

4-1

光的波動說



學習概念

1

光的微粒說與波動說 (配合課本 p.137)

1. 微粒說：以牛頓為代表人物

- (1) **內容**：認為光線是由發光物體射出的微粒所組成。
- (2) **可解釋的現象**：光的直線前進、光的反射、光的折射等。
- (3) **無法解釋以下現象**：
 - ① 兩光束交會前後互相不干擾。
 - ② 光進入另一介質時，有部分反射和部分折射的現象。
- (4) **預測**：牛頓從力學的觀點推論光在水中的傳播速率大於真空中的光速等。

2. 波動說：以惠更斯為代表人物

- (1) **內容**：認為光是一種縱波，而傳遞光波的介質為以太。
- (2) **可解釋的現象**：光的直線前進、光的反射、光的折射，亦可解釋兩光束交會前後互相不干擾與光進入另一介質時有部分反射和部分折射的現象。
- (3) **無法被當時科學家接受的原因**：
 - ① 光在行進中遇到障礙物時，會在障礙物的後面形成陰影，並無觀測到繞射現象。
 - ② 找不到傳遞光波的介質。
 - ③ 無相關實驗可以證明光波動理論的正確性。
- (4) **預測**：提出「惠更斯原理」，預測光波與水波或聲波一樣具有繞射與干涉現象；並推論光在水中的傳播速率小於真空中的光速等。

學習概念

2

光的干涉與繞射理論的起源 (配合課本 p.138)

1. **光的雙狹縫干涉實驗**：1801 年楊格作光的雙狹縫實驗，發現光具有干涉現象，證實光具有波動性。
2. **光的繞射實驗**：1801 年菲涅耳按照波動理論提出繞射的數學理論，而菲涅耳、夫朗何斐分別進行實驗發現光的繞射現象，再次證實了光具有波動性。
3. **光速的量測**：1850 年傅科測出光在水中的速率小於空氣中，證明惠更斯光波理論的預測與正確性，並推翻牛頓的光微粒說之預測。

範例

7

光的本質

在十七世紀時，牛頓提出光的微粒說，認為光是由極輕的微小粒子所構成，由此可以解釋光線直進、反射等現象，但下列哪些光學現象，無法用牛頓的微粒說解釋？（應選 2 項）

【103. 學測】

- (A)針孔成像實驗，其像上下顛倒、左右相反 (B)肥皂泡在空中飄浮時，呈現絢麗的色彩
(C)物體在燈光照射下，其背光處有明顯的影子 (D)在道路轉彎處豎立凸面鏡，可以擴大駕駛人的視野 (E)光從空氣入射至玻璃中，其速率變慢，且行進路徑偏向法線

答 (B)(E)

解 (B)肥皂泡的彩色圖案為光波的干涉，無法用牛頓的微粒說來解釋；(E)牛頓的微粒說認為光從空氣入射至介質中，速率會變快，且行進路徑偏向法線，故選(B)(E)。

類題 下列有關光的「微粒說」和「波動說」，哪些正確？

- (A)兩者皆能解釋光的直進和反射定律 (B)「微粒說」預測在水中的光速小於在空氣中
(C)折射定律只能用「微粒說」解釋 (D)牛頓提出「微粒說」，惠更斯提出「波動說」
(E)光的干涉現象只能用「波動說」解釋

答 (A)(D)(E)

((A)(B)粒子說預測在水中的光速大於在空氣中的光速；(C)粒子說和波動說均能解釋折射定律，但預測光在介質中的速率不同，故選(A)(D)(E)。)

4-1

課後練習

單選題

- (D) 1. 下列哪一項無法用光的波動性來解釋？
 (A)繞射現象 (B)折射現象 (C)干涉作用 (D)光電效應 (E)色散現象
 (1. (D)光電效應是光照射在金屬板上會使金屬板放射出電子的現象，此現象只有用光的粒子性行為才能被合理的說明，故選(D)。)
- (D) 2. 下列關於光的敘述，正確的有幾項？(甲)牛頓提出波動說、惠更斯提出粒子說、愛因斯坦提出光子說；(乙)光是電磁波，不需介質也能傳播；(丙)光的干涉與繞射現象表現出光的波動性；(丁)光的二象性（二重性）是指光兼具有粒子、波動性；(戊)光在真空中的速度比在介質中慢；(己)可見光的波長約在 380 奈米至 770 奈米；(庚)影子是因為光直線前進所產生。(辛)太陽所發出的可見光與廣播電視臺的電磁波，在本質上是相同的
 (A) 3 (B) 4 (C) 5 (D) 6 (E) 7
 (2. 甲應修正為：牛頓提出微粒說，惠更斯提出波動說。戊應修正為：光在真空中的速度比在介質中快，故選(D)。)
- (B) 3. 關於聲波與光波在介質中傳播速度的關係，下列敘述，何者正確？
 (A)兩列聲波在同一介質中傳播時，頻率高的聲波，其波速較大 (B)兩列聲波在同一介質中傳播時，波速與頻率無關 (C)兩列光波在同一介質中傳播時，頻率高的光波，其波速較大 (D)兩列光波在同一介質中傳播時，波速與頻率無關 (E)一列聲波與一列光波在同一介質中傳播時，波速相同
 (3. (1)頻率較高的光波，在介質中的光速較小；(2)光速比聲速快很多，故選(B)。)

多選題

- (A B) 1. 牛頓的光微粒說可以合理解釋光的哪些現象？
 (A)反射 (B)折射 (C)部分反射、部分折射 (D)干涉 (E)偏振
 (1. (C)牛頓的光微粒是無法分割的，故無法合理解釋光在界面部分反射與部分折射的現象；(D)干涉需用光的波動性來解釋；(E)偏振是證明橫波的性質，不是解釋粒子說。故選(A)(B)。)
- (B E) 2. 下列射線中，哪些為電磁波？
 (A)陰極射線 (B) X 射線 (C) α 射線 (D) β 射線 (E) γ 射線
 (2. (A)(D)陰極射線與 β 射線為電子，屬於粒子；(C) α 射線為 He 核，屬於粒子。故選(B)(E)。)

4-2

光的干涉現象



學習概念 1 光波產生穩定干涉條紋之條件 (配合課本 p.139)

1. 同調 (相干性) 光源：

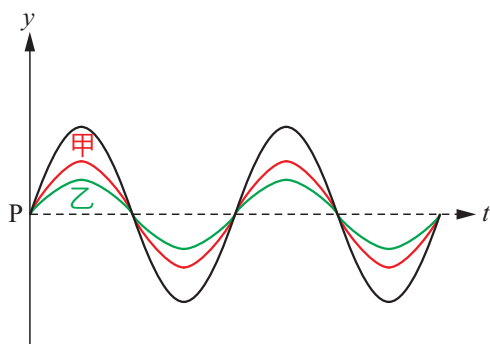
- (1) 定義：頻率相同且相位差保持固定的光源。
- (2) 目的：因同調光才能造成穩定的干涉現象，故同調光具有同調性或相干性。

2. 光波波長與狹縫尺度的關係：

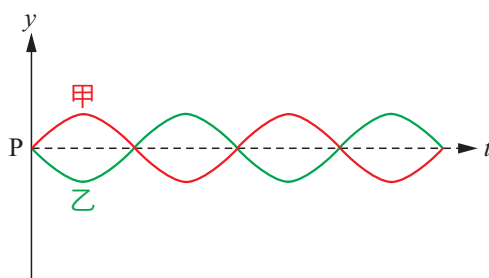
若光波波長與狹縫尺度愈接近，則繞射愈明顯，造成的干涉條紋分布區域愈廣。

3. 光波的干涉原理：根據波的重疊原理

- (1) 完全建設性干涉：如圖(一)所示，兩光波同相干涉，所產生合成波的振幅最大，光的亮度達最亮。
- (2) 完全破壞性干涉：如圖(二)所示，兩光波反相干涉且振幅相同，所產生合成波的振幅為零，光的亮度達最暗。



▲圖(一) 完全建設性干涉



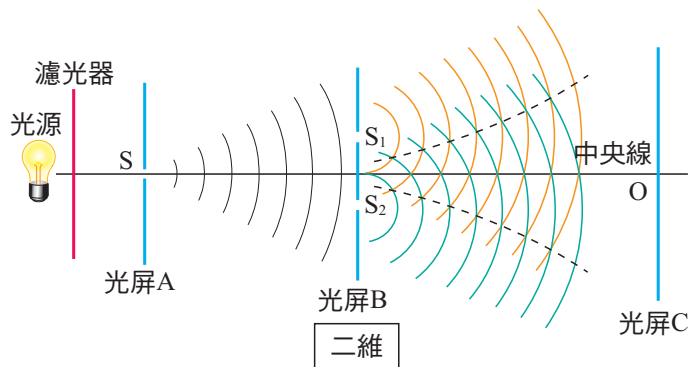
▲圖(二) 完全破壞性干涉

學習概念 2 楊氏雙狹縫干涉 (配合課本 p.140)

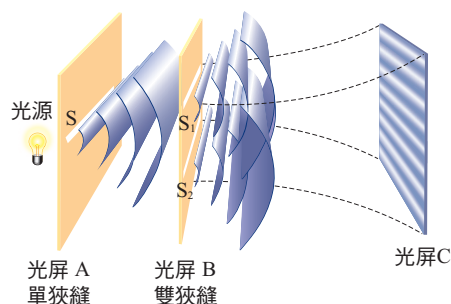
1. 楊氏雙狹縫干涉實驗：1801 年

(1) 實驗裝置與原理：

- ① 濾光器：如下圖，光源發出的光先經過濾光器成為單色光。



- ② 光屏 A 上的細長狹縫 S：單色光經過 S 時可形成線光源，並發出圓柱形波，如圖(一)所示，其橫截面為圓弧。因 $\overline{SS_1}$ 與 $\overline{SS_2}$ 有固定的波程差，故 S_1 和 S_2 可形成同調光。
- ③ 光屏 B 上的兩平行細長狹縫 S_1 和 S_2 ：經狹縫 S_1 和 S_2 所發出的圓柱形光波在空間形成干涉現象。
- ④ 光屏 C：干涉現象投影在屏幕上形成肉眼可觀測的干涉條紋。如圖(二)。



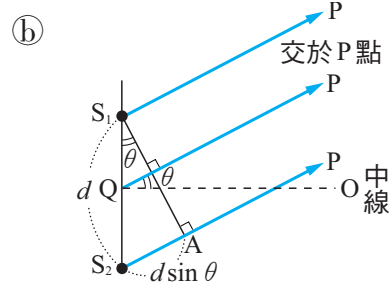
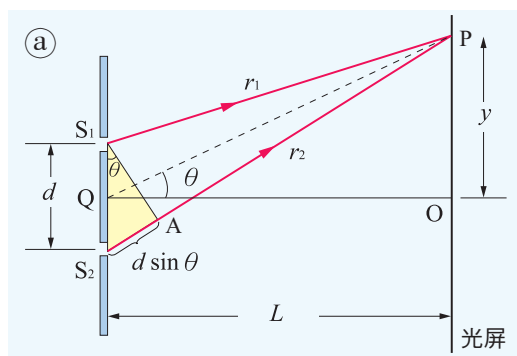
▲圖(一)



▲圖(二)

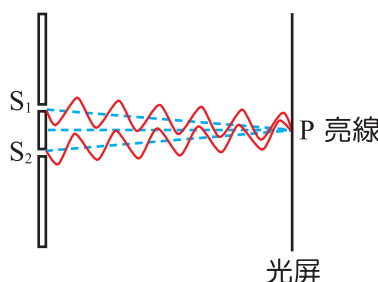
(2) 理想雙狹縫的干涉公式推導：

- ① 光程差：裝置中的狹縫寬度 a 小於 0.1 mm ，狹縫 S_1 和 S_2 的間隔 d 也大約僅 0.1 mm ，而狹縫到光屏的距離 L 大約 1 公尺、可見光波長 λ 大約 $4 \times 10^{-7} \text{ m} \sim 7 \times 10^{-7} \text{ m}$ 。由圖(三)①的幾何關係，因為 $L \gg d$ ，於是從兩狹縫所發出的光線 $\overline{S_1P}$ 和 $\overline{S_2P}$ 幾乎為平行線，所以光程差 $|\overline{S_1P} - \overline{S_2P}| \doteq d \sin \theta$ ，如圖(三)②。

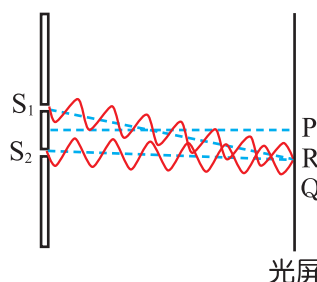


$$\text{光程差 } \overline{S_2P} - \overline{S_1P} \doteq \overline{S_2A} \doteq d \sin \theta$$

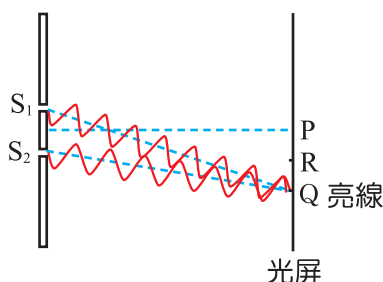
▲圖(三)



▲圖(四)



▲圖(五)



▲圖(六)

- a. 圖(四)：光程差 $= \overline{S_1P} - \overline{S_2P} = 0$ ，兩波交會時同相干涉，形成亮紋。
- b. 圖(五)：光程差 $= \overline{S_1R} - \overline{S_2R} = \lambda / 2$ ，兩波交會時反相干涉，形成暗紋。
- c. 圖(六)：光程差 $= \overline{S_1Q} - \overline{S_2Q} = \lambda$ ，兩波交會時同相干涉，形成亮紋。

- ② **亮紋條件**：若兩同相波源 (S_1, S_2) 至屏上任一點 P 的光程差為波長的整數倍，則兩光線作完全建設性干涉，此時 P 為亮紋中線上的點，

即光程差 $|\overline{S_1P} - \overline{S_2P}| = d \sin \theta = m \lambda$ ， $m=0, 1, 2, 3, \dots$

由於 θ 非常小，所以 $\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{y}{L}$ 。

$$\Rightarrow d \sin \theta = d \times \frac{y}{L} = m \lambda$$

亮紋位置 y 可寫為 $y_m = m \frac{L \lambda}{d}$

$\begin{cases} d: \text{兩狹縫 } S_1 \text{ 和 } S_2 \text{ 間的距離 } (\overline{S_1S_2}) \\ L: \text{狹縫至光屏距離} \\ \theta: \text{方位角} \end{cases}$

$m=0$ 時，稱為中央亮紋。

$m=1$ 時，為中央亮紋兩側的第一亮紋；

$m=2$ 時，為中央亮紋兩側的第二亮紋；

其餘類推。

- ③ **暗紋條件**：兩同相波源 (S_1, S_2) 至屏上一點 P 的光程差為半波長的奇數倍，則兩光線作完全破壞性干涉，此時 P 為暗紋中線上的點，即光屏上形成暗紋的條件為

$$|\overline{S_1P} - \overline{S_2P}| = d \sin \theta = (n - \frac{1}{2}) \lambda,$$

$n=1, 2, 3, \dots$

$$\Rightarrow d \times \frac{y}{L} = (n - \frac{1}{2}) \lambda$$

暗紋位置 y 可寫為 $y_n = (n - \frac{1}{2}) \frac{L \lambda}{d}$ ，

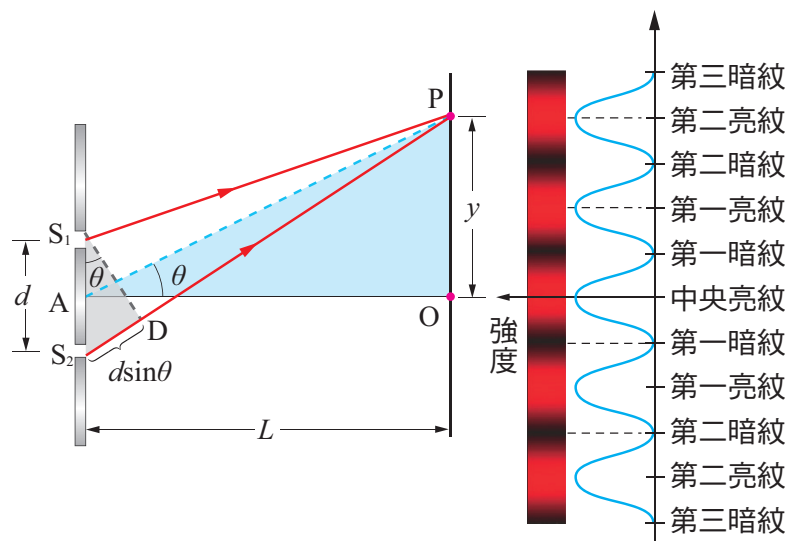
$n=1, 2, 3, \dots$

$n=1$ 時，

為中央亮紋兩側的第一暗紋；

$n=2$ 時，

為中央亮紋兩側的第二暗紋；其餘類推。



▲亮紋的強度變化關係圖

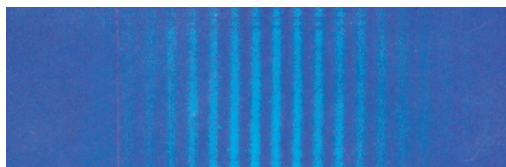
(3) 討論：

- ① 不同色光的干涉條紋：相鄰兩亮紋或暗紋的間隔與光波長成正比。

實際上所觀察到的干涉條紋為明暗相間之條紋，每一條亮紋的寬度相同，皆為 $\Delta y = \frac{L\lambda}{d}$ ，且相鄰兩亮紋中線或暗紋中線之間隔亦為 $\Delta y = \frac{L\lambda}{d}$ 。圖(七)和圖(八)所示分別為紅光和藍光的雙狹縫干涉條紋圖，由於紅光的波長較藍光長，所以前者兩相鄰條紋的間隔較後者寬。



▲圖(七) 紅光的干涉條紋



▲圖(八) 藍光的干涉條紋

- ② 白光的干涉條紋：如右圖，若以白光照射雙狹縫時，因為各色光的波長不同，故各色光的第一暗紋並不一致，但是中央亮紋卻是在同一位置。因此在中央亮紋位置，各色光再次重疊而成白光。而紅光的中央亮紋最寬，紫光中央亮紋最窄，因此，在中央位置的白色之外，產生彩色條紋。



▲白光的干涉條紋

範例

7

雙狹縫干涉

一單色光射於相距 2 mm 之兩平行狹縫玻璃板上，光通過狹縫後射於距離 2 m 光幕上，幕上中央亮帶距第一亮帶之距離為 0.6 mm，則：

- (1) 此單色光的波長為多少 Å？
- (2) 若改用 λ 為 4000 Å 的單色光重複此實驗，則暗紋間的距離為多少 mm？
- (3) 若整個裝置浸於一水槽中，則干涉條紋的間隔變為多少 mm？（水的折射率 n 為 $\frac{4}{3}$ ）
- (4) 若將兩狹縫的距離減半，則干涉條紋寬度變為多少 mm？

答 (1) 6000；(2) 0.4；(3) 0.45；(4) 1.2

解 (1) 由中央亮帶距第一亮帶之距離 $y_1 = \frac{L\lambda}{d}$ ， $0.6 = \frac{2000 \times \lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 6 \times 10^{-4} \text{ (mm)} = 6000 \text{ (Å)}。$

(2) 由 $\Delta y = \frac{L\lambda}{d} \propto \lambda$ ， $\frac{\Delta y'}{\Delta y} = \frac{\lambda'}{\lambda} \Rightarrow \Delta y' = \frac{4000}{6000} \times 0.6 = 0.4 \text{ (mm)}。$

(3) 整個裝置浸入水槽中， $\lambda' = \frac{\lambda}{n} = \frac{6000}{(\frac{4}{3})} = 4500 \text{ (Å)} \Rightarrow \frac{\Delta y'}{\Delta y} = \frac{\lambda'}{\lambda} \Rightarrow \Delta y' = \frac{4500}{6000} \times 0.6 = 0.45 \text{ (mm)}。$

(4) $\Delta y = \frac{L\lambda}{d}$ ， d 變 $\frac{1}{2}$ 倍， Δy 變 2 倍 $\Rightarrow \Delta y' = 2\Delta y = 0.6 \times 2 = 1.2 \text{ (mm)}。$

類題 某生用白光光源做「干涉與繞射」實驗，以同一雙狹縫干涉的裝置進行三次實驗時，將雙狹縫分別以僅可通過紅色、藍色、綠色的單色濾光片遮蓋，則使用不同顏色濾光片所產生干涉條紋的間距，由大至小排列為下列何者？

【101. 指考】

(A)紅、藍、綠 (B)紅、綠、藍 (C)藍、綠、紅 (D)綠、紅、藍 (E)藍、紅、綠

答 (B)

(條紋間距 $\Delta y = \frac{L\lambda}{d} \propto \lambda$ ，所以干涉條紋的間距，由大至小排列為紅、綠、藍，故選(B)。)

範例 2 光波長的測量

某單色雷射光 A 通過雙狹縫後，其干涉圖案如圖(a)所示；經測量所得結果發現相鄰兩暗紋之間隔為 3.2 mm，兩狹縫相距 0.2 mm，狹縫與光屏相距 1.3 m，則：



(1) 某單色雷射光 A 之波長約為若干 nm？

(A) 400 (B) 500 (C) 550 (D) 600 (E) 650

(2) 以另一單色雷射光 B 通過相同的雙狹縫後，兩干涉圖案在 $y = 0$ 處中央亮紋中心對齊如圖(b)，則第二個單色雷射光 B 的波長約為若干 nm？

(A) 550 (B) 520 (C) 500 (D) 475 (E) 450

答 (1)(B)；(2)(E)

解 (1)相鄰兩暗紋之間隔 $\Delta y = \frac{L\lambda}{d} \Rightarrow 3.2 = \frac{1300 \times \lambda}{0.2}$

$\therefore \lambda = 5 \times 10^{-4} \text{ (mm)} = 500 \text{ (nm)}$ ，故選(B)。

(2)由圖可知：A 光的第五暗紋與 B 光的第五亮紋重合，

故 $(5 - \frac{1}{2}) \frac{L \times (500)}{d} = 5 \times \frac{L(\lambda_2)}{d} \Rightarrow \lambda_2 = 450 \text{ (nm)}$ ，故選(E)。

類題 以未知波長的單色光照射一雙狹縫(狹縫間距為 0.01 cm)，在距狹縫正後方 100 cm 處的光屏上，若觀察到第一暗線及第三暗線的間距為 1.2 cm，則單色光的波長為若干 nm？

(A) 400 (B) 500 (C) 550 (D) 600 (E) 650

答 (D)

$(2\Delta y = 1.2 \Rightarrow \Delta y = 0.6 \text{ (cm)})$ ， $\Delta y = \frac{L\lambda}{d} \Rightarrow 0.6 = \frac{100\lambda}{0.01}$
 $\Rightarrow \lambda = 6 \times 10^{-5} \text{ cm} = 6 \times 10^{-7} \text{ m} = 600 \times 10^{-9} \text{ m} = 600 \text{ nm}$ ，故選(D)。

範例 3 非近似狀況

將波長 λ 的雷射光，垂直入射一個狹縫間距 $d = 2\lambda$ 的雙狹縫，請問，在狹縫後方 L 處，產生的第一暗紋中點距離中央有多遠？

- (A) $\frac{L}{2}$ (B) $\frac{L}{4}$ (C) $\frac{L}{8}$ (D) $\frac{L}{\sqrt{15}}$ (E) $\frac{2L}{\sqrt{15}}$

答 (D)

解 $\Delta y = \frac{L\lambda}{d}$ 為近似公式；其成立條件為角度很小， $\sin \theta \approx \tan \theta$ ，也就是 $d \gg \lambda$ 。

當 d 與 λ 沒有太大差距時，必須使用波程差 $\Delta \lambda = d \sin \theta$

第一暗紋處： $d \sin \theta = \frac{1}{2} \lambda$

可得： $\sin \theta = \frac{1}{4}$ ；利用三角函數性質可得 $\tan \theta = \frac{1}{\sqrt{15}}$

第一暗紋所在處： $y = L \tan \theta = \frac{L}{\sqrt{15}}$

故選(D)。



類題 某生使用波長為 λ 的光源進行雙狹縫干涉實驗，若兩狹縫間的距離 $d = 9\lambda$ ，則第 5 暗紋所在位置至雙狹縫中點之連線與中央線的夾角約為幾度？ 【102. 指考】

- (A) 30° (B) 45° (C) 53° (D) 60° (E) 75°

答 (A) (由雙狹縫干涉：第 5 暗紋到雙狹縫之光程差 $d \sin \theta = (5 - \frac{1}{2})\lambda = \frac{9\lambda}{2}$ ，將 $d = 9\lambda$ 代入，則 $\sin \theta = \frac{1}{2} \Rightarrow \theta = 30^\circ$ ，故雙狹縫中點之連線與中央線的夾角約 30° ，故選(A)。)

4-2

課後練習

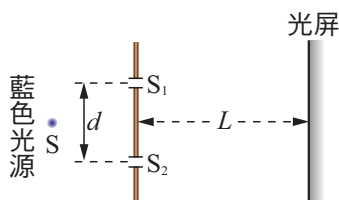
單選題

- (E) 1. 將兩個單獨光源，照射於白牆上，我們無法看見干涉條紋其原因為：
- (A)光不是波動無干涉現象 (B)有干涉條紋但太密集，超出吾人之觀察能力
(C)有干涉條紋，因各種色光條紋疊加變成白光 (D)有干涉現象，但其位置隨時在變且變化太快，故無法看到干涉條紋 (E)兩個單獨光源非同調光源，不會產生干涉現象

(1. (E)兩個單獨光源，因相位不固定，無法產生穩定的干涉條紋，所以不會看見干涉現象。故選(E)。)

2. ~ 4. 題為題組

以雷射光源作雙狹縫的干涉實驗，如右圖所示，已知狹縫間距 $d=0.10\text{ mm}$ ，狹縫到屏幕的距離為 $L=1\text{ m}$ 。若光屏上相鄰暗紋間隔寬為 0.50 cm ，則

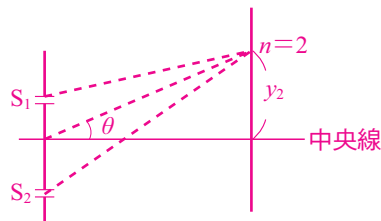


- (B) 2. 雷射光波長為若干 nm ?
- (A) 400 (B) 500 (C) 550 (D) 600 (E) 650

(2. 相鄰暗紋間隔 $\Delta y = \frac{L\lambda}{d} \Rightarrow 0.5 = \frac{100 \times \lambda}{10^{-2}} \Rightarrow \lambda = 5 \times 10^{-5} (\text{cm}) = 500 (\text{nm})$ ，故選(B)。)

- (B) 3. 第 1 亮帶的中央與中垂線的距離為若干 cm ?
- (A) 0.25 (B) 0.5 (C) 0.6 (D) 0.75 (E) 0.9

(3. 亮紋位置公式為 $y_m = m \cdot \frac{L\lambda}{d}$ ，第 1 亮帶中央與中央軸的距離 $y_1 = \frac{L\lambda}{d} = \Delta y = 0.5 (\text{cm})$ ，故選(B)。)



- (D) 4. 第 2 暗紋與中垂線的夾角為多少 rad ?
- (A) 7.5 (B) 7.5×10^{-1} (C) 7.5×10^{-2} (D) 7.5×10^{-3} (E) 7.5×10^{-4}

(4. 如右上圖，暗紋位置公式為 $y_n = (n - \frac{1}{2}) \cdot \frac{L\lambda}{d}$ ，第 2 暗帶中央與中央軸的距離 $y_2 = (2 - \frac{1}{2}) \cdot \frac{L\lambda}{d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L\lambda}{d} = \frac{3}{2} \Delta y = 0.75 (\text{cm}) \Rightarrow \theta \approx \sin \theta \approx \tan \theta = \frac{y_2}{L} = 7.5 \times 10^{-3} (\text{rad})$ ，故選(D)。)

- (A) 5. 以波長為 600 nm 的光照射一雙狹縫，在距狹縫 100 cm 處的光屏上，第一暗線及第三暗線的間距為 1.2 cm ，試求兩狹縫的間隔約為多少公分？
- (A) 0.01 (B) 0.1 (C) 0.0075 (D) 0.75 (E) 7.5

(5. 因第 1 暗紋的位置 $y_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{L\lambda}{d}$ ，第 3 暗紋的位置 $y_3 = \frac{5}{2} \cdot \frac{L\lambda}{d}$ ，故兩線相距 $(y_3 - y_1) = \frac{2L\lambda}{d} = 1.2\text{ cm} \Rightarrow \frac{2 \times 100 \times 600 \times 10^{-7}}{d} = 1.2 \Rightarrow d = 0.01 (\text{cm})$ 。故選(A)。)

- (D) 6. 有某生在空氣中進行雙狹縫干涉實驗，測得中央亮紋寬度為 ΔY_1 ，若將完全相同的整套裝置移至水中進行實驗，測得中央亮紋寬度為 ΔY_2 ，則下列敘述或關係式，何者正確？

(A) 水中光波頻率增大 (B) 水中光波波長增長 (C) 水中光速增大 (D) $\Delta Y_2 < \Delta Y_1$
(E) $\Delta Y_2 > \Delta Y_1$

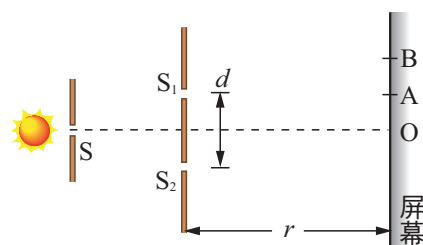
(6. 由於光在水中波長會變小，由雙狹縫干涉中央亮紋寬度 $\frac{L\lambda}{d}$ 可知：在水中的中央亮紋寬度較小，故選(D)。)

- (D) 7. 在楊氏雙狹縫干涉實驗中，若用波長為 5100 \AA 之綠光，則所生第一亮帶與中央亮帶相隔 0.3 mm ；今若改為另一單色光，則為 0.4 mm ，試求此色光之波長約為多少 \AA ？

(A) 3825 (B) 4500 (C) 5100 (D) 6800 (E) 7500

(7. 第一亮帶與中央亮帶中央之距離為 $y_1 = \frac{L\lambda}{d} \propto \lambda \Rightarrow \frac{0.4 \text{ mm}}{0.3 \text{ mm}} = \frac{\lambda'}{5100} \Rightarrow \lambda' = 6800 \text{ \AA}$ ，故選(D)。)

- (E) 8. 以 $\lambda = 6000 \text{ \AA}$ 的單色光作雙狹縫干涉實驗如右圖，雙狹縫相距 $d = 0.3 \text{ mm}$ ， $\overline{SS_1} = \overline{SS_2}$ ，雙狹縫與屏幕相距 $r = 1 \text{ m}$ ，O、A、B 各為中央亮帶的中心，第一暗紋、第二亮帶的中心，若 $\overline{OA} = x \text{ cm}$ ， $\overline{OB} = y \text{ cm}$ ，則 $x + y$ 為多少 cm ？



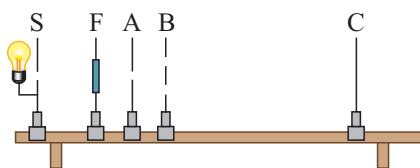
(A) 0.1 (B) 0.2 (C) 0.3 (D) 0.4 (E) 0.5

(8. 第一暗紋位置 $x = \frac{r\lambda}{2d} = \frac{1}{2} \frac{100 \times 6 \times 10^{-5}}{3 \times 10^{-2}} = 0.1 \text{ (cm)}$ ，

第二亮紋位置 $y = 2 \times \frac{r\lambda}{d} = 4x = 0.4 \text{ (cm)}$ $\therefore x + y = 0.5 \text{ (cm)}$ ，故選(E)。)

多選題

- (B D) 1. 雙狹縫干涉實驗裝置如右圖所示。其中 S 為強光源，F 為濾光片，A 為光源前單狹縫，B 為雙狹縫，C 為白屏。下列敘述哪些正確？



(A) B 的兩個狹縫之間距減小時，干涉條紋中兩相鄰亮帶的間距變小 (B) B 和 C 的距離拉大時，干涉條紋中兩相鄰亮帶的間距變大 (C) 在 C 上觀察到的干涉條紋，中央最亮也最寬 (D) 將 F 移到 A、B 之間，C 上的干涉圖樣不會改變 (E) 將 F 取走後，在 C 上也會出現明暗相間的干涉條紋

(1. (A) 由 $\Delta y = \frac{L\lambda}{d} \propto \frac{1}{d}$ ，可知當兩狹縫間距 d 變小，兩相鄰亮帶的間距 Δy 變大；(B) $\Delta y = \frac{L\lambda}{d} \propto L$ ，可知當 L 變大，兩相鄰亮帶的間距 Δy 變大；(C) C 上的干涉條紋寬度是相等的；(D) 濾光片只要放在 S 與 C 之間的各處，C 上的干涉圖樣均不會改變；(E) 將 F 取走後，因通過的光不是單色光，所以會形成彩色圖案。綜上所述，故選(B)(D)。)

- (B D) 2. 以波長為 λ 的單色光，作雙狹縫干涉實驗。若通過兩狹縫的光為同相位，則光屏上的暗紋，距兩狹縫的距離差可能為哪些？

(A) $\frac{\lambda}{4}$ (B) $\frac{\lambda}{2}$ (C) λ (D) $\frac{3}{2}\lambda$ (E) 2λ

(2. 當光屏上的點距兩狹縫的距離差為 $\frac{\lambda}{2}$ 的奇數倍，兩狹縫的同相位光波在該點會形成破壞性干涉呈現暗紋，故選(B)(D)。)

- (C D) 3. 以單色光做雙狹縫干涉實驗，下列敘述哪些正確？ 【90. 日大】

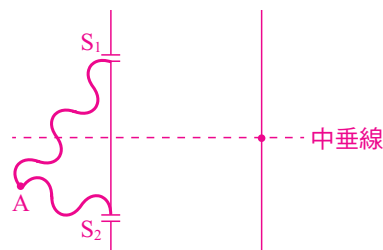
(A)光源由紅光改成黃光時，亮紋間距變大 (B)把兩個狹縫之間距縮小時，亮紋間距也變小 (C)把兩個狹縫之寬度皆各減小時，亮紋間距不變 (D)把雙狹縫與光屏間的距離拉大時，亮紋間距變大 (E)把整個系統改放在折射率較大的透明介質中時，亮紋間距不變

(3. 亮紋間距 $\Delta y = \frac{L\lambda}{d}$ ，(A)由紅光改為黃光，波長減短， Δy 變小，亮紋間距變小；(B)狹縫間距 d 縮小， Δy 變大，亮紋間距變大；(C)兩狹縫的寬度對雙狹縫干涉條紋沒有影響；(D)雙狹縫和光屏間的距離 L 拉大時， Δy 變大，亮紋間距變大；(E)折射率 $n = \frac{c}{v}$ ，把整個系統改放在折射率較大的透明介質中時，波速變慢，但光源的頻率不變，故波長 λ 變短， Δy 變小，亮紋間距變小，故選(C)(D)。)

- (C E) 4. 在 A 點之點光源發射波長為 λ 之光波，通過雙狹縫 S_1 與 S_2 之後，在 $\overline{S_1S_2}$ 之中垂線與光屏之交點上造成全暗之干涉條紋，則光自 A 至 S_1 及光自 A 至 S_2 之光程差可能為：

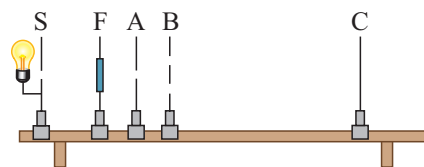
(A) λ (B) $\frac{1}{4}\lambda$ (C) $\frac{3}{2}\lambda$ (D) 0 (E) $\frac{5}{2}\lambda$

(4. 光之波程差為 $\frac{\lambda}{2}$ 之奇數倍，方可產生破壞之暗線，故選(C)(E)。)



非選題

1. 右圖為雙狹縫干涉實驗裝置示意圖，其中 S 表強光源、F 為濾光片、A 為光源前單狹縫、B 為雙狹縫、C 為光屏，則：



(1) A 的主要作用為何？

(2) 若將 A 與 F 拿掉，則光源 S 需如何改變才能在光屏上觀察到干涉條紋？

答：(1)見解析；(2)換成雷射光源

(1. (1) A 的單狹縫可以確保到達 B 的雙狹縫上的光波形成同調光。
(2)將 S 換成雷射光源即可。)

2. 在一個雙狹縫干涉實驗中，光波的波長為 550 nm，兩狹縫的間隔為 2.20 μm，兩狹縫至屏幕的距離為 50.0 cm，則在屏幕上，中央干涉亮紋中心與第一干涉亮紋的中心，其間隔為何？

【91. 指考】

答：0.125 m

(2. 波長 $\lambda = 550 \text{ nm} = 550 \times 10^{-9} \text{ m}$ ，兩狹縫間隔 $d = 2.20 \text{ μm} = 2.20 \times 10^{-6} \text{ m}$ ，
狹縫距屏幕 $L = 50.0 \text{ cm} = 50.0 \times 10^{-2} \text{ m}$ ，

$$\text{第 1 亮紋中心距中央線 } y_1 = \frac{L \lambda}{d} = \frac{(50.0 \times 10^{-2})(550 \times 10^{-9})}{2.20 \times 10^{-6}} = 0.125 \text{ m} \circ)$$

3. 將波長分別為 4800 埃及 6000 埃之單色光同時照射在一雙狹縫上，兩狹縫相距 0.04 公分，狹縫與屏距離為 100 公分，則兩單色光干涉亮紋第一次重疊（最接近中央亮紋）發生在距離中央亮紋中心何處？

答：0.6 cm

$$(3. \ y_1 = m_1 \times \frac{L \lambda_1}{d} = m_1 \times \frac{100 \times 4800 \times 10^{-8}}{0.04} = 0.12 \ m_1 \ (\text{cm}) \cdots \cdots \textcircled{1}$$

$$y_2 = m_2 \times \frac{L \lambda_2}{d} = m_2 \times \frac{100 \times 6000 \times 10^{-8}}{0.04} = 0.15 \ m_2 \ (\text{cm}) \cdots \cdots \textcircled{2}$$

$$\text{重疊表示位置相同} \Rightarrow y_1 = y_2 \Rightarrow 0.12 \ m_1 = 0.15 \ m_2 \Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{15}{12} = \frac{5}{4} \Rightarrow (m_1, m_2) = (5, 4), (10, 8) \cdots \cdots$$

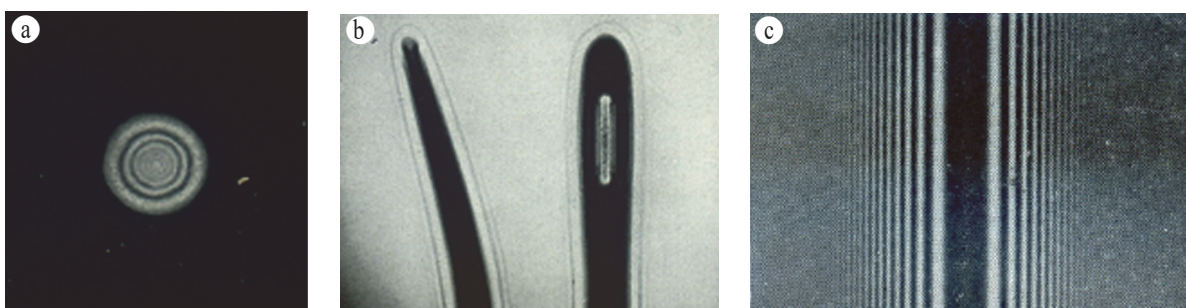
$\therefore y_1$ 與 y_2 第一次重疊發生在 $y = 0.6 \text{ cm}$ 處（即 $m_1 = 5, m_2 = 4$ ）。

4-3 光的繞射現象

學習概念 1 生活中的繞射現象 (配合課本 p.153)

1. 光的繞射現象：

- (1) 圖(一) ①為光經黑色障礙物中央的小孔後形成的圓形明暗繞射條紋。
- (2) 圖(一) ②為光經針尖及針頭(含針孔)後，邊緣形成繞射條紋。
- (3) 圖(一) ③為光通過直電線時，線的兩側呈現明暗的繞射條紋。

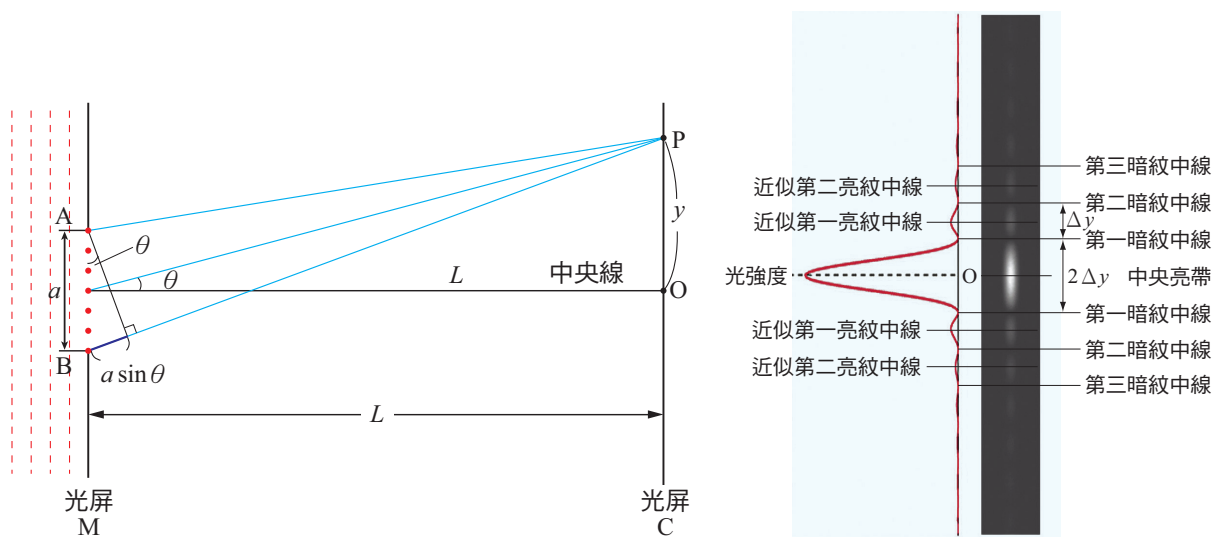


▲圖(一) ①光經過小孔後的繞射現象；②光經過針尖及針孔後的繞射現象；③光經過直電線後的繞射現象。

學習概念 2 單色光通過單狹縫的繞射圖案分析 (配合課本 p.148 ~ 153)

1. 實驗原理：如圖(二)

根據惠更斯原理，波前上的每一點波(子波)均發出球面波；因單狹縫繞射實驗中兩光屏 M 和 C 之間的距離 L 遠大於狹縫的寬度 a ，故從狹縫開口的每一子波源發出而會聚於屏上某點的光均可視為平行光。



▲圖(二)

2. 光程差與繞射條紋的亮、暗關係：

狹縫開口兩端的 A 和 B 兩點光源至 P 點的光程差 = $|\overline{BP} - \overline{AP}|$
 $\doteq a \sin \theta$ ，如上頁圖(二)所示。

- (1) 光屏 C 中央位置 O 點： $|\overline{BP} - \overline{AP}| \doteq a \sin \theta = 0$ ，如圖(三)，
 因點光源到中點 O 所走的光程皆相等，所以在中點 O 為完全
 建設性干涉，形成亮紋，且為光屏上最亮的位置。

- (2) 若 $|\overline{BP} - \overline{AP}| \doteq a \sin \theta = \frac{1}{2} \lambda$ ：

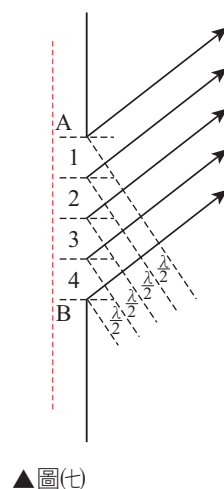
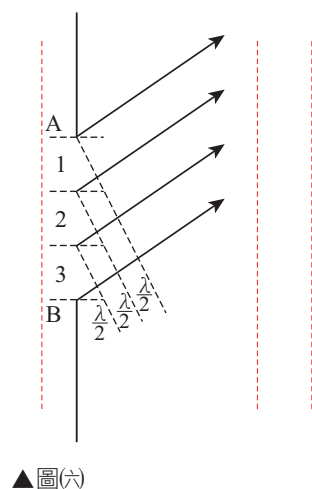
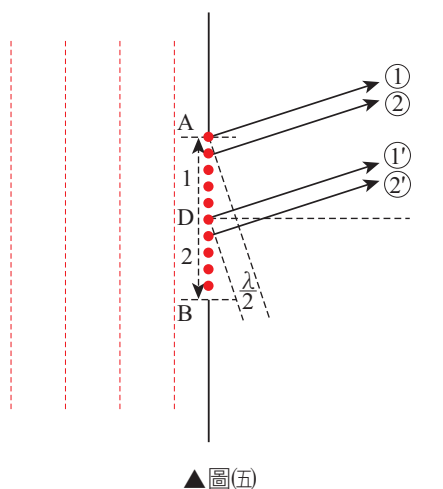
如圖(四)所示，僅光線 AP 和光線 BP 的光程差為 $\frac{1}{2} \lambda$ ，會互相
 完全抵銷之外，其餘光線的光程差都沒有 $\frac{1}{2} \lambda$ ，即非完全破壞
 性干涉，故 P 點仍有相當的亮度，是光屏上中心最亮區的延伸，
 屬於中央亮帶。

- (3) 若 $|\overline{BP} - \overline{AP}| \doteq a \sin \theta = \lambda$ ：

如圖(五)所示，將狹縫 AB 分為 AD 和 DB 兩等分。因標示①和

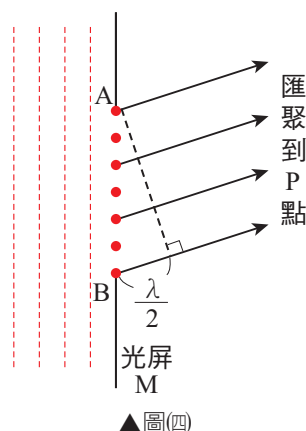
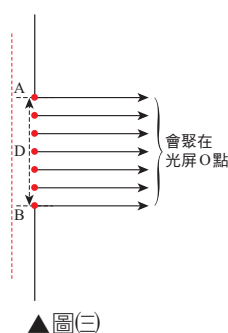
①' 兩光線的路程差為 $\frac{\lambda}{2}$ ，形成完全破壞性干涉；圖中標示②和②' 兩光線的路程差

也是 $\frac{\lambda}{2}$ ，也形成完全破壞性干涉；如此，在 AD 區域中的任一光線，在 DB 區域中都
 存在一條與之路程差為 $\frac{\lambda}{2}$ 的光線，兩者形成完全破壞性干涉而抵銷，所以 P 點的光強
 度為零，成為第一暗紋。



- (4) 若 $|\overline{BP} - \overline{AP}| \doteq a \sin \theta = \frac{3}{2} \lambda$ ：

如圖(六)所示，將狹縫 AB 分為三等分，因其中第 1 和第 2 部分發出的光線在光屏 C 上
 互相作完全破壞性干涉而抵銷，僅剩第 3 部分的光未完全相銷，故形成第一亮帶（第
 一亮紋）中線，此點的亮度比中央 O 點的亮度較小。



(5) 若 $|\overline{BP} - \overline{AP}| \doteq a \sin \theta = 2\lambda$:

如上頁圖(t)所示，將狹縫 AB 分為四等分，因圖中的 1 和 2 兩部分抵達 P 點的光線作完全破壞性干涉，且 3 和 4 兩部分抵達 P 點的光線也是完全破壞性干涉，故光在此點的強度為零，成為第二暗紋。

(6) 結論：

① 亮帶中線的條件： $|\overline{BP} - \overline{AP}| \doteq a \sin \theta = (n + \frac{1}{2})\lambda$ ， $n=1、2、3、\dots$

② 暗帶中線的條件： $|\overline{BP} - \overline{AP}| \doteq a \sin \theta = m\lambda$ ， $m=1、2、3、\dots$ ($m=0$ 是中央亮紋)

3. 繞射條紋的位置與寬度：

(1) 繞射條紋的位置：狹縫中點至光屏上某點 P 的方向與中央線的夾角為 θ （稱為繞射角），光屏上 P 點與中央 O 點的距離為 y ，如前面圖(二)所示。因為 θ 甚小，所以 $\sin \theta \approx$

$$\tan \theta = \frac{y}{L}, \text{ 則}$$

$$\text{光程差} = |\overline{BP} - \overline{AP}| = a \sin \theta \approx a \tan \theta = \frac{ay}{L}$$

① 亮帶中線位置（完全建設性干涉）：

$$|\overline{BP} - \overline{AP}| = a \sin \theta = \frac{ay_n}{L} = (n + \frac{1}{2})\lambda$$

$$\Rightarrow y_n = (n + \frac{1}{2}) \frac{L\lambda}{a}, n = 1、2、3、\dots$$

② 暗帶中線位置（完全破壞性干涉）：

$$|\overline{BP} - \overline{AP}| = a \sin \theta = \frac{ay_m}{L} = m\lambda \Rightarrow y_m = m \frac{L\lambda}{a}, m = 1、2、3、\dots$$

(2) 亮帶寬度：中央亮帶寬度為 $2 \frac{L\lambda}{a}$ ，其餘亮帶寬度為 $\frac{L\lambda}{a}$ 。

在光屏上所見的繞射圖樣，為從中央線往兩旁形成亮暗相間的條紋，中央亮帶的寬度較兩旁亮帶為寬，且兩旁亮帶的亮度逐漸衰減。

① 中央亮紋寬度 $\Delta y_{\text{中央}} = \text{兩旁第一暗紋間的距離} = 2y_{m=1} = 2 \frac{L\lambda}{a}$ 。

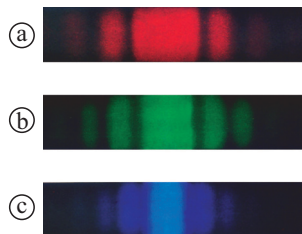
② 其他亮紋寬度 $\Delta y_{\text{亮}} = \text{兩相鄰暗紋的間隔} = y_{m+1} - y_m = \frac{L\lambda}{a}$ 。

③ 相鄰亮紋的距離 $\Delta y = y_{n+1} - y_n = \frac{L\lambda}{a}$ 。

④ 中央亮帶的寬度和照射單狹縫的光波波長 λ 成正比。

\Rightarrow 紅光和藍光的單狹縫繞射圖樣，如右圖，

紅光所形成的中央亮帶的寬度較藍光寬。



學習概念

3 白光通過單狹縫的繞射圖案分析 (配合課本 p.153)

1. 以白光照射單狹縫所產生的彩色繞射圖：

白色光經單狹縫繞射時，因中央區域是不同色光同時到達，故混合成白光，但兩側為彩色條紋。



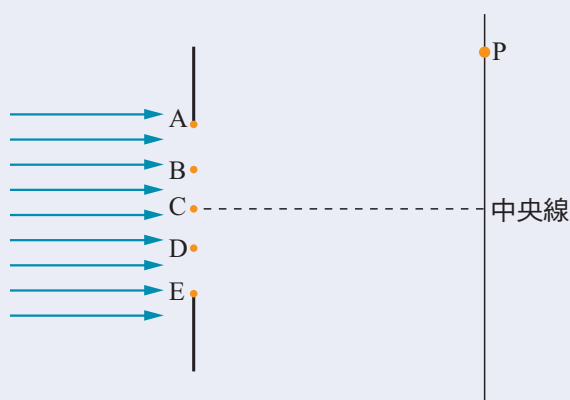
【※ 最接近中央亮區邊緣為紫光產生的破壞性干涉區，即紫光最先消失，但實際上紫光範圍很小，且人眼對紫光的敏感度很低，故通常紫光旁邊的藍光消失影響較大，即呈現藍光的互補色光——黃光。】

範例

1

光程差

右圖為單狹縫繞射的實驗裝置圖，單狹縫自上邊緣 A 到下邊緣 E 共分四等分且以 A、B、C、D、E 標明其位置，其中 C 為中點；若入射光為波長 λ 的平行光，且光屏上 P 點為中央線旁的第二亮紋。（已知 $\overline{AE} = a$ 、狹縫至光屏的距離為 L ，且 $L \gg a$ ）



- (1) A、E 兩點至屏上 P 點的光程差為何（以 λ 表示）？A、C 兩點至屏上 P 點的光程差為何（以 λ 表示）？
- (2) P 點離中央線的距離為何？

答

(1) $\frac{5}{2} \lambda$, $\frac{5}{4} \lambda$; (2) $\frac{5L\lambda}{2a}$

解

(1) 亮紋至狹縫兩端的光程差公式為 $\overline{PE} - \overline{PA} = (n + \frac{1}{2}) \lambda$,

P 點為中央線旁第二亮紋位置，

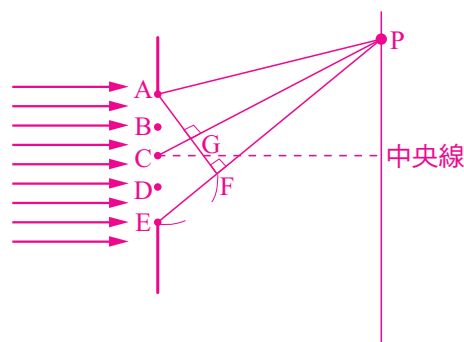
則光程差 $\overline{PE} - \overline{PA} = (2 + \frac{1}{2}) \lambda = \frac{5}{2} \lambda$,

$\overline{PC} - \overline{PA} = \overline{CG} = \frac{1}{2} \overline{EF} = \frac{5}{4} \lambda$;

(2) 已知狹縫寬度為 a ，狹縫至屏的距離為 L ，

因第 n 條亮紋與中央線的距離 $y_n = (n + \frac{1}{2}) \frac{L\lambda}{a}$;

故第二亮紋 P 與中央線的距離 $y = (2 + \frac{1}{2}) \frac{L\lambda}{a} = \frac{5L\lambda}{2a}$ 。



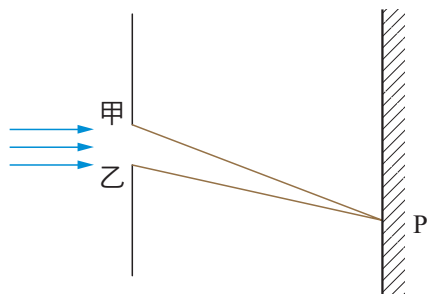
類題 以波長為 λ 的平行光，垂直入射單狹縫作繞射實驗。

單狹縫的上端為甲，下端為乙，如右圖所示。若圖中屏幕距狹縫極遠，且屏幕上 P 點為第二暗紋，則

(1) 甲、乙二點到 P 點的光程差為下列何者？

- (A) $\frac{\lambda}{2}$ (B) λ (C) $\frac{3\lambda}{2}$ (D) 2λ (E) $\frac{5\lambda}{2}$

(2) 已知狹縫寬度為 a ，狹縫至屏的距離為 L ，P 點離中央線的距離為何？



答 (1) (D)；(2) $\frac{2L\lambda}{a}$

【100. 指考修改】

(1) 暗紋至甲、乙的波程差公式為 $\overline{P甲} - \overline{P乙} = m\lambda$ ， $m = 1, 2, 3, \dots$ ；P 為第二暗紋，則甲、乙二點到 P 點的光程差為 2λ 。故選(D)。

(2) 第 m 條暗紋與中央線的距離 $y_m = m \frac{L\lambda}{a} \Rightarrow$ 第二暗紋 P 與中央線的距離 $y = \frac{2L\lambda}{a}$ 。

範例 2 干涉與繞射

在「狹縫干涉和繞射」的實驗中，雙狹縫至屏幕的距離為 2.00 m。先以一未知波長的雷射光垂直入射一個狹縫間距為 100 μm 的雙狹縫做干涉實驗，測得屏幕上干涉圖樣之中央亮帶的中央線與第二暗紋的距離為 1.95 cm，接著利用單狹縫的繞射現象以測量單狹縫的縫寬時，僅將雙狹縫片改為單狹縫片而其餘實驗參數不變，測得單狹縫繞射圖樣之中央亮帶的中央線與第二暗紋的距離為 13.0 cm，則下列敘述哪些正確？ 【110. 指考】

(A) 雙狹縫干涉圖樣之中央亮帶的中央線到第三暗紋的距離為 2.60 cm (B) 雙狹縫干涉圖樣之中央亮帶寬度為 1.30 cm (C) 單狹縫繞射圖樣之中央亮帶寬度為 13.0 cm (D) 雷射光的波長為 450 nm (E) 單狹縫的縫寬為 20.0 μm

答 (B)(C)(E)

解 (A) 由於中央亮帶的中央線到第三暗紋的距離：中央線與第二暗紋的距離 = 5 : 3，故中央亮帶的中央線到第三暗紋的距離 = $1.95 \times \frac{5}{3} = 3.25 \text{ cm}$ ；(B) 雙狹縫干涉圖樣之中央亮帶寬度：中央線與第二暗紋的距離 = 2 : 3，故中央亮帶寬度為 $1.95 \times \frac{2}{3} = 1.30 \text{ cm}$ ；(C) 單狹縫繞射圖樣之中央亮帶寬度：中央亮帶的中央線與第二暗紋的距離 = 1 : 1，故中央亮帶寬度為 13.0 cm；(D) 由於雙狹縫干涉圖樣之中央亮帶寬度 = $\frac{2 \times \lambda}{100 \times 10^{-6}} = 1.3 \times 10^{-2} \Rightarrow \lambda = 6.5 \times 10^{-7} \text{ m} = 650 \text{ nm}$ ；(E) 由於單狹縫繞射圖樣之中央亮帶寬度 = $2 \times \frac{2\lambda}{a} = 13.0 \times 10^{-2} \Rightarrow 2 \times \frac{2 \times 6.5 \times 10^{-7}}{a} = 13.0 \times 10^{-2} \Rightarrow a = 2.0 \times 10^{-5} \text{ m} = 20 \mu\text{m}$ 。故選(B)(C)(E)。

- 類題** 1. 以一未知波長的單色光做單狹縫繞射實驗，測得中央亮帶的寬度為 2 cm。如狹縫寬 0.01 cm，且距屏 200 cm，則其波長為若干 nm？

(A) 300 (B) 400 (C) 450 (D) 500 (E) 550

答 (D)

(1. 單狹縫繞射的中央亮帶寬度 $\Delta y_0 = 2 \frac{L\lambda}{a}$
 $\Rightarrow 2 \text{ cm} = 2 \cdot \frac{200 \text{ cm} \cdot \lambda}{0.01} \quad \therefore \lambda = 5 \times 10^{-5} \text{ cm} = 500 \text{ nm}。$
 故選(D)。)

- 類題** 2. 某生欲以間距為 1.6 mm 的雙狹縫，來測知另一單狹縫的縫寬。當雷射光垂直入射雙狹縫後，在屏幕上測得相鄰兩暗紋的間距為 0.60 cm，在所有器材與實驗設置不變的情況下，僅將雙狹縫更換為單狹縫後，在屏幕上中央亮帶的同一側，測得相鄰兩暗紋的間距為 6.0 cm，則單狹縫的縫寬為何？ **【103. 指考】**

(A) 0.16 mm (B) 0.32 mm (C) 1.6 mm (D) 3.2 mm (E) 3.2 cm

答 (A)

(2. 雙狹縫的相鄰兩暗紋的間距 $\Delta y_d = \frac{L\lambda}{d} = \frac{L\lambda}{1.6 \text{ (mm)}} = 0.6 \text{ (cm)} \cdots \cdots \textcircled{1}；$

單狹縫的相鄰兩暗紋的間距 $\Delta y_a = \frac{L\lambda}{a} = 6.0 \text{ (cm)} \cdots \cdots \textcircled{2}；$

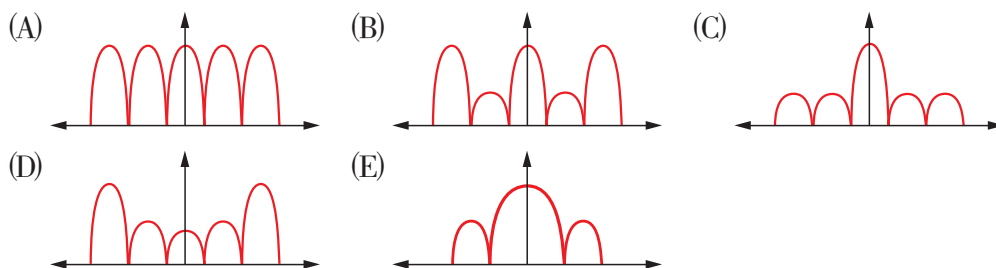
故上兩式相除可得 $a = 0.16 \text{ (mm)}。$ 故選(A)。)

4-3

課後練習

單選題

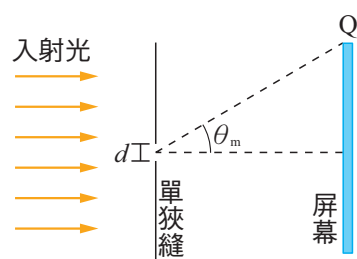
(E) 1. 下面哪一個圖形，可以表示單狹縫繞射的強度分布圖？



(1. 根據單狹縫繞射原理，故選(E)。)

2. ~ 4. 題為題組

右圖為單狹縫繞射實驗裝置示意圖，其中狹縫寬度為 d 、狹縫到屏幕的距離 L 。今以波長為 λ 的平行光，垂直入射單狹縫，觀測到屏幕 Q 點為第 1 條暗紋處，Q 與狹縫中垂線的夾角為 θ_m 。



(B) 2. 分別從狹縫的兩邊緣處到達 Q 點的光程差是波長的多少倍？

- (A) $\frac{1}{2}$ (B) 1 (C) $\frac{3}{2}$ (D) 2 (E) $\frac{5}{2}$

(2. 第 m 條暗紋到狹縫的波程差 $d \sin \theta_m = m \lambda$ ，Q 為第一暗紋 $\Rightarrow d \sin \theta_m = \lambda$ 。故選(B)。)

(A) 3. Q 點離中央亮紋中心的距離為何？

- (A) $\frac{L \lambda}{d}$ (B) $\frac{L \lambda}{2d}$ (C) $\frac{2L \lambda}{d}$ (D) $\frac{3L \lambda}{2d}$ (E) $\frac{3L \lambda}{d}$

(3. 第 m 條暗紋到狹縫的波程差 $d \sin \theta_m = m \lambda \Rightarrow d \frac{y}{L} = m \lambda \Rightarrow$ 暗紋位置 $y_m = m \frac{L \lambda}{d}$
第 1 條暗紋位置 $y_1 = \frac{L \lambda}{d}$ ，故選(A)。)

(A) 4. 若狹縫寬度為 $d = 2 \lambda$ ，則 Q 點所對應繞射角 θ_m 大約為若干度？

- (A) 30 (B) 37 (C) 45 (D) 53 (E) 60

(4. 第 m 條暗紋到狹縫的波程差 $d \sin \theta_m = m \lambda$ ，
Q 為第一暗紋 $\Rightarrow d \sin \theta_1 = \lambda \Rightarrow \sin \theta_1 = \frac{\lambda}{d} = \frac{\lambda}{2 \lambda} = \frac{1}{2} \Rightarrow \theta_1 = 30^\circ$ 。
故選(A)。)

5.、6. 題為題組

薔萱利用 5000 \AA 波長的單色光，操作「單狹縫繞射」實驗。已知她所用的單狹縫寬度為 0.1 mm ，在光屏上測量到中央亮帶的寬度為 0.4 cm 。

(D) 5. 光屏上第 2 亮帶中央與單狹縫兩端的光程差為何？

(A) 500 \AA (B) 2500 \AA (C) 5000 \AA (D) 12500 \AA (E) 25000 \AA

(5. 單狹縫亮帶中央至狹縫兩端的光程差為 $(n + \frac{1}{2})\lambda$ ，

第二亮帶的 $n=2$ ，其光程差為 $\frac{5}{2}\lambda = 12500 \text{ \AA}$ ，故選(D)。

(B) 6. 第二亮帶中點到中央線的距離應為多少 cm ？

(A) 0.4 (B) 0.5 (C) 0.6 (D) 0.7 (E) 0.8

(6. 中央亮帶寬度 $\Delta y = 2 \frac{L\lambda}{a} = 0.4 (\text{cm}) \Rightarrow \frac{L\lambda}{a} = 0.2 (\text{cm})$ ，

第二亮帶中點到中央線 $y = \frac{5}{2} \frac{L\lambda}{a} = \frac{5}{2} \times 0.2 = 0.5 (\text{cm})$ ，故選(B)。

(A) 7. 以波長 λ 垂直照射寬度 a 的單狹縫片，則波長 λ 與狹縫寬度 a 在哪一個條件下可得最大繞射角？

(A) $a = \lambda$ (B) $a = \frac{3}{2}\lambda$ (C) $a = \frac{5}{2}\lambda$ (D) $a \gg \lambda$ (E) $a \ll \lambda$

(7. 第一暗紋： $a \sin \theta = \lambda \Rightarrow \sin \theta = \frac{\lambda}{a}$ ，當狹縫寬 a 與入射光波長 λ 相等時，

第一極小的繞射角恰為 90° 。此時屏幕上只出現中央亮帶，表示繞射最明顯，故選(A)。

(A) 8. 在「狹縫的干涉和繞射」實驗中，得到雙狹縫的干涉條紋寬度為 y ，雙狹縫中的單一狹縫所形成的繞射，其中央亮區的寬度為 D 。若雙狹縫的狹縫間距為 d ，則單一狹縫的寬度為何？（假設光源及狹縫至光屏的距離皆不變）

(A) $\frac{2dy}{D}$ (B) $\frac{2Dy}{d}$ (C) $\frac{dD}{2y}$ (D) $\frac{dy}{2D}$ (E) $\frac{Dy}{2d}$

(8. 因雙狹縫的干涉條紋寬度 $\Delta y = \frac{r\lambda}{d} = y$ 、單狹縫繞射中央亮區的寬度 $\Delta y_0 = 2 \frac{r\lambda}{a} = D$ ，故單一狹

縫的寬度 $a = \frac{2dy}{D}$ ，故選(A)。

(B) 9. 兩座廣播電臺的發射臺均面向一高速公路長隧道入口，兩電臺的發射功率和兩電臺到隧道口的距離皆相同，其中一電臺為調頻 (FM) 電臺，所發出的電磁波頻率約為 100 MHz ，另一電臺為調幅 (AM) 電臺，所發出的電磁波頻率約為 1000 kHz 。若開車進入此長隧道時使用收音機，則在進入長隧道後何種電臺的收訊首先消失？

(A) 調頻電臺，因其無線電波波長遠大於隧道入口的尺寸 (B) 調幅電臺，因其無線電波波長遠大於隧道入口的尺寸 (C) 調頻電臺，因其無線電波波長遠小於隧道入口的尺寸 (D) 調幅電臺，因其無線電波波長遠小於隧道入口的尺寸 (E) 同時消失

(9. $\begin{cases} \text{FM: } \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{100 \times 10^6} = 3 (\text{m}) \\ \text{AM: } \lambda' = \frac{c}{f'} = \frac{3 \times 10^8}{1000 \times 10^3} = 300 (\text{m}) \end{cases}$ ，隧道口大小 $a = 10 \text{ m} \sim 20 \text{ m}$ ，當 λ 愈接近 a 時，

繞射現象愈明顯，即能量較易深入隧道。故選(B)。

- (C) 10. 波長為 640 nm 的平行光束垂直照射寬度為 0.060 mm 的單狹縫，再正向投射在距離單狹縫 1.0 m 的屏幕上，並在屏幕出現亮暗相間的條紋。若單狹縫寬度方向的兩邊緣至屏幕上 P 點處的光程差恰為三個波長，則 P 點至屏幕中央亮帶的中心線之距離為多少 cm ？

【109. 指考補考】

(A) 0.36 (B) 6.0 (C) 3.2 (D) 6.4 (E) 64

- (10. (1) 因屏幕上 P 點到單狹縫兩邊緣的光程差恰為三個波長，滿足暗紋條件 $a \sin \theta = m \lambda$ ，即 P 處為第三暗紋 ($m=3$)。
(2) 由單狹縫暗紋的位置公式 $y_m = m \left(\frac{L \lambda}{a} \right)$ 知，第三暗紋的位置 $y_3 = 3 \left(\frac{L \lambda}{a} \right) = 3 \times \left(\frac{1.0 \times 640 \times 10^{-9}}{0.060 \times 10^{-3}} \right) = 3.2 \times 10^{-2} (\text{m}) = 3.2 (\text{cm})$ 。
故選(C)。

- (C) 11. 如右圖所示，一束波長為 λ 的可見光平行光束，垂直通過一條寬度 $d = 2 \lambda$ 的長條形狹縫後，在遠方屏幕 C 上形成繞射條紋。若使遮欄 B 靠近屏幕 C，且遮欄的缺口對狹縫中心 O 的張角 ϕ 為 45° ，則屏幕 C 上出現的亮區對 O 的張角與下列何者最為接近？

【94. 指考修改】

(A) 15° (B) 30° (C) 45° (D) 60° (E) 75°

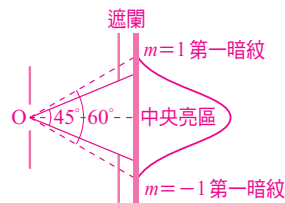
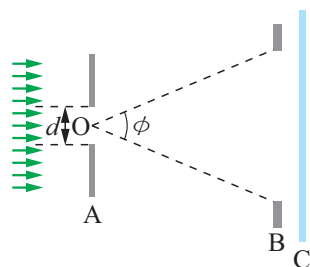
- (11. (1) 因亮區邊緣為暗紋，故我們討論屏幕 C 出現暗紋的狀況：

$$d \sin \theta = m \lambda, m = 1, 2, 3, \dots \Rightarrow 2 \lambda \sin \theta = m \lambda$$

$$\Rightarrow \sin \theta = \frac{1}{2} m \Rightarrow \begin{cases} m=1 \Rightarrow \sin \theta = \frac{1}{2} \Rightarrow \theta = 30^\circ \\ m=2 \Rightarrow \sin \theta = \frac{2}{2} \Rightarrow \theta = 90^\circ (\text{不會發生}) \end{cases}$$

\Rightarrow 中央亮區對狹縫中心 O 的張角 $\phi' = 2\theta = 60^\circ$ ，如圖所示。

- (2) 雖然中央亮區的張角為 60° ，但遮欄 B 對 O 點的張角 $\phi = 45^\circ$ ，故屏幕 C 無法出現全部的中央亮區，能觀察到的亮區對 O 的張角僅為 45° 。
故選(C)。



多選題

- (C E) 1. 波長 λ 之光源經單狹縫而在銀幕上造成繞射條紋。設 w 為單狹縫之寬度， θ 為繞射角，則下列那些條件可以為得到明亮條紋？

(A) $\sin \theta = \frac{\lambda}{w}$ (B) $\sin \theta = \frac{\lambda}{2w}$ (C) $\sin \theta = \frac{3\lambda}{2w}$ (D) $\sin \theta = \frac{2\lambda}{w}$

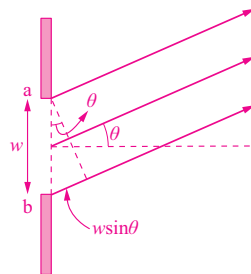
(E) $\sin \theta = \frac{5\lambda}{2w}$

- (1. 單狹縫繞射要產生亮紋，狹縫邊緣 a、b 兩光線的光程差必須等於

$$\left(n + \frac{1}{2}\right) \lambda, n = 1, 2, 3, \dots$$

$$\text{故 } w \sin \theta = \left(n + \frac{1}{2}\right) \lambda \Rightarrow \sin \theta = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{w}, n = 1, 2, 3, \dots$$

故選(C)(E)。



- (A B) 2. 波長 λ 之光源經單狹縫而在銀幕上造成繞射條紋。設 W 為單狹縫之寬度， θ 為繞射角，則下列哪些為得到暗紋中心之條件？

(A) $\sin \theta = \frac{\lambda}{W}$ (B) $\sin \theta = \frac{2\lambda}{W}$ (C) $\sin \theta = \frac{3\lambda}{W}$ (D) $\sin \theta = \frac{W}{\lambda}$
 (E) $\sin \theta = \frac{2W}{\lambda}$

(2. 暗紋中心之條件 $W \sin \theta = n\lambda$ ，其中 $n=1, 2, 3, \dots$ $\therefore \sin \theta = \frac{n\lambda}{W}$ ，故選(A)(B)(C)。)

- (B D) 3. 在單狹縫繞射中若將寬 w 狹縫之右半邊蓋住，則下列哪些為正確？

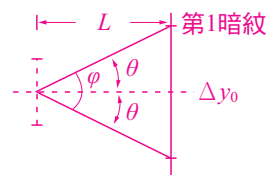
(A) 繞射條紋之中央線不改變 (B) 繞射條紋之中央線向左移動 $\frac{w}{4}$ (C) 繞射條紋之中央線向右移動 $\frac{w}{2}$ (D) 繞射條紋之強度會減弱 (E) 繞射條紋之條紋寬度為原來之 2 倍

(3. (A) 在單狹縫繞射中，旁側亮帶寬 $\Delta y = \frac{L\lambda}{w}$ ，中央亮帶寬 $2\Delta y$ ；(B)(C)(E) 將狹縫右半邊遮住時，屏上中央線左移 $\frac{w}{4}$ \therefore 狹縫寬度變為 $w' = \frac{w}{2}$ \therefore 所有亮帶寬度均增為原有 2 倍；(D) 因通過狹縫之光強度減為原有一半，故條紋的亮紋的亮度減弱，故選(B)(D)(E)。)

- (A B) 4. 單狹縫與屏相距 100 cm，以 6000 \AA 的單色光照射寬度為 $2.0 \times 10^{-2} \text{ cm}$ 的單狹縫時，則：

(A) 中央亮帶寬度為 0.60 cm
 (B) 屏上第二暗紋至狹縫兩邊緣之光程差為波長的 2 倍
 (C) 中央亮帶一側之第一亮帶中點至第三暗紋距離為 0.75 cm
 (D) 中央亮帶左側第二暗紋至右側第三亮帶中點的距離為 1.65 cm
 (E) 中央亮帶對狹縫中心的張角 ϕ 約為 $6 \times 10^{-3} \text{ rad}$

(4. (A) 中央亮帶寬度 $\Delta y_0 = 2 \frac{L\lambda}{a} = \frac{2 \times 100 \times 6.0 \times 10^{-5}}{2.0 \times 10^{-2}} = 0.6 \text{ (cm)}$ ；(B) 屏上第二暗紋至狹縫兩邊緣之光程差 $\Delta r = 2\lambda$ ；(C) 第一亮帶中點位置 $y_1 = \frac{3}{2} \frac{L\lambda}{a} = 0.45 \text{ (cm)}$ ，第三暗紋位置 $y_3 = 3 \frac{L\lambda}{a} = 0.9 \text{ (cm)}$ ， $\therefore y_3 - y_1 = 0.9 - 0.45 = 0.45 \text{ (cm)}$ ；(D) 第二暗紋至中央線距離 $y_2 = 2 \frac{L\lambda}{a} = 0.6 \text{ (cm)}$ ，第三亮帶至中央線距離 $y_4 = (3 + \frac{1}{2}) \frac{L\lambda}{a} = 1.05 \text{ (cm)}$ ；中央亮帶左側第二暗紋至右側第三亮帶中點之距離為 $y_2 + y_4 = 1.65 \text{ (cm)}$ ；(E) 中央亮帶對狹縫中央的張角 $\phi \doteq \frac{\Delta y_0}{L} = \frac{0.6}{100} = 6 \times 10^{-3} \text{ (rad)}$ ，故選(A)(B)(D)(E)。)



非選題

1. 以 $\lambda = 4800 \text{ \AA}$ 之光照射一單狹縫，發現如狹縫與屏相距 40 cm 時，第二暗紋位於距中央線 1.2 cm 處，今如改用 $\lambda = 6000 \text{ \AA}$ 之光，則欲使第一暗紋位於距中央線 0.45 cm 處，則狹縫與屏須相距多少 cm ？此時中央亮紋寬多少 cm ？

答：(1) 24；(2) 0.9

(1. (1) 設暗紋間距為 Δy ，第二暗紋距中央線 $2\Delta y = 1.2 \text{ cm} \Rightarrow \Delta y = 0.60 \text{ cm}$ ($\lambda = 4800 \text{ \AA}$)，第一暗紋距中央線 $\Delta y' = 0.45 \text{ cm}$ ($\lambda' = 6000 \text{ \AA}$)， $\Delta y = \frac{L\lambda}{d}$ ， $\Delta y' = \frac{L'\lambda'}{d} \Rightarrow \frac{\Delta y}{\Delta y'} = \frac{L\lambda}{L'\lambda'} \Rightarrow \frac{0.60}{0.45} = \frac{4800 \times 10^{-8} \times 40}{6000 \times 10^{-8} \times L'}$ ， $L' = 24 (\text{cm})$ ；(2) 中央亮紋寬 $= 2\Delta y' = 0.90 (\text{cm})$ 。)

2. 以一未知波長的單色光做單狹縫繞射實驗，測得中央亮紋的寬度為 0.4 cm 。如狹縫寬 0.02 cm ，且距屏 80 cm ，試求其波長多少 \AA ？

答：5000 (\AA)

(2. $\Delta y = 2 \Delta y_0 = 2 \frac{\lambda L}{a} \Rightarrow \lambda = \frac{a \Delta y}{2L} = \frac{0.02 \times 0.4}{2 \times 80} = 5 \times 10^{-5} \text{ cm} = 5000 \text{ \AA}$ 。)

3. 以黃光（波長 5800 埃）照射一單狹縫，發現屏上繞射圖樣的中央亮紋的寬度為 0.45 公分；今如改用藍光（波長 4700 埃）照射，則中央亮紋的寬度約為多少公分？

答：0.365

(3. 中央亮紋寬 $Y = 2 \times \frac{L\lambda}{a}$ $\therefore \frac{Y_1}{Y_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \Rightarrow \frac{0.45}{Y_2} = \frac{5800}{4700}$ $\therefore Y_2 = 0.365 \text{ cm}$ 。)

4. 在單狹縫繞射實驗中，欲使第一亮帶（位在中央亮帶的一側）的光強極大值位置的繞射角 $\theta = 5^\circ$ ，則狹縫寬度和波長的比值為何？

答： $\frac{54}{\pi}$

(4. 第一亮帶，光強極大位置與中央線的距離 $y = \frac{3}{2} \frac{L\lambda}{a}$ ， $\theta = \frac{y}{L} = \frac{3}{2} \frac{\lambda}{a} = 5 \times \frac{\pi}{180} \Rightarrow \frac{a}{\lambda} = \frac{54}{\pi}$ 。)



實驗影片

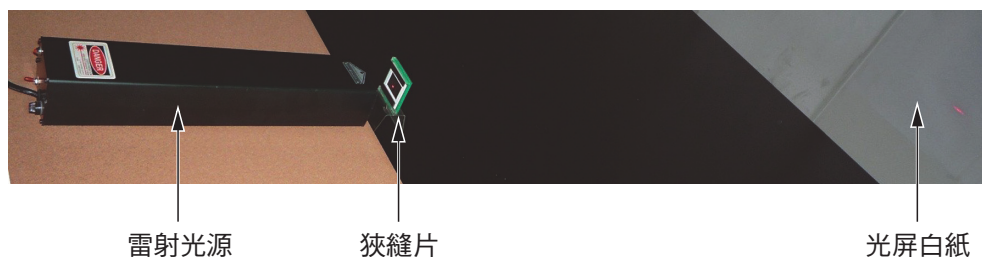
一、實驗目的

- (1) 利用雙狹縫的干涉現象，測量雷射光的波長。
- (2) 利用單狹縫的繞射現象，測量單狹縫的寬度。

二、實驗步驟

(1) 雙狹縫干涉：

- ① 如下圖(-)所示，將雷射光源和雙狹縫片固定在桌上，並將作為光屏的白紙固定在距離夠遠的牆上。



▲圖(-) 雙狹縫干涉實驗裝置圖。

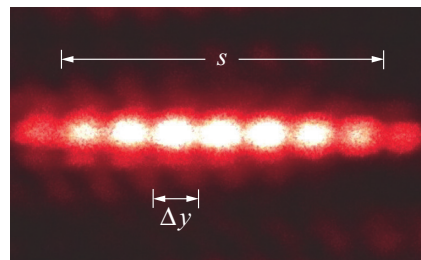
- ② 打開雷射光源，接著調整光源的高度及角度，使雷射光沿水平方向射出，並且恰好能入射在雙狹縫上。〔注意：使用雷射時，切勿以眼睛直視雷射光，也不要盯著屏上光點看。〕

- ③ 觀察雷射光經由雙狹縫射出後，投射在光屏白紙上的干涉條紋，如右圖(二)所示。將干涉條紋描繪在白紙上再做測量。先選取一對有甚大間隔，且可清楚辨認的暗紋（不一定要相鄰），量取這兩條暗紋中線之間的距離 s ，並計數其間所含的暗紋數 m （含該兩暗紋），則兩相鄰暗紋中線之間的距離 $\Delta y =$

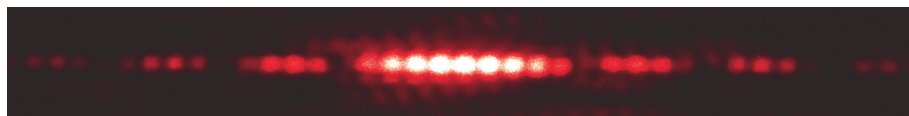
$\frac{s}{m-1}$ 。記錄雙狹縫片上標註的狹縫間距 d ，測量

雙狹縫片到光屏的距離 L ，利用 $\Delta y = \frac{L\lambda}{d}$ 求出雷射光的波長 λ 。

- ④ 重新調整雷射光源和雙狹縫片的位置，重複步驟③的測量三次，求出雷射光波長的平均值。
- ⑤ 更換雙狹縫片，重複步驟①至步驟④。



▲圖(二) 以雷射光為光源之雙狹縫干涉圖形。



▲圖(三) 較大範圍的雙狹縫干涉圖形。

(2) 單狹縫繞射：

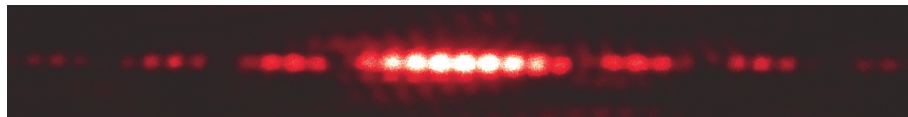
- ① 如上頁圖(-)所示架設實驗裝置，將雙狹縫片換成單狹縫片，並且同樣將雷射光源與單狹縫片擺放在距離光屏白紙夠遠的桌面上。
- ② 打開雷射光源接著調整光源的高度及角度，使雷射光沿水平方向射出，並且恰好能入射在單狹縫上。〔注意：使用雷射時，切勿以眼睛直視雷射光，也不要盯著屏上光點看。〕
- ③ 觀察雷射光經由單狹縫射出後，投射在光屏白紙上的繞射條紋。將繞射條紋描繪在白紙上再做測量。先選取緊鄰中央亮帶兩側的第一暗紋，量取這兩條暗紋中線之間的距離 $2\Delta y$ 。測量單狹縫片到光屏的距離 L ，連同由雙狹縫干涉實驗所測出的雷射光平均波長 λ_{av} ，利用 $\Delta y = \frac{L\lambda}{a}$ 求出單狹縫的寬度 a 。
- ④ 重新調整雷射光源和單狹縫片的位置，重複步驟③的測量三次，求出單狹縫寬度的平均值。
- ⑤ 更換單狹縫片，重複步驟①至步驟④。

三、實驗問題回答

問題 4-1 簡單描述在光屏上所看到的雙狹縫干涉圖形。

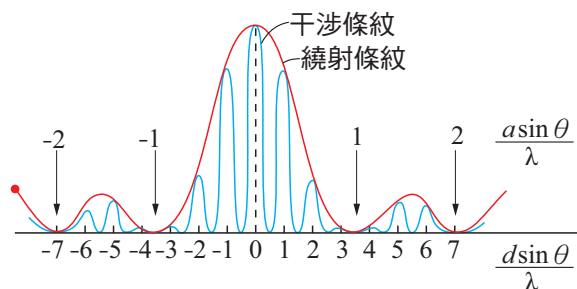
答：得到亮暗相間的條紋，每條亮紋的亮度幾乎相同，而且相鄰兩暗紋中線或亮紋中線之間的距離相等。

問題 4-2 仔細觀察雙狹縫干涉實驗的亮紋分布，可能會發現如圖(六)中所顯示的情況：稍遠離中央其亮度開始發生變化。試著找出干涉條紋亮度變化的規則並說明原因。



▲圖(六) 較大範圍的雙狹縫干涉圖形。

答：雙狹縫的每一個單狹縫也都會造成繞射的現象，因此在真正的實驗中會見到干涉條紋並非完全亮度相等，而是會有明暗的變化。中間最亮區域（內有數條干涉亮紋）約為旁邊較亮區域（內有數條干涉亮紋）的兩倍寬，且旁邊的區域亮度會迅速減弱。



問題 4-3 簡單描述在光屏上所看到的單狹縫繞射圖形。

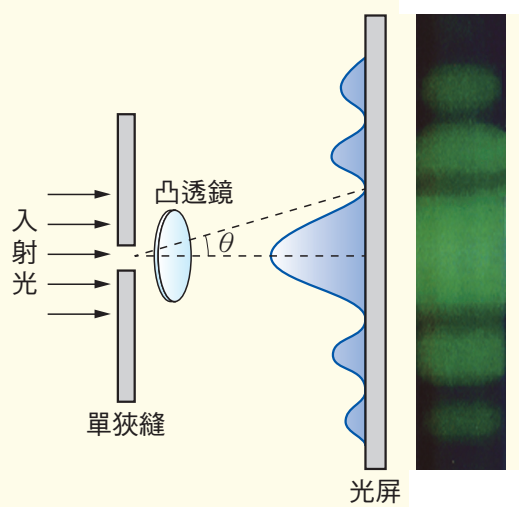
答：得到亮暗相間的條紋，但是中央亮帶的寬度為其兩側亮帶寬度的兩倍，而且亮紋的亮度隨著與中央距離的增加而減弱。

問題 4-4 若將雷射光源改換為普通的直燈絲白熾燈泡光源，則所看到的干涉或繞射圖樣將有何變化？

答：若將雷射光源改換為普通的直燈絲白熾燈泡光源，並且調整光源角度使燈絲方向與狹縫方向平行，則可在光屏上看到彩色的干涉或繞射圖樣。

【補充資料】狹縫前後的透鏡

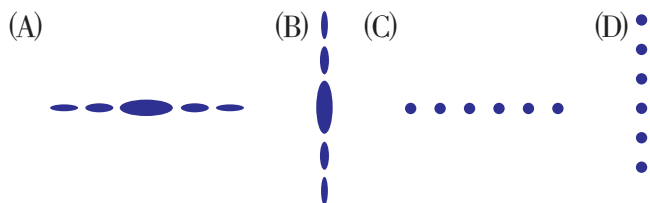
為了增加實驗的準確性，常會在狹縫片前後擺放凸透鏡，以確保入射的光線為平行光，而射出的光線可以在比較短的距離內聚焦、顯示在屏幕上。為了達成此一目的，應將點光源擺放在狹縫前凸透鏡的焦點位置處，則經過凸透鏡折射後的光線會平行入射狹縫。而光屏應擺放在狹縫後凸透鏡的焦點位置處，則狹縫射出的平行光經過凸透鏡的折射後，將會聚於焦點處的光屏上。然而實際上若以雷射光進行實驗時，由於實際雷射光和理想點光源不同，我們無法知道雷射光有效的發射位置，此時可拿一張小紙片放在凸透鏡後方，前後移動小紙片檢視經凸透鏡折射出來的雷射光斑大小是否發生變化，調整雷射光源或凸透鏡的位置，使小紙片前後移動時雷射光斑大小幾乎維持不變，此時便可達成使雷射光光源發出的光經凸透鏡折射後平行入射狹縫的目的。」



實驗 4 實驗試試看

單選題

- (A) 1. 右圖為單狹縫裝置。根據你所學過單狹縫和雙狹縫實驗的觀念，試判斷下列哪個圖最有可能是這個單狹縫裝置的干涉條紋？



(1. 由題圖的狹縫可知產生的繞射條紋應向左、右兩側開展。單狹縫繞射條紋，中央亮帶的寬度較其他亮帶寬，故選(A)。)

- (A) 2. 楊氏雙狹縫干涉實驗用同一光源之目的是：

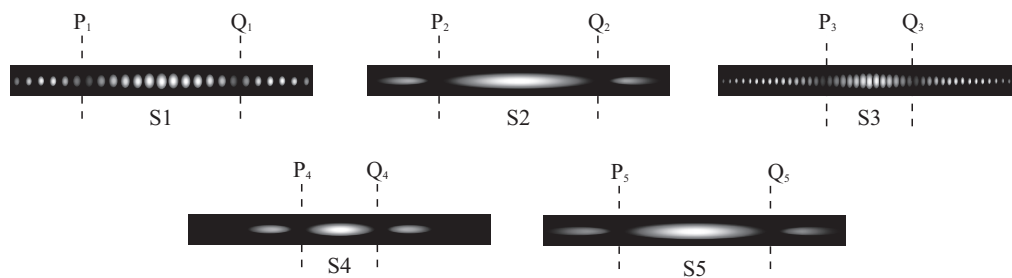
(A)使光源經雙狹縫時相位差固定 (B)使兩光源亮度相等 (C)使顏色一致 (D)使距離一定 (E)節省電

(2. 同調光源才能形成穩定干涉條紋，故選(A)。)

多選題

- (A B) 1. 甲生在整理實驗器材時，發現有雙狹縫片與單狹縫片共 5 片，其規格標籤都脫落了，導致無法從外觀分辨規格。於是他將這 5 片狹縫片編號為 S1 ~ S5，接著利用同一單色雷射光源做干涉與繞射實驗來比較狹縫片之間的關係。實驗時光屏與狹縫間的距離保持固定，並僅依序更換 5 片狹縫片，觀看光屏上的干涉或繞射圖像，其示意如下圖所示，並在光屏上定出 P_i 、 Q_i 兩點 ($i = 1 \sim 5$)，且數出 P_i 、 Q_i 之間的暗紋數目 n (包含 P_i 、 Q_i 兩處之暗紋)，量測結果附表所示。下列關於甲生實驗的敘述，哪些正確？

【108. 指考】



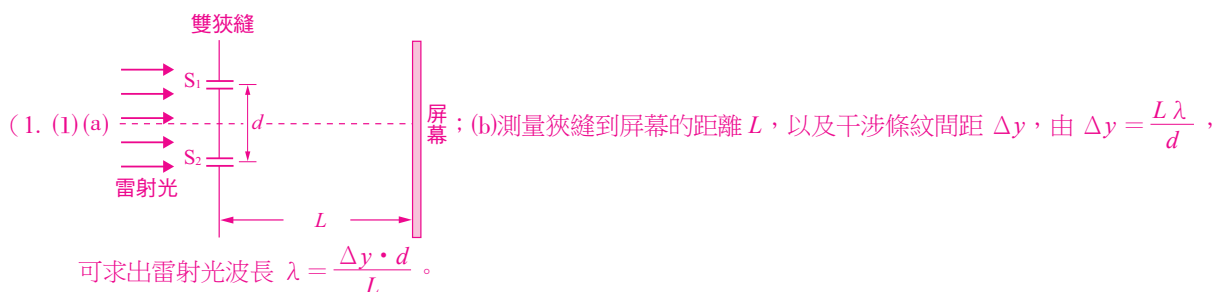
編號	S1	S2	S3	S4	S5
P_i 、 Q_i 兩點間距 $\overline{P_i Q_i}$ (mm)	52	52	26	12	48
n (個)	14	2	14	2	2

- (A) S1 為雙狹縫片，S2 為單狹縫片 (B) S3 的相鄰縫距是 S1 相鄰縫距的 2 倍
(C) S5 的縫寬是 S4 縫寬的 4 倍 (D) 如果僅將光屏和狹縫片的距離變成原來的兩倍，則 S3 的 n 會變成 28 (E) 如果僅將光屏和狹縫片的距離變成原來的兩倍，則 S5 的 $\overline{P_5 Q_5}$ 會變成 24 mm (1. 解析見下頁。)

非選題

1. (1) 某生欲以一雙狹縫來測量未知波長的雷射光，已知兩狹縫的間距為 d 。
- (a) 試說明實驗器材的安排：須以示意圖顯示雙狹縫、雷射及屏幕的安排，並標示各相關的物理量。
- (b) 說明如何求出雷射光的波長，並指出需量測的物理量。
- (2) 在求出該雷射光的波長後，若僅將雙狹縫換成單狹縫，其他裝置及各器材的位置均保持不變，說明如何求出此一單狹縫的縫寬 a 。

答：(1)見解析；(2)見解析



(2)測量單狹縫繞射的中央亮帶寬度 W ，已知 $\frac{W}{\Delta y} = \frac{2 \cdot \lambda L/a}{\lambda L/d} = \frac{2d}{a}$ ，可求單狹縫縫寬 $a = \frac{2d \cdot \Delta y}{W}$ 。

2. 若以波長 λ 的單色光垂直照射寬為 3λ 的單狹縫時，則理論上光屏最多能出現幾條亮紋。

答：5

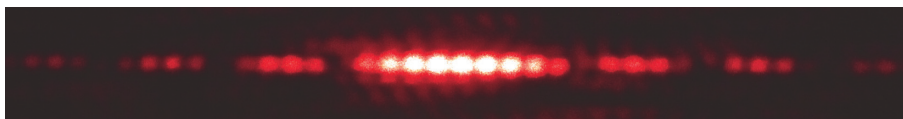
$$(2. a \sin \theta = (n + \frac{1}{2}) \lambda \Rightarrow 3\lambda \times \sin \theta = (n + \frac{1}{2}) \lambda \Rightarrow n + \frac{1}{2} = 3 \sin \theta \leq 3 \sin 90^\circ = 3 \Rightarrow n \leq 2.5$$

因兩側對稱且中央為亮紋，故亮紋數 $N = 2[n] + 1$ ，取 $n = 2$ 得 N 的最大值為 5。

多選題

- (1. (A)因實驗 S1 與 S3 的亮紋寬度幾乎相同，故為雙狹縫片；實驗 S2、S4、S5 的中央亮紋比其他亮紋寬，故為單狹縫片；(B)雙狹縫干涉亮紋的寬度 $\Delta y_{\text{雙}} = \frac{\lambda L}{d} \propto \frac{1}{d}$ ；因 S1 的亮紋寬度 $= \frac{52}{14-1} = 4$ (mm)、S3 的亮紋寬度 $= \frac{26}{14-1} = 2$ (mm)，故 S3 的相鄰縫距是 S1 相鄰縫距的 2 倍；(C)單狹縫繞射中央亮紋寬度 $= 2 \frac{\lambda L}{a} \propto \frac{1}{a}$ ；因 S4 的中央亮紋寬度 $= \frac{12}{2-1} = 12$ (mm)、S5 的中央亮紋寬度 $= \frac{48}{2-1} = 48$ (mm)，故 S4 的縫寬是 S5 縫寬的 4 倍；(D)雙狹縫干涉條紋的寬度 $\Delta y_{\text{雙}} = \frac{\lambda L}{d} \propto L \Rightarrow$ 若 $L' = 2L$ ，則 $\Delta y' = 2\Delta y \Rightarrow n' = \frac{n}{2} = 7$ ；(E)單狹縫繞射中央亮紋寬度 $\Delta y_{\text{單}} = 2 \frac{\lambda L}{a} \propto L \Rightarrow$ 若 $L' = 2L$ ，則 $\Delta y' = 2\Delta y \Rightarrow \overline{P_5'Q_5'} = 96$ (mm)。故選(A)(B)。

3. 作雙狹縫干涉時，理論上條紋應該一樣亮，但實際上我們觀察到干涉條紋的亮度並非一樣亮，而是由中央往兩側遞減，如下圖所示。



(1) 請問為何實際與理論不符？

(2) 若狹縫間距為 0.2 mm ，每一條狹縫寬 0.05 mm ，若射入波長 5000 \AA ，屏幕與狹縫間距離為 50 cm ，試問在中央亮帶內大約可見幾條明顯的干涉亮紋？

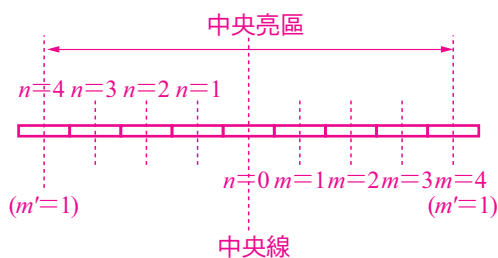
答：(1) 見解析；(2) 7 條

(3. (1) 因每條狹縫有寬度、並非理想雙狹縫，干涉條紋會出現單狹縫繞射的影響，造成亮度的變化。

(2) 單狹縫中央亮帶的邊緣為第 1 暗紋位置 $y_1 = \frac{L\lambda}{a}$ ($m' = 1$)，若雙狹縫干涉條紋的第 m 條與單狹縫第 1 暗紋

位置重疊，因左右對稱，則中央亮區內有 $(2m - 1)$ 條干涉亮紋， $\frac{L\lambda}{a} = m \frac{L\lambda}{d} \Rightarrow m = \frac{d}{a} = \frac{0.2}{0.05} = 4 \Rightarrow$

$2m - 1 = 2 \times 4 - 1 = 7$ (條)。∴ 中央亮帶內可見 7 條明顯的干涉亮紋。(註：因 $m = 4$ 與 $m' = 1$ 重疊，造成高度變得極弱，故難觀察到 $m = 4$)



學習成效診斷

單選題

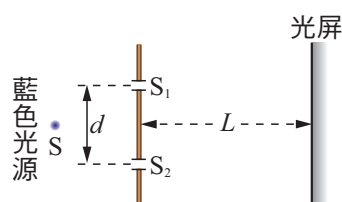
(C) 1. 下列何者現象與光的波動性質最無關係？

- (A)肥皂泡沫有彩色光澤 (B)光碟片有彩色光澤 (C)白光經過三稜鏡有彩色光澤
(D)蝴蝶的翅膀，不同角度會有不同彩色光澤 (E)明明是球體的星星，看起來會有星芒

(1. (C)為色散，與波動較無關；(A)(B)(D)都是因為繞射，產生彩色的光澤；(E)是因為眼球有接縫處（相機是因為光圈有接縫處），產生繞射，而有星芒；故選(C)。)

2. ~ 4. 題為題組

以藍色雷射光源作雙狹縫的干涉實驗，如右圖所示，已知狹縫間距 $d=0.15\text{ mm}$ ，狹縫到屏幕的距離為 $L=1.5\text{ m}$ ，光屏上相鄰暗紋的間距為 0.45 cm ，則：



(B) 2. 藍色雷射光波長為若干 nm？

- (A) 400 (B) 450 (C) 500 (D) 550 (E) 600

(2. 相鄰暗紋間隔 $\Delta y = \frac{L\lambda}{d} \Rightarrow 0.45 = \frac{150\lambda}{1.5 \times 10^{-2}} \Rightarrow \lambda = 4.5 \times 10^{-5}(\text{cm}) = 450(\text{nm})$ ，故選(B)。)

(E) 3. 第 2 亮紋與中央線的距離為若干 cm？

- (A) 0.25 (B) 0.5 (C) 0.6 (D) 0.75 (E) 0.9

(3. 因第 m 亮紋與中央線的距離 $y_m = m \frac{L\lambda}{d}$ ，第 2 亮紋與中央線的距離 $y_2 = 2 \frac{L\lambda}{d} = 2 \times 0.45 = 0.9\text{ cm}$ 故選(E)。)

(C) 4. 若換成 600 nm 的黃光作雙狹縫的干涉實驗，則光屏上相鄰暗紋的間距為若干 cm？

- (A) 0.25 (B) 0.45 (C) 0.6 (D) 0.75 (E) 0.9

(4. 相鄰暗紋間隔 $\Delta y = \frac{L\lambda}{d} \propto \lambda \Rightarrow \frac{\Delta y'}{\Delta y} = \frac{\lambda'}{\lambda} \Rightarrow \frac{\Delta y'}{0.45} = \frac{600}{450} \Rightarrow \Delta y' = 0.6\text{ cm}$ ，故選(C)。)

5. ~ 7. 題為題組

喬瑋以一束波長為 λ 的雷射光垂直照射一狹縫，在狹縫正後方的牆壁上得到一組亮暗相間的條紋，如右圖所示。



(C) 5. 下列哪一個狹縫，才能產生上面的圖案？

- (A) (B) (C) (D) (E)

(5. 因中央亮帶寬度約為其他亮帶的 2 倍，故為單狹縫，故選(C)。)

- (C) 6. 圖中箭頭所指的位置到狹縫兩端的光程差約為若干？

(A) 2λ (B) $\frac{3}{2}\lambda$ (C) 3λ (D) $\frac{5}{2}\lambda$ (E) 4λ

(6. 第 m 條暗紋到狹縫的波程差 $d \sin \theta_m = m\lambda$, $m=1, 2, 3, \dots$)

箭頭所指的位置為單狹縫繞射的第 3 暗紋處，此點到狹縫兩端的光程差 $d \sin \theta_m = 3\lambda$ 。
故選(C)。

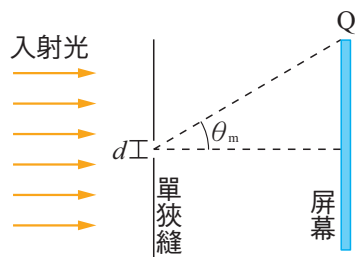
- (E) 7. 測量狹縫到屏幕的距離 L 、中央亮紋寬度 Δy 。圖中箭頭所指的位置和狹縫中點的連線與中央線的夾角 θ 之正弦值 $\sin \theta$ 約為何？

(A) $\frac{\Delta y}{2L}$ (B) $\frac{\Delta y}{L}$ (C) $\frac{2\Delta y}{L}$ (D) $\frac{3\Delta y}{L}$ (E) $\frac{3\Delta y}{2L}$

(7. 單狹縫繞射的中央亮紋寬度 $\Delta y = 2 \frac{L\lambda}{d} \Rightarrow d = \frac{2L\lambda}{\Delta y}$; 第 3 條暗紋到狹縫的波程差 $d \sin \theta = 3\lambda$
 $\Rightarrow \sin \theta = \frac{3\lambda}{d} = \frac{3\lambda}{2L\lambda/\Delta y} = \frac{3\Delta y}{2L}$, 故選(E))

8.、9. 題為題組

右圖為單狹縫繞射實驗裝置示意圖，其中狹縫寬度為 d 、狹縫到屏幕的距離 L 。今以波長為 λ 的平行光，垂直入射單狹縫，屏幕邊緣 Q 點與狹縫中垂線的夾角為 θ_m 。



- (D) 8. 若在 Q 點觀察到第 1 條亮紋，則 $d \sin \theta_m = ?$

(A) λ (B) $\frac{1}{2}\lambda$ (C) $\frac{5}{2}\lambda$ (D) $\frac{3}{2}\lambda$ (E) 3λ

(8. 第 m 條亮紋到狹縫的波程差 $d \sin \theta_m = (n + \frac{1}{2})\lambda$, Q 為第 1 亮紋 $\Rightarrow d \sin \theta_m = \frac{3\lambda}{2}$, 故選(D))

- (B) 9. 若在屏幕上未觀察到繞射形成的暗紋， $d \sin \theta_m = ?$

(A) λ (B) $\frac{1}{2}\lambda$ (C) $\frac{5}{2}\lambda$ (D) $\frac{3}{2}\lambda$ (E) 3λ

(9. 第 m 條暗紋到狹縫的波程差 $d \sin \theta_m = m\lambda$, $m=1, 2, 3, \dots \Rightarrow$ 因第 1 暗紋的波程差 $d \sin \theta_1 = \lambda$, 故 $d \sin \theta_m = \frac{1}{2}\lambda$ 位在中央亮帶區內，故選(B))

- (E) 10. 在「狹縫干涉和繞射」的實驗中，先利用雙狹縫之干涉現象，測量單色雷射光的波長，接著利用單狹縫的繞射現象以測量單狹縫的寬度時，若僅將雙狹縫片改為單狹縫片而其餘實驗參數不變，測得單狹縫繞射實驗的圖形中央亮帶的寬度為雙狹縫亮帶寬度的 8 倍，則單狹縫片縫寬為雙狹縫片相鄰縫距的多少倍？

(A) 8 (B) 4 (C) 2 (D) $\frac{1}{2}$ (E) $\frac{1}{4}$

【105. 指考】

(10. a : 單狹縫縫寬， d : 雙狹縫縫距， L : 狹縫到屏幕的距離。單狹縫繞射的中央亮帶寬度 $= 2 \frac{\lambda L}{a}$,

雙狹縫干涉的亮帶寬度 $= \frac{\lambda L}{d}$, 已知 $2 \frac{\lambda L}{a} = 8 \frac{\lambda L}{d}$, 則 $\frac{a}{d} = \frac{1}{4}$, 故選(E))

- (E) 11. 在雙狹縫干涉實驗中，若第一暗紋與中央亮帶中線對狹縫中點的張角為 θ_1 ，而第二暗紋與中央亮帶中線對狹縫中點的張角為 θ_2 ，則 $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$ 之值約為何？

(A) $\frac{1}{2}$ (B) 2 (C) $\frac{1}{4}$ (D) 4 (E) $\frac{1}{3}$

(11. 第一暗紋的波程差 $d \sin \theta_1 = \frac{1}{2} \lambda$ ，第二暗紋的波程差 $d \sin \theta_2 = \frac{3}{2} \lambda$ $\therefore \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{1}{3}$ 。

故選(E)。

12.、13. 題為題組

分別以 $\lambda_{\text{黃}} = 6000 \text{ \AA}$ 、 $\lambda_{\text{藍}} = 4500 \text{ \AA}$ 的兩單色光通過雙狹縫，在屏幕上出現干涉條紋，且中央線旁第一條黃色亮紋與第一條藍色亮紋相距 0.1 mm ；若狹縫與屏幕相距 2 m ，則：

- (D) 12. 雙狹縫間距為若干 mm？

(A) $\frac{1}{2}$ (B) 2 (C) $\frac{1}{4}$ (D) 3 (E) $\frac{1}{3}$

(12. 雙狹縫干涉第一亮紋距中央線 $y_1 = \frac{L \lambda}{d}$ ，

第一條黃紋與第一條藍紋相距 $\Delta y = (y_Y - y_B) = \frac{L(\lambda_Y - \lambda_B)}{d}$

即 $0.1 = \frac{2000 \times (6 - 4.5) \times 10^{-4}}{d} \Rightarrow d = 3 \text{ (mm)}$ ，故選(D)。

- (B) 13. 黃色亮紋與藍色亮紋第一次重疊處距離中央亮線若干 mm？

(A) 1.5 (B) 1.2 (C) 0.9 (D) 0.6 (E) 0.3

(13. 黃色亮紋的位置 $y_Y = m_Y \frac{L \lambda_Y}{d}$ ，藍色亮紋的位置 $y_B = m_B \frac{L \lambda_B}{d}$

兩者重疊，表示位置相同，即 $m_Y \frac{L \lambda_Y}{d} = m_B \frac{L \lambda_B}{d} \Rightarrow \frac{m_Y}{m_B} = \frac{\lambda_B}{\lambda_Y} = \frac{4500}{6000} = \frac{3}{4}$

第一次重疊處： $m_Y = 3$ ，黃色亮紋的位置 $y_3 = 3 \times \frac{2000 \times 6000 \times 10^{-7}}{3} = 1.2 \text{ mm}$ ，故選(B)。

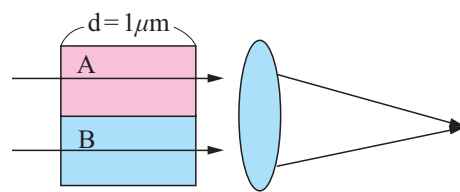
14.、15. 題為題組

- (C) 14. 波在不同介質，會因為波長改變，而有不同的波數。如右圖所示，若一個波長為 600 nm 的波，同時進入兩個厚度同為 $d = 1 \mu\text{m}$ 的介質；介質 A 的折射率為 1.2；介質 B 的折射率為 1.5，則：

- (A) 介質 A 內有 1 個波，介質 B 內有 2 個波
(B) 介質 A 內有 1.5 個波，介質 B 內有 2 個波
(C) 介質 A 內有 2 個波，介質 B 內有 2.5 個波
(D) 介質 A 內有 1 個波，介質 B 內有 2 個波
(E) 介質 A 內有 2 個波，介質 B 內有 3 個波

(14. 在介質 A 內，波長變為 $\frac{\lambda}{n_A} = \frac{600}{1.2} = 500 \text{ nm}$ ，故在介質 A 內有 $\frac{1000}{500} = 2$ 個波；在介質 B 內，波長

變為 $\frac{\lambda}{n_B} = \frac{600}{1.5} = 400 \text{ nm}$ ，故在介質 B 內有 $\frac{1000}{400} = 2.5$ 個波；故選(C)。



(B) 15. 承上題，於透鏡焦點處，會發生下列哪種現象？

(A)建設性干涉 (B)破壞性干涉 (C)非建設也非破壞性干涉 (D)無法產生穩定干涉 (E)與透鏡和介質的距離有關

(15. 經兩介質後，產生了 $2.5 - 2 = 0.5$ 個波的差距，之後兩種光維持固定的波程差，所以為破壞性干涉。故選(B)。)

多選題

(A C) 1. 下列有關光的微粒說和波動說的敘述，哪些正確？

D

(A)牛頓提出微粒說，惠更斯提出波動說 (B)根據微粒說，光由空氣進入水中，光速度會變慢 (C)根據波動說，光由空氣進入水中，光速度會變慢 (D)微粒說不能解釋光在界面產生部分反射與部分折射的現象 (E)光的干涉與繞射現象也能用微粒說解釋

(1. (B)微粒說認為光由空氣進入水中，因光微粒受力作用，光速度會變快；(E)微粒說無法解釋光的干涉與繞射現象，故選(A)(C)(D)。)

(A B) 2. 下列有關光的敘述，哪些正確？

C D

(A)赫茲證明電磁波的存在 (B)馬克士威提出認為光是電磁波 (C)菲涅耳、夫朗何斐分別進行實驗發現光的繞射現象，証實了光具有波動性 (D)傅科實驗證明，光在水中速度比空氣慢 (E)邁克生和莫立實驗證明以太的存在

(2. (E)邁克生和莫立實驗證明以太的不存在，故選(A)(B)(C)(D)。)

(D E) 3. 在雙狹縫干涉的實驗中，下列何者可使相鄰暗紋的間距加大？

(A)使用波長較短的色光 (B)增加狹縫本身的寬度 (C)增加狹縫的距離 (D)增大狹縫與光屏的距離 (E)將裝置改放在折射率較小的介質中作實驗

(3. (1)雙狹縫干涉相鄰暗紋的間距 $\Delta y = \frac{L\lambda}{d}$ ，當增大狹縫與光屏的距離 L 、波長 λ 變長、或狹縫的距離 d 變小、可使 Δy 變大；(2)減少狹縫本身的寬度對干涉條紋的間距沒有影響；(3)折射率 $n = \frac{c}{v} = \frac{f\lambda}{f\lambda'} \Rightarrow \lambda' = \frac{\lambda}{n}$ ，當 $n \downarrow \Rightarrow \lambda \uparrow$ 。故選(D)(E)。)

(A E) 4. 以單色光作光源，作單狹縫之繞射實驗，下列敘述哪些正確？

(A)入射光波長愈大，條紋間隔愈大 (B)第一亮紋的中線到狹縫上、下兩端點的光程差為 1 倍波長 (C)各亮帶等寬 (D)各亮帶之亮度相同 (E)中央亮帶最亮

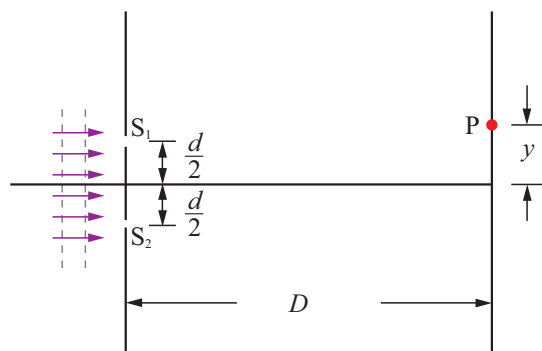
(4. (A)由 $\Delta y = \frac{L\lambda}{a}$ 可知，波長 λ 愈大，條紋間距 Δy 愈大；

(B)第一亮紋中線 P 到狹縫上、下兩端點 A、B 的光程差 $|\overline{PA} - \overline{PB}| = (1 + \frac{1}{2})\lambda = \frac{3}{2}\lambda$ ；

(C)中央亮帶寬度是其他亮帶寬度的 2 倍；

(D)(E)中央亮帶最亮，其他亮帶隨著到中央線的距離愈大，亮度愈弱，故選(A)(E)。)

- (A C) 5. 在「楊氏雙狹縫干涉實驗」中，設兩個長條形狹縫間的距離為 d ，狹縫至屏幕間的距離為 D ，波長為 λ 的單色平行光垂直入射於狹縫，如右圖所示。若兩條狹縫所發出的光在到達屏幕上 P 點所產生的路程差以 Δr 表示，則下列敘述哪些正確？



- (A) 每一條狹縫可以視為波長為 λ 的線光源 (B) 兩條狹縫所發出的光，可視為不相干的 (C) Δr 的正確值為 $\sqrt{D^2 + (y + \frac{d}{2})^2} - \sqrt{D^2 + (y - \frac{d}{2})^2}$ (D) 若 $D \gg d$ 及 y ，則 Δr 可近似表示為 $\Delta r = \frac{yD}{d}$ (E) 當 $\Delta r = \frac{5}{2}\lambda$ 時，在 P 點發生破壞性（相消性）干涉

(5. (B) 因為是單色平行光垂直入射於狹縫，因此兩條狹縫可視為同相光源，兩條狹縫所發出的光其相位差不隨時間而改變，所以是相干的 (coherent)；(C) 如題目之圖，波程差 $\Delta r = \overline{PS_2} - \overline{PS_1}$ ，而由畢氏定理 $\overline{PS_2} = \sqrt{D^2 + (y + \frac{d}{2})^2}$ ， $\overline{PS_1} = \sqrt{D^2 + (y - \frac{d}{2})^2}$ ；(D) 若 $D \gg d$ 且 $D \gg y$ ，

$$\text{則 } \overline{PS_2} = \sqrt{D^2 + (y + \frac{d}{2})^2} = D \left[1 + \left(\frac{y + \frac{d}{2}}{D} \right)^2 \right]^{1/2} \approx D \left[1 + \frac{1}{2} \times \left(\frac{y + \frac{d}{2}}{D} \right)^2 \right],$$

$$\text{同理 } \overline{PS_1} \approx D \left[1 + \frac{1}{2} \times \left(\frac{y - \frac{d}{2}}{D} \right)^2 \right] \quad \Delta r = \overline{PS_2} - \overline{PS_1} \approx \frac{1}{2D} \left[(y + \frac{d}{2})^2 - (y - \frac{d}{2})^2 \right] = \frac{yd}{D};$$

$$(E) \quad \Delta r = \begin{cases} 0 \cdots \cdots \text{中央亮紋 (相長干涉)} \\ n\lambda, n \text{ 為正整數} \cdots \cdots \text{其他亮紋 (相長干涉)}, \\ (m - \frac{1}{2})\lambda, m \text{ 為正整數} \cdots \cdots \text{暗紋 (相消干涉)} \end{cases}, \text{故選(A)(C)(E)。}$$

非選題

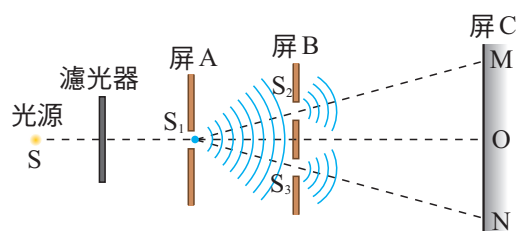
1. 右圖為楊氏雙狹縫干涉實驗示意圖。請問：

- (1) 濾光器的目的為何？
(2) 屏 A 上的狹縫 S_1 目的為何？

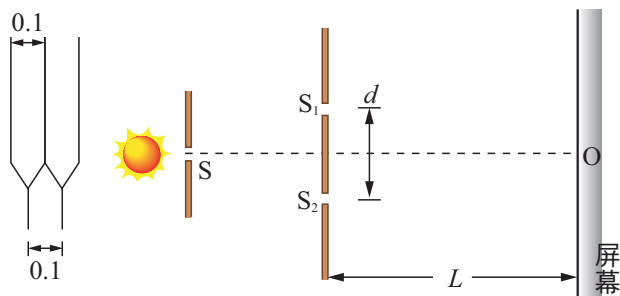
答：(1) 產生單色光源；

(2) 在 S_2 及 S_3 產生同調（或相干性）光源

- (1. (1) 濾光器可將複合光變成單色光；(2) 根據惠更斯原理，光通過狹縫 S_1 可視為點波源，再經兩狹縫 S_2 及 S_3 時可形成固定相位差的兩波源，即相干性光源。)



2. 如右圖，某人作楊氏雙狹縫實驗時，使用厚度為 0.10 mm 的雙刃刀片，將兩片刀子夾緊，在以蠟燭燻黑過的玻璃片上，劃下雙狹縫。現以波長為 4000 \AA 的單色光源照此雙狹縫，發現距離 1.0 m 外的光屏上有干涉條紋，試問：



(1) 光屏上相鄰兩暗線的距離為何？

(2) 若將整個裝置移至折射率為 1.25 的透明液體中，得到的亮紋寬度為何？

答：(1) $4 \times 10^{-3} \text{ m}$ ；(2) $3.2 \times 10^{-3} \text{ m}$

(2. 如右圖，雙刃刀片的厚度即雙狹縫之距離

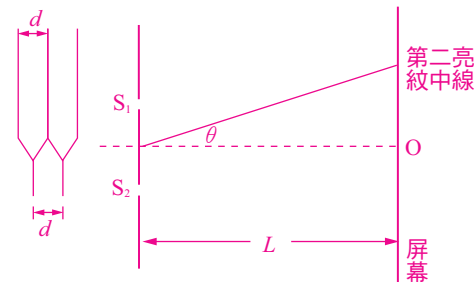
$d = 0.1 \text{ mm} = 1 \times 10^{-4} \text{ m}$ ， $L = 1 \text{ m}$ ， $\lambda = 4 \times 10^{-7} \text{ m}$ 。

(1) 相鄰兩暗線的距離為 $\Delta y = \frac{L\lambda}{d} = \frac{1 \times 4 \times 10^{-7}}{1 \times 10^{-4}} = 4 \times 10^{-3} \text{ (m)}$

(2) 在折射率為 1.25 的透明液體中，

光的波長 $\lambda' = \frac{\lambda}{n} = 3200 \text{ \AA}$

$\frac{\Delta y'}{\Delta y} = \frac{\lambda'}{\lambda} \Rightarrow \frac{\Delta y'}{4 \times 10^{-3}} = \frac{3200}{4000} \Rightarrow \Delta y' = 3.2 \times 10^{-3} \text{ (m)}。$



3. 在「單狹縫繞射」實驗中，若以波長為 6.0×10^{-7} 公尺之單色光照射在單狹縫上，測知屏上繞射的中央亮帶寬度為 1.0 公分；如將屏後移使屏與狹縫之距離增加 20 公分，則中央亮帶寬度變為 1.5 公分。此狹縫之寬度應為若干公分？

答： 4.8×10^{-3}

(3. 中央亮帶寬度 $\Delta y_0 = 2 \times \frac{r\lambda}{b}$ ， b 為狹縫寬度， r 為狹縫至屏的距離，根據題目可得 $2 \times \frac{r\lambda}{b} = 1.0 \text{ (cm)} \cdots \cdots \textcircled{1}$ ， $2 \times \frac{(r+20) \cdot \lambda}{b} = 1.5 \text{ (cm)} \cdots \cdots \textcircled{2}$ ，由 $\frac{\textcircled{1}}{\textcircled{2}}$ 得 $\frac{r}{r+20} = \frac{2}{3}$ ， $r = 40 \text{ (cm)}$ 代回 $\textcircled{1}$ ，得 $2 \times \frac{(40) \times (6 \times 10^{-5})}{b} = 1.0$ ， $b = 4.8 \times 10^{-3} \text{ (cm)}。$)

4. 以波長為 600 nm 的單色光作單狹縫繞射實驗，狹縫寬度為 1 mm ，則：

(1) 中央亮帶外側兩端對狹縫中心所張開的角度為多少弧度？

(2) 若以另一波長為 λ 的單色光與波長為 600 nm 的單色光同時照射同一單狹縫，於屏上所生的繞射圖形中，波長為 600 nm 的單色光形成的第一條亮紋恰與 λ 形成的第二條暗線重合，則 λ 等於多少 nm ？

答：(1) 1.2×10^{-3} ；(2) 450

(4. (1) 因中央亮帶邊緣為第 1 暗紋，故 $a \sin \theta = \lambda \Rightarrow \sin \theta = \frac{\lambda}{a}$ ，當 θ 很小時， $\sin \theta \approx \theta$ ，

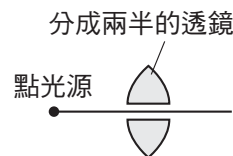
張角 $\phi = 2\theta = 2 \frac{\lambda}{a} = \frac{2 \times 6 \times 10^{-4}}{1} = 1.2 \times 10^{-3} \text{ (rad)}；$

(2) 第一條亮紋位置 $y_1 = (1 + \frac{1}{2}) \frac{L\lambda_1}{a}$ ；第二條暗線位置 $y_2 = 2 \times \frac{L\lambda_2}{a}$ ，

重合表示 $y_1 = y_2 \therefore \frac{3}{2} \lambda_1 = 2 \lambda_2$ ，即 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{4}{3}$ ，即 $\lambda_2 = 450 \text{ nm}$)

混合題

一經主軸分裂成兩半之凸透鏡，一光源對此兩半之透鏡所生之兩個實像，可視為干涉實驗時的兩個同相光源。若入射光波長為 5000 \AA 、凸透鏡之焦距為 4.0 cm 、點光源距透鏡 5 cm 、兩半透鏡相距 0.1 mm 、屏距像光源 1 m ，則：



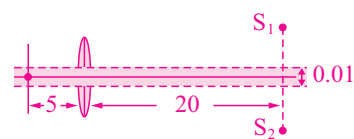
1. 請計算並畫出兩個實像位置。

答：見解析

$$(1. \text{ 由透鏡成像公式 } \frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{5} + \frac{1}{q} = \frac{1}{4} \Rightarrow q = 20 \text{ (cm)})$$

$$\text{橫向放大率 } m = -\frac{q}{p} = -\frac{20}{5} = -4,$$

$$\text{實像 } S \text{ 與主軸相距} = \left(\frac{0.01}{2} \times 4 \right) + 0.005 = 0.025 \text{ (cm)。}$$



(E) 2. 兩個實像間的距離為多少公分？（單選）

(A) 0.01 (B) 0.02 (C) 0.03 (D) 0.04 (E) 0.05

$$(2. \text{ 實像 } S_1 \text{ 與 } S_2 \text{ 的相距 } d = h_i + 2h_o + h_i = \left(\frac{0.01}{2} \times 4 \right) + 0.01 + \left(\frac{0.01}{2} \times 4 \right) = 0.05 \text{ (cm)。}$$

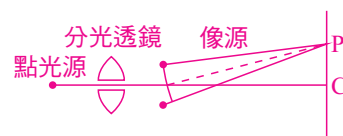
故選(E)。

(A) 3. 干涉亮紋寬度大約為若干公分？（單選）

(A) 0.1 (B) 0.2 (C) 0.3 (D) 0.4 (E) 0.5

$$(3. \text{ 亮紋寬度 } \Delta y = \frac{L \lambda}{d} = \frac{100 \times 5000 \times 10^{-8}}{0.05} = 0.1 \text{ (cm)。}$$

故選(A)。



4. 若將整個裝置放入折射率為 $\frac{4}{3}$ 的水中作實驗，則干涉亮紋寬度大約為_____公分。

答：0.075

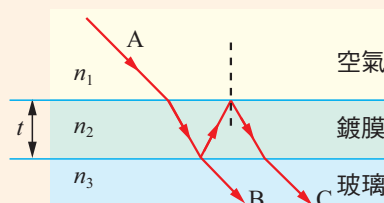
$$(4. \Delta y' = \frac{\Delta y}{n_{\text{水}}} = \frac{0.1}{\frac{4}{3}} = 0.075 \text{ (cm)。)}$$

科學素養新焦點



藍光是可見光的重要組成部分，自然界本身沒有單獨的白光，等量的藍光與綠光、紅光混合後呈現出白光。綠光與紅光的能量較小，對眼睛刺激較小，但藍光波長短、能量高，能夠穿透晶體到達視網膜，對其造成光學損害，會加速黃斑區細胞的氧化；它對眼睛的損傷是逐漸積累而形成的。即使不直視藍光源，長時間接收藍光也會對眼睛造成傷害。

藍光並不是單一波長的光，而是波長介於 400 ~ 500 奈米的高能量可見光。藍光普遍存在於電腦螢幕、投影儀、手機螢幕、LED 燈、電影螢幕……中。這些電器或光源中都存在不同程度的藍光，而阻隔藍光長時間照射是減少損傷的最有效方法。目前市面上出現抗藍光眼鏡，而專用抗藍光眼鏡不但能夠有效的隔離紫外線與輻射，而且能夠過濾藍光，適合在看電腦或者電視時使用，可以大大減輕藍光對眼睛的刺激，消除眼睛酸澀、發熱或者疼痛等不適症狀，緩解眼睛疲勞。為了消除藍光，可於眼鏡鍍上一層薄膜，當白光透過此薄膜時，特定區域波長的藍光會產生破壞性干涉，使藍光不通過眼鏡。若光在介質的折射率為空氣 $n_1 <$ 鍍膜 $n_2 <$ 玻璃 n_3 ，且已知透射光 B 相位無變化，但透射光 C 的相位變成反相，如右圖所示。



(A) 1. 根據上文，下列何者敘述是正確的？

- (A)藍光是多頻率的光 (B)自然界存在單獨的白光 (C)黃、綠、藍光為光學三原色，可構成了我們視覺中的白光 (D)專用抗藍光眼鏡只能過濾藍光，無法隔離紫外線 (E)藍光波長短、能量低

(1. (A)(E)藍光是波長介於 400 ~ 500 奈米的高能量可見光，是多頻率的光；(B)自然界存在的白光為等量的藍光與綠光、紅光混合後所呈現；(C)紅、綠、藍光為光學三原色，可構成了我們視覺中的白光；(D)專用抗藍光眼鏡能過濾藍光與紫外線，故選(A)。)

(E) 2. 配戴抗藍光眼鏡去觀察白色 LED 光源時，會看到哪一種顏色？

- (A)紫 (B)藍 (C)紅 (D)綠 (E)黃

(2. 因藍光和黃光可混合形成白光，而抗藍光眼鏡過濾了藍光，所以看 LED 光源的時候會偏黃。故選(E)。)

(D) 3. 若只考慮垂直鏡面穿透的光，為了消除波長 400 奈米的藍光，最少須於眼鏡鍍上一層多少 nm 的薄膜？（假設鍍膜折射率 $n_2 = 1.25$ ，玻璃折射率 $n_3 = 1.5$ 。）

- (A) 2000 (B) 800 (C) 400 (D) 160 (E) 80

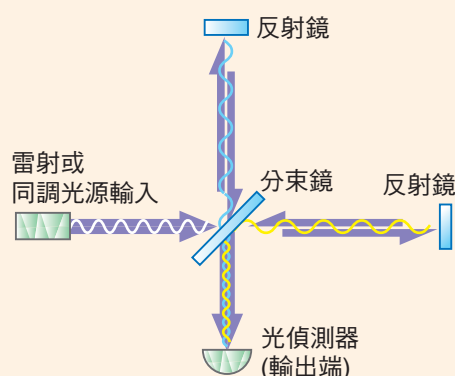
(3. 根據題目所示，B 與 C 為反相，若入射光垂直照射薄膜，且要完全破壞性干涉，則透射光波 B 及 C 的波程差 $= 2t = m\lambda_2 = m \frac{\lambda}{n_2}$ ， $m = 1, 2, \dots$ ，鍍膜最小厚度 $t_{\min} = \frac{\lambda}{2n_2} = \frac{400}{2 \times 1.25} = 160 \text{ (nm)}$ ，故選(D)。)

愛因斯坦在 1915 年發表廣義相對論，討論時間與空間的關係，他認為質量和能量可使時空產生扭曲。當兩個巨大質量的天體（例如黑洞、中子星、星系等），它們互相環繞之時，會在時空產生漣漪，而能量會經由這時空漣漪向外傳遞，形成所謂的重力波。

在 2015 年 9 月 14 日，LIGO 團隊直接測量到 13 億光年外兩個黑洞碰撞的活動，偵測的訊號雖極度微弱，但證實了愛因斯坦於百年前的預測。目前科學家已經知道重力波與光波一樣以光速前進，並能夠以極小的衰減率穿越物質；但光波在經過物質時會被散射或者吸收，故天文學家期待重力波能夠幫助我們看穿早期宇宙高溫之牆與不發光的黑洞周圍發生的事件。

2017 年諾貝爾物理獎頒給證實重力波存在有貢獻的三位科學家，外斯（Rainer Weiss）、索恩（Kip S. Thorne）以及巴利許（Barry C. Barish），分別建立重力波探測器，位於美國的雷射干涉重力波天文台（LIGO）及位於歐洲的處女座干涉儀（VIRGO），以表彰他們證明愛因斯坦的時空漣漪（重力波）預言。

LIGO 的基本運作原理類似「邁克生干涉儀」，邁克生干涉儀可以把一道雷射光束藉由分束鏡（半透明鏡）分成兩道（一道是反射，另一道是透射），接著兩道雷射光束分別在垂直管臂中行進，管臂的另一端各有一面反射鏡，光束從反射鏡反射後分別穿過分束鏡來到光偵測器處，如上圖所示。來到光偵測器的兩道光波可能發生破壞性干涉形成暗紋，或發生建設性干涉形成亮紋。如果一道重力波來回拉扯垂直管臂，會改變兩個管臂的相對長度，此時兩道光波在偵測器產生的干涉狀況可能會產生變化。



(B E) 4. 根據此文所述，下列哪些正確？（多選）

(A)愛因斯坦的狹義相對論預言重力波的存在 (B)愛因斯坦認為認為質量與能量均可使時空產生扭曲 (C)重力波的傳遞過程需要宇宙中的物質來完成 (D)重力波屬於電磁波，以光速傳遞能量 (E)重力波容易穿越物質，故可以用來推測黑洞周圍發生的事件

(4. (A)愛因斯坦的廣義相對論預言重力波的存在；
(C)重力波是時空的漣漪，傳遞過程不需要介質；
(D)重力波雖以光速傳遞，但不屬於電磁波；
(E)觀察重力波可以推測黑洞周圍發生的事件，故選(B)(E)。)

(A D) 5. 下列有關邁克生干涉儀與 LIGO 的運作原理，哪些正確？（多選）

E (A)邁克生干涉儀的運作原理可用惠更斯的光波理論來解釋 (B)邁克生干涉儀的運作原理可用牛頓的光微粒學說來解釋 (C)若來到光偵測器的兩道光波形成亮紋，表示兩光的相位相反 (D)若來到光偵測器的兩道光波形成暗紋，表示兩光的相位相反 (E)重力波來會改變兩個管臂的相對長度，可使偵測器產生的干涉狀況產生變化

(5. (A)(B)干涉現象需用惠更斯的光波理論才能解釋；

(C)(D)兩道光波若同相會造成建設性干涉而形成形成亮紋，若反相會造成破壞性干涉而形成暗紋；

(E)重力波來會改變兩個管臂的相對長度，可使光程差產生變化，即改變光的相位差，故偵測器產生的干涉狀況可能產生變化，故選(A)(D)(E)。)

6. 若已知 LIGO 干涉臂長（分束鏡到反光鏡的距離）為 4 km，光源採用波長 1064 nm 的釹：鉍鋁石榴石（Nd：YAG）固態雷射紅外光。若當某個重力波通過 LIGO 干涉射儀時，光偵測器上的干涉條紋由暗轉亮，則重力波所引起干涉臂長度變化至少為若干 nm？

答：266

(6. 設干涉臂長度為 L ，重力波所引起干涉臂長度變化為 ΔL ；

因光偵測器上的干涉條紋由暗轉亮，可知兩道光波的波程差為半波長的奇數倍，

$$\text{故兩道光波的波程差} = 2[(L + \Delta L) - L] = n \frac{\lambda}{2}, n = 1, 3, 5, \dots \Rightarrow \Delta L = \frac{n \lambda}{4}$$

$$\text{當 } n = 1 \text{ 時，干涉臂長度變化有最小值 } \Delta L_{\min} = \frac{1}{4} \lambda = \frac{1}{4} \times 1064 = 266 \text{ (nm)。}$$