原來題目

第七冊

複習題

取 $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J s、$e = 1.60 \times 10^{-19}$ C 和 $c = 3 \times 10^{8}$ m s^{-1}。其他物理常數可參考附錄。

選擇題

1. 波長為 570 nm 的黃光照射金屬表面後沒有發射光電子。從以上結果可得出下列哪些推論？

(1) 黃光的強度不足以使金屬表面發射光電子。

(2) 金屬的功函數大於 2.18 eV。

(3) 如果以波長為 470 nm 的藍光照射金屬表面，那麼金屬表面便會發射光電子。

A. 只有 (1)　　B. 只有 (2)

C. 只有 (1) 和 (3)　　D. 只有 (2) 和 (3)

2. 把頻率為 f 的紫外輻射照射到光電池的陰極上，光電池的功函數為 ϕ。若陰極發射一顆初動能為 K 的光電子，且該光電子最終能夠到達陽極，下列哪項關係**必定**正確？

A. $K = hf - \phi$　　B. $K \geq hf - \phi$

C. $K \geq hf + \phi$　　D. $K \leq hf - \phi$

3. 當輻射源 X 發出的紫外輻射射向金屬表面 S 時，S 會發射光電子。若在 S 和 X 之間放置玻璃片，下列哪項會減少？

(1) 從 X 發出的光子數目

(2) 每秒發射的光電子數目

(3) 金屬的功函數

A. 只有 (1)　　B. 只有 (2)

C. 只有 (1) 和 (3)　　D. 只有 (2) 和 (3)

4. 某波長的電磁輻射射向光電池的陰極，使陰極釋出光電子。下列哪幅線圖正確？

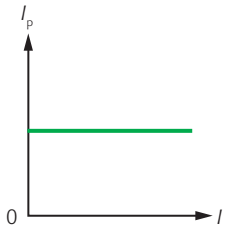
N = 光電池陰極每秒釋出的光電子數目

I = 輻射強度

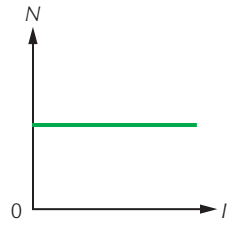
I_p = 光電流

V_s = 遏止電勢

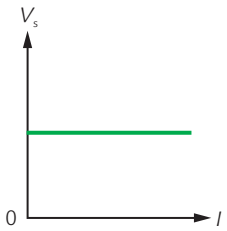
A.



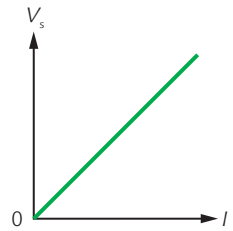
B.



C.



D.



5. 雪珠手上有數個光電池，這些光電池陰極的功函數各異。雪珠把相同強度但不同頻率的輻射束射向各光電池的陰極上。

光電池	功函數 / eV
P	2.8
Q	3.3
R	4.0

輻射	頻率 / 10^{14} Hz
X	9.0
Y	10.0
Z	11.0

下列哪個光電池和輻射的組合會產生最小的遏止電勢？

A. P 和 X　　B. P 和 Z

C. Q 和 X　　D. R 和 Y

6. 在一個研究光電效應的光電池實驗中，得到下表列出的數據。

光的波長 / nm	陰極的物料	功函數 / eV	光電流 / 10^{-12} A
320	鋁	4.1	0
320	鋰	2.3	1.0

若波長為 320 nm 的光照射到鋰上，釋出光電子的遏止電勢是多少？已知 hc = 1243 eV nm。

A. $\left(\frac{1243}{320} - 4.1\right)$ V　　B. $\left(\frac{1243}{320} - 2.3\right)$ V

C. 4.1 V　　D. 2.3 V

7. 一束紅光照射到光電池的陰極上，產生光電流。若改用強度相同但頻率較高的光束，以下的物理量會如何改變？假設發射的光電子跟吸收的光子之比不變。

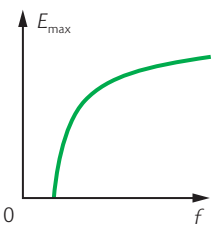
K_{avg}：光電子的**平均**動能
I：光電流的大小

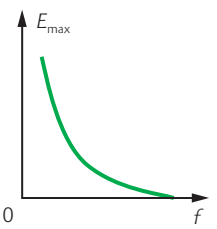
	K_{avg}	I
A.	增加	增加
B.	增加	保持不變
C.	增加	減少
D.	保持不變	減少

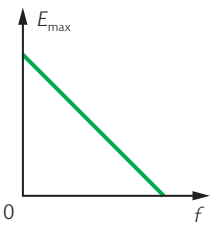
8. 一束藍色激光照射到光電池的陰極上，產生電子。現改用強度相同的綠色激光。以下哪項物理量會因而增加？假設發射的光電子跟吸收的光子之比不變。

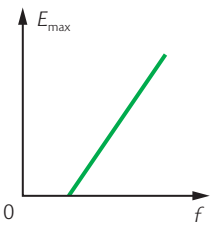
A. 光電子的最大動能
B. 每顆照射到陰極上的光子能量
C. 每秒照射到陰極上的光子數目
D. 遏止電勢的量值

9. **IB Higher Level Nov 2008** 頻率為 f 的光照射到一個潔淨的金屬表面時，所發射的電子的最大動能為 E_{max}。以下哪幅圖最能代表 E_{max} 隨 f 的變化？

A.


B.


C.


D.


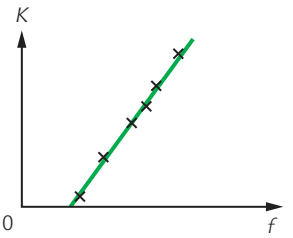
10. **IB Higher Level Nov 2009** 下列哪項有關光電效應的敘述是正確的？

A. 光電子發射是瞬時的。
B. 只有當入射光的波長大於某定值，才會有光電子釋出。
C. 釋出的電子所帶的能量受入射光的強度影響。
D. 釋出的電子所帶的能量與入射光的頻率無關。

11. **HKDSE 2012** 以能量為 7 eV 的光子照射光電池的陰極，發射出光電子的最大動能為 4 eV。當能量為 4 eV 的光子照射陰極時，遏止電勢應是

A. 0 V　　B. 1 V
C. 2 V　　D. 3 V

12. **HKDSE 2012** 在探究光電效應時，以不同頻率 f 的紫外線照射某金屬，並量度所發出光電子的最大動能 K。所示為標繪得的線圖。



如以強度較高的紫外線照射同一金屬，線圖會發生甚麼變化？

	線圖斜率	**線圖於水平軸的截距**
A.	減少	不變
B.	增大	不變
C.	不變	不變
D.	不變	減少

13. **HKDSE 2014** 當每個能量為 3.41 eV 的光子入射金屬面時，所發射出光電子的最大動能為 0.54 eV。該金屬的臨閾頻率是多少？

A. 4.33×10^{33} Hz
B. 9.53×10^{14} Hz
C. 8.23×10^{14} Hz
D. 6.93×10^{14} Hz

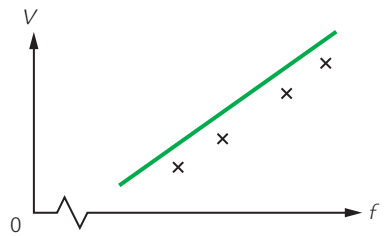
14. **HKDSE 2014** 頻率為 f 的光束照射光電池的陰極使其發射出光電子。如果以頻率 $2f$ 而強度相同的另一光束取代，下列各項物理量會有何改變？設每一入射光子能發射出一粒光電子。

V_s：遏止電勢

I：飽和光電流的量值

	V_s	I
A.	增加	增加
B.	增加	減少
C.	保持不變	減少
D.	減少	增加

15. **HKALE 1994**



一學生用不同頻率 f 的單色光照射光電池，並量度用來遏止發出的光電子的電勢差 V。當他將結果繪在 V–f 圖表上，所得的點（如圖示）並不落於類似光電池所得標準結果而繪成的實線上。原因可能是

A. 標準結果所用的光強度較高。

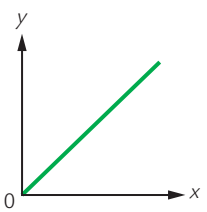
B. 他所用的伏特計有固定的零點誤差。

C. 他使用了伏特計上錯誤的標度讀數，以致他的讀數雙倍於真正讀數。

D. 他把可變直流電源接駁光電池時，將兩極弄錯。

E. 他誤將光的波長作為水平軸上的頻率。

16. **HKALE 2000** 以某金屬面進行的連串光電發射實驗，探究了下列物理量的相互關係。



f = 入射光的頻率

I = 入射光的強度

i = 光電流

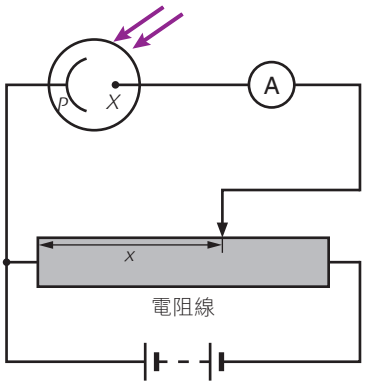
K = 光電子的最大動能

該等物理量的其中兩項以 y 對 x 作圖會得出一穿過原點的直線。下列哪項正確給出 x 和 y？（假定所用頻率大於臨閾頻率。）

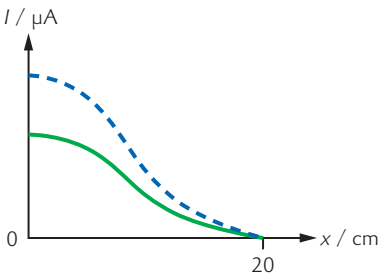
	x	y
A.	K	i
B.	f	K
C.	f	i
D.	I	K
E.	I	i

結構題

17. 如圖所示，把光電池和一個靈敏的安培計連接至一個由 6 V 電池組和變阻器（一個滑動接觸點和均勻電阻線的組合）組成的電路上。



把一束波長為 200 nm 的電磁輻射射向光電池的陰極，安培計錄得電流。下圖的實線部分顯示電流 I 如何隨電阻線的長度 x 變化。安培計的電阻可略去不計。



(a) 試解釋為何電流隨距離增加而減少，並當 x 為 20 cm 時電流會下降至零。 (2 分)

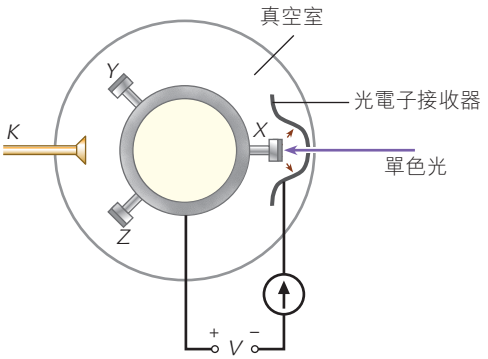
(b) 已知電阻線的總長度為 30 cm。試計算光電池的功函數及臨閾頻率。 (5 分)

(c) (i) 試描述並解釋線圖的水平截距如何隨光電池的功函數及輻射頻率改變。 (2 分)

(ii) 試描述並解釋線圖的垂直截距如何隨光電池每秒接收的光子數目而改變。 (2 分)

(iii) 現在改用另一束輻射進行實驗，與其對應的 I–x 線圖以虛線表示。試比較兩束輻射的強度和頻率。 (4 分)

18. **密立根實驗**：下圖顯示的實驗裝置，為 1909 年用來驗證愛因斯坦光電方程的實驗裝置。三塊鋰、鈉及鉀的金屬片各固定在 X、Y 和 Z 上。



(a) 試解釋為甚麼裝置外壁**不能夠**由光電發射物質所製。 (1 分)

(b) 以鋰進行實驗，所錄得的輻射波長 λ 及相應的遏止電勢 V_s 如下表列出。

λ / nm	V_s / V
405	0.220
365	0.563
313	1.15
254	2.10
210	3.14

(i) 繪畫鋰的遏止電勢 V_s 對頻率 f 的線圖。假如愛因斯坦的理論正確，所得出的線圖應為直線。 (3 分)

(ii) 若把 V_s 對波長 λ 的線圖繪畫出來，此線圖會否為直線？ (1 分)

(iii) 計算鋰的功函數。 (2 分)

(iv) 利用 V_s–f 線圖估計普朗克常數 h 的值，並找出該值與標準數值 6.626×10^{-34} J s 的百分誤差。 (4 分)

19. 一名學生打算研究當某單色輻射照射在光電池上時，光電子釋出時的最大動能。

(a) 試輔以簡圖，描述並解釋用來量度光電子最大動能的實驗裝置。 (5 分)

(b) 以光量子理論來描述並解釋下列的改動如何影響 (a) 部的結果。

(i) 使用波長較短的輻射。 (2 分)

(ii) 使用波長相同但強度較高的輻射。 (2 分)

(iii) 使用另一個具有相同陰極但兩極之間的距離不同的光電池。 (2 分)

(iv) 把輻射源移近光電池。 (2 分)

(c) 試解釋為甚麼即使輻射源釋出的光子具有相同的能量，但光電子釋出時卻具不同的動能。 (2 分)

20. 一個光電池的陰極由鎂製成，面積為 16 mm^2，功函數為 3.66 eV。現在把波長為 200 nm 及強度為 200 W m^{-2} 的紫外輻射照射在光電池的陰極上。

(a) (i) 甚麼是金屬的功函數？ (1 分)

(ii) 試計算遏止電勢及光電子釋出時的最大動能。 (3 分)

(b) (i) 試找出輻射每秒傳遞的光子數目。 (2 分)

(ii) 假設只有 3% 的光子能使光電子逸出金屬表面，試找出每秒釋出的光電子數目。 (2 分)

21. (a) 試列出金屬表面釋出光電子的條件。 (1 分)

(b) 試以光子的概念描述電磁輻射如何令金屬表面釋出光電子。 (3 分)

我們現在比較光波動理論和光量子理論。

(c) 這兩套理論在描述物體吸收輻射的過程中有甚麼分別？ (2 分)

(d) 比較當這兩套理論應用至光電效應時，輻射的強度和頻率怎樣影響光電子的釋出。 (4 分)

22. HKDSE 練習卷

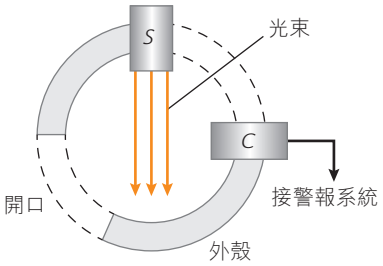
(a) 在探究鈉所發射的光電子中，發現當入射光波長的數值大於 5.27×10^{-7} m 時，便沒有光電子發射出來。

(i) 解說為甚麼光的波動模型**不能**解釋這現象。 (2 分)

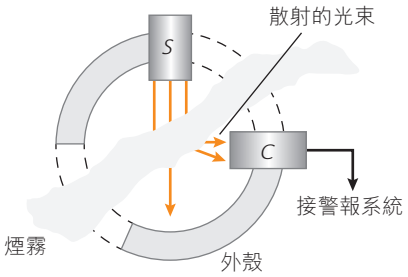
(ii) 求鈉的功函數，答案以電子伏特表出。 (3 分)

(iii) 功函數的物理意義是甚麼？ (1 分)

(b) 志成參加科學比賽，設計了一個光電煙霧探測器，如圖 a 所示。它有一個光源 *S*、一個光電池 *C* 和一個警報系統。如圖 b 所示，當煙霧進入探測器，來自 *S* 的光會被煙霧粒子散射而進入 *C*。當光射向 *C* 的鈉表面，會產生光電子。當光電流大於 1×10^{-8} A 時便會觸發警報。



Q22a

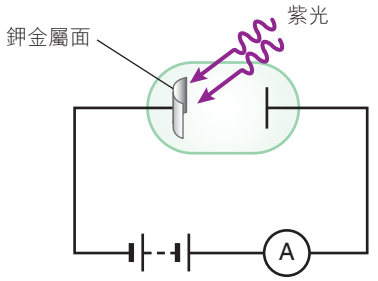


Q22b

(i) 若 5% 射向 *C* 鈉表面的光子會發射光電子，當警報被觸發時，每秒射向 *C* 鈉表面的光子最少的數目是多少？ (2 分)

(ii) 志成聲稱若使用和 *S* 同類型但強度更高的光源，探測器會更加靈敏。試評論他的說法。 (2 分)

23. HKDSE 2013 以某波長的紫光照射鉀金屬面，使金屬面發射出電子，其最大動能為 0.81 eV。鉀的功函數為 2.30 eV。



(a) (i) 求一粒紫光光子的能量，以 eV 為單位。 (1 分)

(ii) 所發射出的電子並非全部擁有最大動能，試解釋。 (1 分)

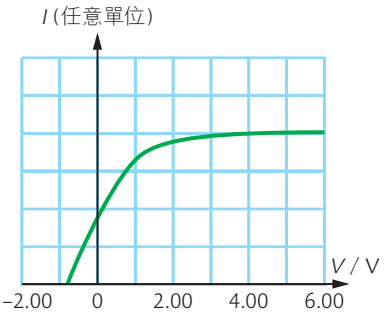
所用紫光的強度為 0.01 W m^{-2}。

(b) (i) 根據古典波動理論，原子需從光波吸收足夠能量才會發射電子。估算鉀原子最少需多少時間吸收能量才能發射電子。設一個鉀原子吸收能量的有效面積為 0.01 nm^2 (1 nm = 10^{-9} m)。 (2 分)

(ii) 解釋為何即使光的強度非常弱，在實驗中電子從金屬面發射出來時差不多沒有時間延遲。 (1 分)

(c) 如果鉀金屬面接收紫光的面積為 4.00×10^{-4} m^2，每秒有多少光子撞擊金屬面？倘若每 10 粒光子撞擊金屬面會發射出一粒電子，求最大光電流。 (3 分)

(d) 下面線圖為光電流 *I* 對陰極和陽極之間電勢差 *V* 的曲線。



抄繪線圖至你的答題簿。如果光的強度減至原來的一半，在你所抄繪的圖上以虛線草繪相應的曲線。 (2 分)

24. **HKALE 1996** 在一光電實驗中，一大小為 $(8.0 \times 10^{-3}) \times (8.0 \times 10^{-3})\ m^2$ 的薄金屬片被波長為 230 nm 的平行紫外光束照射。該金屬的功函數為 2.21 eV。

已知： 普朗克常數 = 6.63×10^{-34} J s

電子電荷 = 1.60×10^{-19} C

(a) 一金屬的功函數是甚麼意思？ (1 分)

(b) 試解釋為甚麼光電子以不同的速率射出，雖然每一入射光子的能量固定。 (1 分)

(c) (i) 計算所發的光電子的最大動能。 (2 分)

(ii) 試求遏止電勢。 (1 分)

(d) 所用紫外光的強度為 3 W m^{-2}，並垂直射向金屬片的一面。在沒有遏止電勢的情況下，試求每秒所發出的光電子數目。假定每一入射光子都能成功釋放一光電子。 (3 分)

(e) 若改用強度相同但波長較短的紫外光源，試指出 (i) 遏止電勢的改變和 (ii) 每秒所發射的光電子數目的改變，並作簡釋。 (4 分)

25. **HKALE 2005** 一組學生進行一系列實驗以探究電磁輻射照射金屬而使其發射電子。他們發現：

(1) 照射金屬的入射輻射強度越高（頻率固定），從金屬射出的電子數目越多；

(2) 射出電子的最大動能與入射輻射的強度無關；

(3) 如果入射輻射的頻率低於某定值，則沒有電子會從金屬射出。

(a) 簡述你如何演示上述的觀察結果 (2)。 (4 分)

(b) 根據電磁輻射的波動理論，能量是連續發送並只取決於輻射強度。

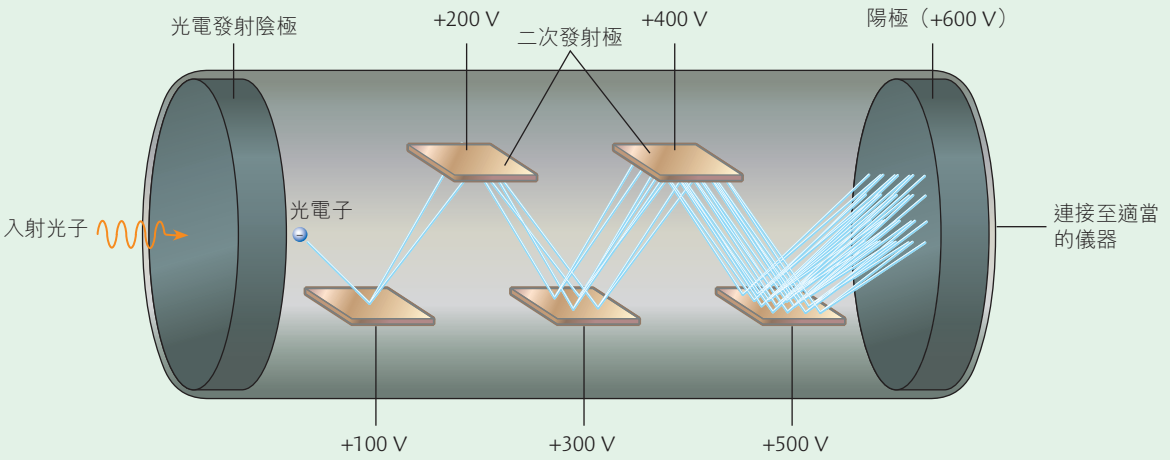
(i) 清楚描述哪兩項觀察結果與波動理論所預期者是對立的。 (3 分)

(ii) 愛因斯坦提出了一個理論以解釋上述 (i) 中的兩項觀察結果。簡要說明愛因斯坦的理論，並用以解釋該兩項觀察結果。 (4 分)

26. 閱讀以下有關光電倍增管的文章，然後回答隨後的問題。

光電倍增管

光電倍增管（簡稱 PMT）能把微弱的光線轉化為強烈的電子訊號。PMT 是一個真空玻璃管，管內藏有一個光電發射陰極、一組稱為二次發射極的正電極及一個陽極。二次發射極之間的電勢以遞增次序排列。



▲ 光電倍增管的內部結構

入射光子會使陰極放出光電子，這些光電子會受二次發射極吸引，並與二次發射極發生碰撞。光電子撞擊二次發射極後會使其放出更多電子，所放出的電子又會受下一個二次發射極吸引，發生碰撞並放出更多電子，形成連鎖反應。如是者，一個入射光子最終可以使 10^5 粒電子到達陽極，從而產生一個強烈的電子脈衝訊號，然後由儀器讀取這個訊號。

(a) (i) 為甚麼光子可以使陰極放出電子？ (1 分)

(ii) 你認為光電倍增管可以探測所有波長的光嗎？為甚麼？ (2 分)

(b) 為甚麼二次發射極的電勢以遞增次序排列？ (2 分)

(c) 光電倍增管可以大大增強微弱的光訊號，因而可應用在粒子物理學、醫學成像和天文探測器上。試扼要解釋光電倍增管應用在天文探測器的原因。 (2 分)

複習題

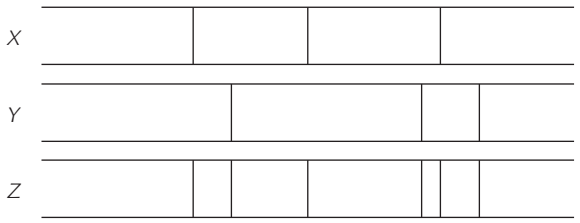
已知： 電子質量 = 9.11×10^{-31} kg
電子電荷量值 = 1.60×10^{-19} C
真空中的光速 = 3×10^{8} m s^{-1}
普朗克常數 = 6.63×10^{-34} J s

選擇題

1. 根據經典理論，當盧瑟福原子模型中的電子不斷損失能量，將發生何事？

A. 電子進行螺旋運動趨向原子核，直至與之相撞。
B. 電子在自己的軌道停留。
C. 電子進行螺旋運動遠離原子核，最後更脫離之。
D. 電子在自己的軌道上震盪。

2. 以下是氣體 X、Y 和 Z 的線狀光譜。

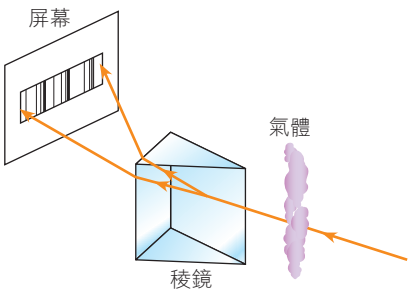


下列哪項敘述是正確的？

(1) X 內含 Z。
(2) X 和 Y 的混合物所產生的光譜，跟 Z 的光譜相同。
(3) 氣體以特定方向發出電磁波，使其光譜中出現分立譜線。

A. 只有 (2)　　B. 只有 (3)
C. 只有 (1) 和 (2)　　D. 只有 (1) 和 (3)

3. 一束白光通過氣體後，再通過稜鏡，最後產生的光譜包含一些特定的波長的暗線。

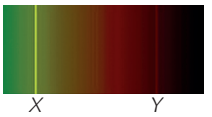


由此可推論

(1) 氣體中不存在對應暗線的元素。
(2) 氣體吸收上述波長的輻射。
(3) 氣體發出上述波長的輻射。

A. 只有 (1)
B. 只有 (2)
C. 只有 (1) 和 (3)
D. 只有 (2) 和 (3)

4. 圖中所示為某種熱氣體的光譜中，兩條相鄰的發射譜線。



譜線 X 較譜線 Y 光亮。下列哪項可能是這現象的成因？

A. X 的頻率比 Y 高。
B. X 是由氣體較熱的部分所發出的光產生的。
C. 有較多氣體原子進行產生譜線 X 的躍遷過程。
D. 產生 X 的躍遷過程在較高能級發生。

5. 鈉燈透過激發低壓鈉蒸氣而發光。

鈉的發射光譜中包含兩條波長為 589.0 nm 和 589.6 nm 的譜線。這涉及兩條譜線的躍遷在相同的能級結束。由此可推論，鈉的光譜中可能包含下列哪個波長的發射譜線？

A. 1.66×10^{-3} m
B. 5.79×10^{-4} m
C. 2.64×10^{-4} m
D. 1.97×10^{-4} m

6. 玻爾就其氫原子模型所提出的公設中，哪一項屬於**經典**範疇？

A. 原子中的電子沿圓形軌道環繞原子核運行。
B. 只有當原子從一個能態躍遷至另一個能態時，才可發出或吸收光子。
C. 原子具量子化的能量。
D. 原子具量子化的角動量。

7. 當原子從能態 a 躍遷至能態 b 時，會釋放一顆頻率為 5×10^{14} Hz 的光子。當該原子從能態 b 躍遷至能態 c 時，會吸收一顆頻率為 6×10^{14} Hz 的光子。下列哪項敘述是正確的？

(1) 在三個能態中，以能態 a 最高。

(2) 能態 a 和 b 的能量差，與能態 b 和 c 的能量差，兩者之比為 6 : 5。

(3) 從能態 a 躍遷至能態 c，需要吸收一顆頻率為 1×10^{14} Hz 的光子。

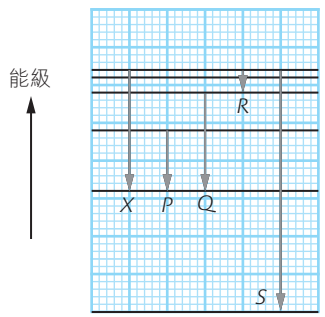
A. 只有 (1)

B. 只有 (3)

C. 只有 (1) 和 (2)

D. 只有 (2) 和 (3)

8. 下圖顯示某原子部分的能級，當中能級按比例繪畫。



在躍遷 X 中，原子釋放一顆波長為 λ 的光子。下列哪個躍遷會令原子釋放一顆波長為 2λ 的光子？

A. P　　B. Q

C. R　　D. S

9. 氫原子中的電子的能級為

$$E_n = -\frac{k}{n^2}$$

其中 k 為常數，n 為任何正整數。當一粒電子從 $n = m + 1$ 的能級跳到 $n = m$ 的能級時，所發出的光子的能量是多少？

A. $-\dfrac{2k}{m(m+1)^2}$　　B. $\dfrac{k(2m-1)}{m^2(m+1)^2}$

C. $\dfrac{2k}{m(m+1)^2}$　　D. $\dfrac{k(2m+1)}{m^2(m+1)^2}$

10. 某原子三個最低的能級分別為 $-4E$、$-2E$ 和 $-E$（其中 E 為正數）。該原子現正處於基態，而一顆波長為 λ 的光子則剛好可以電離之。這顆基態原子可吸收哪種波長的光子？

(1) $2\lambda/3$

(2) $4\lambda/3$

(3) 2λ

A. 只有 (1)

B. 只有 (2) 和 (3)

C. 只有 (1) 和 (2)

D. (1)、(2) 和 (3)

11. **HKDSE 2012** 根據玻爾的氫原子模型，電子在第一受激態的軌道半徑與第二受激態的比例是

A. 1 : 2。　　B. 1 : $\sqrt{2}$。

C. 4 : 9。　　D. 2 : 3。

12. **HKDSE 2013** 在一個 α 粒子的散射實驗中，原子內的電子對入射 α 粒子的路徑近乎沒有影響，最有可能的原因是

A. 電子非常細小以致 α 粒子不會碰撞到電子。

B. 電子平均分布於原子內，因此作用於 α 粒子的合力為零。

C. 電子和 α 粒子之間沒有電相互作用。

D. α 粒子與電子碰撞時，其動能改變可以忽略。

13. **HKDSE 2013** 根據古典電磁理論，從盧瑟福原子模型可得到甚麼推論？

A. 原子是穩定的，而原子光譜為連續譜。

B. 原子是穩定的，而原子光譜為線狀譜。

C. 原子是不穩定的，而原子光譜為連續譜。

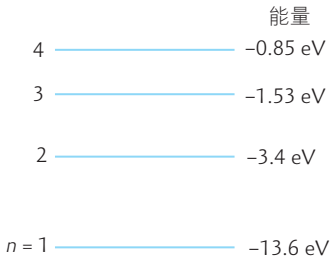
D. 原子是不穩定的，而原子光譜為線狀譜。

14. **HKDSE 2014** 一個處於基態的氫原子吸收波長為 λ 的光子，使其從量子數 $n = 1$ 受激至 $n = 3$。一個處基態的氫原子其電離能以 eV 為單位是

A. $\dfrac{3hc}{2\lambda}$。　　B. $\dfrac{2hc}{3\lambda}$。

C. $\dfrac{9hc}{8\lambda}$。　　D. $\dfrac{8hc}{9\lambda}$。

15. **HKDSE 2014**



氫原子最低的四個能級如上圖所示。下列哪項有關處基態氫原子的敍述是**不正確**的？

A. 動能 10 eV 的電子跟原子的碰撞是完全彈性的。

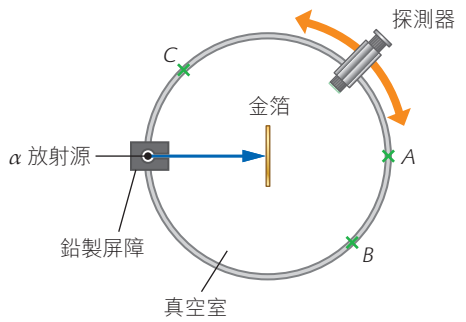
B. 動能 12 eV 的電子跟原子的碰撞可以為非彈性。

C. 能量 12 eV 的光子可將原子激發至第一受激態。

D. 能量 14 eV 的光子可將原子電離。

結構題

16. 下圖為著名的盧瑟福散射實驗的實驗裝置。



(a) 鉛製屏障的功用是甚麼？ (1 分)

(b) 為甚麼實驗必須在真空室中進行？ (1 分)

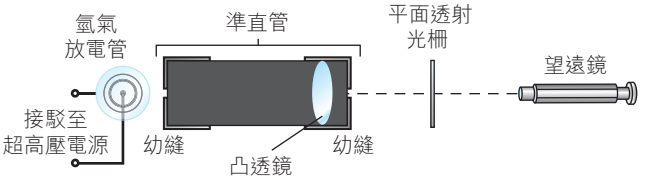
(c) 在 *A*、*B*、*C* 三個位置中，哪處可探測到最多和最少 α 粒子？ (2 分)

(d) 盧瑟福原子模型中某些特點，可解釋 (c) 部的結果。試寫出這些特點，並解釋這些特點如何說明實驗的結果。 (4 分)

(e) 盧瑟福原子模型與經典的電磁理論中，在哪處不一致？ (2 分)

(f) 列出**兩項**散射實驗在現代粒子物理學中的用途。 (2 分)

17. 以下實驗裝置是用作研究氫氣放電管所發出的可見光。



(a) 準直管的功用是甚麼？ (1 分)

(b) 假設盧瑟福原子模型是正確的，這個實驗的預期結果是甚麼。試扼要解釋。 (2 分)

(c) 當望遠鏡繞平面透射光柵旋轉至 14.1°時，觀察到一條發射譜線。光柵的密度為每毫米有 500 條。

(i) 求發射譜線的波長。 (2 分)

(ii) 當光子的波長，相等於 (i) 部的答案時，其能量是多少？ (2 分)

(iii) 寫出對應上述發射譜線的躍遷。 (3 分)

18. 在氫的吸收光譜中，巴耳末系是指從第一受激態開始的躍遷中產生的一組譜線。

(a) 扼要描述觀察氫的吸收光譜的方法。 (2 分)

(b) 利用玻爾的氫原子模型，證明巴耳末系譜線的波長，可利用以下公式求得：

$$\lambda = B\left(\frac{m^2}{m^2 - 2^2}\right)$$

其中 B 為常數，而 m 是任何大於 2 的整數。證明 $B = 364.5$ nm。 (3 分)

(c) 求巴耳末系譜線中最短和最長的波長。巴耳末系的譜線屬於電磁光譜的哪個區域？ (3 分)

(d) 氫原子能夠吸收一顆波長為 420 nm 的光子嗎？試解釋你的答案。 (2 分)

19. (a) (i) 求氫的電離能。 (2 分)

(ii) 計算氫的最小受激能。 (2 分)

(b) 直接加熱可激發氣體中的原子。

(i) 試描述原子如何透過直接加熱而受激。 (3 分)

(ii) 氫氣中的原子在溫度 T 時的平均動能為

$$E_{avg} = \frac{3}{2}kT$$

當中 k 為常數，相等於 1.38×10^{-23} J K^{-1}。當原子的平均動能相等於氫的電離能時，其溫度是多少？ (2 分)

(iii) 在實際情況中，當氫原子的溫度遠低於 (ii) 部的數值時也會離子化。試解釋。 (2 分)

(c) 除直接加熱外，建議**一個**電離原子的方法。 (1 分)

20. **IB Higher Level May 2005** 本題關於玻爾的氫原子模型，以及把模型推廣至包括氦 (I) 離子（從氦原子取走一顆電子後的氦離子）。玻爾在其氫原子理論中，只談及**穩定的電子軌道**。

(a) 玻爾的氫原子模型的哪項公設決定原子的穩定軌道？ (1 分)

(b) 試描述這些穩定軌道如何解釋氫原子的發射線狀光譜。 (3 分)

玻爾的氫原子模型可推廣至氦 (I) 離子，並引申出以下的算式，其中 E_n 為電子由整數 n 指明的軌道運行時的能量。

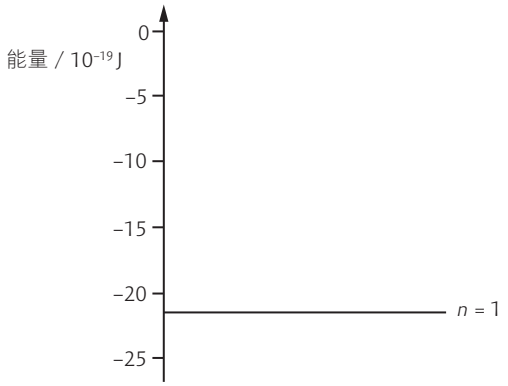
$$E_n = -\frac{k}{n^2}$$

當中 k 是一個常數。

在氦 (I) 離子的光譜中，波長 362 nm 的譜線是由電子從軌道 $n = 3$ 躍遷至軌道 $n = 2$ 的過程中產生的。

(c) 計算氦 (I) 離子的電離能。 (4 分)

21. **OCR A-level 2864/01 Jan 2007** 本題關於氫原子中電子的能級。



Q21a

(a) 氫原子中，電子的能量 E_n 為：

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} \quad \text{其中 } n = 1, 2, 3...$$

(i) E_1 的值約為 −14 eV。證明處於最低能級的電子（$n = 1$）的能量為 -2×10^{-18} J。 (1 分)

(ii) 在圖 a 的能級圖中，繪畫圖線條來顯示電子在 $n = 2$ 和 $n = 3$ 的能級，並分別以 n 值標示。 (2 分)

(iii) 若電子要脫離原子，為何其能量必須大於零？ (2 分)

(b) 如圖 b 所示，氫樣本受到粒子加速器所產生的電子撞擊。已知電子束中每顆電子接近氫樣本時，其能量均為 18×10^{-19} J。

Q21b

(i) 利用圖 a 解釋為何部分電子只能以約 1×10^{-19} J 的能量離開樣本。 (2 分)

(ii) 當電子穿過氫樣本時，該樣本會發射光子。試計算這些光子的波長。

[取 $h = 6.6 \times 10^{-34}$ J s。] (2 分)

(iii) 現把電子束中電子的能量提升至 20×10^{-19} J，可見氫樣本發出三種波長的光子，而不只是一種而已。為甚麼？試輔以簡圖解釋。 (2 分)

22. **Edexcel SH Physics Jan 2009**

1814 年——夫琅和費 (Josef von Franuhofer) 發明了分光儀，並從太陽光的光譜中找到數以百計的暗線。這個光譜後來稱為**吸收光譜**，用來識別太陽上的元素。

1922 年——玻爾 (Bohr) 獲頒諾貝爾物理學獎，表揚他在「研究原子結構以及原子發射出的輻射」上所作的貢獻。玻爾利用**能級**和**光子**的概念，成功解釋了原子光譜的形成過程。

(a) 解釋何謂**能級**。 (2 分)

(b) 解釋何謂**光子**。 (2 分)

(c) 試從能級的角度解釋**吸收光譜**的形成過程。 (3 分)

(d) 解釋為甚麼吸收光譜只有某些**暗線**。 (2 分)

(e) 描述發射光譜和吸收光譜在產生過程和外觀上的分別。 (2 分)

23. **HKDSE 2012** 氫原子中的電子所處能級為

$$E = -\frac{13.6}{n^2}\ \text{eV}$$

(a) 解釋 E 為負值的物理意義。 (1 分)

(b) 說出玻爾氫原子模型兩個非「經典」的公設。 (2 分)

(c) 以波長為 102.8 nm 和 100.0 nm 的一束紫外光照射處於基態的氫氣。結果 102.8 nm 的紫外光被氫氣吸收，而 100.0 nm 的紫外光卻不受影響。

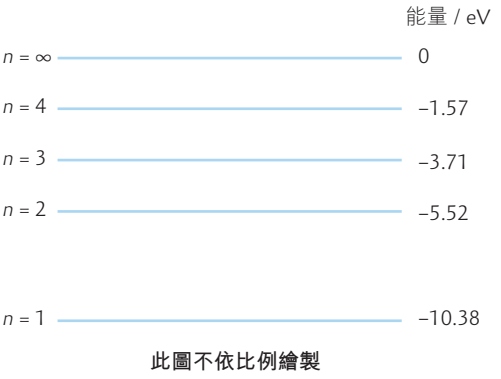
(i) 計算波長為 102.8 nm 紫外光的光子能量，以 eV 表示。當氫原子吸收這個光子後，其量子數是多少？ (3 分)

(ii) 為甚麼 100.0 nm 的紫外光通過氫氣沒有被吸收？ (1 分)

(iii) 當該粒受激的氫原子回到基態時，有多少個躍遷的可能性？指出其中哪一個躍遷會放出可見光，並加以解釋。已知：一粒可見光的光子的能量介乎 1.7 eV 至 3.2 eV。 (3 分)

24. **HKALE 2004**

(a) (i) 圖 a 所示為水銀原子的若干能級。(已知：電子電荷 = 1.6×10^{-19} C，普朗克常數 = 6.63×10^{-34} J s)



此圖不依比例繪製

Q24a

在一枝熒光燈內，水銀蒸氣原子被高能電子撞擊，從基態受激至第一激發態 (即第一受激態)。試求受激水銀原子返回基態時所發出輻射的波長。該輻射屬於電磁波譜上哪一部分？ (4 分)

(ii) 在 (a)(i) 所述的輻射被熒光燈內壁上的敷層吸收。圖 b 顯示一粒敷層原子的若干能級。

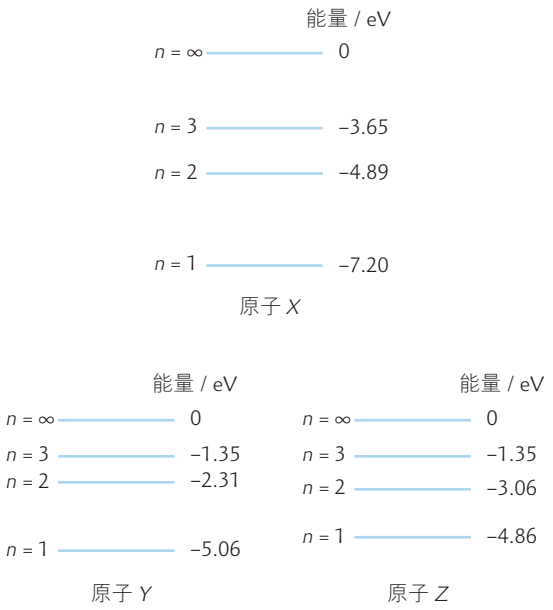
此圖不依比例繪製

Q24b

(I) 在吸收了 (a)(i) 所述的輻射後，基態的敷層原子會被激發至 A、B 和 C 之中的哪一能級？ (1 分)

(II) 受激敷層原子可透過不同的中介能態返回基態。指出兩個會發射可見光的的敷層原子躍遷。(已知：可見光譜的波長範圍約為 400 nm 至 700 nm。波長 400 nm 的光子擁有 3.11 eV 的能量。) (3 分)

(b) 在熒光效應中，熒光敷層原子的一粒電子被激發至激發態，該受激電子可透過不同中介能態返回基態，而這些躍遷過程會發射出光子。彩色電視就是藉熒光效應，在屏幕上發出不同顏色的光。電視屏幕的內壁有三種敷層呈點狀分布，分別發出紅、綠和藍光。電視的陰極射線顯像管內，三條電子束內的電子被加速至很高的速率，然後撞擊相應的敷層，並激發敷層原子。



Q24c

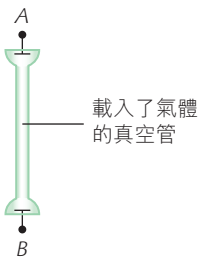
(i) 圖 c 顯示三種敷層原子 *X*、*Y* 和 *Z* 的能級。在下表中按相應的發射顏色填上敷層原子的名稱。 (2 分)

發射可見光的顏色	發射光子的能量 / eV	敷層原子的名稱 (原子 *X*、*Y* 或 *Z*)
紅	1.80	
綠	2.31	
藍	2.75	

Q24

(ii) 三種敷層原子的激發能都不同。這些敷層原子可否由帶足夠能量的單一電子束激發？試簡單解釋。 (2 分)

25. HKALE 2010 在 1909 年，盧瑟福收集了若干 α 粒子，而這些 α 粒子從外界獲得電子後變成某種氣體的原子。他將這些氣體載入真空管內，並於兩端裝上電極 *A* 和 *B*，如圖所示。說明盧瑟福如何利用這裝置證明 α 粒子實際上是氦原子核。 (3 分)



複習題

已知：電子質量 = 9.11×10^{-31} kg

電子電荷量值 = 1.60×10^{-19} C

真空中的光速 = 3×10^{8} m s^{-1}

普朗克常數 = 6.63×10^{-34} J s

選擇題

1. 一束電子射向一塊金屬片，並在熒光屏上形成光暗相間的同心環。

下列哪些敘述是正確的？

(1) 環形圖案顯示電子具有波動性質。

(2) 電子越慢，環與環之間隔便越疏。

(3) 若以相同速率的質子束取代電子束，環與環之間隔會變疏。

A. 只有 (1) 和 (2)

B. 只有 (1) 和 (3)

C. 只有 (2) 和 (3)

D. (1)、(2) 和 (3)

2. 一台光學顯微鏡的孔徑為 4 mm。該顯微鏡使用波長為 600 nm 的光來照射樣本。考慮兩個可讓該顯微鏡分辨的物體，估算兩者的最小角間距。

A. 1.8×10^{-4} rad

B. 8.1×10^{-4} rad

C. 1.8×10^{-2} rad

D. 8.1×10^{-2} rad

3. 下列哪項是透射電子顯微鏡（TEM）的解像能力高於光學顯微鏡的原因？

(1) TEM 利用了光電效應。

(2) TEM 利用了光的繞射現象。

(3) 電子波長極短。

A. 只有 (1)

B. 只有 (3)

C. 只有 (1) 和 (2)

D. 只有 (2) 和 (3)

4. 下列哪項有關掃描隧穿顯微鏡的敘述是正確的？

(1) 樣本的表面**必須**能夠導電。

(2) 樣本必須夠薄，足以讓電子穿過。

(3) 電子在穿過樣本前**必須**先在強大的電勢差下加速。

A. 只有 (1)

B. 只有 (3)

C. 只有 (1) 和 (3)

D. 只有 (2) 和 (3)

5. 樣本 *P* 由某種材料的納米形式組成，而樣本 *Q* 則由同一材料的大塊形式組成。下列哪些情況可能會出現？

(1) *P* 是透明的而 *Q* 是不透明的。

(2) *P* 是電絕緣體而 *Q* 是電導體。

(3) *P* 較 *Q* 更堅硬。

A. 只有 (1) 和 (2)

B. 只有 (1) 和 (3)

C. 只有 (2) 和 (3)

D. (1)、(2) 和 (3)

6. 下列哪些現象最能貼切地說明蓮花效應？

A. 落在蓮葉上的水受葉片表面吸引而擴散成水膜。

B. 落在蓮葉上的水受葉片表面排斥而形成水球。

C. 蓮葉上有機污垢的粒子在陽光下分解。

D. 蓮葉表面一層納米粒子把葉片上的細菌殺死。

7. 為甚麼科學家對於在商業上使用納米材料感到憂慮？

(1) 納米粒子在自然界中並不存在。

(2) 意外地釋出納米粒子可造成大範圍污染及失控的情況。

(3) 未有充分研究納米粒子對健康的影響。

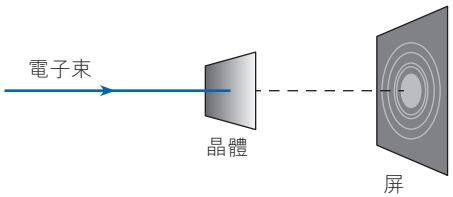
A. 只有 (1)

B. 只有 (3)

C. 只有 (1) 和 (2)

D. 只有 (2) 和 (3)

8. **HKDSE 練習卷** 一束電子射向一晶體薄膜。在熒光屏上可見光暗環紋圖案。以下哪項物理現象可解釋該圖案如何形成？



A. 光電效應
B. 電子繞射
C. 原子的電離
D. 蓮花效應

9. **HKDSE 練習卷** 以下哪些是納米粒子進入人體可能的途徑？

(1) 皮膚直接接觸納米粒子。
(2) 呼吸時把納米粒子吸入肺部。
(3) 進食含有納米粒子的食物。

A. 只有 (1) 和 (2)
B. 只有 (1) 和 (3)
C. 只有 (2) 和 (3)
D. (1)、(2) 和 (3)

10. **HKDSE 2013** 典型的透射電子顯微鏡 (TEM) 的最小可分辨長度約為 0.2 nm。如果有一種粒子跟電子的電荷相同而質量大四倍，而這粒子束以相同電壓在 TEM 內加速，最小可分辨長度會變為

A. 0.05 nm。
B. 0.1 nm。
C. 0.4 nm。
D. 0.8 nm。

11. **HKDSE 2014** 下列哪些有關納米科技的敍述是正確的？

(I) 鍍上納米標度氧化鈦的玻璃能自我清潔。
(2) 碳納米管和鑽石中的碳原子空間布局相同。
(3) 當金的大小減至納米標度時，它的熔點跟其整體形態的會有所不同。

A. 只有 (1) 和 (2)
B. 只有 (1) 和 (3)
C. 只有 (2) 和 (3)
D. (1)、(2) 和 (3)

結構題

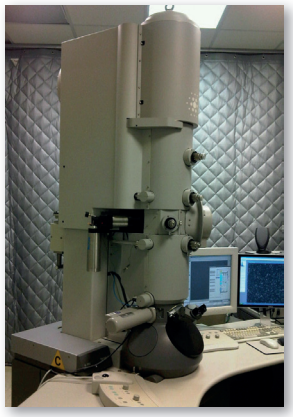
12. (a) 試討論電子可視作波。討論時，扼要地描述相關的實驗證據，以支持你的答案。 (3 分)

(b) 解釋為甚麼光學顯微鏡不能用來觀察單一原子（大小約 10^{-10} m），並解釋透射電子顯微鏡如何克服有關限制。 (3 分)

(c) 估算使用透射電子顯微鏡觀察單一原子時，所需的電子能量的數量級。答案以 eV 表示。 (2 分)

(d) 估算使用光學顯微鏡觀察單一原子時，所用的光子能量的數量級。 (2 分)

13. 圖中所示為一台透射電子顯微鏡，用來觀察納米標度下的樣本。



(a) 試解釋為甚麼電子束的電子必須具相同的速率。 (2 分)

(b) 就下列各方面，比較透射電子顯微鏡和傳統的光學顯微鏡。

(i) 照射樣本所用的波
(ii) 用來放大和對焦的透鏡系統
(iii) 所成的像 (3 分)

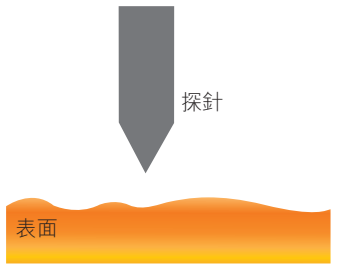
(c) 透射電子顯微鏡的陽極和陰極之間施加了電壓。

(i) 試解釋為何要施加電壓。 (1 分)
(ii) 若一台透射電子顯微鏡的電壓為 50 kV，求射向樣本的電子的德布羅意波長。 (3 分)

(d) 以下是部分使用透射電子顯微鏡時的措施。試解釋為何採取這些措施。

(i) 顯微鏡的主室必須是真空的。 (1 分)
(ii) 樣本必須非常薄。 (1 分)

14. 下圖顯示一台掃描隧穿顯微鏡的探針掃描樣本表面的情況。



Q14a

(a) 掃描隧穿顯微鏡的探針尖端有多大？提示：參閱第 120 頁。 (1 分)

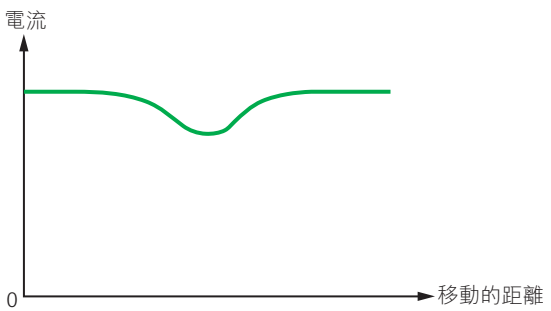
(b) 當在探針和樣本表面之間施加電勢差時，顯微鏡探測到電流。 (1 分)

(i) 寫出這個現象的名稱。 (1 分)

(ii) 試解釋為何要施加這電勢差。 (1 分)

(c) 為何探針和樣本表面之間的空隙必須非常狹小？試扼要地解釋。 (1 分)

(d) 當探針沿在樣本表面水平掃視時，探針與樣本表面之間的電流如圖 b 顯示。



Q14b

試解釋電流的變化。 (2 分)

(e) 試解釋在探針與樣本表面之間的電流保持不變的情況下，如何能夠探究樣本表面的細節。 (1 分)

(f) 掃描隧穿顯微鏡與透射電子顯微鏡相比，有何優點，又有何缺點？試各舉**一項**。 (2 分)

(g) 除了拍攝影像外，掃描隧穿顯微鏡還有甚麼功能？ (1 分)

15. 碳納米管可能是最為人熟悉的納米材料，原因是可以用來製造各式各樣的產品，例如電線和太空船的船身。

(a) **納米材料**指的是甚麼？ (1 分)

(b) 在製造以下產品時，採用碳納米管與傳統的材料相比有何優點？

(i) 電線 (1 分)

(ii) 太空船的船身 (1 分)

(c) 列舉**一種**可用來研究碳納米管三維結構的儀器。 (1 分)

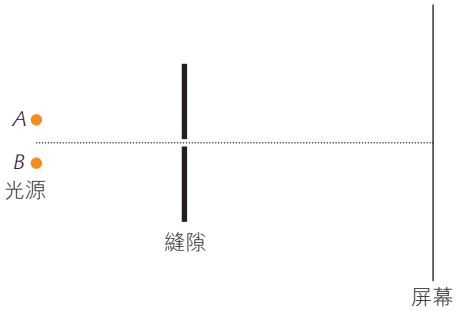
(d) 雖然鑽石和碳納米管都是由碳原子組成，但碳納米管的化學活躍性較鑽石高。試舉出其中**一個**原因，並扼要解釋你的答案。 (2 分)

(e) 解釋使用納米材料如何影響我們的健康和環境。 (2 分)

(f) 列舉納米材料在商業上的另一種應用，並描述這納米材料如何改良原來的產品。 (2 分)

16. **IB Higher level May 2005** 本題有關光學解像度。

下圖所示的兩個點光源（不按比例繪畫）發出相同頻率的光。光入射到長方形的縫隙上，穿過縫隙後在屏幕聚焦。



Q16a

現蓋着光源 *B*。

(a) 在下圖草繪來自 A 的光強度 I 和沿屏幕位置的關係線圖。把繪畫的線圖標示為 A。

Q16b

(2 分)

現沒有蓋着光源 B。屏幕顯示 A 和 B 的像剛好可辨。

(b) 再次利用 (a) 部的圖，草繪來自 B 的光強度 I 和沿屏幕位置的關係線圖。把繪畫的線圖標示為 B。 (1 分)

明亮的天狼星 A 旁有一顆暗淡的天狼星 B。兩個星體與地球之間的平均距離為 8.1×10^{16} m。在理想的大氣條件下，一台目鏡直徑為 25 cm 的望遠鏡，剛好可把兩個星體分辨出來。

(c) 假設兩個星體發出的波長平均值為 500 nm，試估算兩星的表觀線間距。 (3 分)

17. OCR GCE AS-level Jun 2007

(a) 以下是量子物理學中其中兩條最重要的方程。

方程 1 $\quad E = hf$

方程 2 $\quad \lambda = \dfrac{h}{mv}$

完成以下句子：

(i) 方程 1 描述電磁波的 _____ 表現。 (1 分)

(ii) 方程 2 描述電子等粒子的 _____ 表現。 (1 分)

(b) 本題中，其中 2 分為有效傳意分。

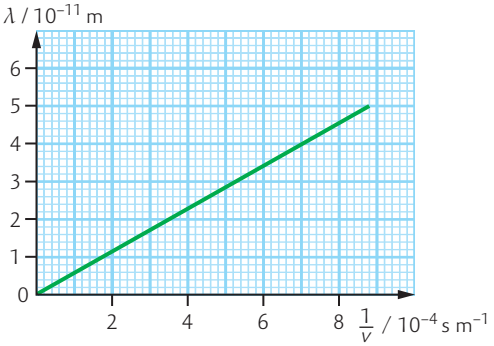
考慮用光照射一塊帶負電荷的金屬板。當使用微弱的藍光時，有電子從金屬板發射。但當使用微弱或強烈的紅光時，則沒有任何電子發射。試利用光電效應的概念來解釋這些觀察結果。 (6 分)

(c) 在一束激光中，每顆光子的能量為 2.0 eV。

(i) 證明激光發出的電磁波的波長約 6×10^{-7} m。 (2 分)

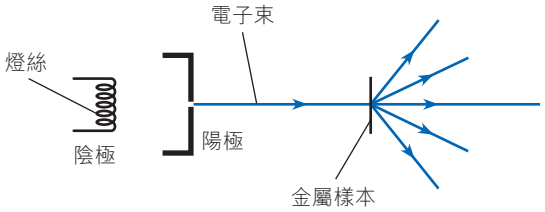
(ii) 識別激光發出的波屬於電磁光譜的哪個範圍。 (1 分)

(d) 鋰離子加速至速率 v。下圖為離子的德布羅意波長 λ 對 $1/v$ 的關係線圖。



判斷圖像的斜率，並由此計算單一鋰離子的質量 m。 (3 分)

18. AQA A-level PHYA5/2D Jun 2011 下圖中，真空管內的燈絲透過熱離子發射，產生一束單一能量的電子。電子束垂直射向金屬樣本，電子除沿着入射的方向出射外，也沿着某數個方向出射。



(a) (i) 圖中的金屬樣本中發生的物理現象，反映電子的波動性質。這個物理現象是甚麼？ (1 分)

(ii) 要令電子只沿某數個方向出射，所有入射的電子的能量必須相同。試解釋箇中原因。 (2 分)

(b) 一台透射電子顯微鏡的陽極電壓為 25 kV。現利用這台顯微鏡觀察薄樣本的影像。

(i) 計算從陽極出射的電子的動量，以適當單位表示。 (4 分)

(ii) 描述和解釋當陽極電壓增加時，影像的解像度會如何變化。 (3 分)

19. **AQA GCSE CHY2H Jun 2011** 閱讀以下文章，然後回答有關的問題。

有毒襪子？

生產商在一些用來製造襪子的纖維中，加入了銀納米粒子。銀具有殺菌的特性，因此穿着這些襪子時，不會留下難聞的氣味。

然而有些科學家擔心在襪子中使用納米粒子所引起的問題。

清洗襪子時，銀可能會從襪子釋出，最後流入河流中。河流中的銀可能會使魚類死亡。

科學家發現某些款式的襪子較易釋出銀。若銀納米粒子被鎖在纖維中，襪子在清洗時便只會釋出很少銀。

(a) 為甚麼銀不會使襪子產生難聞氣味？ (1 分)

(b) 銀納米粒子的大小與普通銀粒子的大小有何分別？ (1 分)

(c) 與普通大小的銀粒子相比，銀納米粒子更能有效地防止難聞氣味產生。試指出箇中原因。 (1 分)

(d) 銀納米粒子應鎖在襪子的纖維中。試利用文章的資訊來解釋原因。 (2 分)

20. **HKDSE 樣本試卷 2009**

(a) 以電勢差 V（單位：V）將一粒電子從靜止加速。證明電子最終的德布羅意波長 λ（單位：nm）為

$$\lambda \approx \frac{1.23}{\sqrt{V}}$$

(2 分)

(b) 在一台透射電子顯微鏡中，電子藉以加速的電勢差為 50 kV。

(i) 估算電子最終的德布羅意波長。 (1 分)

(ii) 描述在透射電子顯微鏡中電子怎樣被聚焦，並說明樣本是怎樣成像的。 (3 分)

(iii) 提出增強透射電子顯微鏡解像能力的**一個**方法，並加以說明。 (2 分)

(c) 指出納米科技的一項日常生活應用，並討論其對健康可能構成的各項風險。 (2 分)

21. **HKDSE 2014**

(a) 在透射電子顯微鏡 (TEM) 中，從陰極發射出的電子通過樣本以及下列四個功能部分後在屏幕上成像。

功能部分

(1) 磁物鏡

(2) 投影磁透鏡

(3) 聚焦磁透鏡

(4) 陽極

參照下面的 TEM 方框圖，配對圖中 A、B、C 和 D 所代表的功能部分。 (2 分)

陰極	A	B	樣本	C	D	屏幕

(b) (i) 當質量 m 和電荷 e 的電子以電壓 V 使其從靜止加速，證明其德布羅意波長 λ 為 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$，其中 h 為普朗克常數。 (2 分)

(ii) 一台 TEM 的加速電壓為 10 kV，求 λ。 (2 分)

(iii) 解釋為何 TEM 的解像能力比光學顯微鏡高。 (2 分)

(c) 掃描隧穿顯微鏡 (STM) 與透射電子顯微鏡 (TEM) 皆有極高的解像能力。現有一片金屬樣本需研究其內部結構，上述哪一種顯微鏡適用還是兩者皆適用？試加以說明。 (2 分)