時)、軌道平面須與赤道面重合、並由西向東運行，三者同時成立衛星才會相對地面靜止。(2 分；只答「週期 24 小時」給 1 分。)

乙部 原子世界 (20 分)

每題 2 分，選出最適合的答案。

16. 波長 500 nm 的光子能量是多少？

答案： $E = hc/\lambda = 6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8 \div 500 \times 10^{-9} = 3.98 \times 10^{-19} \text{ J} = 2.49 \text{ eV}$ 。(2 分)

17. 某金屬的底限波長為 620 nm。它的逸出功是多少？

答案： $\phi = hc/\lambda_0 = 6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8 \div 620 \times 10^{-9} = 3.21 \times 10^{-19} \text{ J} = 2.01 \text{ eV}$ 。(2 分)

18. 能量 3.10 eV 的光子射向逸出功 2.00 eV 的金屬。光電子的最大動能是多少？

答案： $KE_{\max} = hf - \phi = 3.10 - 2.00 = 1.10 \text{ eV}$ 。(2 分)

19. 承上題，遏止電壓 (stopping potential) 是多少？

答案：遏止電壓以伏特計，數值等於最大動能以 eV 計的數值：1.10 V。(2 分)

20. 在光電效應實驗中，入射光頻率不變而光強加倍，下列哪項正確？

答案：光強加倍 = 每秒光子數加倍 → 飽和光電流加倍；但每個光子能量不變，所以最大動能與遏止電壓不變。(2 分；只答「電流加倍」給 1 分。)

21. 電子經 200 V 電位差加速。它的德布羅意波長約是多少？

答案： $KE = 200 \text{ eV} = 3.2 \times 10^{-17} \text{ J}$ ； $p = \sqrt{2mKE} = 7.64 \times 10^{-24} \text{ kg m s}^{-1}$ ； $\lambda = h/p = 8.68 \times 10^{-11} \text{ m}$ 。(2 分；漏用 $\sqrt{2mKE}$ 而只寫 h/p 給 1 分。)

22. 氫原子由 $n = 3$ (-1.51 eV) 躍遷到 $n = 2$ (-3.40 eV)。放出光子的波長約是多少？

答案： $\Delta E = -1.51 - (-3.40) = 1.89 \text{ eV} = 3.02 \times 10^{-19} \text{ J}$ ； $\lambda = hc/\Delta E = 658 \text{ nm}$ (紅光，巴耳末系)。(2 分)

23. 氫原子處於 $n = 2$ 狀態時，把它游離 (電子脫離原子) 需要多少能量？

答案：游離即升到 $E = 0 : 0 - (-3.40) = 3.40 \text{ eV}$ 。(2 分)

24. 氣體放電管產生線光譜而非連續光譜，這說明什麼？

答案：原子只能存在於某些不連續的能階；躍遷時放出固定能量差的光子，因此波長離散成線。(2 分；只答「能量量子化」給 1 分。)

25. 一個電子被限制在 $\Delta x = 1.0 \times 10^{-10} \text{ m}$ 的範圍內。由不確定原理 $\Delta x \cdot \Delta p \geq h/4\pi$ ，它的動量不確定度最少是多少？

答案： $\Delta p \geq h/(4\pi\Delta x) = 6.63 \times 10^{-34} \div (4\pi \times 1.0 \times 10^{-10}) = 5.28 \times 10^{-25} \text{ kg m s}^{-1}$ (相當於 $\Delta v \approx 5.8 \times 10^5 \text{ m s}^{-1}$)。(2 分)

丙部 結構題 (50 分)

回答下列各題，須列出算式、單位及方向 (如適用)。

26. 一枚通訊衛星在 $r = 4.2 \times 10^7 \text{ m}$ 的圓軌道上繞地球運行 ($GM = 3.98 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$)。(a) 求它的軌道速率。(4 分)(b) 求它的週期，並以小時表示。(4 分)(c) 解釋為何提供電視廣播的同步衛星必須位於赤道上方，且軌道半徑約此數值。(2 分)

答案：(a) $v = \sqrt{GM/r} = \sqrt{(3.98 \times 10^{14} \div 4.2 \times 10^7)} = 3.08 \times 10^3 \text{ m s}^{-1}$ 。(4 分；只寫公式給 2 分。)

(b) $T = 2\pi r/v = 2\pi \times 4.2 \times 10^7 \div 3079 = 8.57 \times 10^4 \text{ s} \approx 23.8 \text{ 小時}$ 。(4 分)

(c) 只有週期等於地球自轉週期 (約 24 小時) 且軌道在赤道面內，衛星才相對地面固定，天線不用追蹤；本題計得 23.8 小時，與 24 小時接近，故半徑約為此值。(2 分)

27. 一顆恆星的視差為 0.025 角秒，視星等為 5.0。(a) 求它與地球的距離 (以 pc 及光年表示)。(3 分)(b) 求它的絕對星等。(4 分)(c) 已知太陽的絕對星等為 4.8，比較兩者光度。(提示： $M_1 - M_2 = 2.5 \log(L_2/L_1)$) (3 分)

答案：(a) $d = 1/p = 1 \div 0.025 = 40 \text{ pc} = 40 \times 3.26 \approx 130 \text{ 光年}$ 。(3 分)

(b) $M = m - 5 \log(d/10) = 5.0 - 5 \log(40/10) = 5.0 - 5 \times 0.60 = 2.0$ 。(4 分；漏 log 給 1 分。)

(c) M 值越小越光亮： $2.0 < 4.8$ ，故該星較太陽光亮； $L/L_\odot = 10^{((4.8 - 2.0)/2.5)} \approx 13 \text{ 倍}$ 。(3 分)

28. 波長 400 nm 的光照射到逸出功 2.20 eV 的金屬表面。(a) 求入射光子的能量 (以 eV 表示)。(3 分)(b) 求光電子的最大動能 (以 eV 及 J 表示)。(3 分)(c) 求遏止電壓。(2 分)(d) 求該金屬的底限波長。(2 分)

答案：(a) $E = hc/\lambda = 6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8 \div 400 \times 10^{-9} = 4.97 \times 10^{-19} \text{ J} = 3.11 \text{ eV}$ 。(3 分)

(b) $KE_{\text{max}} = 3.11 - 2.20 = 0.91 \text{ eV} = 1.45 \times 10^{-19} \text{ J}$ 。(3 分；只寫 eV 給 2 分。)

(c) 遏止電壓 = 0.91 V。(2 分)

(d) $\lambda_0 = hc/\phi = 6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8 \div (2.20 \times 1.6 \times 10^{-19}) = 565 \text{ nm}$ 。入射波長 400 nm 短於此值，故有光電子。(2 分)

29. 電子經 1500 V 加速後射向晶體，產生繞射圖案。(a) 求電子的動能 (J)。(2 分)(b) 求電子的動量。(3 分)(c) 求電子的德布羅意波長。(3 分)(d) 解釋為何電子顯微鏡的解像度可以比光學顯微鏡高得多。(2 分)

答案：(a) $KE = eV = 1.6 \times 10^{-19} \times 1500 = 2.4 \times 10^{-16} \text{ J}$ 。(2 分)

(b) $p = \sqrt{(2mKE)} = \sqrt{(2 \times 9.11 \times 10^{-31} \times 2.4 \times 10^{-16})} = 2.09 \times 10^{-23} \text{ kg m s}^{-1}$ 。(3 分)

(c) $\lambda = h/p = 6.63 \times 10^{-34} \div 2.09 \times 10^{-23} = 3.17 \times 10^{-11} \text{ m}$ 。(3 分；此值與原子間距同量級，故晶體可產生繞射。)

(d) 解像度受波長限制 (約 λ)；電子波長 $3 \times 10^{-11} \text{ m}$ 遠短於可見光的 $5 \times 10^{-7} \text{ m}$ ，故可分辨更小的結構。(2 分)

30. 哈伯常數取 $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ($1 \text{ Mpc} = 3.09 \times 10^{22} \text{ m}$)。(a) 寫出哈伯定律，並求距離 100 Mpc 星系的退行速率。(2 分)(b) 以 $1/H_0$ 估算宇宙年齡 (以年表示)。(4 分)(c) 解釋星系紅移如何支持宇宙膨脹。(2 分)(d) 若 H_0 的實際值比 70 更大， $1/H_0$ 所估算的宇宙年齡會怎樣改變？(2 分)

答案：(a) $v = H_0 d$ ，故 $v = 70 \times 100 = 7000 \text{ km s}^{-1}$ 。(2 分)

(b) $H_0 = 70 \times 10^3 \div 3.09 \times 10^{22} = 2.27 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$ ； $t = 1/H_0 = 4.41 \times 10^{17} \text{ s} = 1.4 \times 10^{10} \text{ 年}$ 。(4 分；單位換算錯給 1 分。)

(c) 所有方向的星系譜線都向長波側移動，且距離越遠紅移越大，符合空間本身在膨脹、星系彼此遠離的圖像。(2 分)

(d) H_0 越大 $\rightarrow 1/H_0$ 越小 $\rightarrow$ 估算的宇宙年齡越小。(2 分)