

# 第三十四屆國際物理奧林匹亞競賽實驗競賽

林明瑞

國立臺灣師範大學 物理系

請先讀下文：

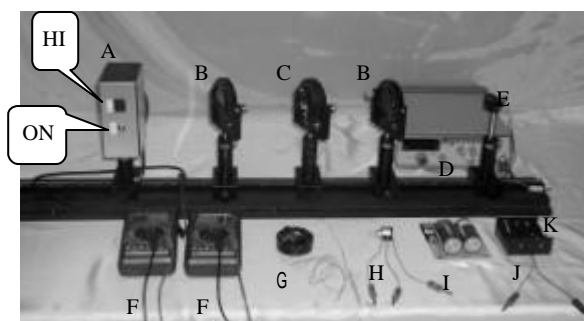
1. 只能使用競賽單位所提供的筆書寫。
2. 只能在答題紙的正面作答。
3. 盡可能少用文字作答；多用方程式，數字或圖形。若最終要求數值答案，請在你的最終數值答案底下畫波浪線。
4. 在答題紙寫下所有的測量結果，以及其他你認為是問題解答所必須而且希望被評分的。
5. 絕對必須在每一張你使用的紙上方空格中填入你的國家(Country)與你的學生編號(Student No.)，此外每題所使用的答題紙都應填入題號(Question No. 比如 A-(1))、依序的頁碼(Page No.)、以及每題你希望被計分的紙張總數(Total No. of pages)。若你用了些答題紙作草稿而不希望被評分，在紙上畫一個全頁的大×，並且不要編頁碼。
6. 競賽終了，請將答題紙與作圖紙依序排好。
7. 只有 A 部分的實驗需要在圖上畫出誤差範圍(Error Bar)
8. 小心：請千萬不要直接去看雷射光束，這樣做會傷害你的眼睛!!

實驗器材

1. 可用儀器列表如下：

	器材	數量
A	光偵測器 (PD)	1
B	偏光鏡與旋轉鏡座	2
C	90° TN-LC 液晶胞 (黃色導線) 與旋轉液晶座	1
D	函數產生器	1
E	雷射二極體 (LD)	1
F	三用電表	2
G	平行液晶胞 (橘色導線)	1
H	可變電阻	1
I	電池	2
J	電池盒	1
K	光具座	1
L	半透光紙	2
M	直尺	1
N	白色膠帶 * (在器材上做記號用)	1
O	剪刀	1
P	作圖紙	10

\* 不可在器材做記號，如有需要，貼一片白色膠帶，在膠帶上做記號。



## 2. 三用電表說明:

“DC/AC” 開關可選直流或交流。

用“V”與“COM”接頭來測量電壓或電阻。

用“mA”與“COM”接頭來測量小電流。數位顯示為 mA 電流。

用功能旋鈕選擇適當的功能與測量範圍。“V”代表測量電壓，“A”代表測量電流，而“ $\Omega$ ”代表測量電阻。



## 3. 函數產生器說明

電源按鍵壓下為接通電源，再壓一次則切斷電源。

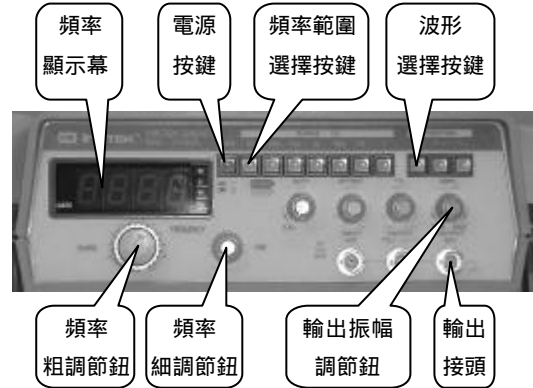
用頻率範圍按鍵選擇適當頻率範圍。

數位顯示幕顯示頻率。

用粗調節鈕與細調節鈕選擇適當頻率。

用波形選擇最左按鍵選用方波。

用輸出振幅調節鈕，改變輸出電壓。



## A 部分：雷射二極體的光學特性

### 1. 簡介

#### 雷射二極體 (Laser Diode)

本實驗所用的光源為雷射二極體 (Laser Diode)，它能發出的雷射光波長為 650nm，當二極體電流超過某一臨界值時，雷射二極體即能發出單色、部份具偏極化的同調光，這就是所謂的雷射光。當雷射二極體的電流小於臨界值時，發光強度很小；在臨界值以上，發光強度隨著電流變大而急劇增加，發光強度與電流大小變化成線性的關係；假若電流持續增大，發光強度的增加率反而會趨緩，這是因為雷射二極體本身溫度逐漸增高所導致。因此，雷射二極體的最佳工作範圍是在線性的區段內。通常，臨界電流 (Threshold Current)  $I_{th}$  的大小，就定義為該線性區段的外插線 (Extrapolation) 與電流軸的交點值。

小心：請千萬不要直接去看雷射光束，這樣做會傷害你的眼睛!!

### 光偵測器(Photo Detector)：

本實驗所用的光偵測器(Photo Detector)是利用光電二極體 (Photodiode) 串聯電流放大器 (Current Amplifier) 所製成的。當偏壓外加於光電二極體時，此二極體受光照射即會產生光電流 (Photocurrent)。在定溫時，入射光為單色光的情況下，光電流與入射光強度成正比。而電流放大器是用來以等比例的方式將光電流的大小轉換成電壓輸出。本光偵測器的轉換比例有兩種：一為高檔放大 (High Gain)；另一為低檔放大 (Low Gain)；在本實驗中全部使用低檔放大。假如入射光強度太高的話，由於放大器本身的限制，輸出電壓即不再與光電流成比例增加，而會逐漸進入約 8V 飽和值。所以，整個光偵測器正常的工作範圍，是在光強度確實與輸出電壓成比例的時候；若光強度過大而使輸出電壓飽和，則實驗所得的值將會有錯。

## II. 實驗與步驟

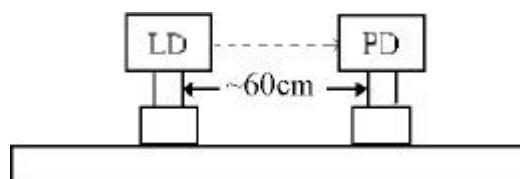
### 雷射二極體與光偵測器的特性

為了使實驗能成功進行，光束在實驗裝置各個部分的光徑對準是非常關鍵的，此外光源與偵測器也必須在適當條件下操作。A 部分就是有關這一些問題，以及偏振程度的問題。

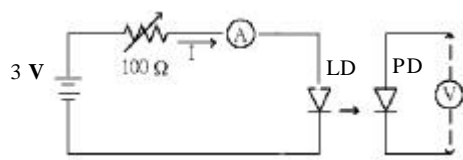
1. 如圖一所示將雷射二極體與光偵測器成一水平線放入光具座中，並如圖二所示連接可變電阻、電池、電流計、電壓計、雷射二極體及光偵測器，適當調整可變電阻值使經過雷射二極體的電流大約 25mA，而且二極體射出適當的雷射光。固定光偵

測器於低檔放大，適當調整雷射二極體及光偵測器的高度及彼此相對的方向，以使雷射光束正好進入光偵測器盒子上的小洞，且光偵測器輸出電壓達到最大值，以確保彼此的光徑是對準的。

小心：不要讓電池上的黑紅兩端彼此接觸，已免造成短路!!



圖一 光學裝置 (LD：雷射二極體；PD：光偵測器)



圖二 串接雷射二極體的等效電路

2. 以光偵測器的輸出電壓來代表雷射光的強度  $J$ ，並適當調整可變電阻來改變雷射二極體的電流大小  $I$ ，由零值開始，直到最大電流為止，同時測量出  $J$  與  $I$  的關係，請注意適當調整所增加的電流間隔。

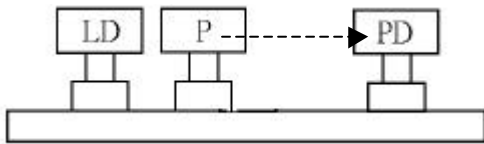
問題 A-(1) (1.5 分)

測量、列表、並畫出  $J$  與  $I$  的關係曲線。

問題 A-(2) (3.5 分)

估計在  $J$  -  $I$  關係曲線呈線性變化的範圍內之最大電流  $I_m$  及其誤差。在  $J$  與  $I$  的關係曲線上以箭號(?)標示出線性範圍，並決定臨界電流  $I_{th}$ ，及其誤差。

3. 選擇雷射二極體的電流為  $I_{th} + 2(I_m - I_{th})/3$  時作為工作點，以確保雷射二極體及光偵測器均能正常工作。
4. 為 B 部分實驗作準備：在光具座上如圖三將偏振片放置於近雷射二極體處，注意雷射光必須對準偏振片的中央部份。調整偏振片使入射雷射光與偏振片的平面垂直。(提示：你可以插入半透光紙光屏，然後檢查入射光與反射光所生之光點是否重疊，以確定入射光是垂直於偏振片。)



圖三 偏極片的對準 (P: 偏振片)

5. 固定雷射二極體的電流大小，在光具座上放置第二片偏振片，須確保適當的光徑對準。也就是將光源、偵測器以及兩偏振片置於一直線上，並確定每一偏振片平面都與光束垂直。

## B 部分：絲狀液晶(Nematic LC)的光學性質 $90^\circ$ TN-LC 晶胞的光-電開關特性

### 1. 簡介 液晶

液態晶體（簡稱液晶，LC）是一種介於固態結晶體和非晶形液態之間的物質。其中絲狀液晶(Nematic LC)係由長條形有機分子所構成的，這些分子的平均排列方向可以很容易排列成規則狀，同時亦可以透過施加電場，來控制長條形液晶分子長

軸的指向。在大部分的光電液晶元件中，均要求液晶分子的配向均勻或朝向預設的指向。本實驗之液晶胞結構如（圖四）。使用擦鏡紙沿單一方向磨擦上圖所示之 Polyimide (PI) 膜，可在 PI 膜表面形成細微的溝紋，它會令相鄰的液晶長分子沿溝紋方向排列整齊，並進而透過分子間的作用，使其他液晶分子隨之規則排列，如此可獲得均勻配向的絲狀液晶胞。局部的分子配向，被稱為 LC 在該點的配向方向 (Director)。

液晶胞對光具有雙折射現象，也就是具有兩種折射率。當光線沿著分子配向方向傳播時，各種偏振分量的傳播速率皆為

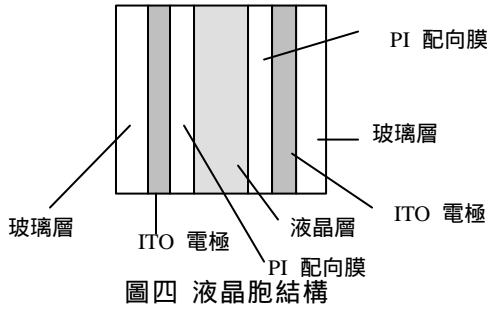
$$v_o = \frac{c}{n_o},$$

其中  $n_o$  稱為「尋常折射率」，故此傳播方向(配向方向)稱為光軸。當光線前進方向與光軸方向垂直時，則有兩種傳播光速。當偏振光的電場方向垂直於光軸

時，光的傳播速率也是  $v_o = \frac{c}{n_o}$ ；但偏振光的電場方向平行於光軸時，光的傳播速率

則是  $v_e = \frac{c}{n_e}$ ，其中  $n_e$  稱為「非常折射率」。

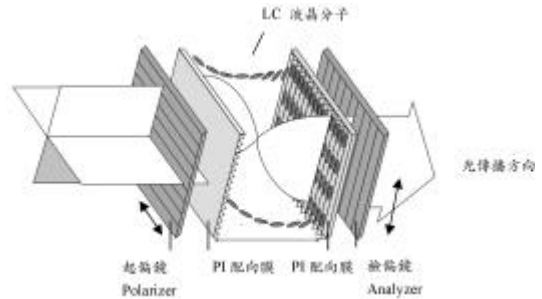
「雙折射量」Birefringence (光學方向性 Optical Anisotropy) 定義為非常折射率與尋常折射率之差  $\Delta n \equiv n_e - n_o$ 。



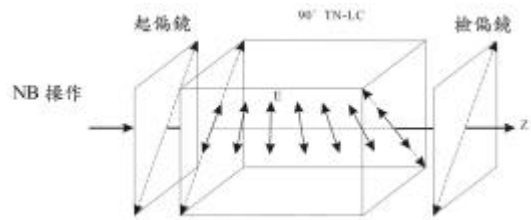
### 2.90 度扭轉之絲狀液晶胞 (90° TN-LC)

90° 扭轉之絲狀液晶胞如圖五所示，右邊 PI 配向膜之 LC 配向方向，相對於左邊 PI 配向膜之 LC 配向方向扭轉了 90 度。故液晶分子在液晶層中亦逐漸扭轉了 90 度。令左方起偏鏡 (Polarizer) (第一個偏振片) 的偏振方向平行於 TN-LC 左邊 PI 膜的 LC 配向。入射的非偏振光會由左方偏振片轉化成線性偏振的光。此線性偏振的光穿經 90° TN-LC 時，其偏振方向會隨著液晶分子長軸方向的扭轉配向而扭轉，使得透過 TN-LC 的光維持為線性偏振，但其偏振方向已扭轉 90 度。由於入射偏振光的電場振動方向始終維持與液晶分子長軸方向平行，故它顯示為非常光其折射率為  $n_e$ 。(同理若入射偏振光之偏振方向始終維持與 LC 分子長軸垂直，它也具有 90 度旋轉的扭轉效果，但它顯示為尋常光，其折射率為  $n_o$ 。) 若檢偏鏡 (Analyser) (第二個偏振片) 的偏振方向設定為平行於起偏鏡的偏振方向時，如圖六所示，光就不能透過檢偏鏡，此種設定稱為「正常黑色」設定(Normally Black, 簡稱 NB)。但若在 TN 胞兩邊加電壓  $V$ ，且當  $V$  超過底限電壓  $V_c$  時，液晶分子的長軸方向，受外加電場作用，會沿此

外加電場方向作平行排列，這將漸漸破壞對偏振光偏振方向的引導扭轉能力，光便會漸漸透過檢偏鏡。令  $V_{10}$  及  $V_{90}$  分別代表透射光強度達到最大透射光強度之 10% 及 90% 時的外加電壓值，則可定義「光-電開關斜率」 $g$  為  $g = \frac{V_{90} - V_{10}}{V_{10}}$ 。



圖五 90° TN-LC 液晶分子配向扭轉示意圖



圖六 NB 操作設定

## II. 實驗與步驟

將「90° TN-LC」設定在「正常黑色」(NB) 模式，放置於兩個偏光方向互相平行的偏光片間。使用函數產生器以 100 Hz 方波的方式加電壓於 LC 試片兩邊的 ITO 導電電極上。將電壓值  $V_{rms}$  由 0 逐步增至 7.2V。

\*在關鍵點附近時，必要時宜多取幾組數據。

問題 B-(1) (5.0 分)

測量、表列、並畫出「 $90^\circ$  TN-LC」的光電開關特性曲線 (J 對  $V_{rms}$  的曲線), 並求出其光-電開關斜率  $g$ 。(  $g = \frac{V_{90} - V_{10}}{V_{10}}$  )

問題 B-(2) (2.5 分)

求此「 $90^\circ$  TN-LC」液晶光電元件的底限電壓  $V_c$ 。以圖說明你決定  $V_c$  值的方法。  
提示：當外加電壓超過底限電壓後，光透射率將急遽上升。

### C 部分：絲狀液晶(Nematic LC)的光學性質均勻平行配向 LC 的光-電開關特性

#### I. 簡介

##### 均勻平行配向液晶胞 (Homogeneous Parallel-Aligned LC Cell)

均勻平行配向 LC 胞是左邊 PI 配向膜，及右邊之 PI 配向膜 LC 配向方向，互為平行的液晶胞如圖七所示。若經由起偏鏡入射的線性偏振光，偏振方向平行於 LC 配向時，在液晶中光以非常光的方式前進，且光呈單一的（純的）相位變化。



PI 層 (ITO+PI)

圖七 均勻平行配向液晶胞

若入射偏振光和 LC 配向成  $45^\circ$  度夾角如圖八所示，則由於尋常光和非常光在 LC 中波速不同，導致這兩種光間發生「相位推遲」(Phase Retardation)。在此  $q = 45^\circ$ ，兩偏振片的偏振軸平行的情況下，透過檢偏鏡之光的透射率 (normalized transmission, 即透射光強度與入射液晶之光強度的比值) 為：

$$T_{//} = \cos^2 \frac{d}{2}$$

式中的「相位推遲  $d$ 」可以表示為

$$d = 2pd\Delta n(V, I) / I$$

式中  $d$  是液晶 IC 層的厚度， $\lambda$  是空氣中光的波長， $V$  是交流電壓的均方根值，而  $\Delta n \equiv n_e - n_o$  是液晶 LC 的雙折射量， $?n$  是  $?n$  與  $V$  的函數。 $?n$  與  $d$  都是在  $V=0$  時有最大值，此外  $?n$  隨  $V$  的增加而減少。

在一般的情況中，透射率可表之如下：

$$T_{//} = 1 - \sin^2 2q \sin^2 \frac{d}{2}$$

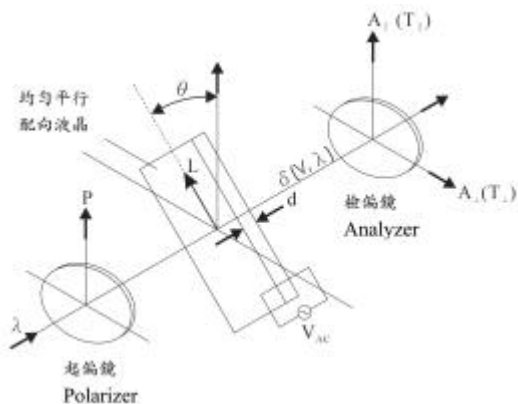
$$T_{\perp} = \sin^2 2q \sin^2 \frac{d}{2}$$

式中  $//$  和  $\perp$  分別代表檢偏鏡的偏振軸平行和垂直於起偏鏡的偏振軸。

#### II. 實驗與步驟

1. 以均勻平行配向液晶胞 (Homogeneous Parallel-Aligned LC Cell) 取代  $90^\circ$  TN-液晶胞。
2. 在  $V = 0$  時，設定  $q = 45^\circ$  如圖八所示。使起偏鏡與檢偏鏡的偏振軸互相垂直時，旋轉 LC 液晶試片直到透射率達最大值 ( $T_{\perp}$ ) 時，這會確定  $q = 45^\circ$ 。已知？

角為  $45^\circ$  後，測量  $T_{\perp}$ 。再將起偏鏡與檢偏鏡的偏振軸調成平行並測量  $T_{//}$ （一樣在外加電壓  $V = 0$  時），以求得相位延遲  $d$  及雙折射量  $\Delta n$ 。



圖八 實驗裝置

問題 C-(1) (2.5 分)

已知雷射光的波長  $\lambda = 650\text{nm}$ ，液晶層厚度  $d = 7.7\text{mm}$ ， $\Delta n \approx 0.25$ ；由  $T_{\perp}$  及  $T_{//}$  之數據計算此液晶胞在  $V=0$  時， $d$  及  $\Delta n$  的精確值。

3.如(1)之實驗，在  $q = 45^\circ$  的設定下，使用函數產生器以  $100\text{Hz}$  方波，加電壓於均勻平行配向 LC 試片兩端的 ITO 電極上，在起偏鏡與檢偏鏡的偏振軸調成平行

時，測量  $T_{//}$  在外加電壓 ( $V_{\text{rms}}$ ) 於  $0\text{V}$  到  $7\text{V}$  之間的光 - 電開關曲線 (即  $T_{//}$  對  $V_{\text{rms}}$ ) (提示：測量光透射率  $T_{\perp}$  開關曲線之結果，可有助於  $T_{//}$  在測量時的準確性； $T_{\perp}$  的測量結果在回答下列問題時並不需要)。

\* 記得在關鍵點附近時，必要時應多取幾組數據 (特別是在  $0.5 - 4.0\text{V}$  之間)。

問題 C-(2) (3.0 分)：

測量、表列、畫出平行配向液晶胞在  $q = 45^\circ$  的設定下， $T_{//}$  的光 - 電開關關係曲線。

問題 C-(3) (2.0 分)

根據前一題(C-(2))的數據，找出  $d = p$  時的外加電壓  $V_p$ 。

提示： $V_p$  是使相位推遲  $d = p$  ( $180^\circ$ ) 時的外加電壓。請記得  $n$  是外加電壓的函數，而且  $n$  隨  $V$  的增加而減少。在決定  $V_p$  的準確數值時，可考慮用內插法求解。