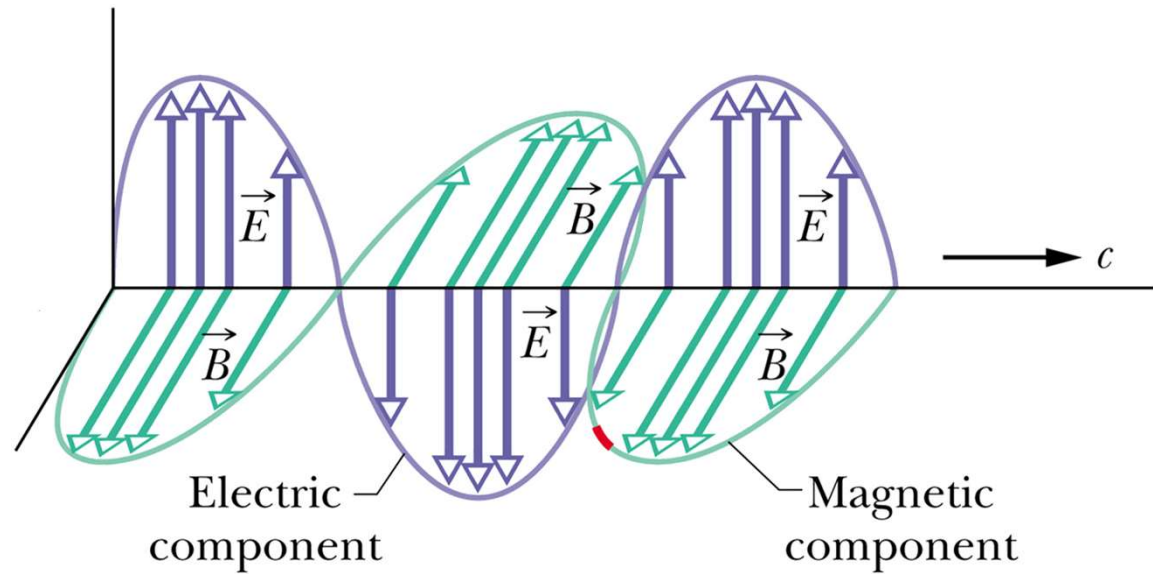
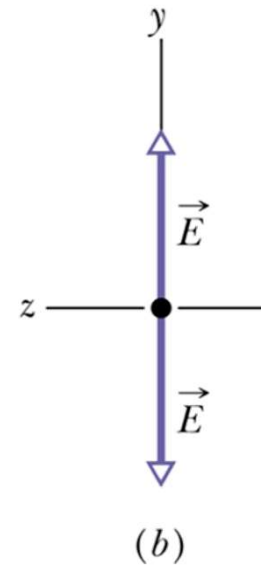
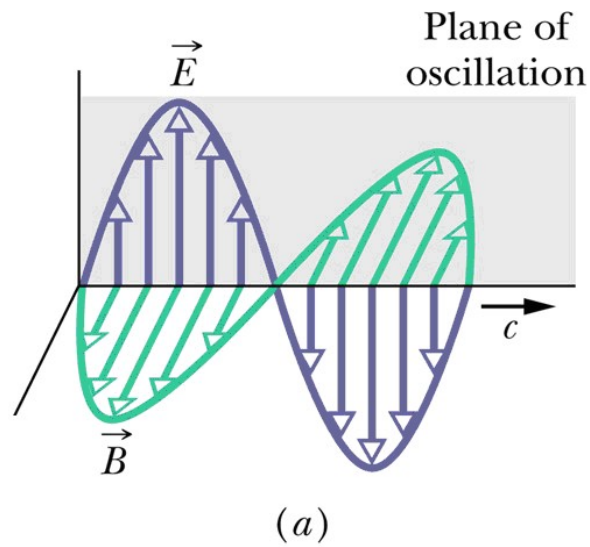


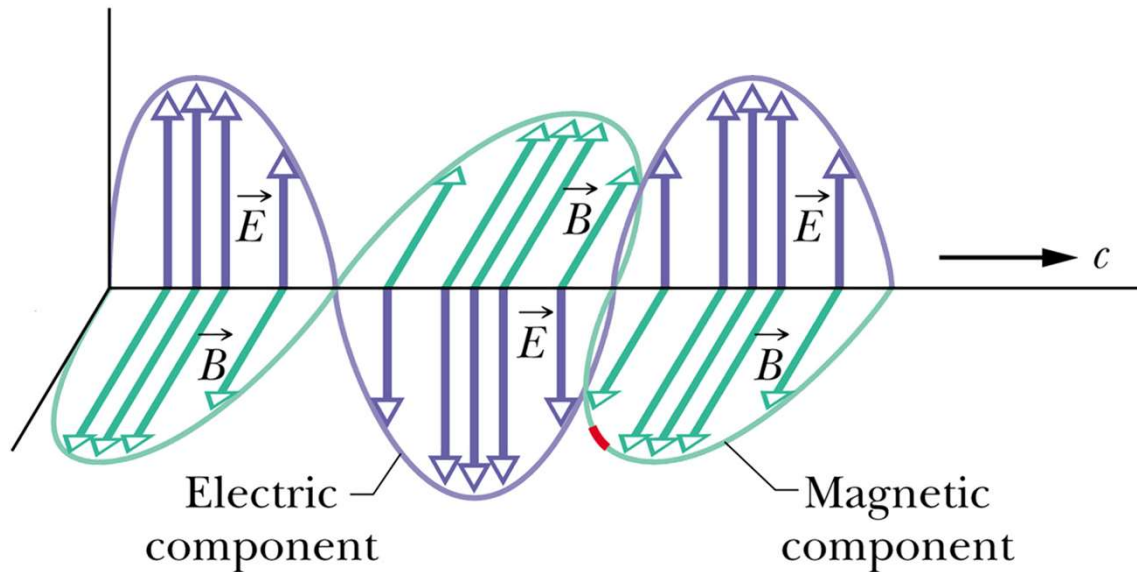
# 實驗3： 偏振實驗



# 什麼是偏振

Polarize：偏振、偏極、極化  
光波的電場方向稱為光的偏振方向。





一平面波，其電場  $E$  與磁場  $H$  相互垂直，同時與波的行進方向相互垂直。其電場強度  $E$  (electric field intensity) 對磁場強度  $H$  (magnetic field intensity) 的比值等於一個特定值，稱為波阻抗  $\eta$  (wave impedance)

$$\eta = \frac{E}{H} \equiv \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$$

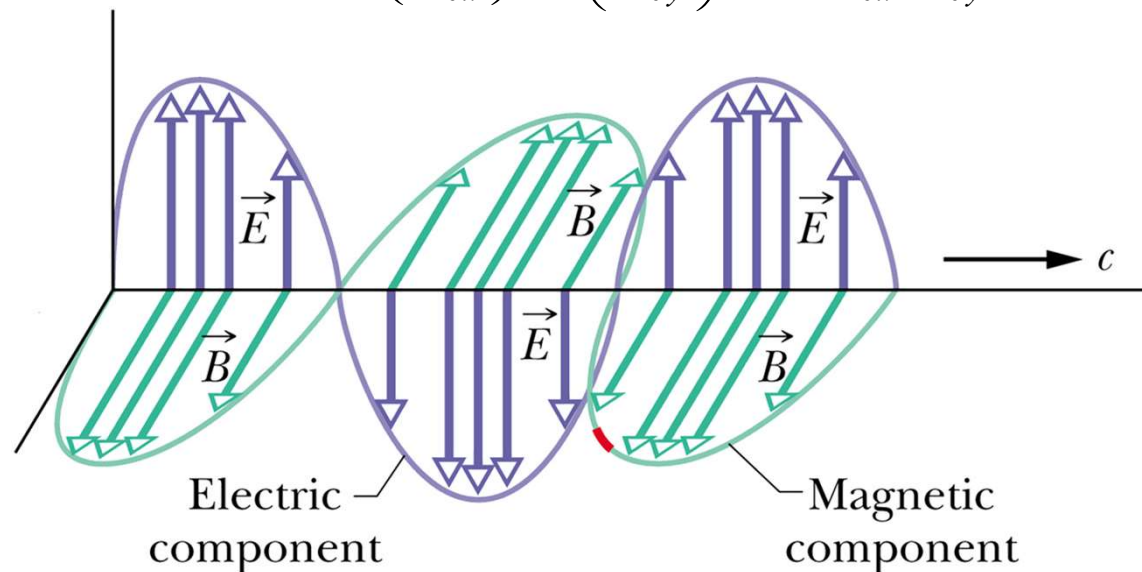
一平面波，在空間中沿著 $z$ 軸方向前進，光波動在 $x$ - $y$ 平面上可以分解為兩個方向互相垂直的振動：

$$\vec{E}(z,t) = \hat{i} E_x(z,t) + \hat{j} E_y(z,t)$$

$$E_x(z,t) = E_{0x} \cos(kz - \omega t)$$

$$E_y(z,t) = E_{0y} \cos(kz - \omega t + \varepsilon)$$

化簡後可以得到：
$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 - 2\frac{E_x}{E_{0x}}\frac{E_y}{E_{0y}}\cos\varepsilon = \sin^2\varepsilon$$





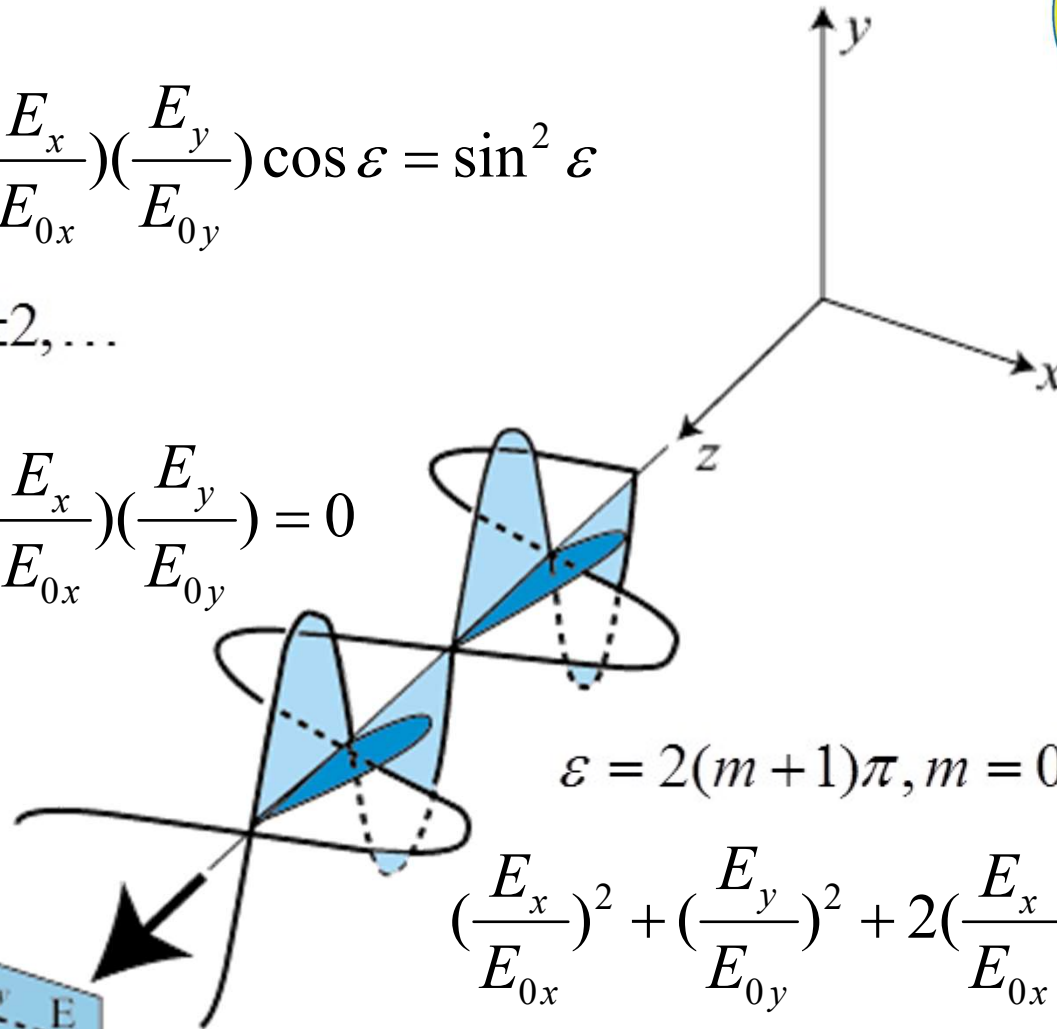
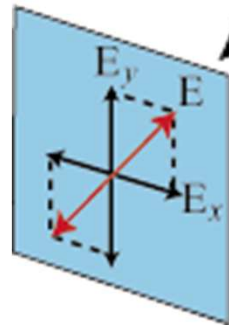
A) 線偏振

$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 - 2\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)\left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)\cos \varepsilon = \sin^2 \varepsilon$$

$$\varepsilon = 2m\pi, m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 - 2\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)\left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right) = 0$$

$$\frac{E_y}{E_x} = \frac{E_{0y}}{E_{0x}}$$



$$\varepsilon = 2(m+1)\pi, m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 + 2\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)\left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right) = 0$$

$$\frac{E_y}{E_x} = -\frac{E_{0y}}{E_{0x}}$$

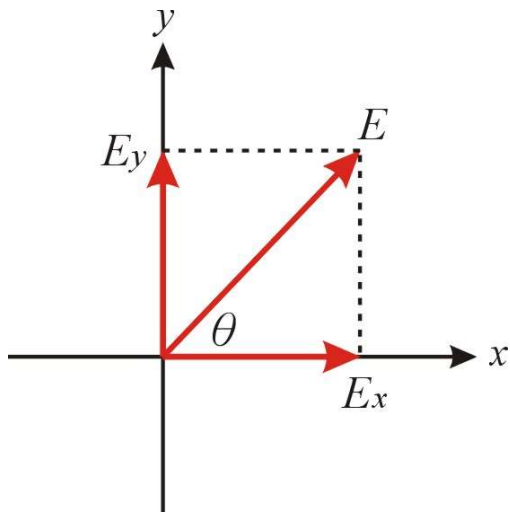


## A) 線偏振

➔ 電場總強度  $E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = \sqrt{E_{0x}^2 + E_{0y}^2} \cos(\omega t - kz)$  (振幅)

➔ 在 x-y 平面上，偏振方向角度  $\theta = \tan^{-1} \frac{E_y}{E_x} = \pm \tan^{-1} \frac{E_{0y}}{E_{0x}}$

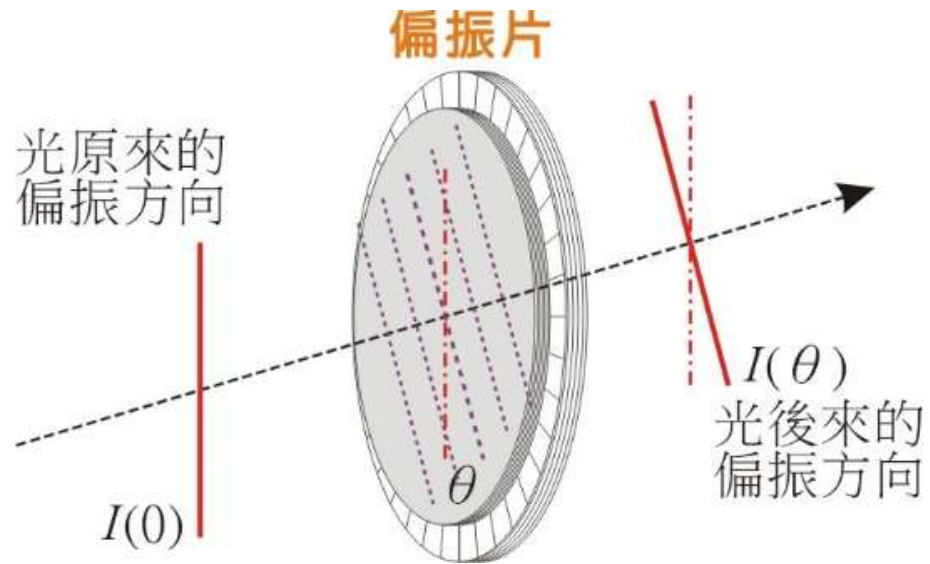
$\theta$  不是時間的函數， $\theta$  不隨時間改變，偏振方向不隨時間改變，因此稱為線偏振。



### A) 線偏振

Malus's Law

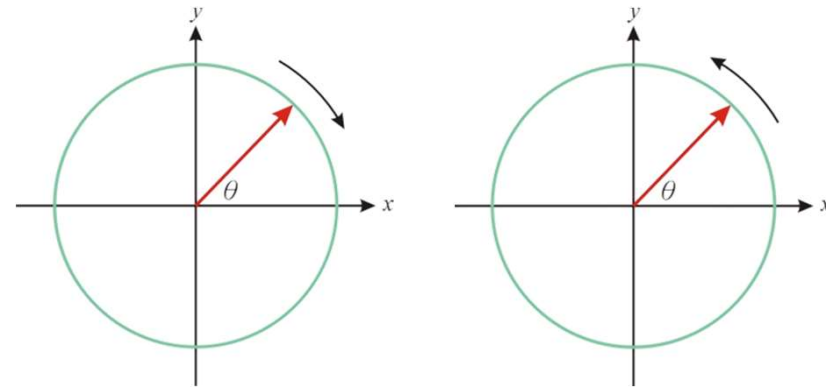
$$I(\theta) = I(0) \cos^2 \theta$$



## B) 圓偏振

$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 - 2\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)\left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)\cos\varepsilon = \sin^2\varepsilon$$

$$E_{0x} = E_{0y} = E_0$$



➔ 電場的的振幅為  $(\vec{E} \cdot \vec{E})^{1/2} = E_0$  .....這是固定值，不變。

但...電場的方向會隨時間變化，而不是被限制住的。

➔  $E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = E_0$  淨電場在任意時間都是固定強度。

➔  $\theta = \tan^{-1} \frac{E_y}{E_x} = \mp \tan^{-1}(\omega t - kz)$ ，偏振角度是位置與時間的函數。

偏振角度會隨時間改變，但因為振幅不變，所以是圓偏振。



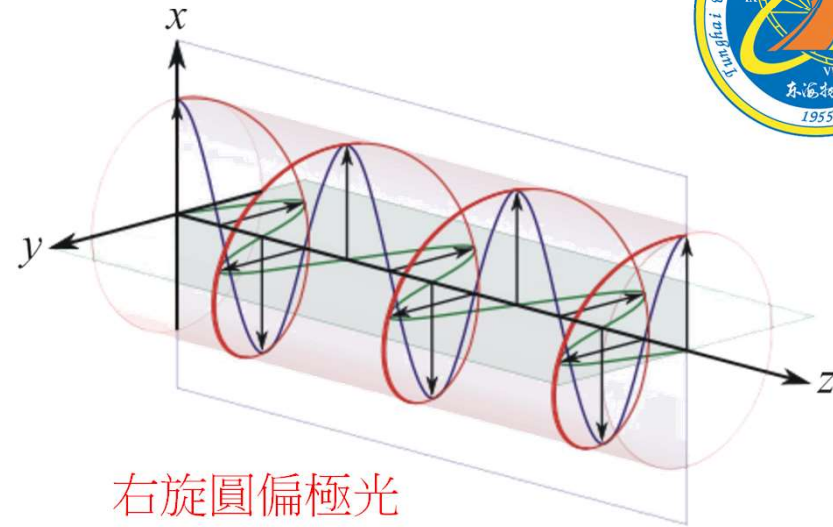


B) 圓偏振

a)  $\varepsilon = -\frac{\pi}{2} + 2m\pi \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

$$\vec{E}(z, t) = E_0 \left[ \hat{i} \cos(kz - \omega t) + \hat{j} \sin(kz - \omega t) \right]$$

Right-circularly polarized (右旋圓偏極光)

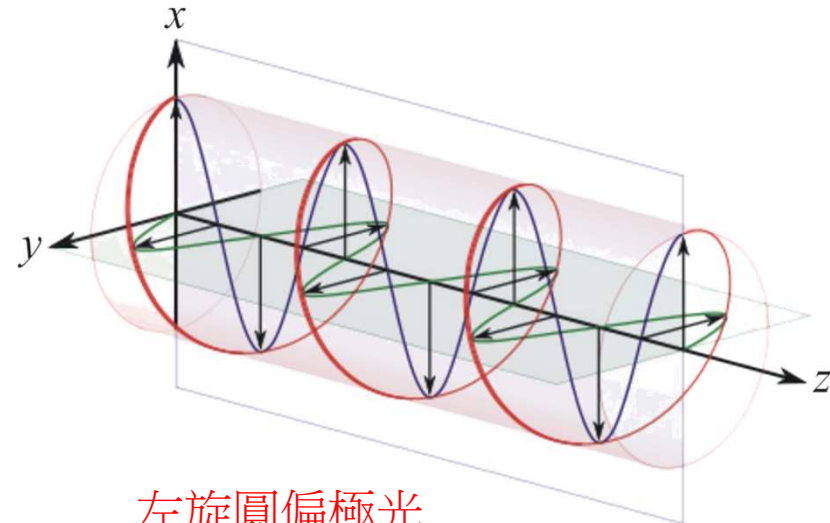


右旋圓偏極光

b)  $\varepsilon = \frac{\pi}{2} + 2m\pi \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

$$\vec{E}(z, t) = E_0 \left[ \hat{i} \cos(kz - \omega t) - \hat{j} \sin(kz - \omega t) \right]$$

left-circularly polarized (左旋圓偏極光)



左旋圓偏極光

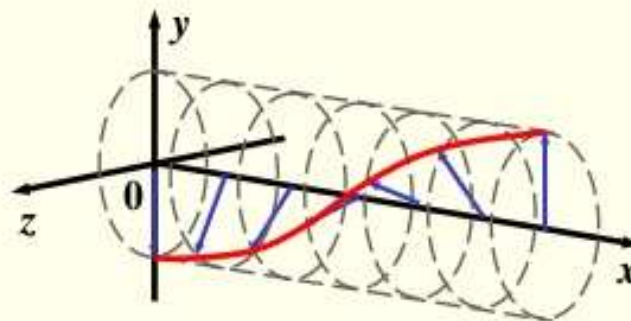
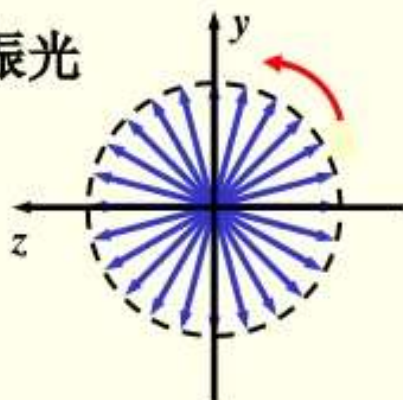
當觀察者往-z方向看時，電場旋轉方向。

## § 14.6 椭圆（圆）偏振光的获得和检验

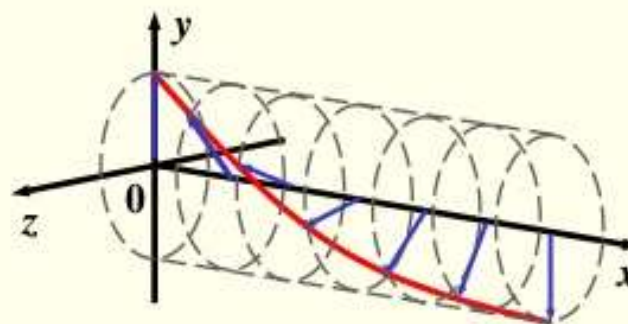
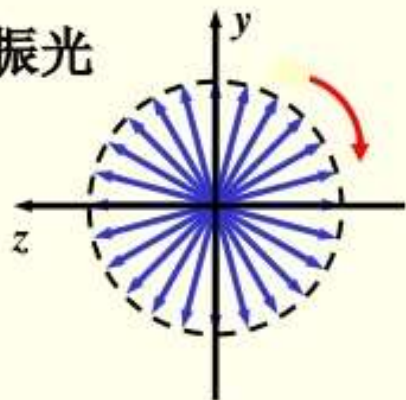
### 1. 椭圆偏振光 & 圆偏振光

CAI

左旋圆偏振光



右旋圆偏振光



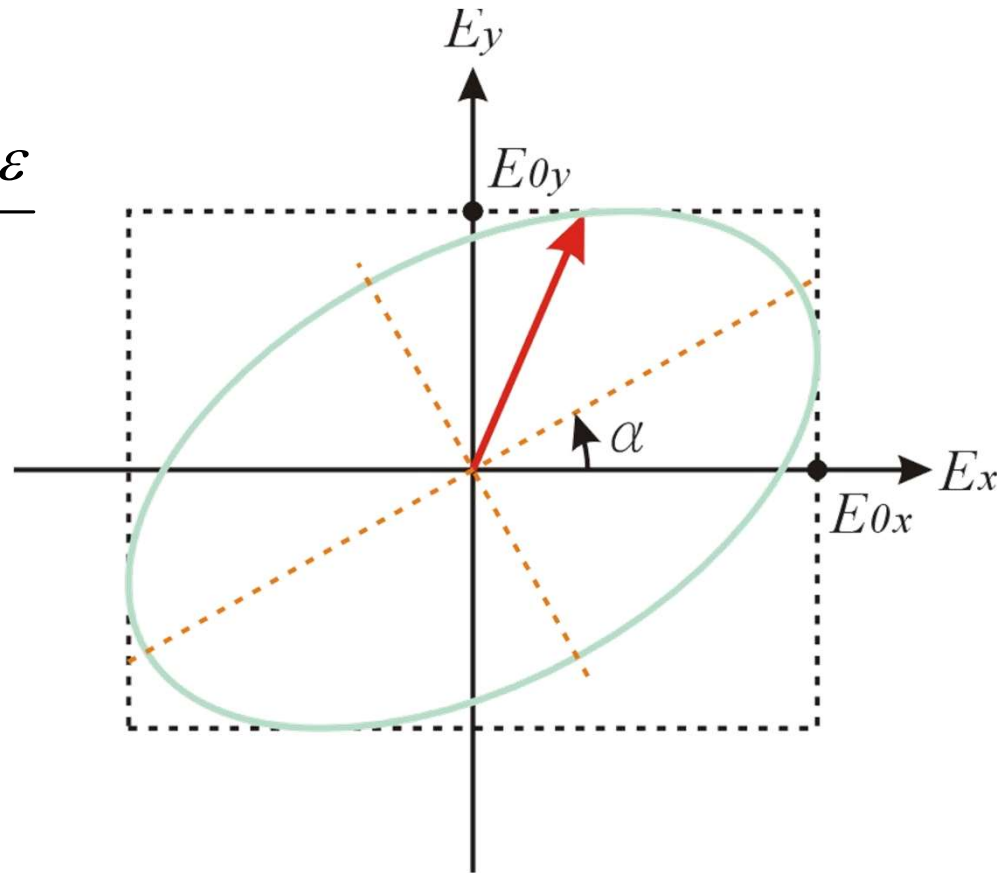
返回 退出

C) 橢圓偏振

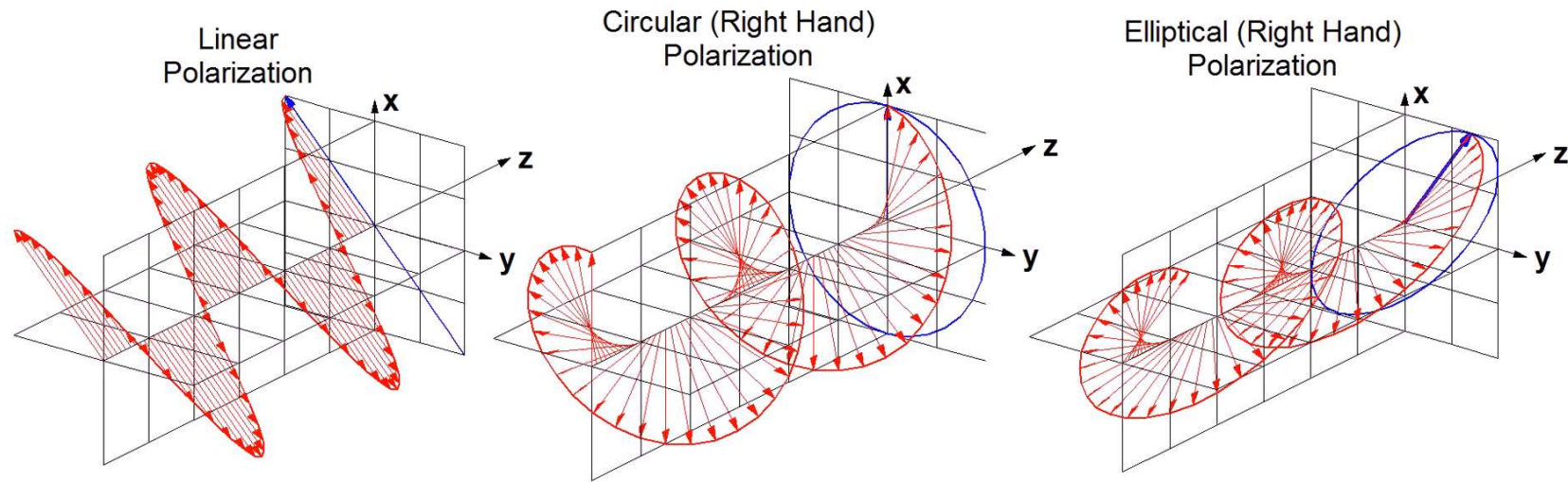
$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 - 2\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)\left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)\cos \varepsilon = \sin^2 \varepsilon$$

$$E_{0x} \neq E_{0y}$$

$$\tan 2\alpha = \frac{2E_{0x}E_{0y}\cos \varepsilon}{E_{0x}^2 - E_{0y}^2}$$

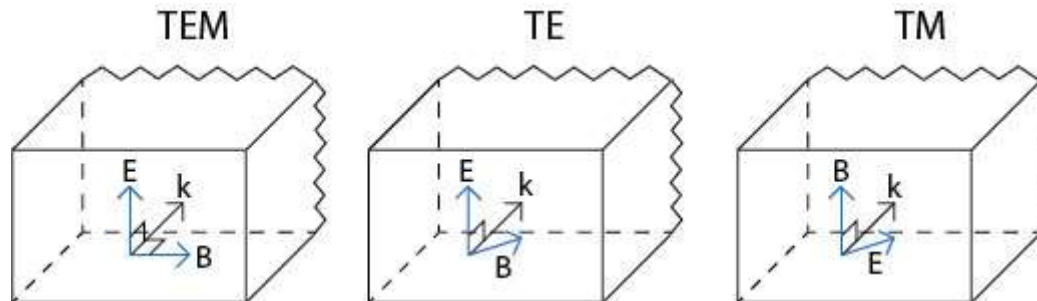
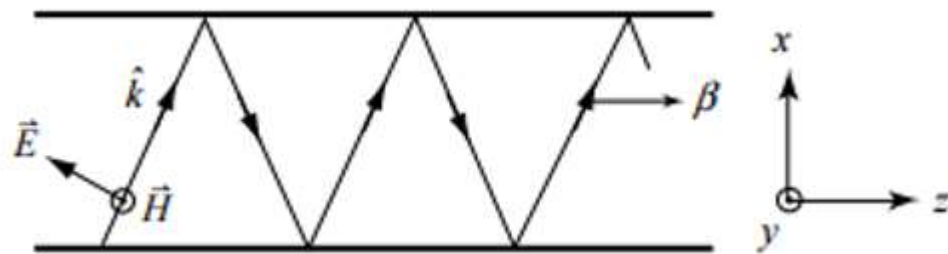
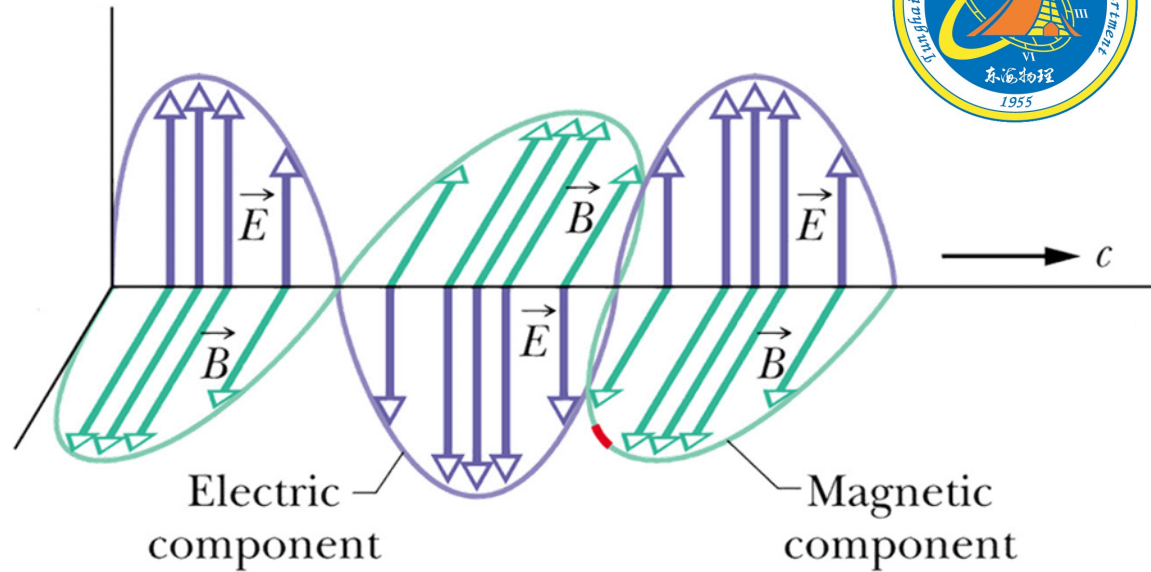


# 線偏振、圓偏振、橢圓偏振

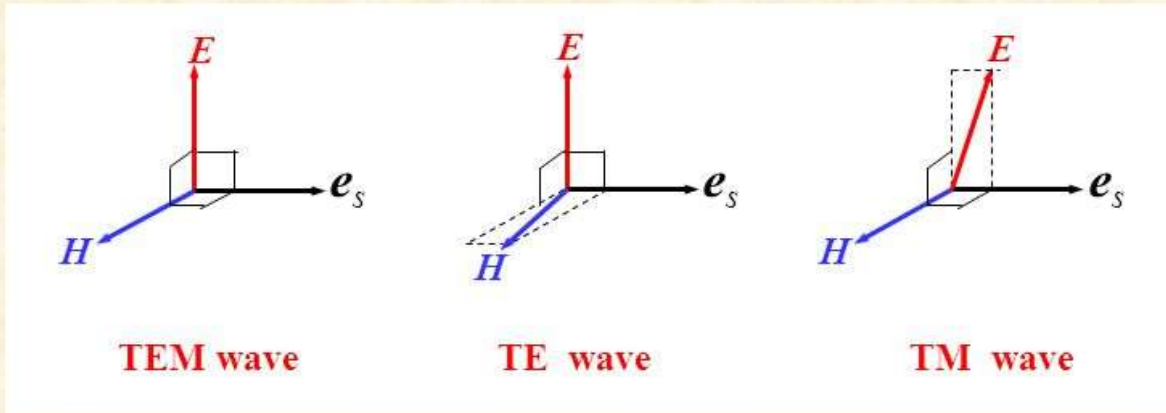




TEM wave  
TE wave  
TM wave



## 1. TEM Wave, TE Wave, and TM Wave



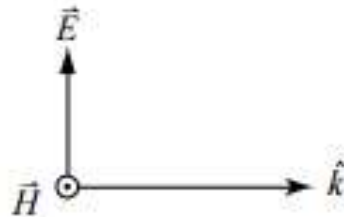
The wave guiding systems in which an **electrostatic** field can exist must be able to transmit **TEM** wave.

From Maxwell's equations we can prove that the metal waveguide **cannot** transmit **TEM** wave.

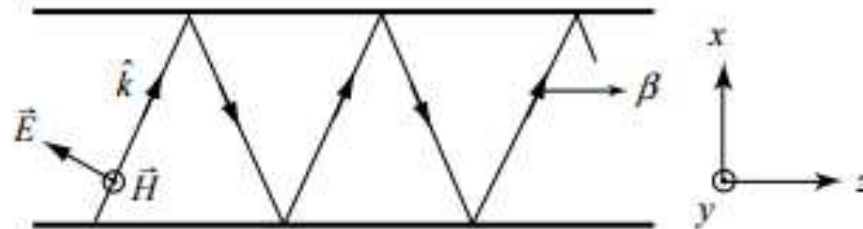


## 8-2 橫向電磁波 (TEM Wave)

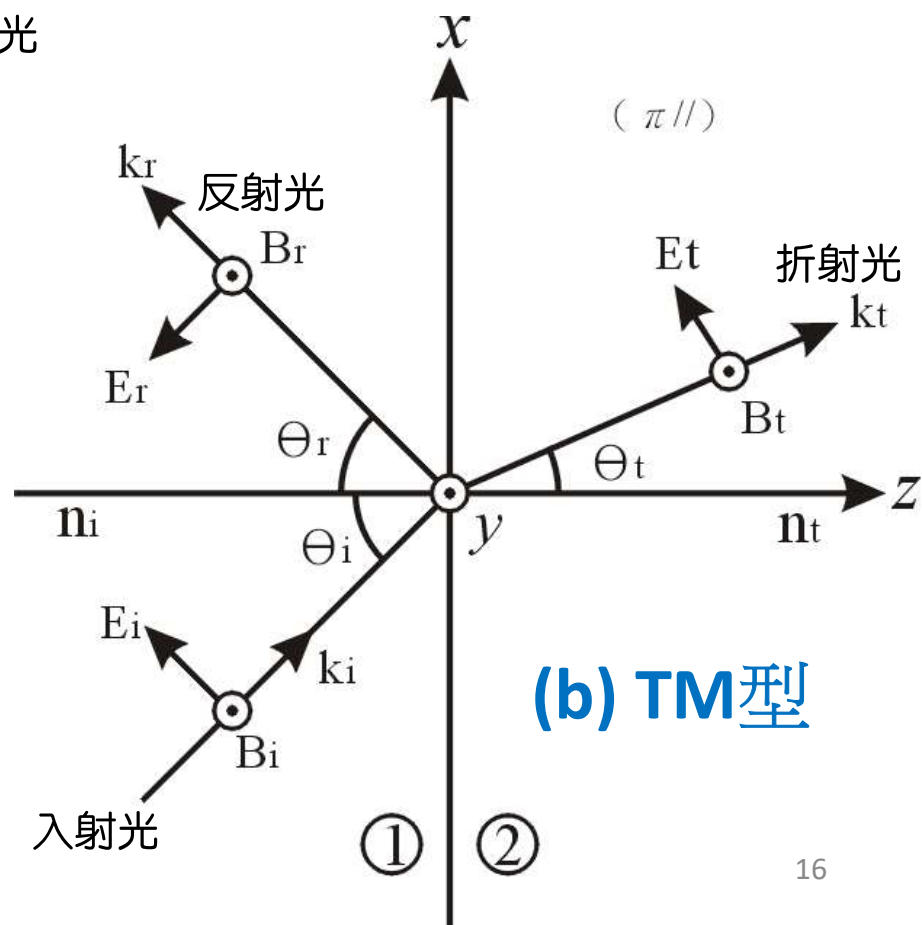
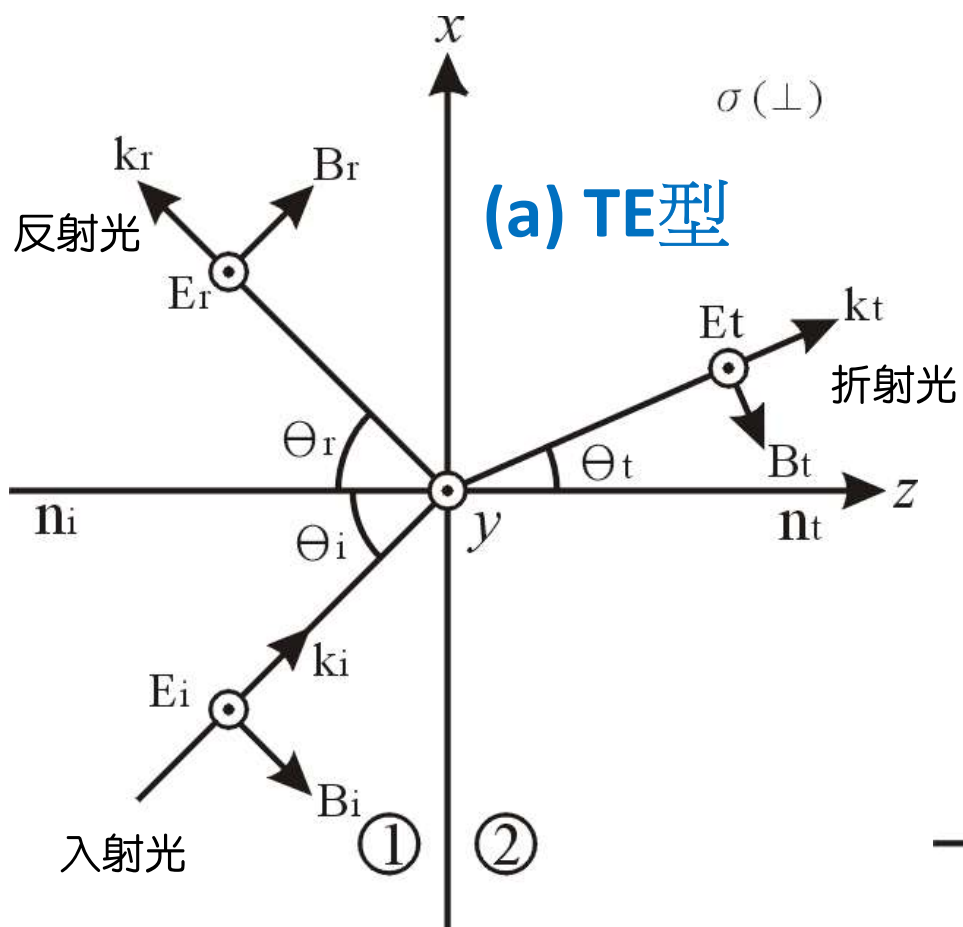
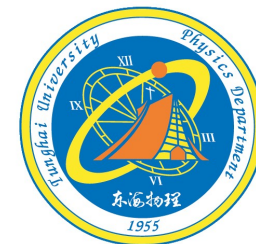
何謂TEM wave? 簡單的說, 就是電場方向與磁場方向皆與「整體」波行進的方向成垂直, 為何強調「整體」呢? 一般而言, 波行進方向與電場、磁場皆為垂直:



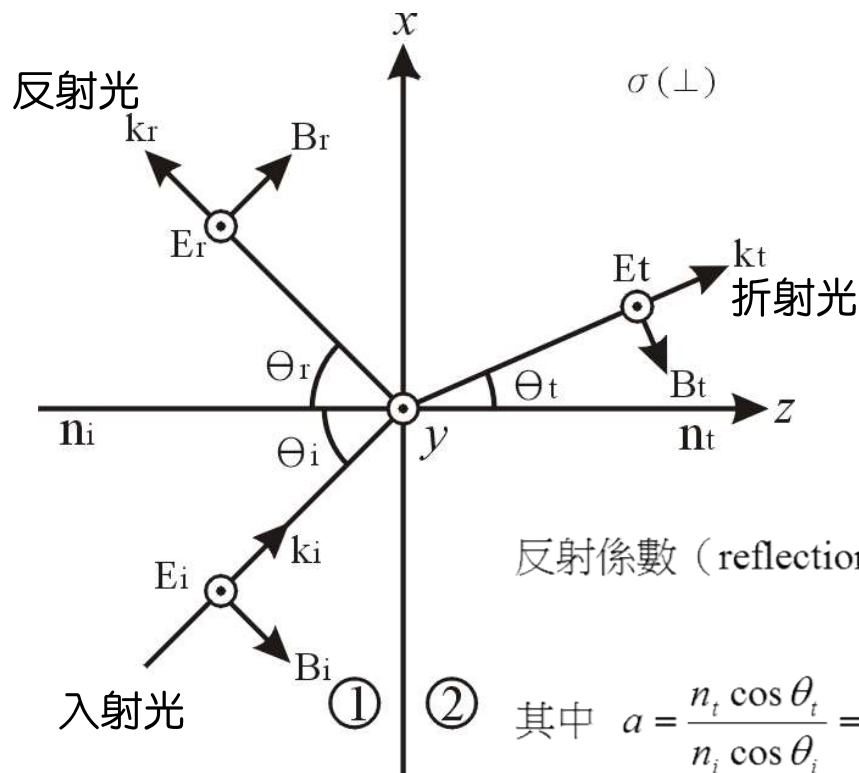
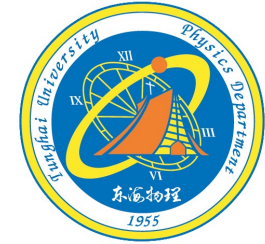
假設, 波存在於導體之間, 由於電磁波無法穿透導體, 而造成反射, 使得電磁波被侷限於導體內行進, 如下圖所示:



於「整體」波進行方向為正 $z$ 方向, 然而電場方向卻沒有垂直於 $z$ 方向, 因此, 此種波不能稱為TEM wave, 稱之為TM wave, 其詳細特性, 將於第十章說明。







(a) TE型

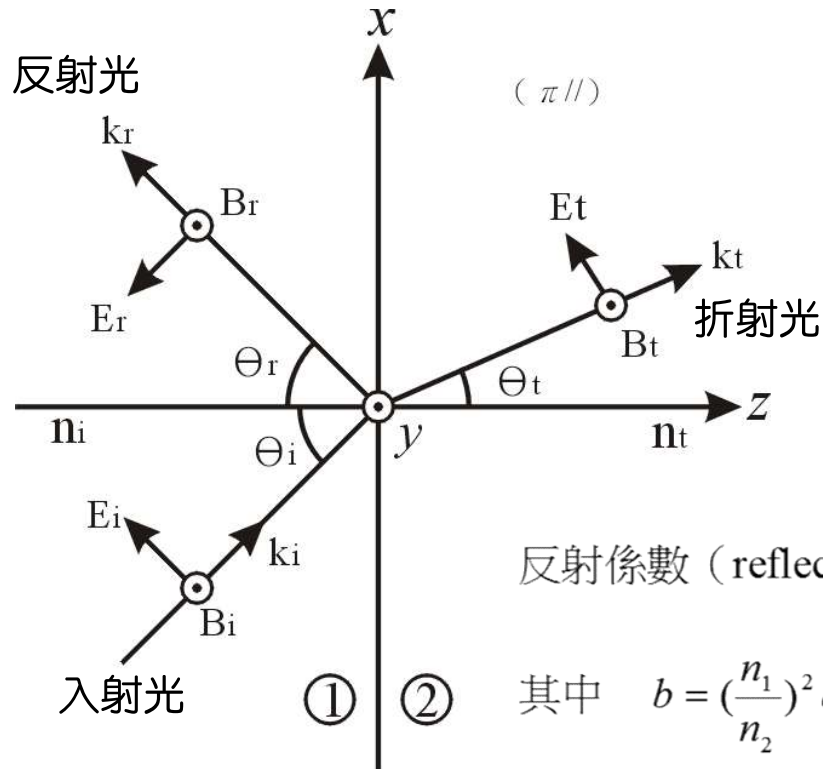
反射係數 (reflection coefficient)  $r_{TE} = -\frac{\sin(\theta_i - \theta_t)}{\sin(\theta_i + \theta_t)} = \frac{1-a}{1+a}$  (16)

其中  $a = \frac{n_t \cos \theta_t}{n_i \cos \theta_i} = \frac{\sqrt{n_t^2 - n_i^2 \sin^2 \theta_i}}{n_i \cos \theta_i}$ ,  $\theta_i$  為入射角 (17)

若光係由空氣入射到折射率為  $n$  的介電質材料之表面，則可進一步化簡為

$$r_{TE} = \frac{\cos \theta_i - \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_i}}{\cos \theta_i + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_i}} \quad (18)$$

又反射率  $R_{TE}$  為反射係數  $r_{TE}$  的平方，因此  $R_{TE} = r_{TE}^2 = \frac{\sin^2(\theta_i - \theta_t)}{\sin^2(\theta_i + \theta_t)}$



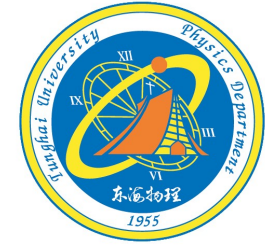
(b) TM型

反射係數 (reflection coefficient)  $r_{TM} = \frac{\tan(\theta_i - \theta_t)}{\tan(\theta_i + \theta_t)} = \frac{1-b}{1+b}$  (19)

其中  $b = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 a$

同理，由光從空氣入射到介質時， $r_{TM} = \frac{n^2 \cos \theta_i - \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_i}}{n^2 \cos \theta_i + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_i}}$  (20)

因反射率  $R_{TE}$  為反射係數  $r_{TE}$  的平方，因此  $R_{TM} = r_{TM}^2 = \frac{\tan^2(\theta_i - \theta_t)}{\tan^2(\theta_i + \theta_t)}$

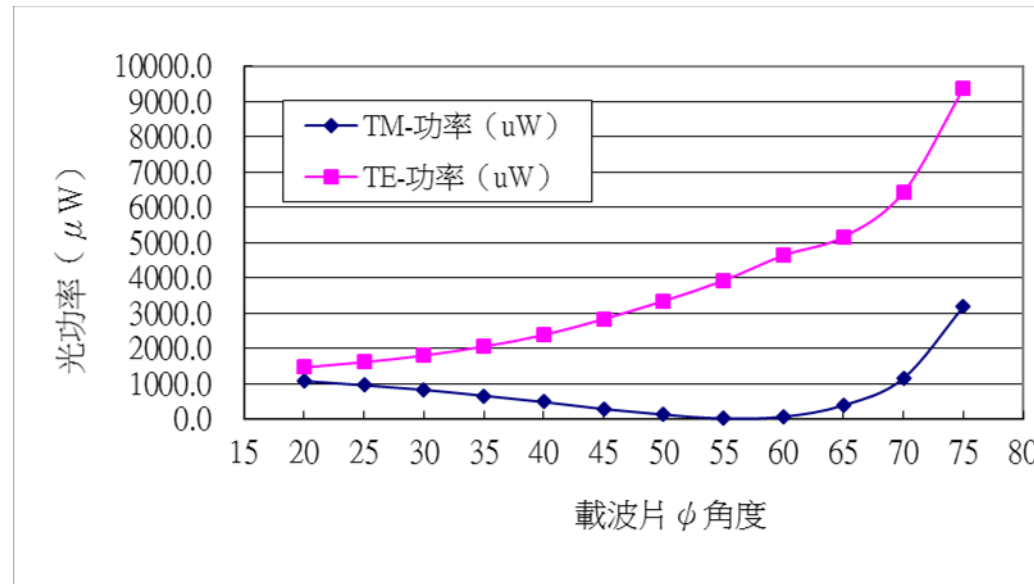


## (b) TM型

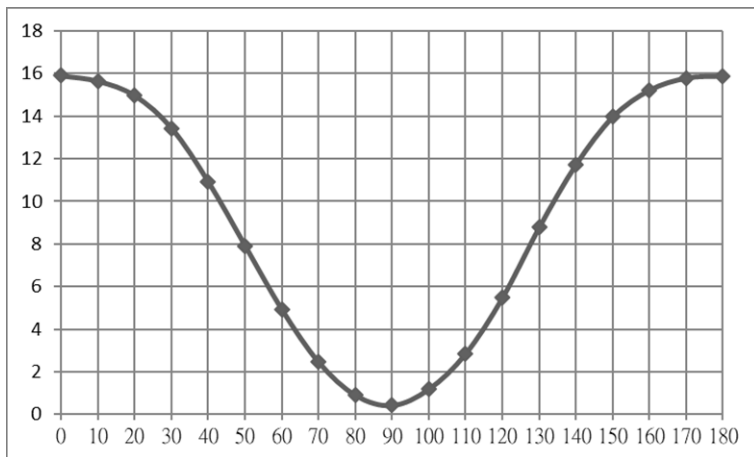
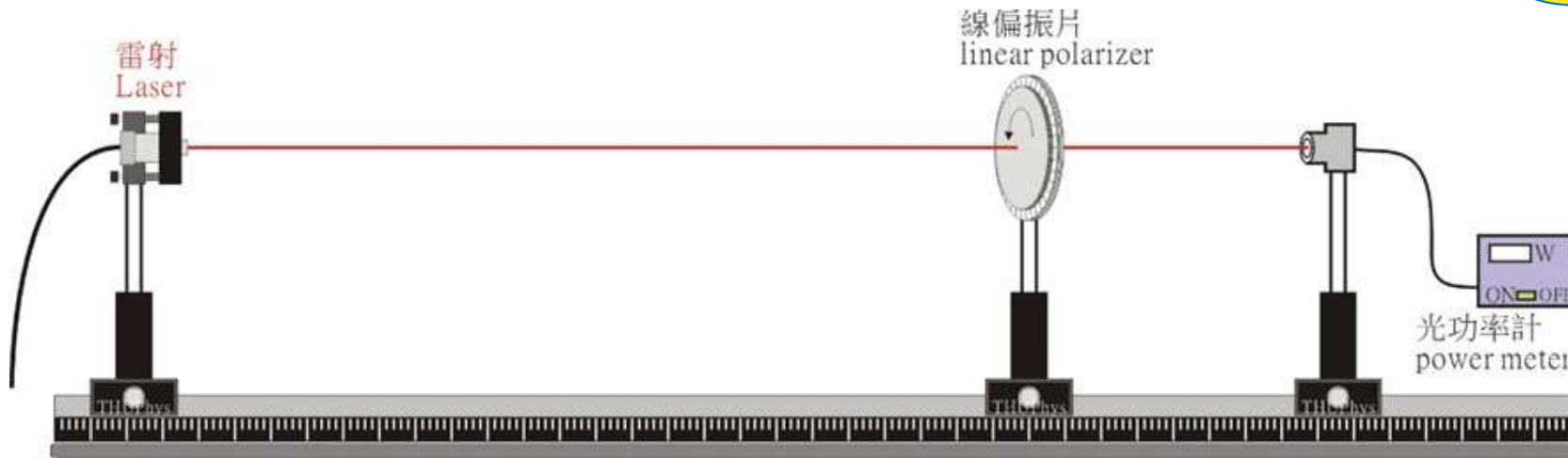
$$r_{TM} = 0$$

$$\theta_i = \theta_B = \theta_p = \tan^{-1} n$$

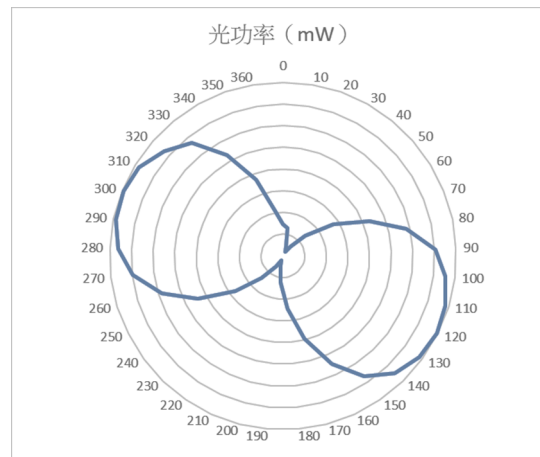
布魯斯特角



# 1) 雷射的偏振特性與Malus定律



XY散佈圖  
光功率vs角度



雷達圖  
光功率vs刻度

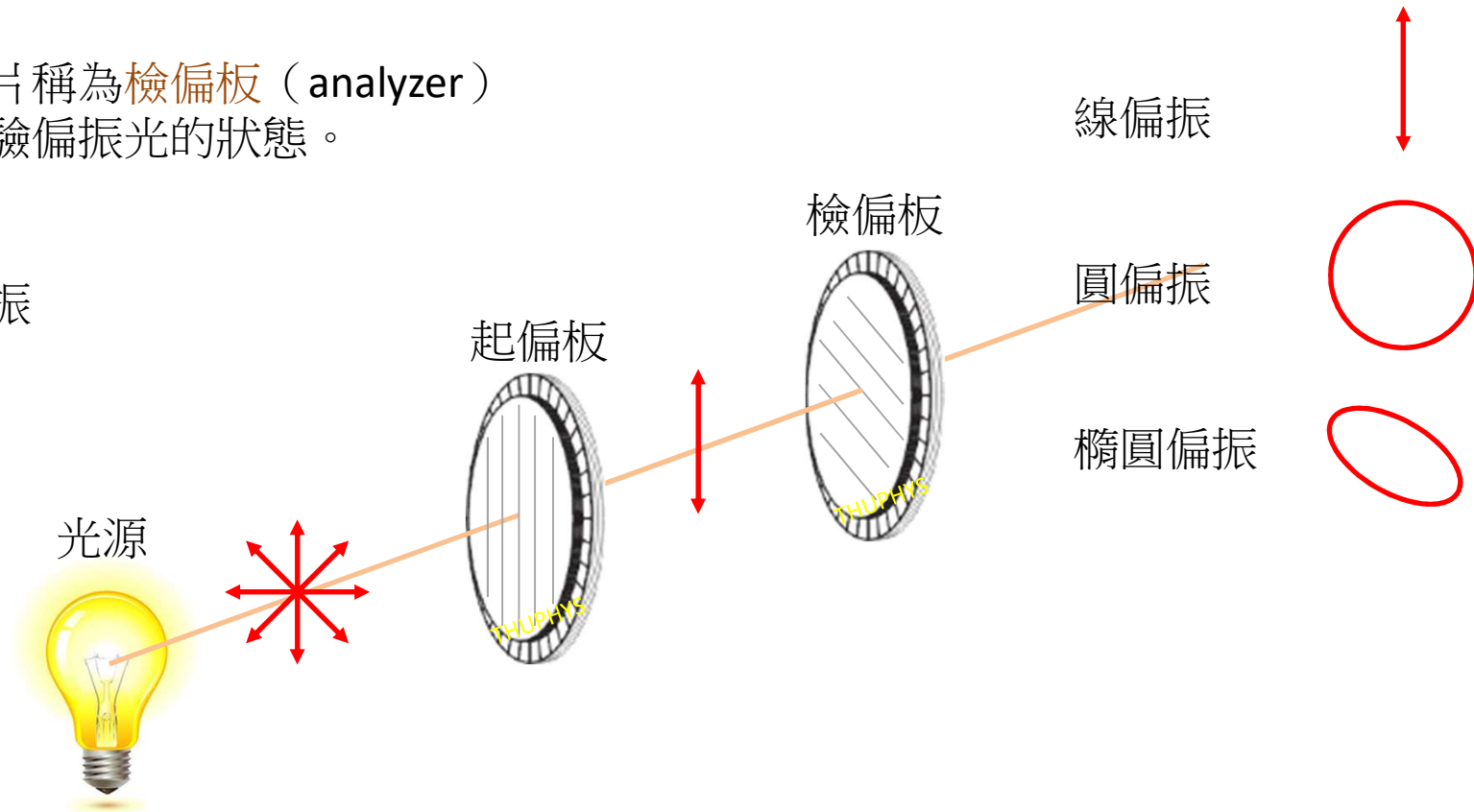
1-先將線偏振片轉一圈，記錄功率最小時的刻度，定義此刻度為角度90度。  
2-轉到角度0度，角度每轉10度，記錄光功率值。(表格1)



如果入射光是非偏振光，會加兩片偏振片，  
光入射的第一片為偏振片稱為**起偏板**（polarizer）  
是將非偏振光變成偏振光的光學元件，

第二片偏振片稱為**檢偏板**（analyzer）  
用來檢驗偏振光的狀態。

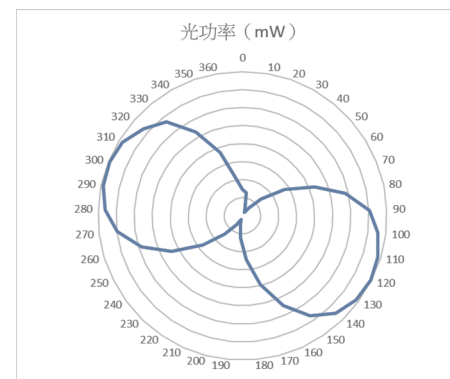
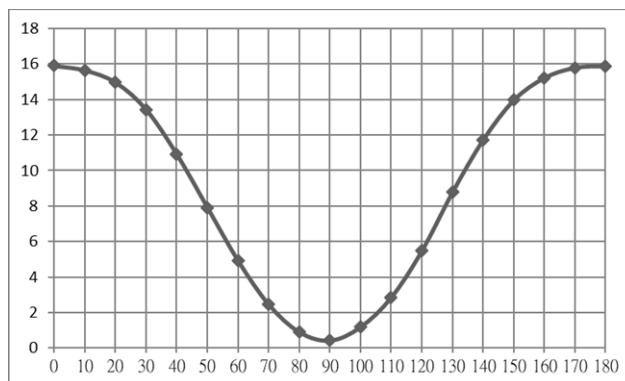
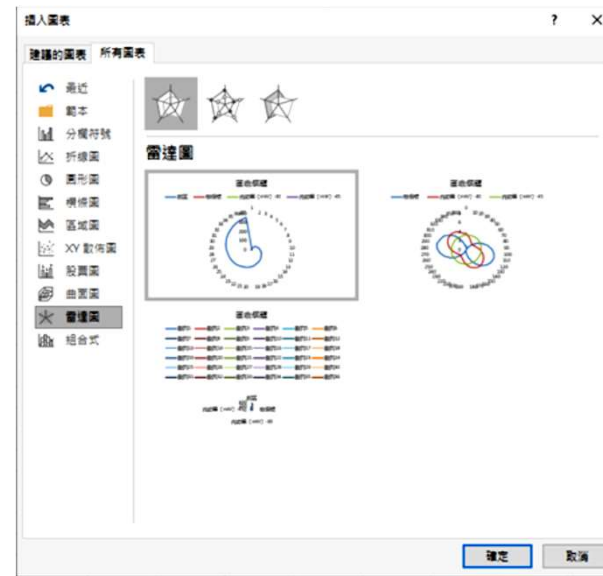
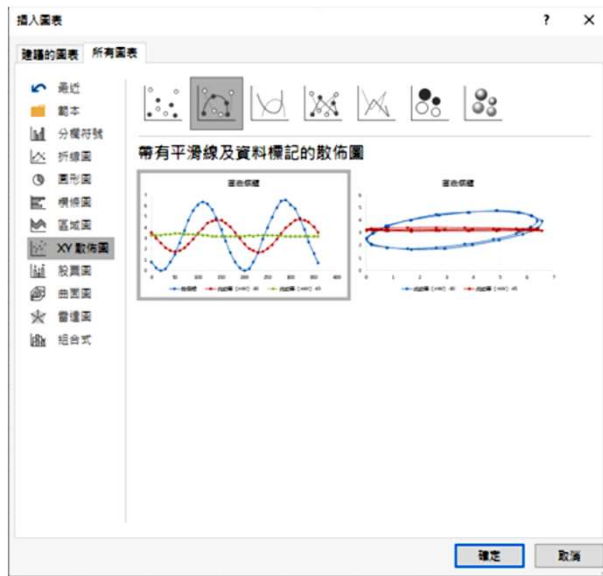
- 線偏振
- 圓偏振
- 橢圓偏振

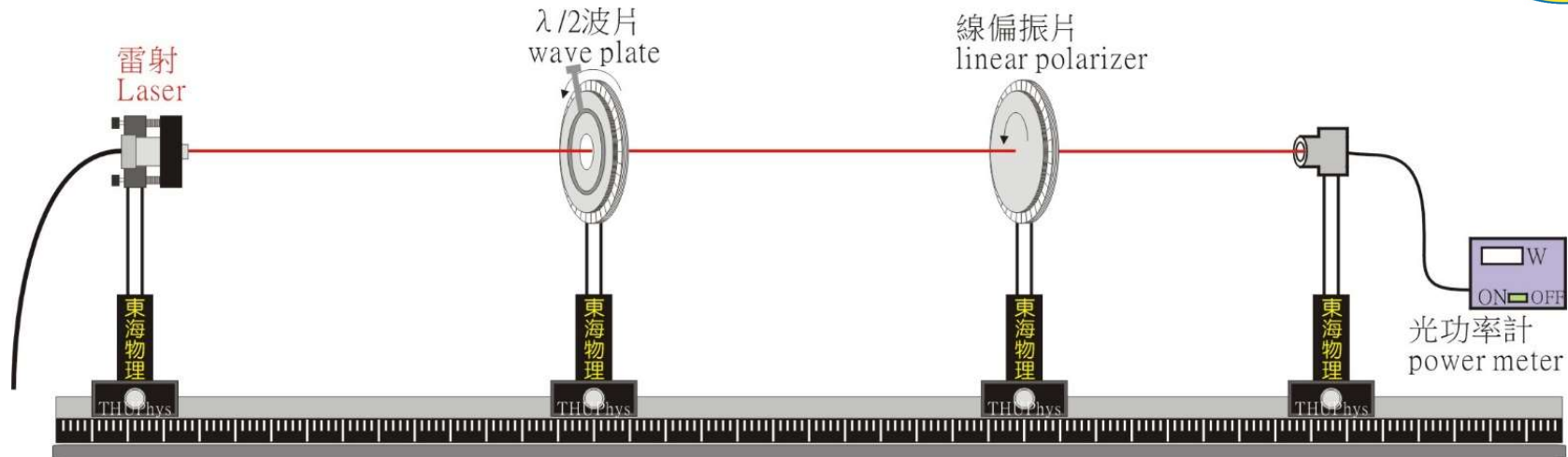




# 1) 雷射的偏振特性與Malus定律

## XY散佈圖 與 雷達圖



2) 偏振光控制元件 ( $\lambda/2$ 波片與  $\lambda/4$ 波片) 之特性 $\lambda/2$ 波片

1-步驟(1)調到功率最小值。

意即雷射與線偏振片相互垂直。

2-放入 $\lambda/2$ 波片，將 $\lambda/2$ 波片轉一圈，維持功率最小，紀錄此時 $\lambda/2$ 波片的刻度為角度0度。

3-將 $\lambda/2$ 波片轉30度，旋轉線偏振片，角度每轉10度，記錄光功率值。(表格2)

4-將 $\lambda/2$ 波片轉45度，旋轉線偏振片，角度每轉10度，記錄光功率值。(表格3)

**【提醒】**在這邊，線偏振片的角度與刻度，必須與表格1一致。  
表格2和表格3...刻度與角度要和表格1一致！

## 2) 偏振光控制元件 ( $\lambda/2$ 波片與 $\lambda/4$ 波片) 之特性

### $\lambda/2$ 波片與 $\lambda/4$ 波片

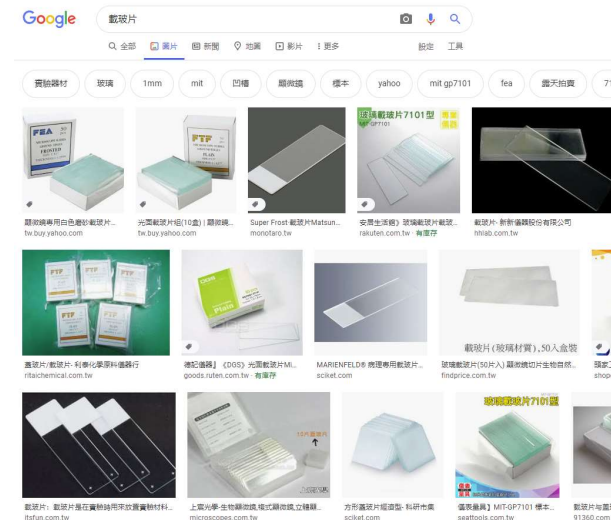
#### Wave plate

波片，又稱相位延遲片，它是由雙折射的材料加工而成。用於調整光束的偏振狀態。常見的波片由單軸晶體（如石英晶體）製作而成，其表面與光軸平行，垂直於光軸的偏振分量（**o**光）與平行於光軸的偏振分量（**e**光）在晶體中不發生雙折射，但傳播速度不同，因而通過波片後它們仍然沿著原有的方向傳播，且會產生相位偏移。相移量取決于波片的厚度，材料和工作波長。常用的波片包括半波片和四分之一波片。From 維基百科。

### 載玻片

#### Glass slide

指的是“玻”璃片（Glass plate）

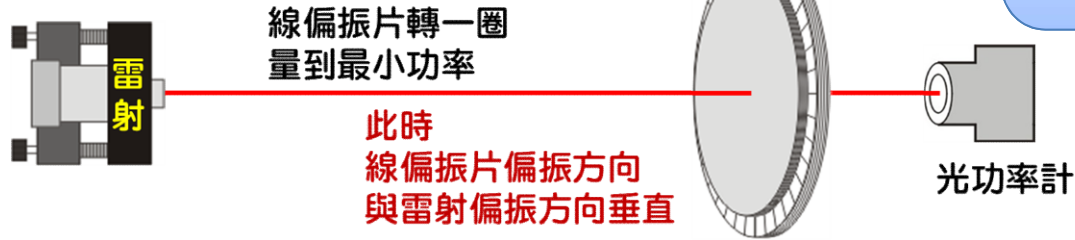




雷射  
偏振方向

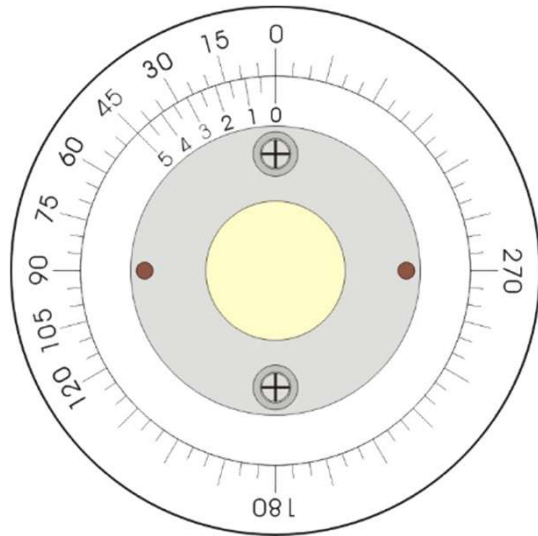
線偏振片  
偏振方向

定義此時  
線偏振片的  
刻度為  
角度90度



放入  
 $\frac{1}{2}$ 波片

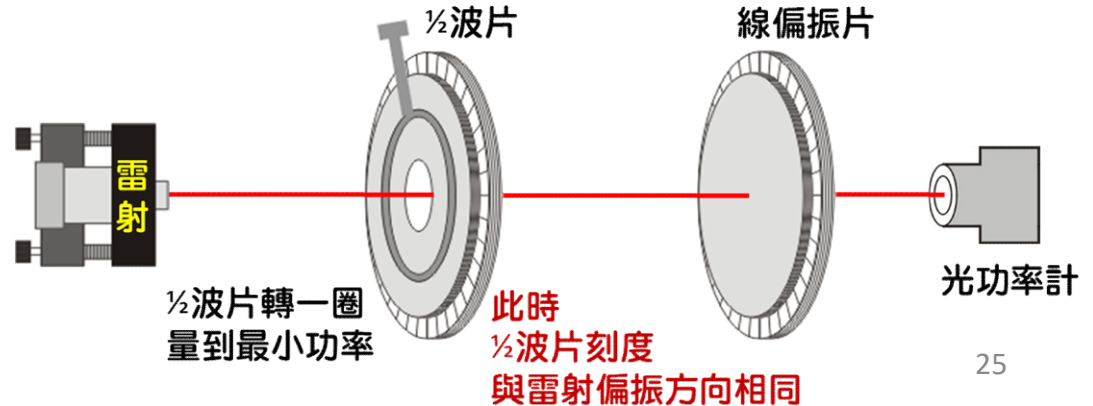
定義此時  
 $\frac{1}{2}$ 波片  
的刻度為  
角度0度



雷射  
偏振方向

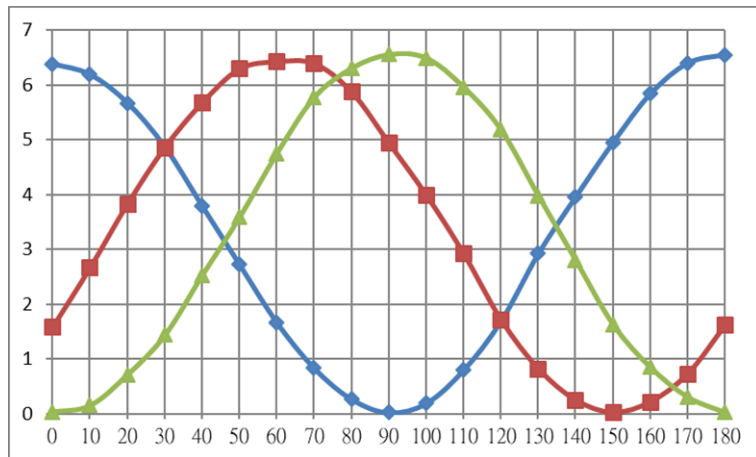
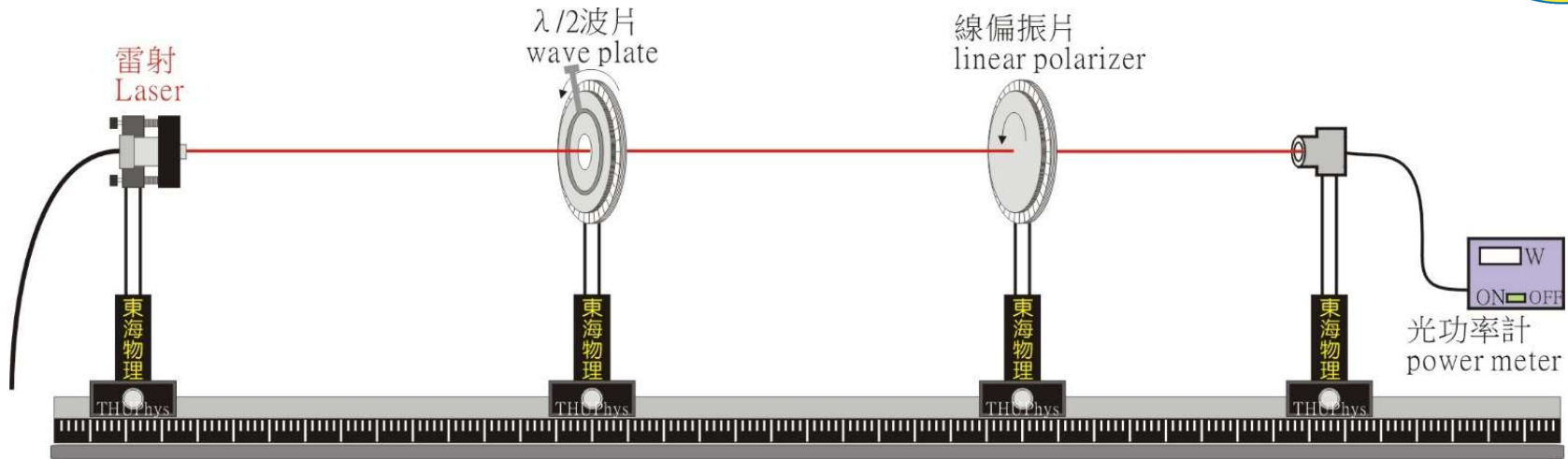
$\frac{1}{2}$ 波片  
偏振方向

線偏振片  
偏振方向

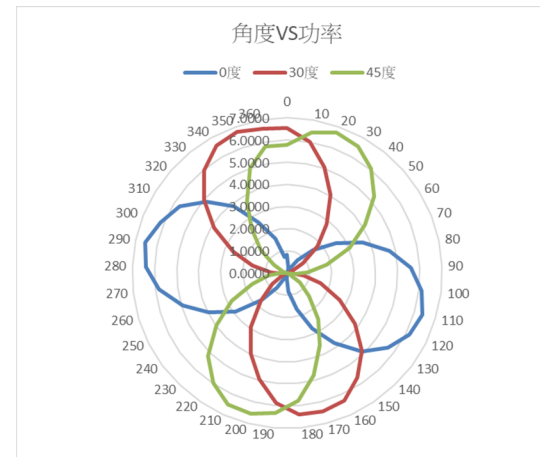


## 2) 偏振光控制元件 ( $\lambda/2$ 波片與 $\lambda/4$ 波片) 之特性

### $\lambda/2$ 波片



XY散佈圖  
光功率vs角度

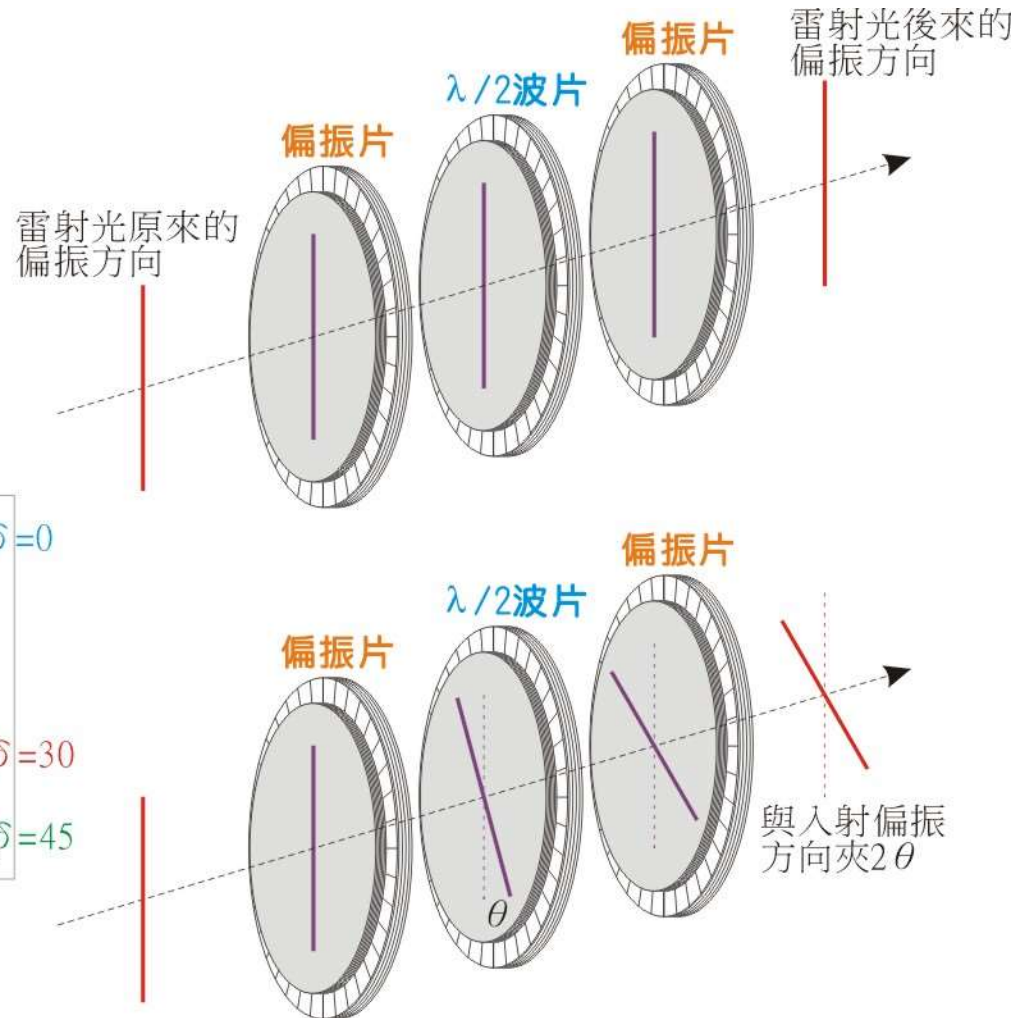
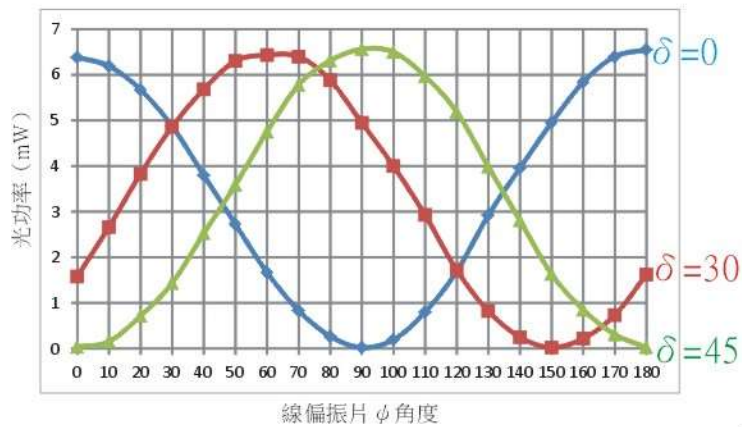


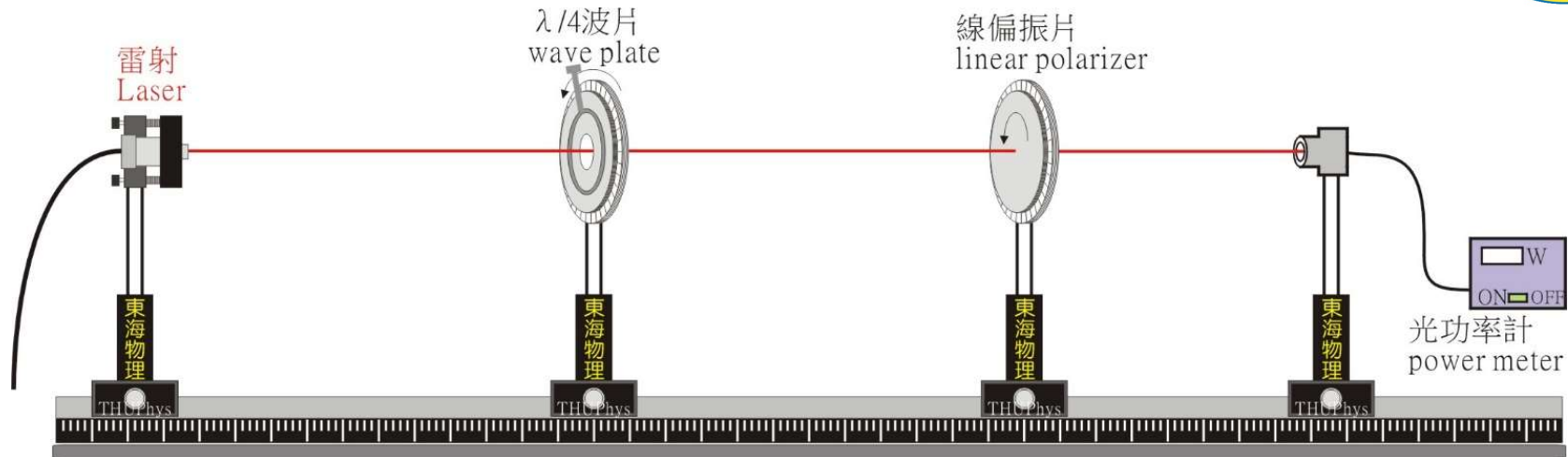
雷達圖  
光功率vs刻度

## 2) $\lambda/2$ 波片

入射光是線偏振~

出射光一樣是【線偏振】  
但...偏振方向不一樣！！



2) 偏振光控制元件 ( $\lambda/2$ 波片與  $\lambda/4$ 波片) 之特性 $\lambda/4$ 波片

1-步驟(1)調到功率最小值。

意即雷射與線偏振片相互垂直。

2-放入 $\lambda/4$ 波片，將 $\lambda/4$ 波片轉一圈，維持功率最小，紀錄此時 $\lambda/4$ 波片的刻度為角度0度。

3-將 $\lambda/4$ 波片轉30度，旋轉線偏振片，角度每轉10度，記錄光功率值。(表格4)

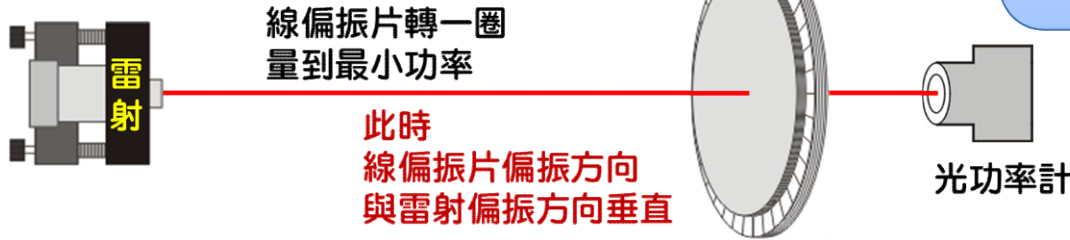
4-將 $\lambda/4$ 波片轉45度，旋轉線偏振片，角度每轉10度，記錄光功率值。(表格5)

**【提醒】**在這邊，線偏振片的角度與刻度，必須與表格1一致。  
表格4和表格5...刻度與角度要和表格1一致！

雷射  
偏振方向

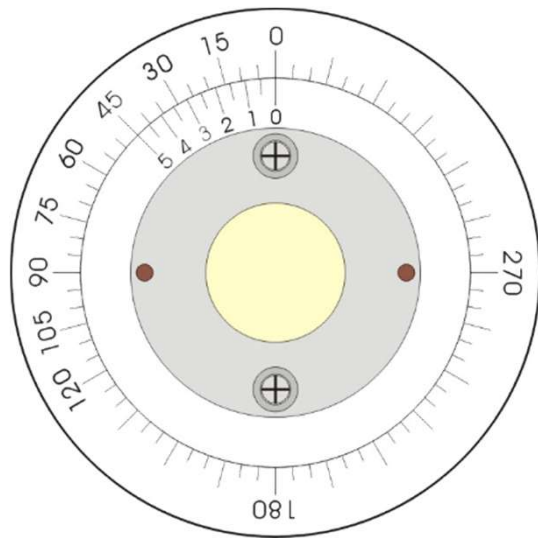
線偏振片  
偏振方向

定義此時  
線偏振片的  
刻度為  
角度90度



放入  
1/4波片

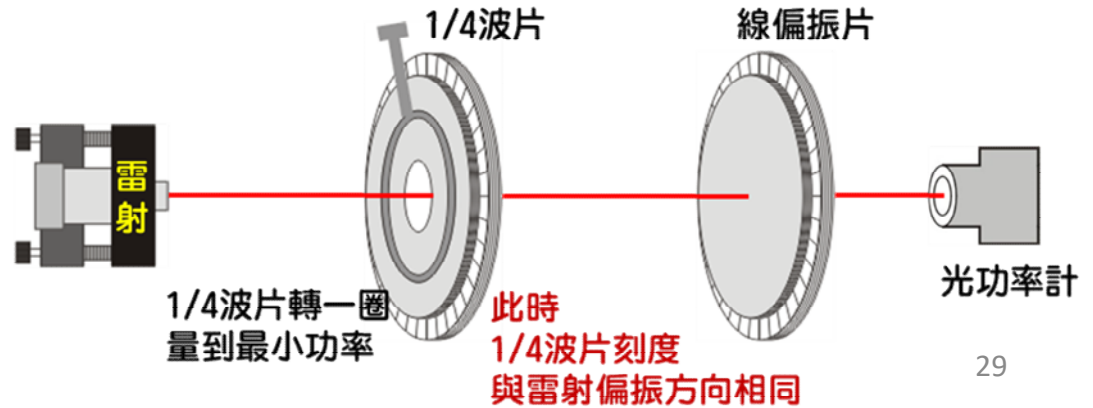
定義此時  
1/4波片的  
刻度為  
角度0度



雷射  
偏振方向

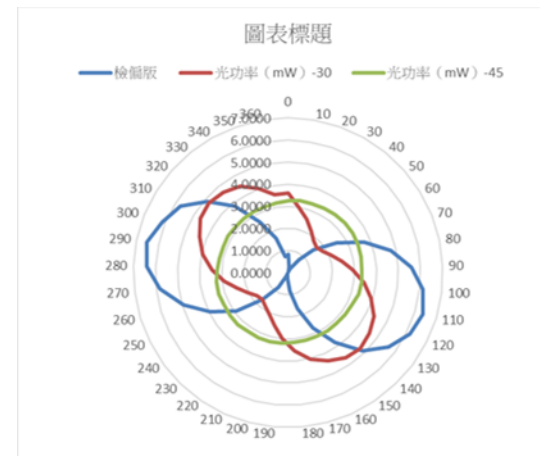
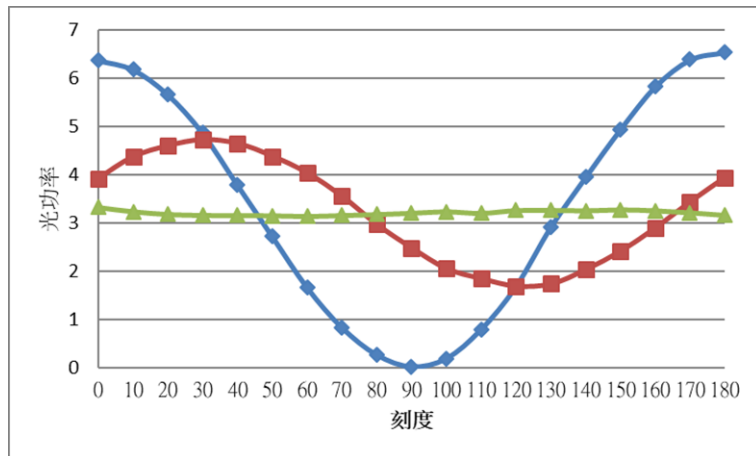
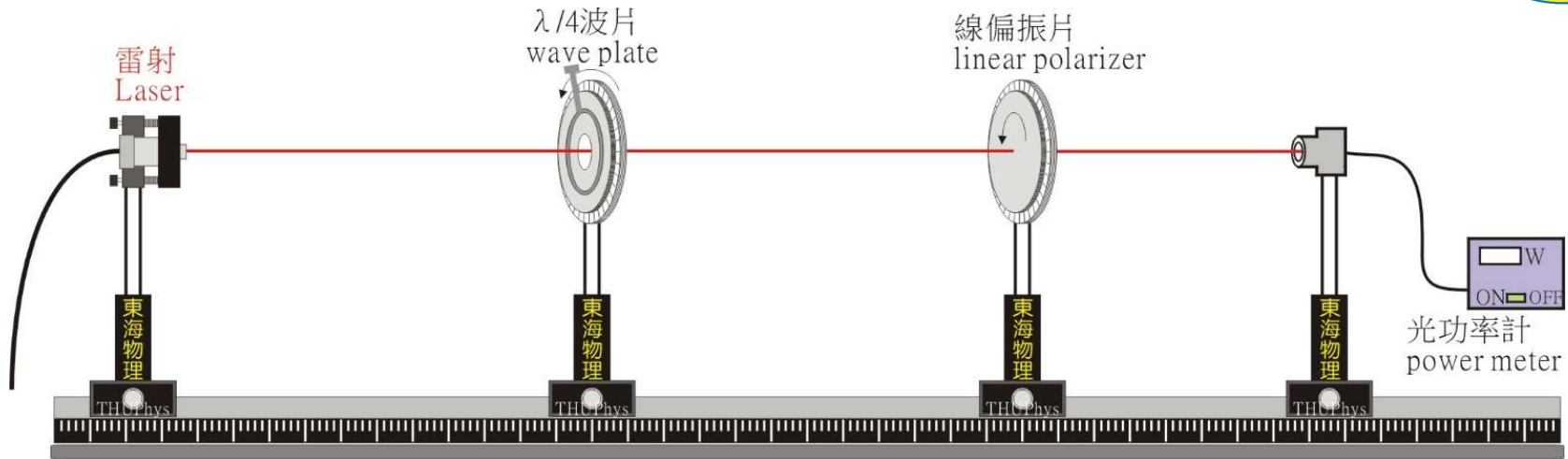
1/4波片  
偏振方向

線偏振片  
偏振方向



## 2) 偏振光控制元件 ( $\lambda/2$ 波片與 $\lambda/4$ 波片) 之特性

### $\lambda/4$ 波片



### 3) $\lambda/4$ 波片

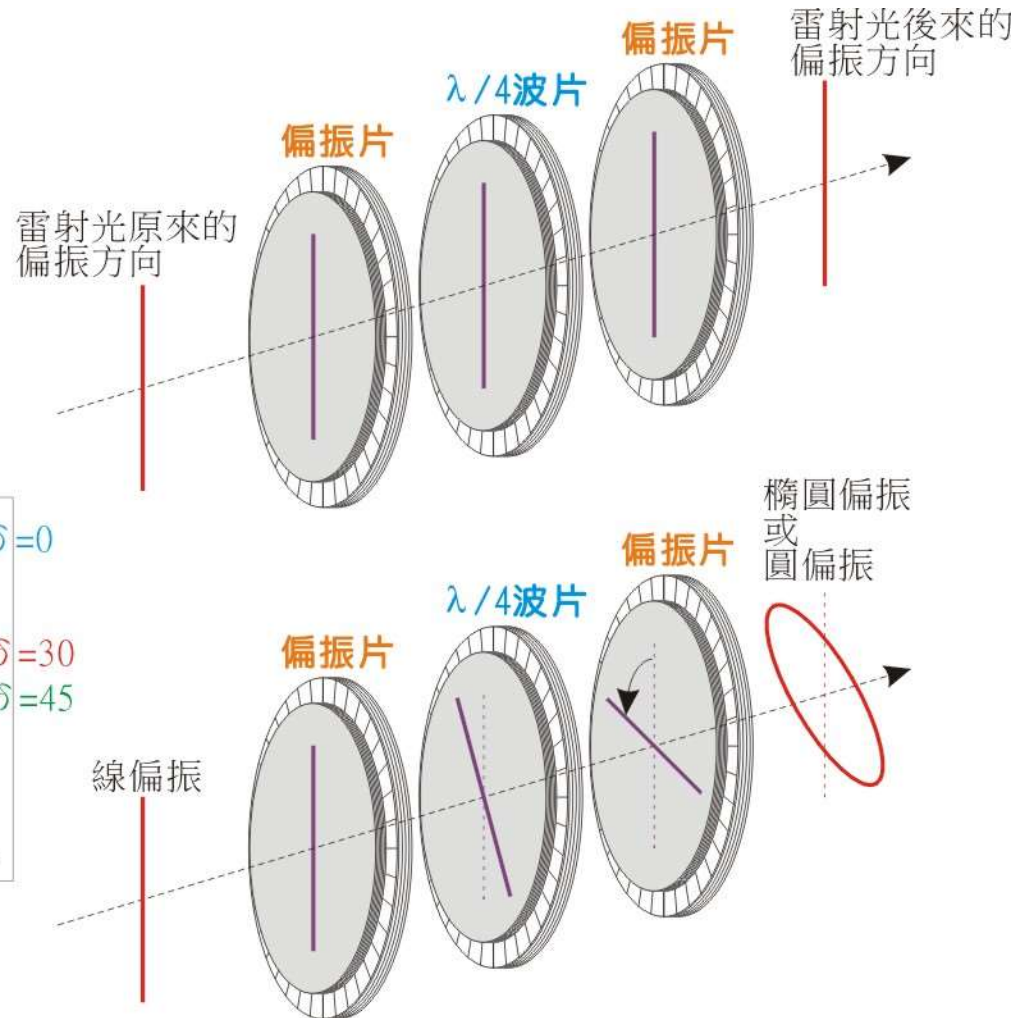
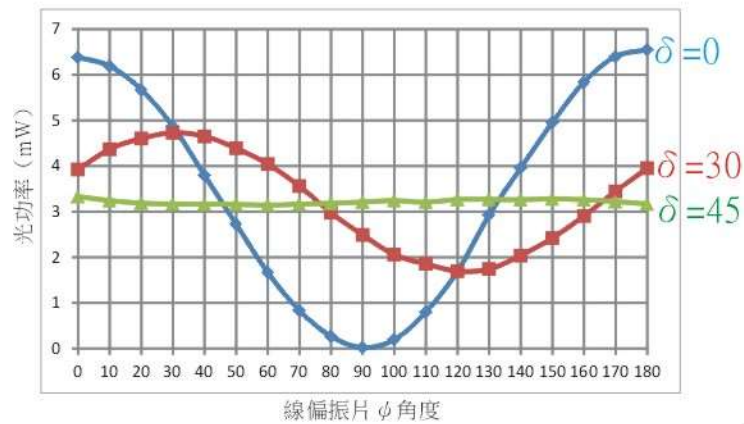
入射光是線偏振~

出射光有可能是

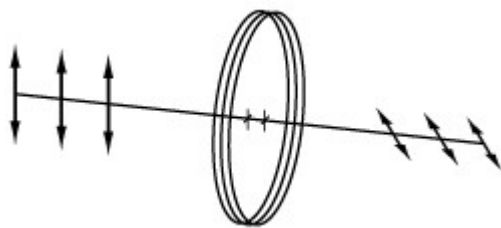
【線偏振】-與光軸同向

【橢圓偏振】

【圓偏振】-夾45度角



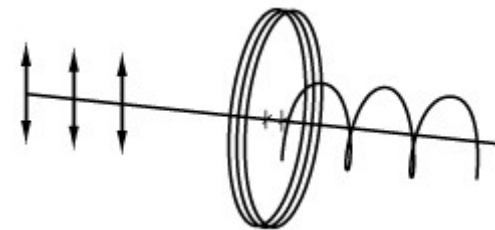
### 3) $\lambda/2$ 波片



線偏振進

線偏振出

### 4) $\lambda/4$ 波片



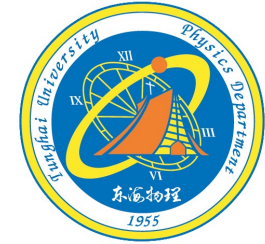
線偏振進

線偏振出 (0度)

圓偏振出 (45度)

橢圓偏振出 (其他)





補充

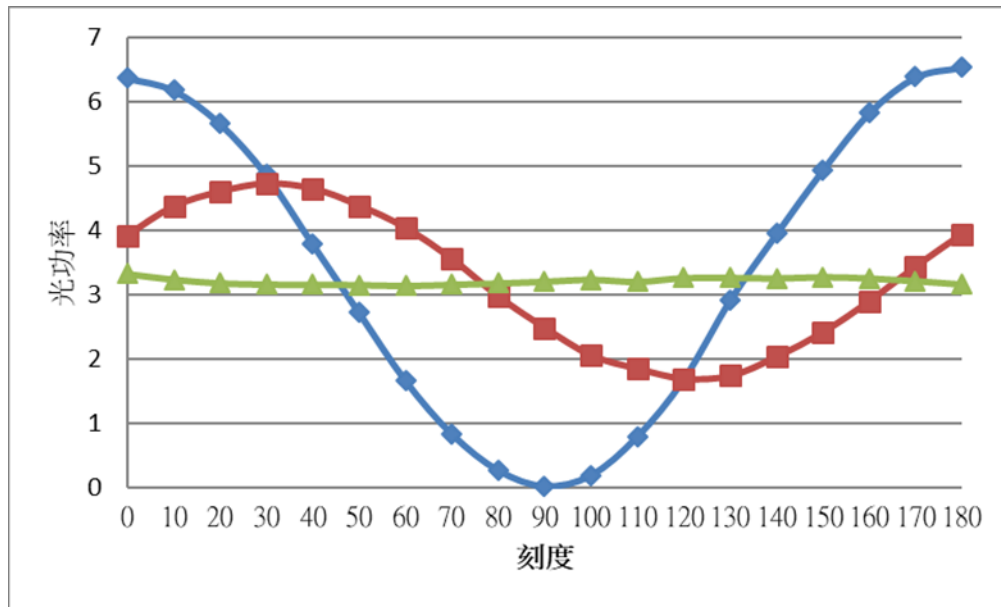
有一道偏振光入射，你手上只有一片線偏振片。

請問如何利用本實驗的結論，來判定入射的偏極光是線偏極、圓偏極或橢圓偏極呢？

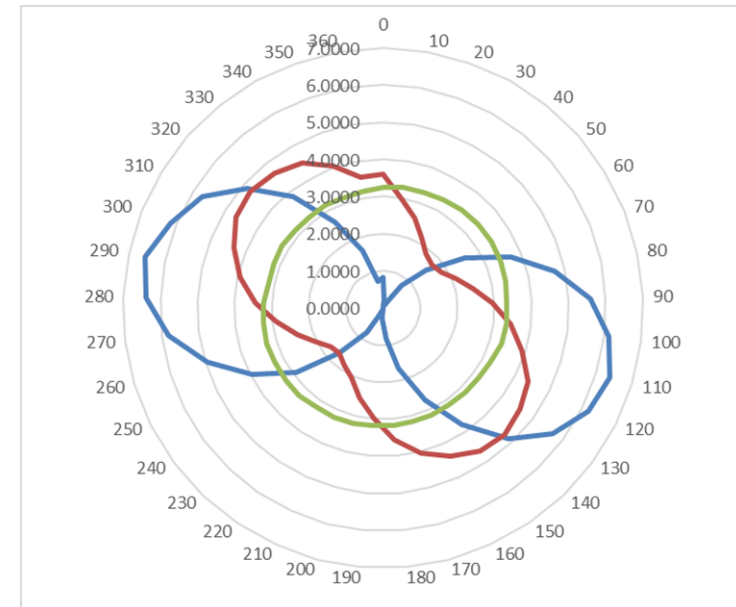
線偏振

圓偏振

橢圓偏振



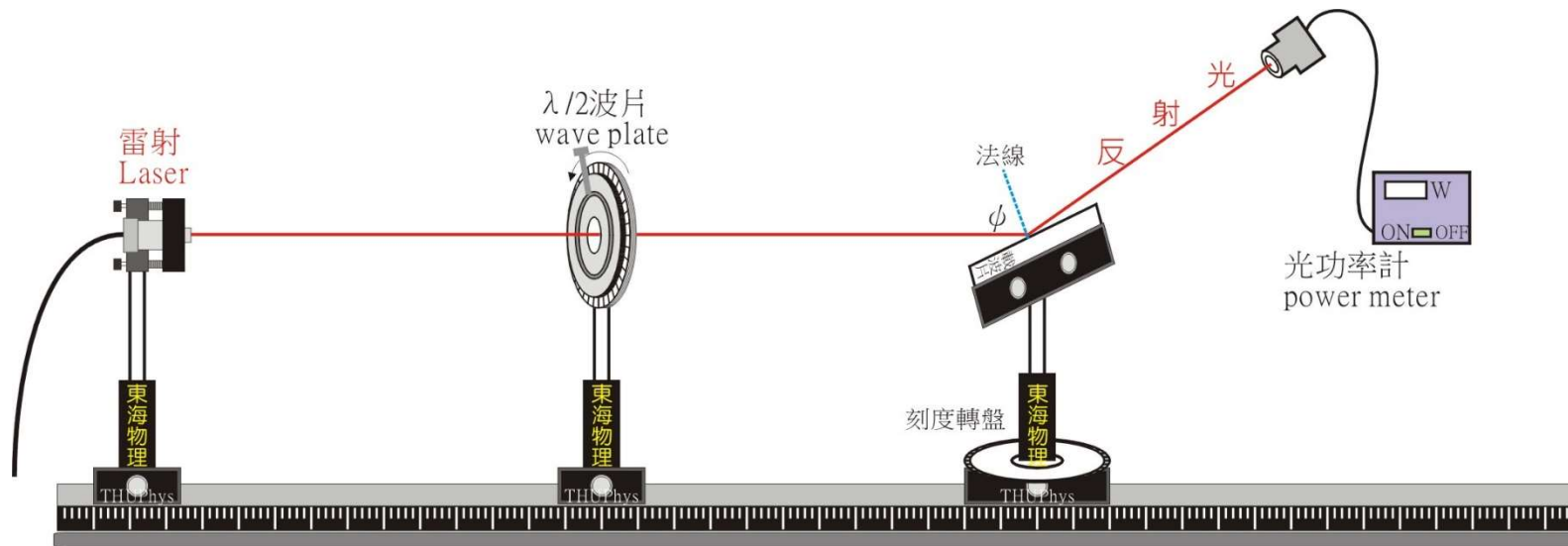
XY散佈圖  
光功率vs角度



雷達圖  
光功率vs刻度

## 5) 布魯斯特角

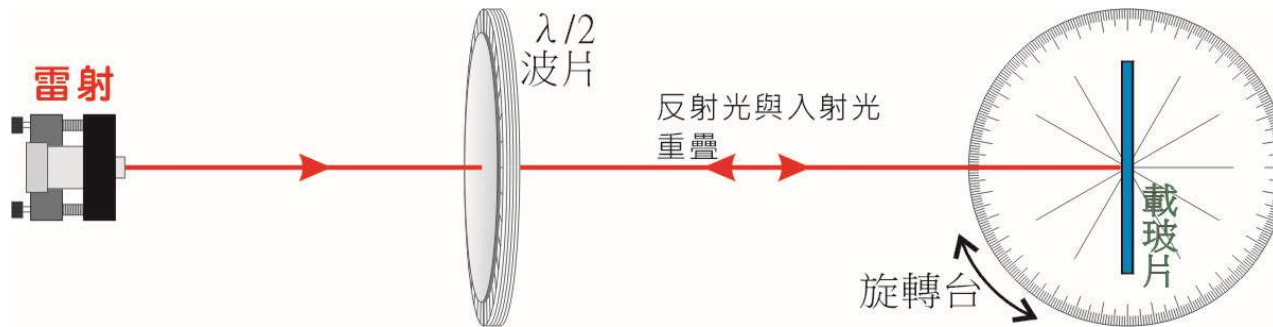
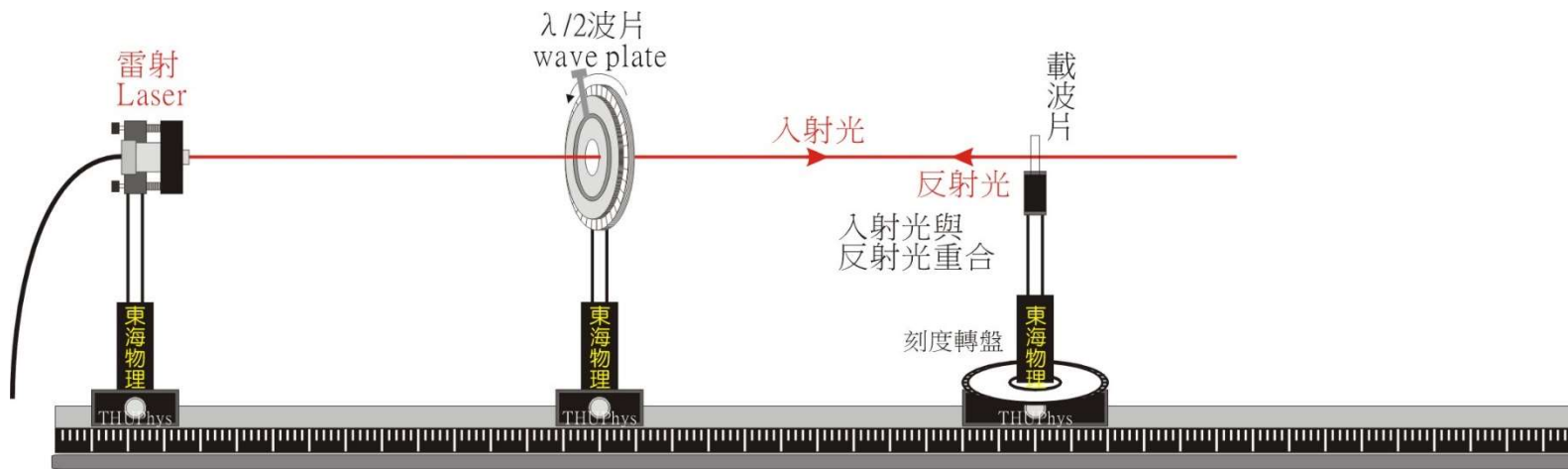
測量  
反射光



1-入射光與反射光重疊  
→角度 $\psi=0$ 度。

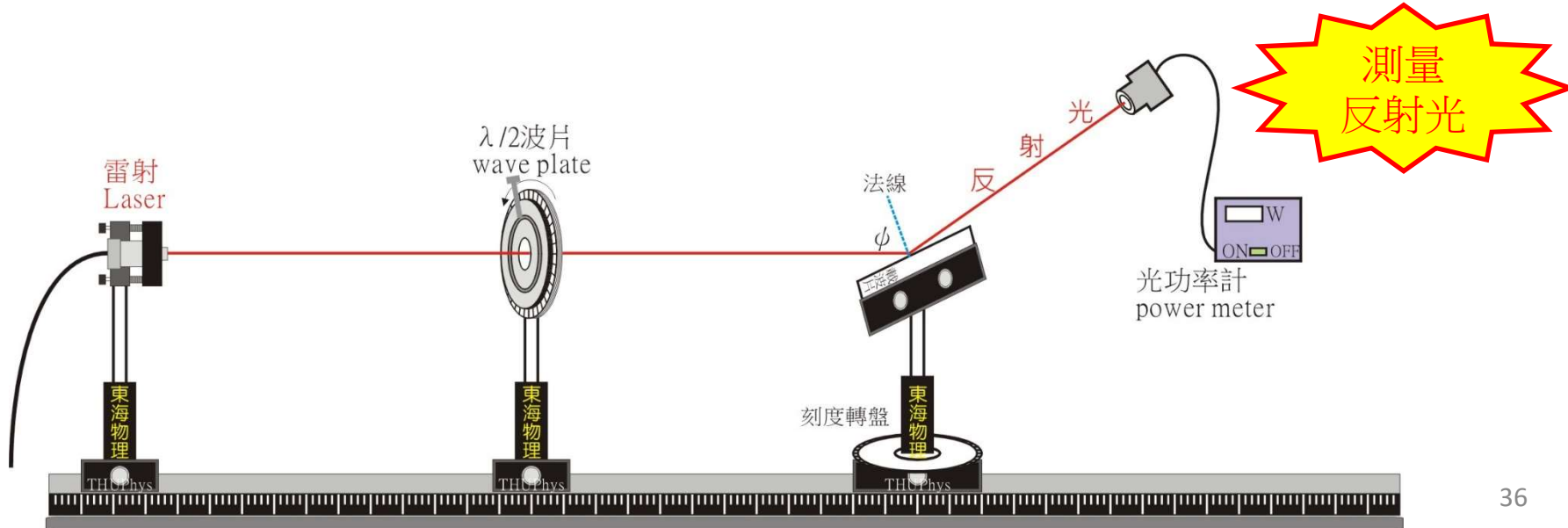
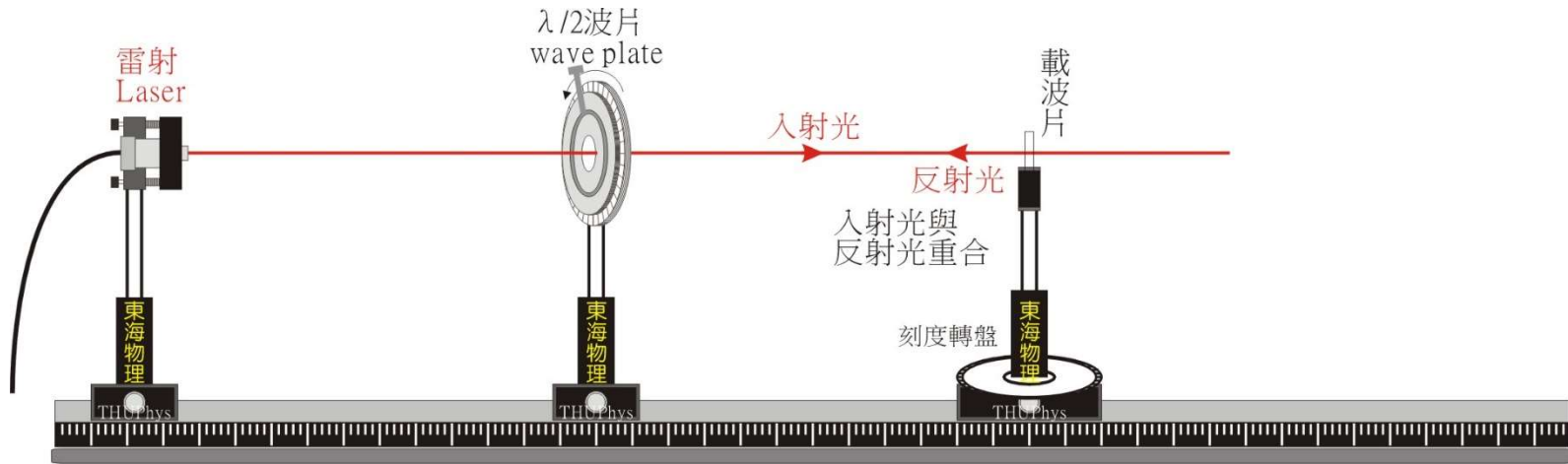
### 5) 布魯斯特角

調整旋轉台使反射光與入射光重合，此時設定旋轉台的角度為零。



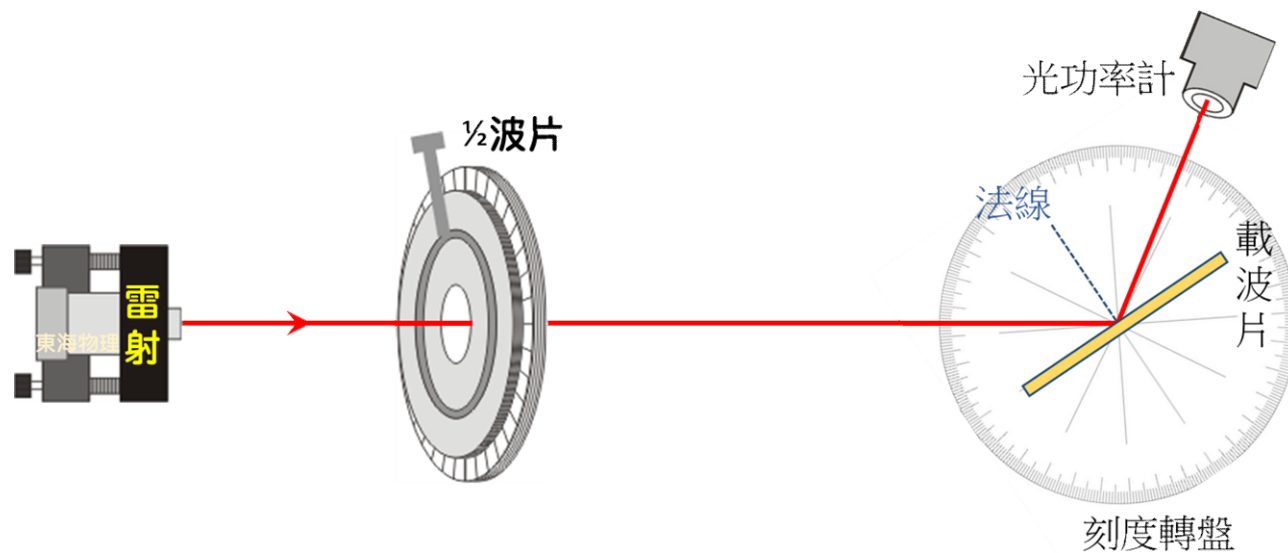
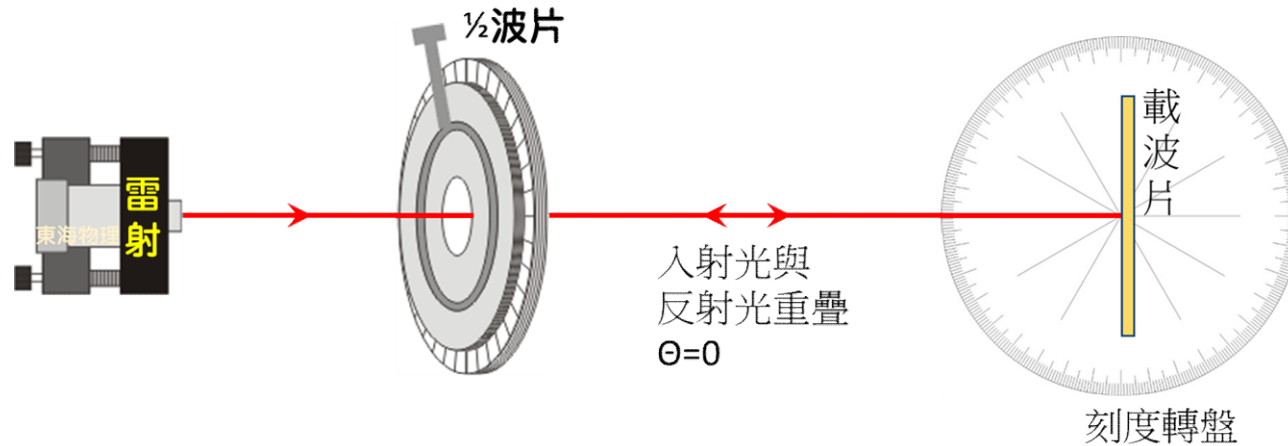
### 5) 布魯斯特角

調整旋轉台使反射光與入射光重合，此時設定旋轉台的角度為零。



### 5) 布魯斯特角

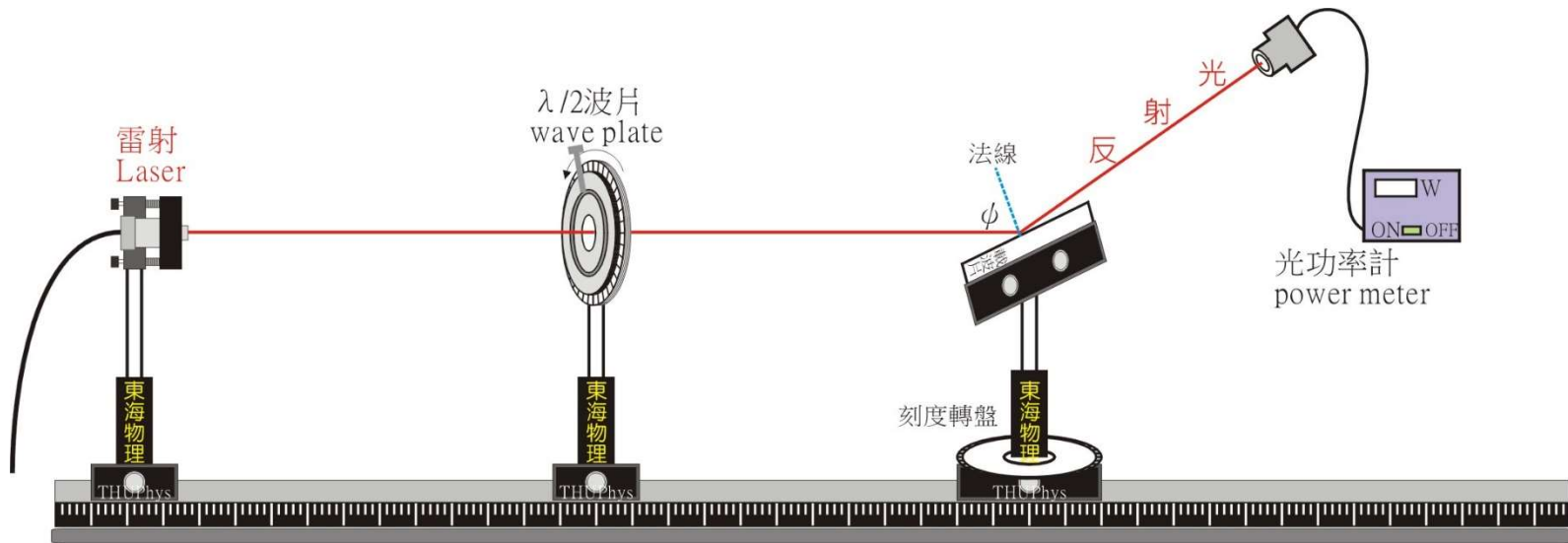
調整旋轉台使反射光與入射光重合，此時設定旋轉台的角度為零。



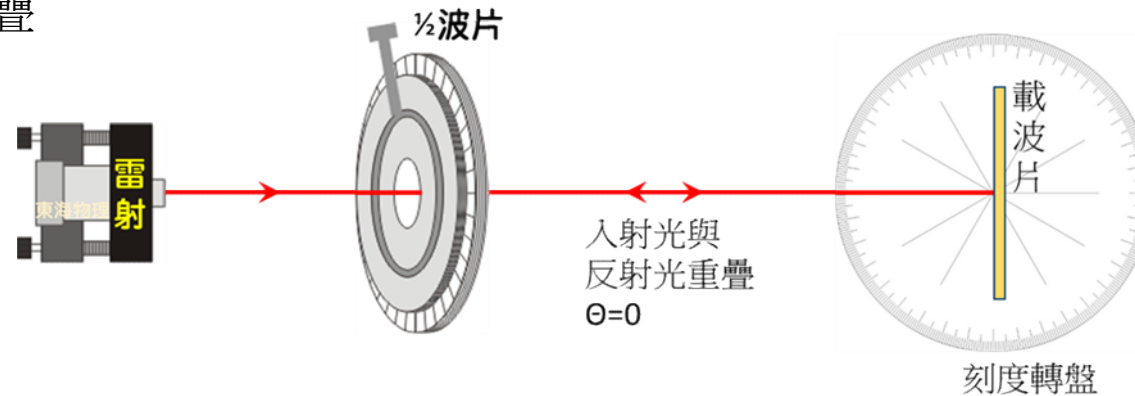
測量  
反射光

### 6) TE、TM

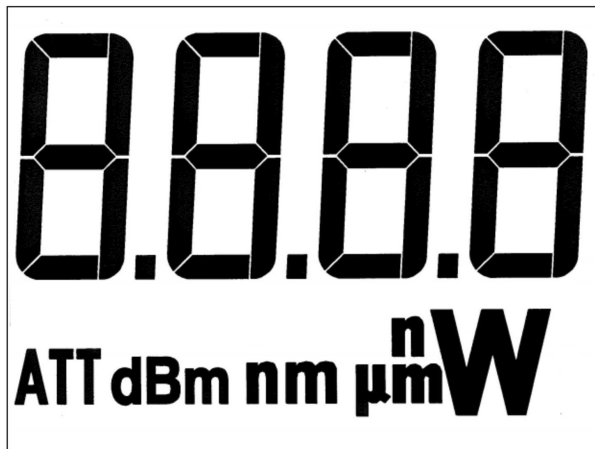
測量  
反射光



1-入射光與反射光重疊  
→角度 $\psi=0$ 度。



# 光功率計 (Power meter) gentec UNO



感應器前端有加一片衰減片  
可以將接收的光衰減10倍  
此時量測時，要按【ATT】啟動衰減功能

# 光功率計 (Power meter) -ORION/PD

連結偵測器



電源開關



## 鏡片座刻度讀法

實驗室的偏振片  
不是  
定光軸偏振片  
SO...

我們記錄的是相對角度

偏振方向相互垂直  $\rightarrow$  功率最小  
平行 大

記錄刻度，去計算相對角度。

偏振片  
(偏光片)

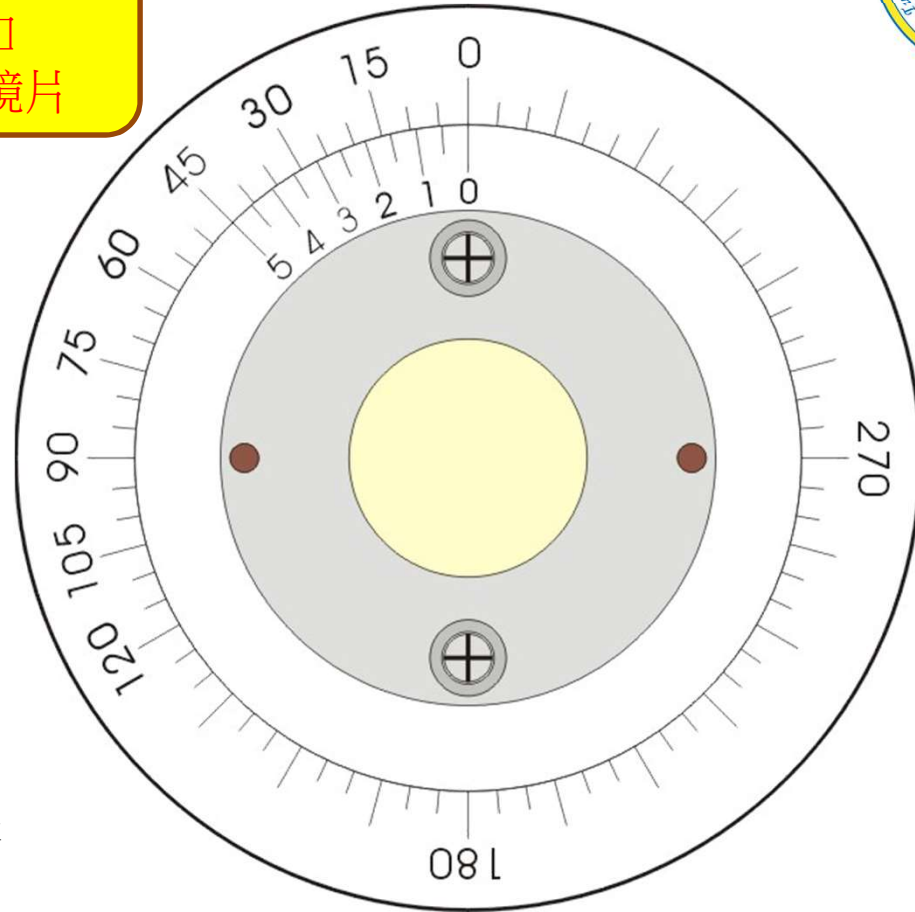


量測到功率最小時，選定一字母指向某一個刻度，該刻度定義為角度90度，再去計算相對角度。

一般我會選 POLARIZER 的『P』  
這個字母～

### 精密鏡片座刻度讀法

$\lambda/2$ 鏡片  
和  
 $\lambda/4$ 鏡片



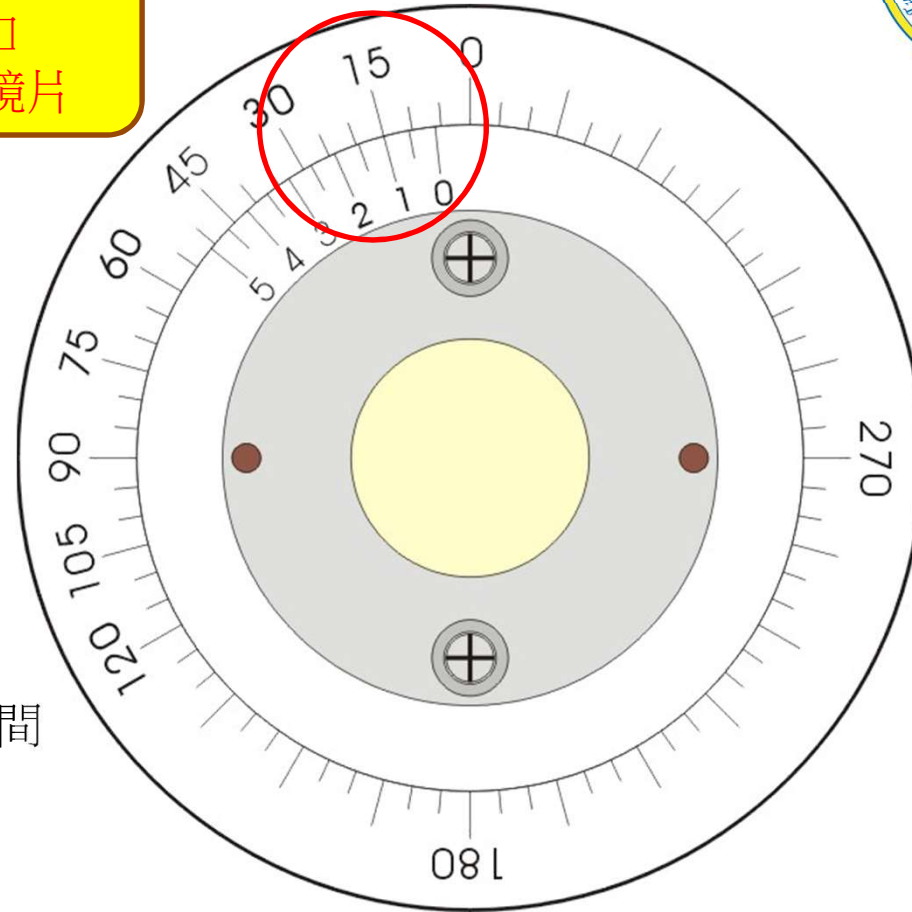
主尺角度0度與副尺0刻度對齊

主尺角度45度與副尺5刻度對齊

### 精密鏡片座刻度讀法



$\lambda/2$ 鏡片  
和  
 $\lambda/4$ 鏡片



副尺0刻度介於主尺5-10角度之間

測量結果為 $5+\Delta\theta$

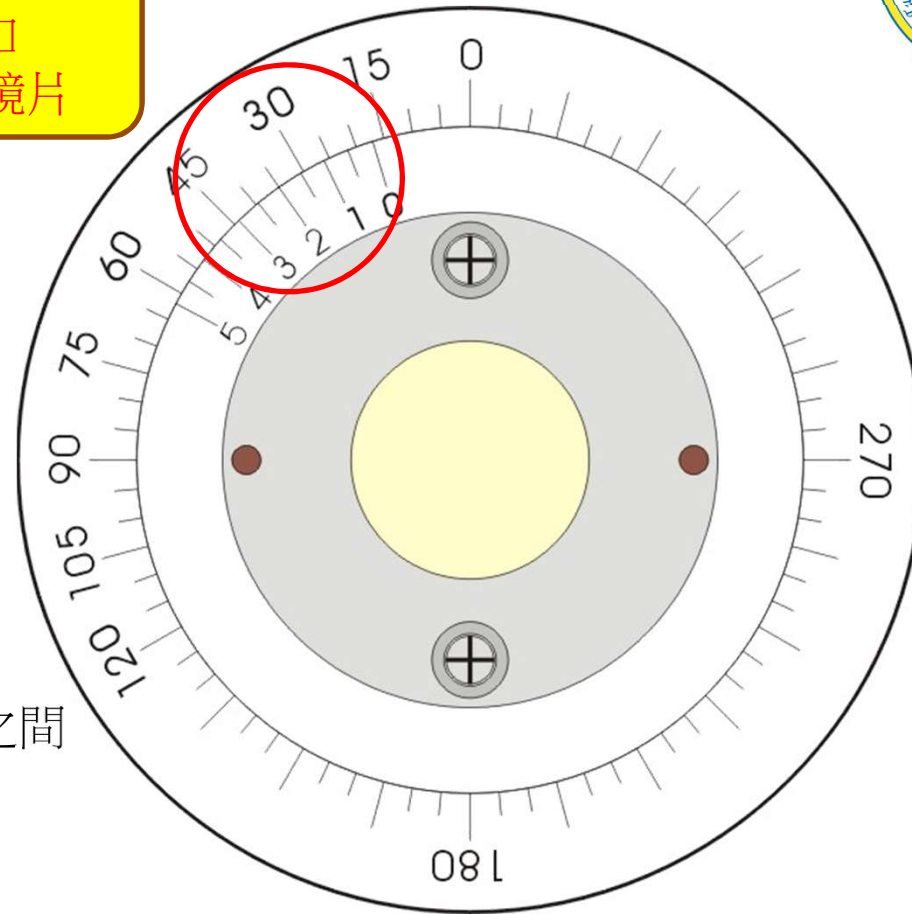
副尺1刻度與主尺15對齊

所以  $\Delta\theta=1$

測量結果為角度6度

### 精密鏡片座刻度讀法

$\lambda/2$ 鏡片  
和  
 $\lambda/4$ 鏡片



副尺0刻度介於主尺15-20角度之間

測量結果為 $15+\Delta\theta$

副尺2刻度與主尺35對齊

SO  $\Delta\theta=2$

測量結果為角度17度

### 5) 布魯斯特角的應用

<http://haha90.phy.ntnu.edu.tw/content/funExperiment/allFunExps/polar/polar.html>



↑偏振方向水平，車窗反射的光線相當明顯。



↑偏振方向改為垂直，反射光就幾乎看不見了(可以看到車內的物體)。  
想一想：經由車窗反射的光線，偏振方向為何？與地板反射相同嗎？  
為何這些反射光都會是水平方向偏振呢？(提示：查查“布魯斯特角”)

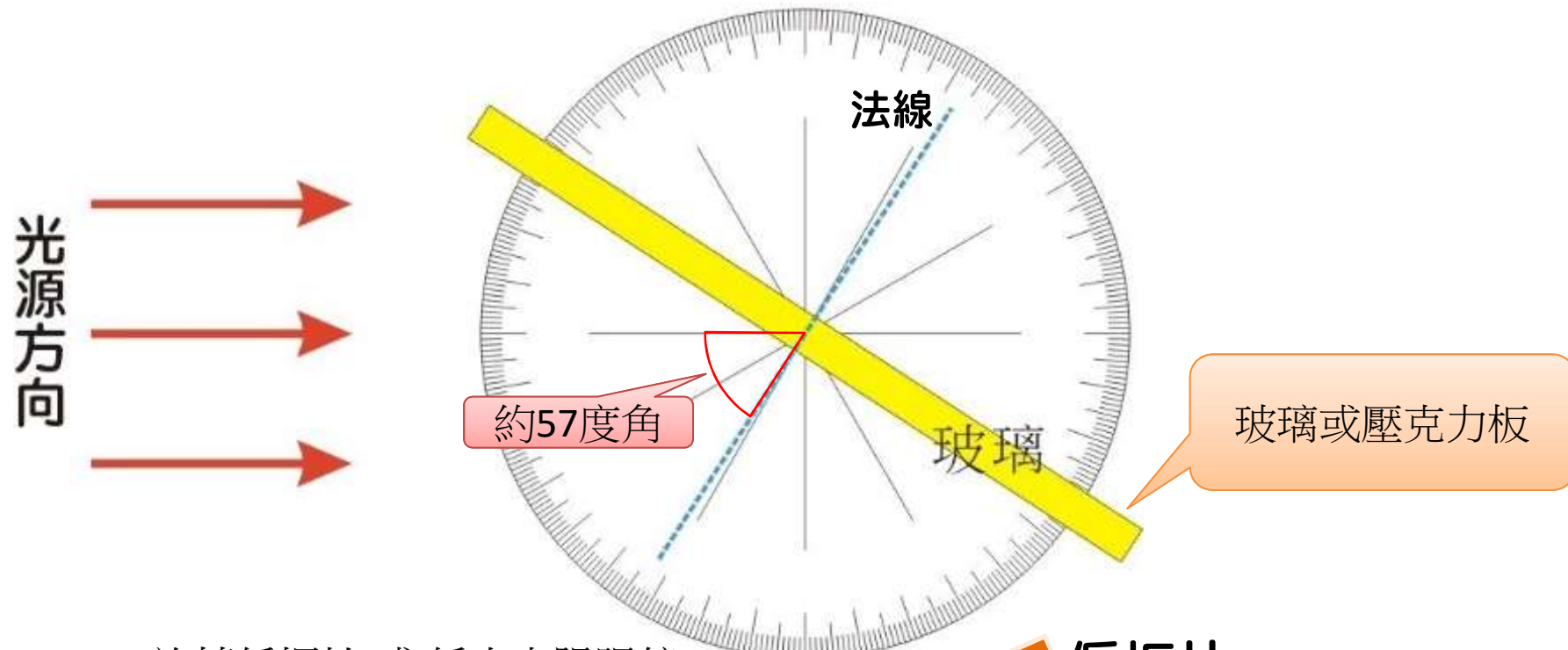


↑偏振方向水平，瓷磚地板反射的光線相當明顯。



↑偏振方向改為垂直，反射光就幾乎看不見了。  
想一想：經由地板反射的光線，偏振方向為何？與木地板相同嗎？

### 5) 布魯斯特角



旋轉偏振片(或 偏光太陽眼鏡)

偏振方向

1-垂直

2-水平

哪個偏振方向看那隻牛看得比較清楚？



## 6) 偏光在生活中的應用



偏振片水平



反射光影

偏振片垂直

## 6) 偏光在生活中的應用





## 6) 偏光在生活中的應用



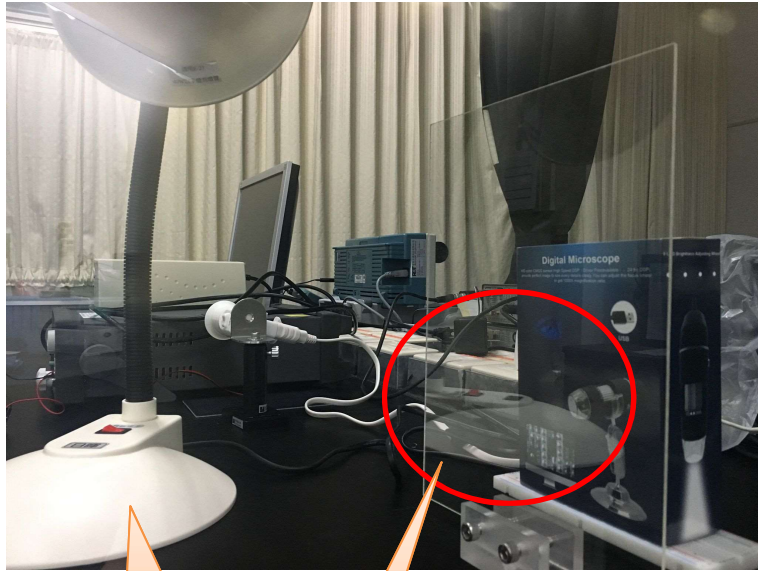
6) 偏光在生活中的應用



## 6) 偏光在生活中的應用

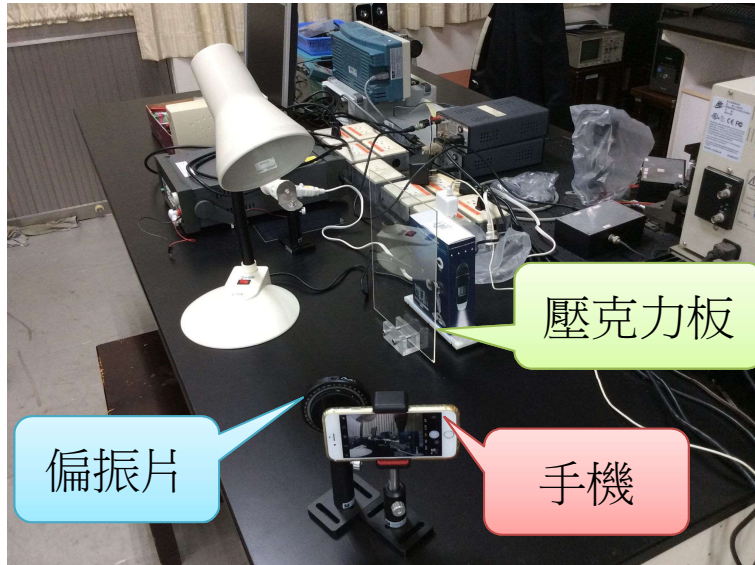


# 6) 偏光在生活中的應用



檯燈

檯燈  
反射光



壓克力板

偏振片

手機

## 6) 偏光在生活中的應用



室外亮  
室內暗  
室內外亮暗對比要夠

轉動壓克力板  
改變反射光角度  
確定反射最強

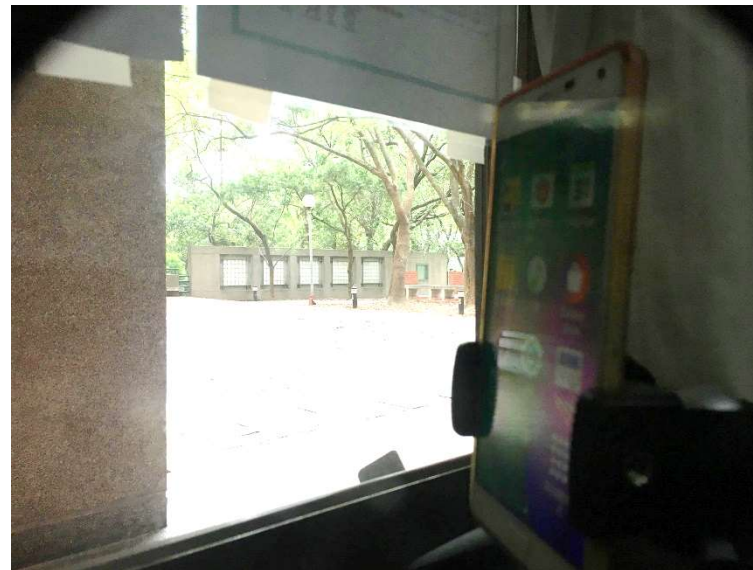
大太陽時效果  
比較好



6) 偏光在生活中的應用

多雲  
效果不好

改變偏振片角度



調  
圖  
片  
亮  
度



6) 偏光在生活中的應用

多雲  
效果不好







## 6) 偏光在生活中的應用

在攝影的世界中  
有 **PL** 和 **CPL** 兩種偏振片  
對於物理人來說

**PL 線偏振片 (Polarizing Filte)**  
線偏振

**CPL 環形偏振片 (Circular Polarizing Filter)**  
一片線偏振片加上 $1/4$ 波片組成  
線偏振+圓偏振

搜尋：全部 | 24H | 24H書店 | 購物中心 | 代購服務 | PChome旅遊 |

篩選： 超商取貨  郵箱取貨

**Green.L 77mm 偏光鏡CPL偏光鏡環形偏光鏡環型偏光鏡光鏡**  
Green.L 77mm偏光鏡CPL偏光鏡環形偏光鏡環型偏光鏡圓偏光鏡圓形偏光鏡  
5.6 55-200mm F4-5.6 SAM

**B+W XS-PRO KSM HTC-PL 高透光凱氏偏光鏡(52mm)**  
總代理捷新公司貨【B+W】XS-PRO KSM HTC-PL高透光凱氏偏光鏡(52mm)  
型片 ■ 光學鍍減1-1.5格(舊款最多減3格) ■ mrc2新一代鍍膜科技 ■ 玻璃原料結

**HOYA Fusion 95mm 偏光鏡 Antistatic CPL**  
18層超級鍍膜鏡片HOYA Fusion 95mm 偏光鏡 Antistatic CPL ■ 18層超級鍍  
靜電 防水 防油污 ■ 消除反光 藍更藍 白更白 ■ 超薄鋁製鏡框

折價券

## 6) 偏光在生活中的應用

✦ 跟著鄭大師玩科學 > 古代維京人用太陽石定位不只是傳說

### 📖 古代維京人用太陽石定位不只是傳說

📅 2015-07-18    📖 生活科學趣談



方解石  
-雙折射現象

<https://www.masters.tw/42741/sunstone>



## 【做完實驗助教要檢查以下項目】

- 1、實驗中所使用的雷射，其偏振度多少？
- 2、表格1，畫出光功率vs角度圖。  
理論值與實驗值比較
- 3、表格1、2、3，畫出光功率vs角度圖。
- 4、表格1、4、5，畫出光功率vs角度圖。  
以上都要兩張圖-XY散佈圖、雷達圖
- 5、表格6，畫出光功率vs載玻片角度圖。  
載玻片折射率=？
- 6、表格7-8，畫出光功率vs載玻片角度圖。
- 7、照片

# 科博館 立體劇場

## 科博館立體劇場眼鏡 有標示偏振方向

目前位於：科博館 > 展覽與劇場 > 劇場資訊 > 立體劇場 > 簡易科學萬花筒

立體劇場

**展覽與劇場**

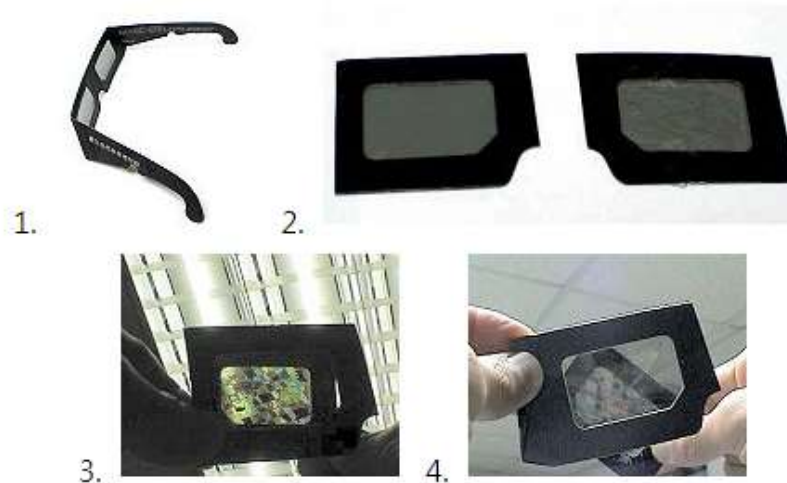
劇場簡介

簡易科學萬花筒

小動物大世界

### 製作方法

1. 將使用過的立體眼鏡鏡片依外框分別剪下。
2. 取任何一個鏡片，以手指寬的透明膠帶，直、橫、交錯、重覆貼在鏡片上《交互貼的愈多顏色愈豐富》。
3. 將貼有透明膠帶的鏡片置於前方《貼有膠帶的面朝向自己》，另一鏡片置於前者後方，並對著光源相互旋轉觀察色彩變化。
4. 再將完成作品置入兩個大小不一紙筒內固定，即完成簡易科學萬花筒製作。





我們沒有最好  
只有追求更好

有空繼續補~~



東海大學應用物理學系  
地址：40704台中市西屯區東海大學BOX803  
電話：04-23590121\*32100  
網址：<http://physics.thu.edu.tw/>