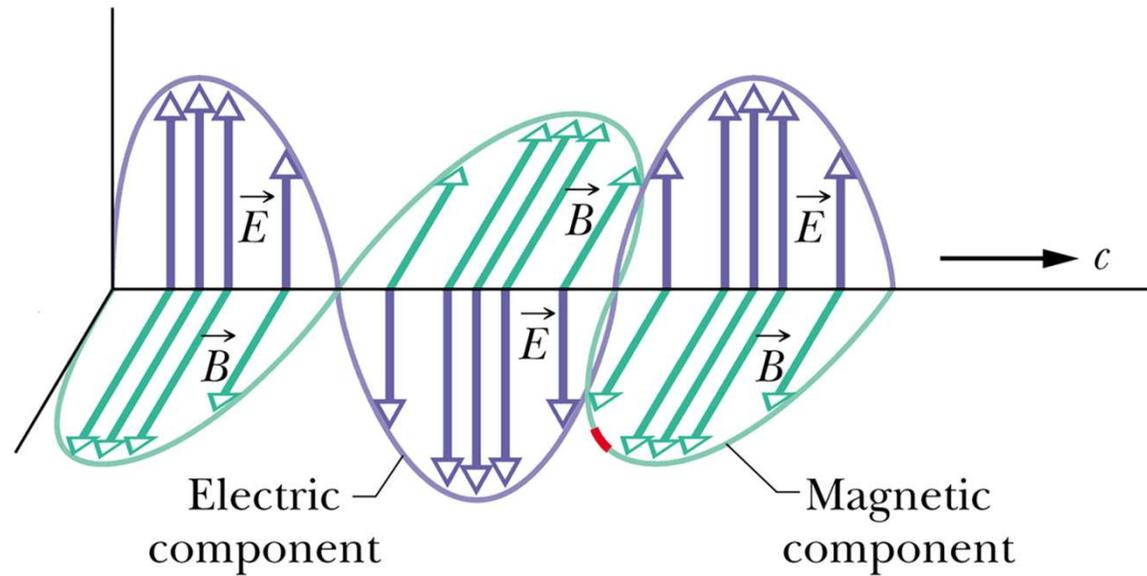
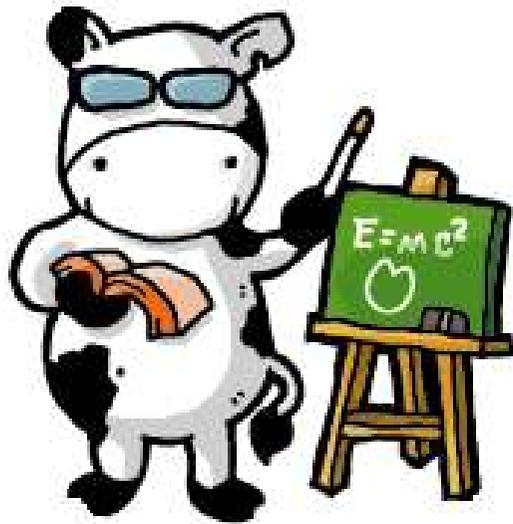
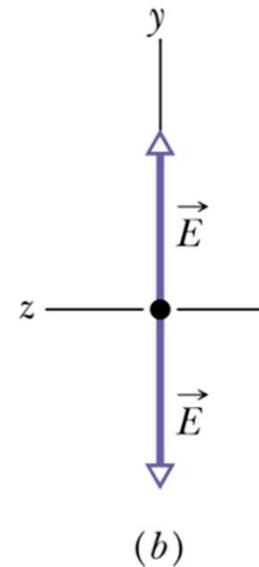
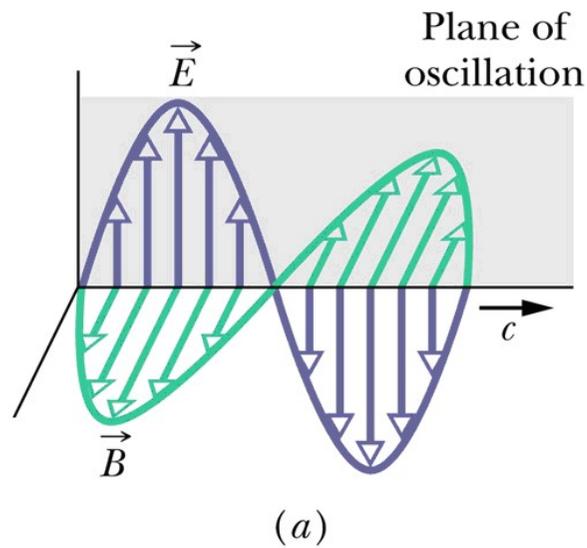


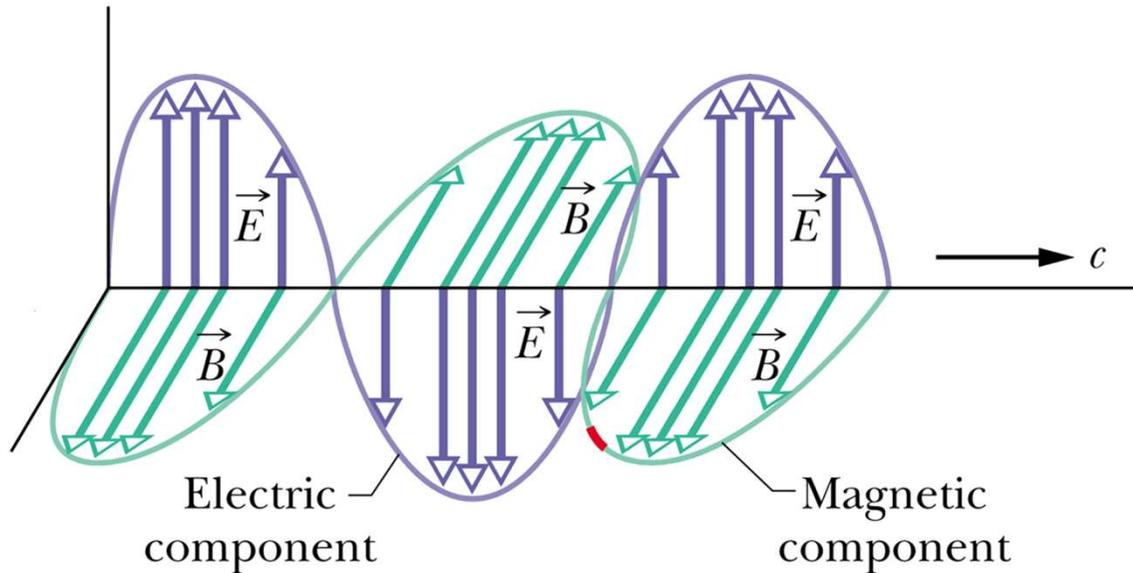
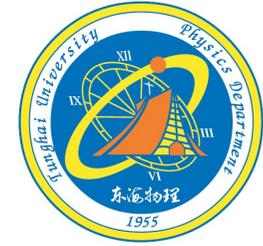
實驗3： 偏振實驗



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 η (wave impedance)

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

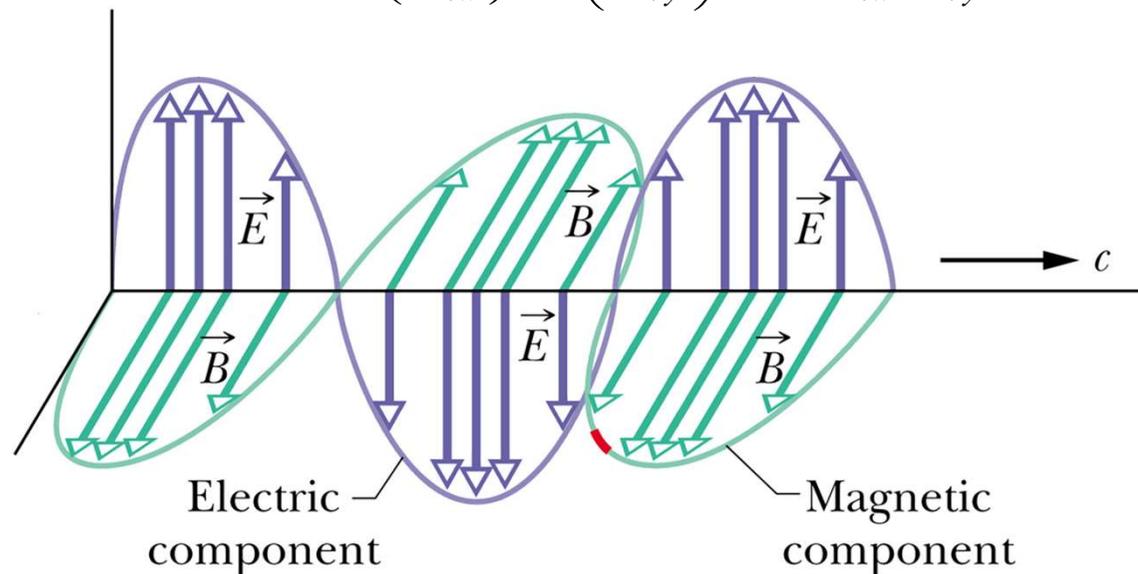
一平面波，在空間中沿著 z 軸方向前進，光波動在 x - y 平面上可以分解為兩個方向互相垂直的振動：

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

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

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

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





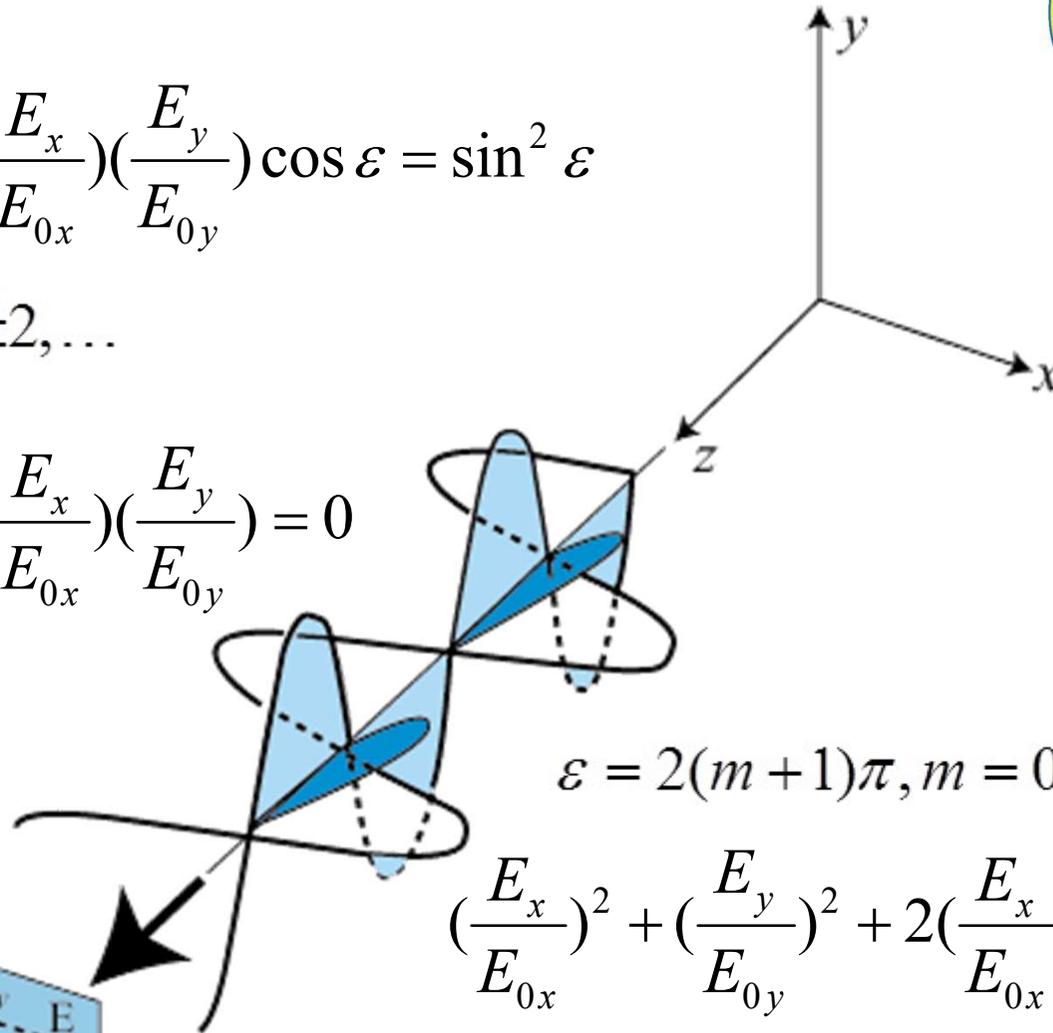
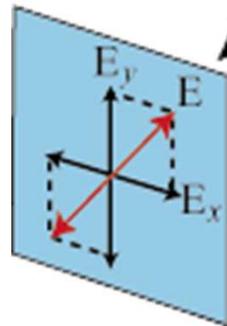
A) 線偏振

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

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

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

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



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

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

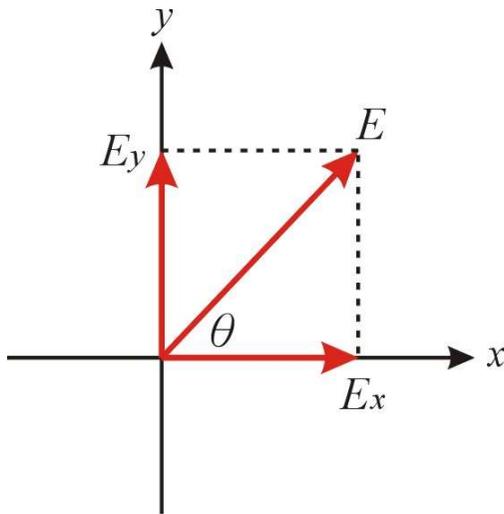
$$\frac{E_y}{E_x} = -\frac{E_{0y}}{E_{0x}}$$

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 $\theta = \tan^{-1} \frac{E_y}{E_x} = \pm \tan^{-1} \frac{E_{0y}}{E_{0x}}$

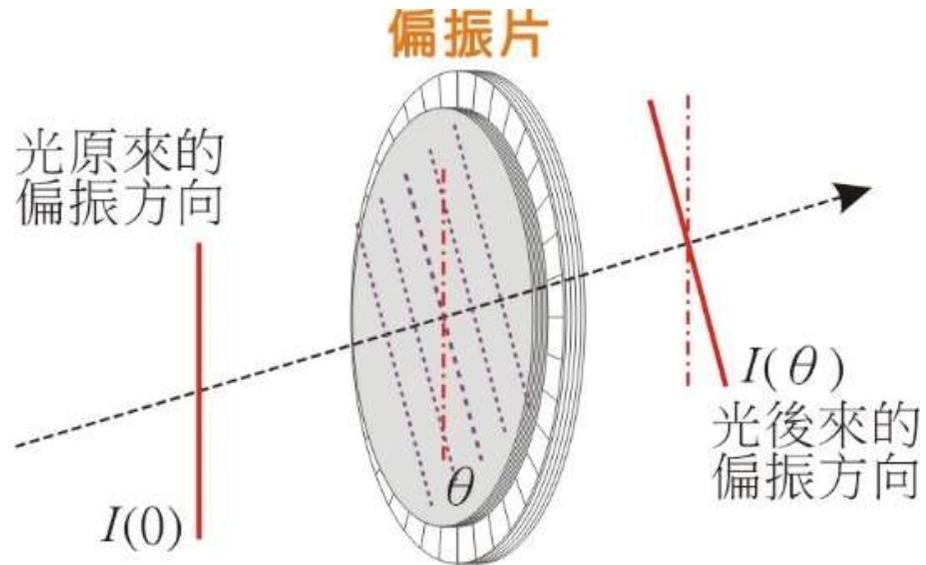
θ 不是時間的函數， θ 不隨時間改變，偏振方向不隨時間改變，因此稱為線偏振。



A) 線偏振

Malus's Law

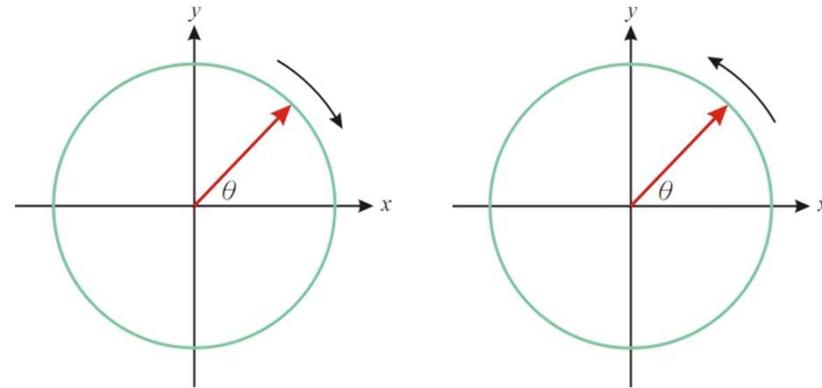
$$I(\theta) = I(0) \cos^2 \theta$$



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。

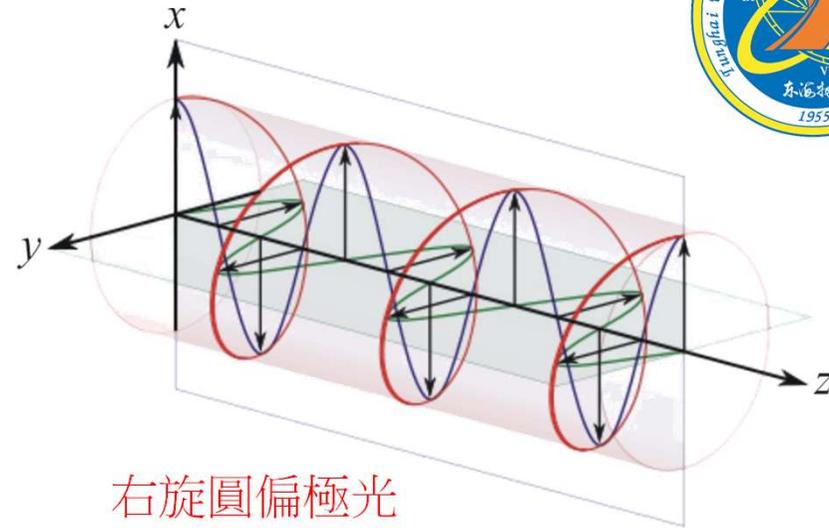


B) 圓偏振

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)

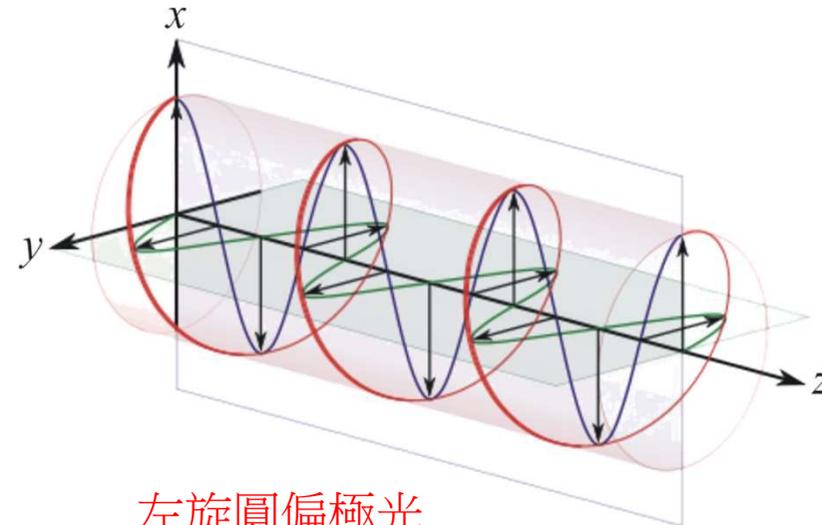


右旋圓偏極光

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。

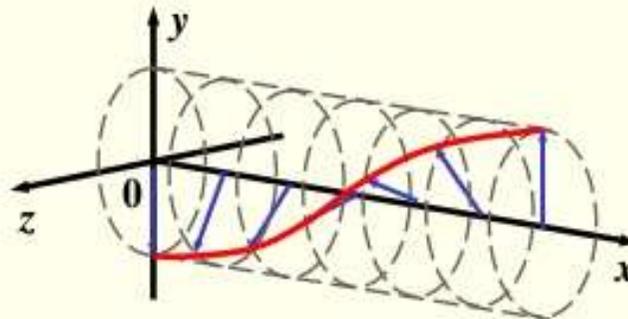
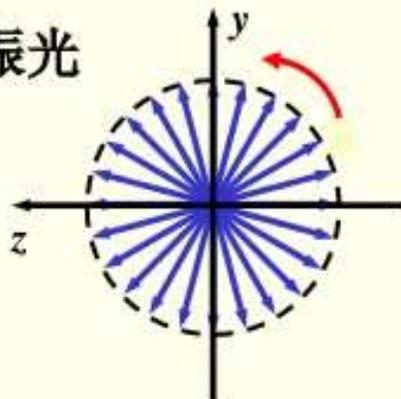


§ 14.6 椭圆（圆）偏振光的获得和检验

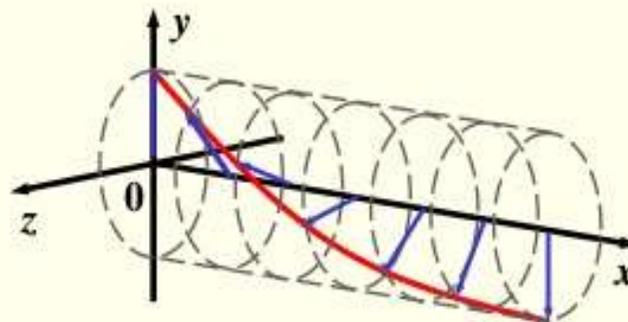
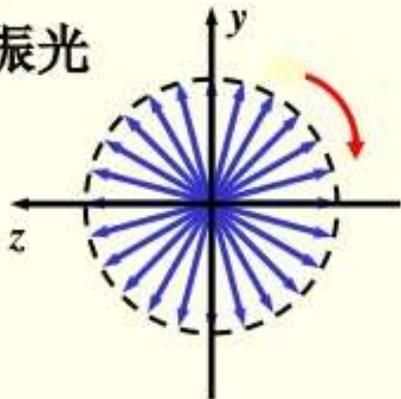
1. 椭圆偏振光 & 圆偏振光

CAI

左旋圆偏振光



右旋圆偏振光

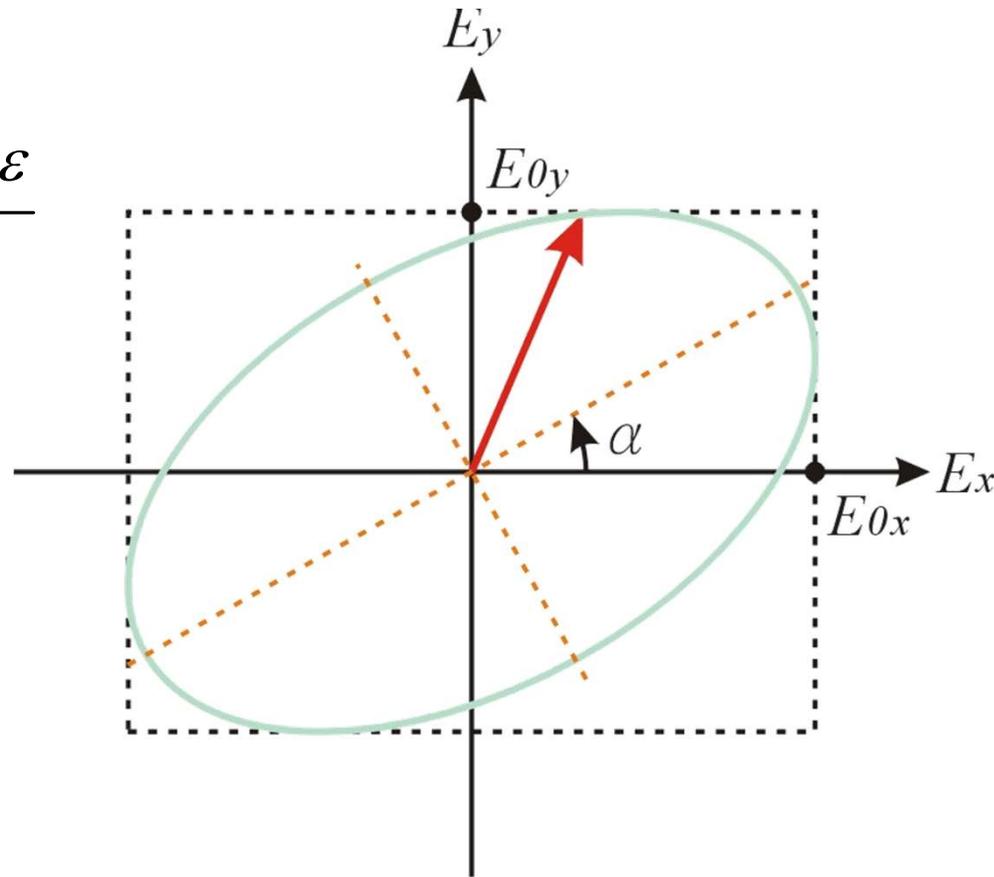


C) 橢圓偏振

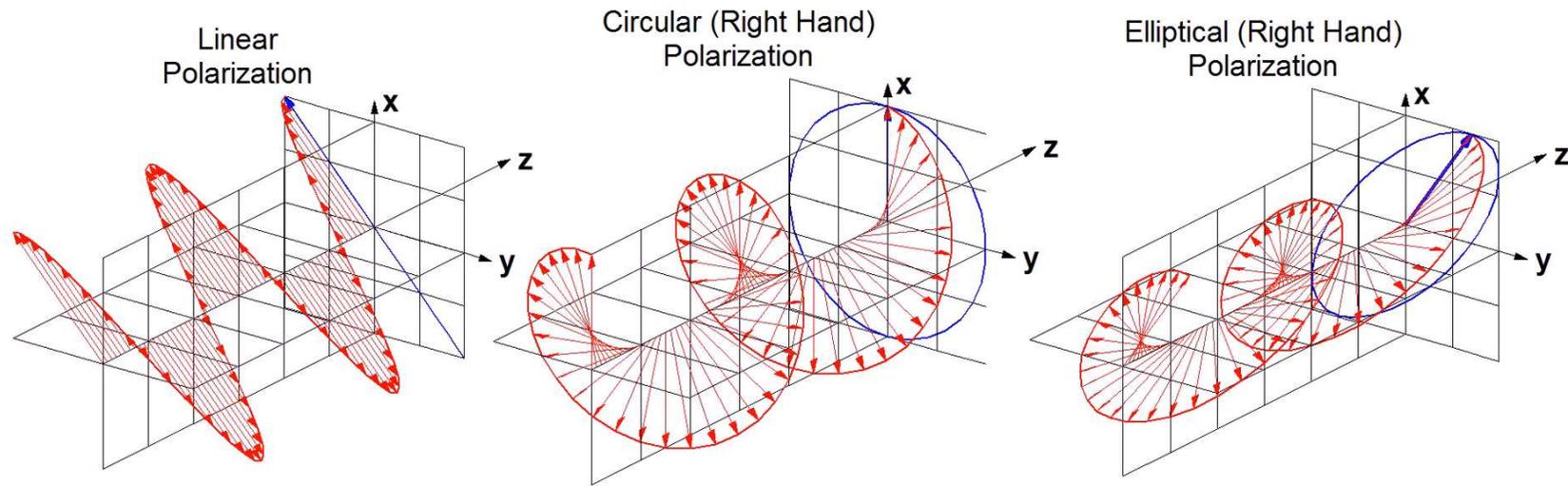
$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 - 2\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)\left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)\cos \varepsilon = \sin^2 \varepsilon$$

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

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

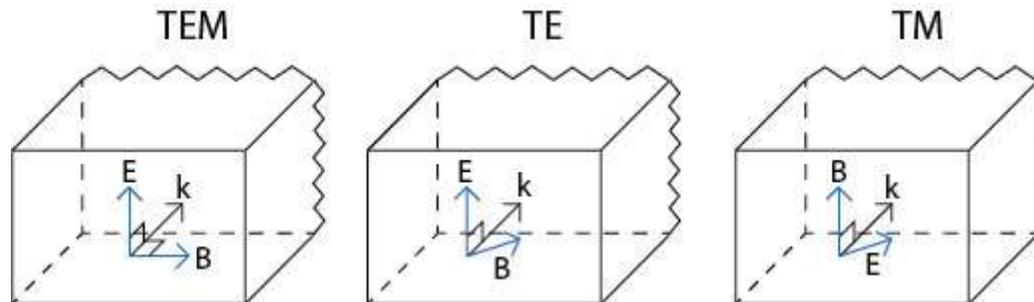
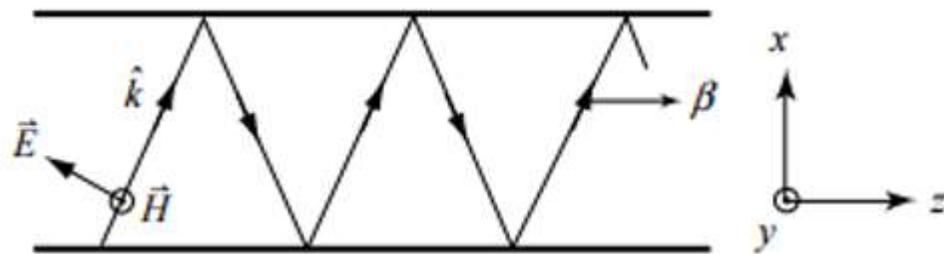
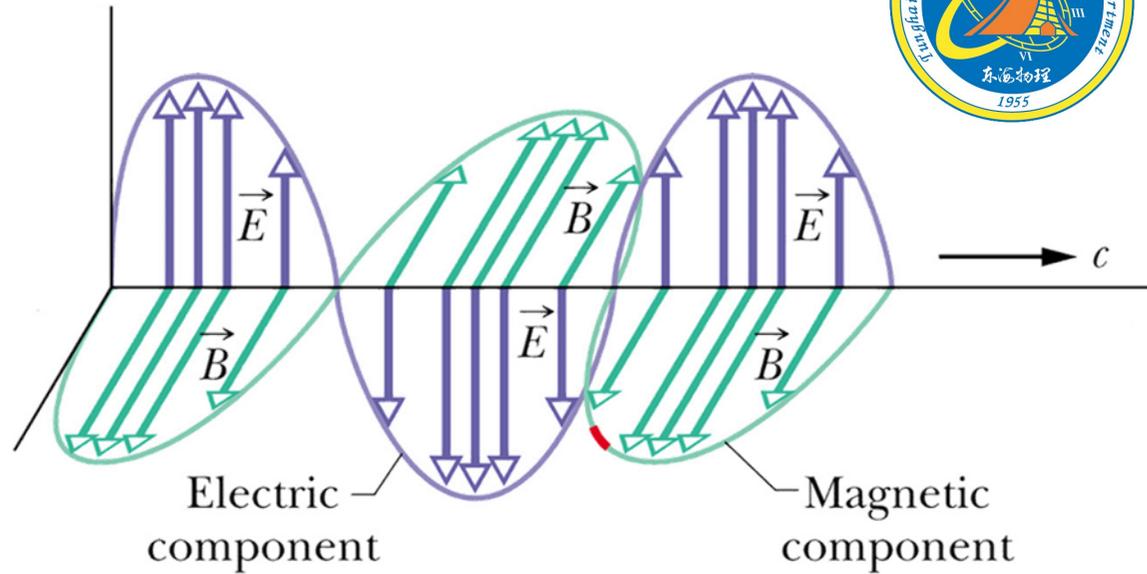


線偏振、圓偏振、橢圓偏振

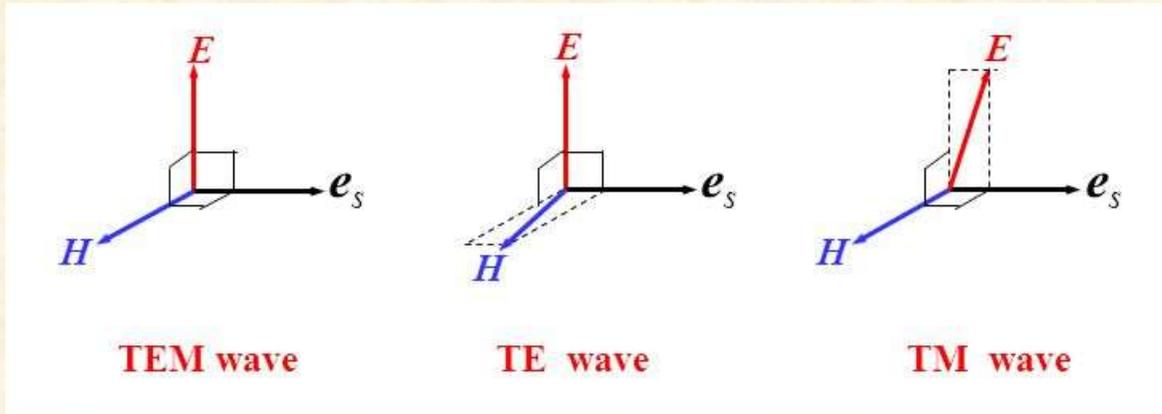




TEM wave
TE wave
TM wave



1. TEM Wave, TE Wave, and TM Wave

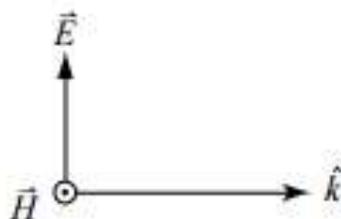


The wave guiding systems in which an **electrostatic** field can exist must be able to transmit **TEM** wave.

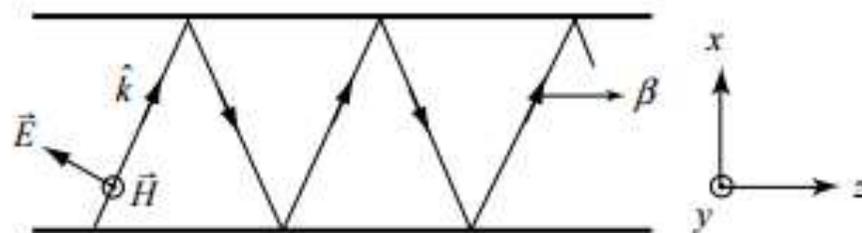
From Maxwell's equations we can prove that the metal waveguide **cannot** transmit **TEM** wave.

8-2 橫向電磁波 (TEM Wave)

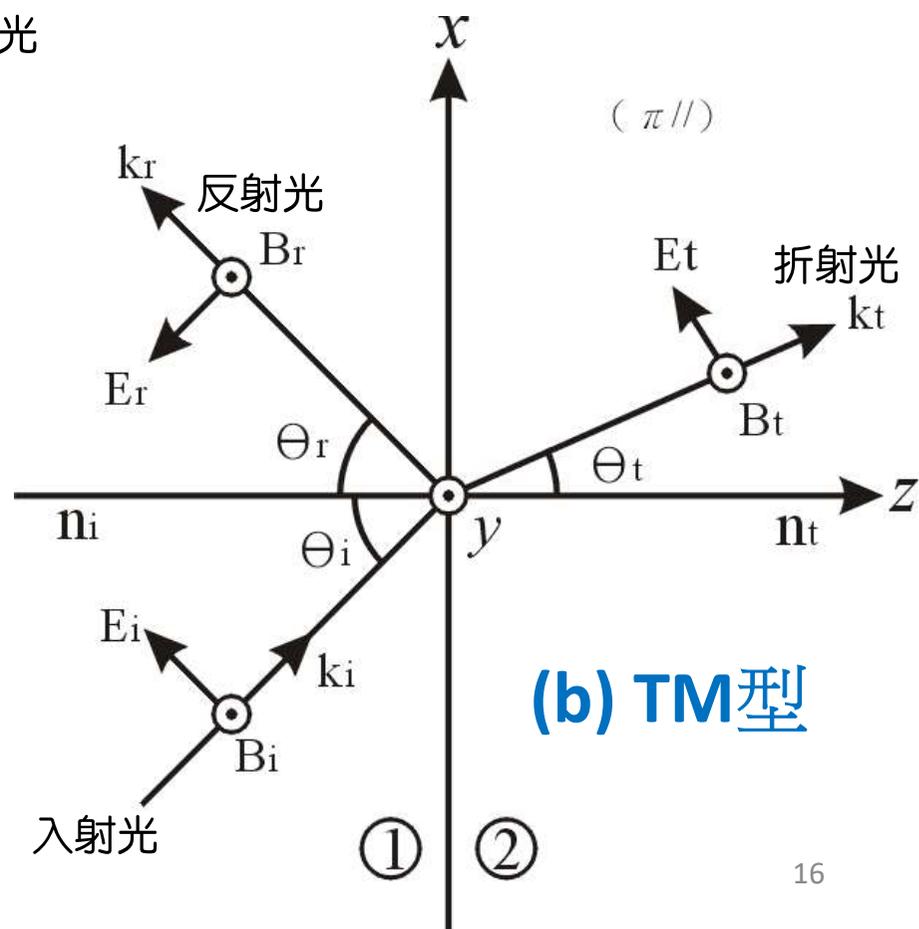
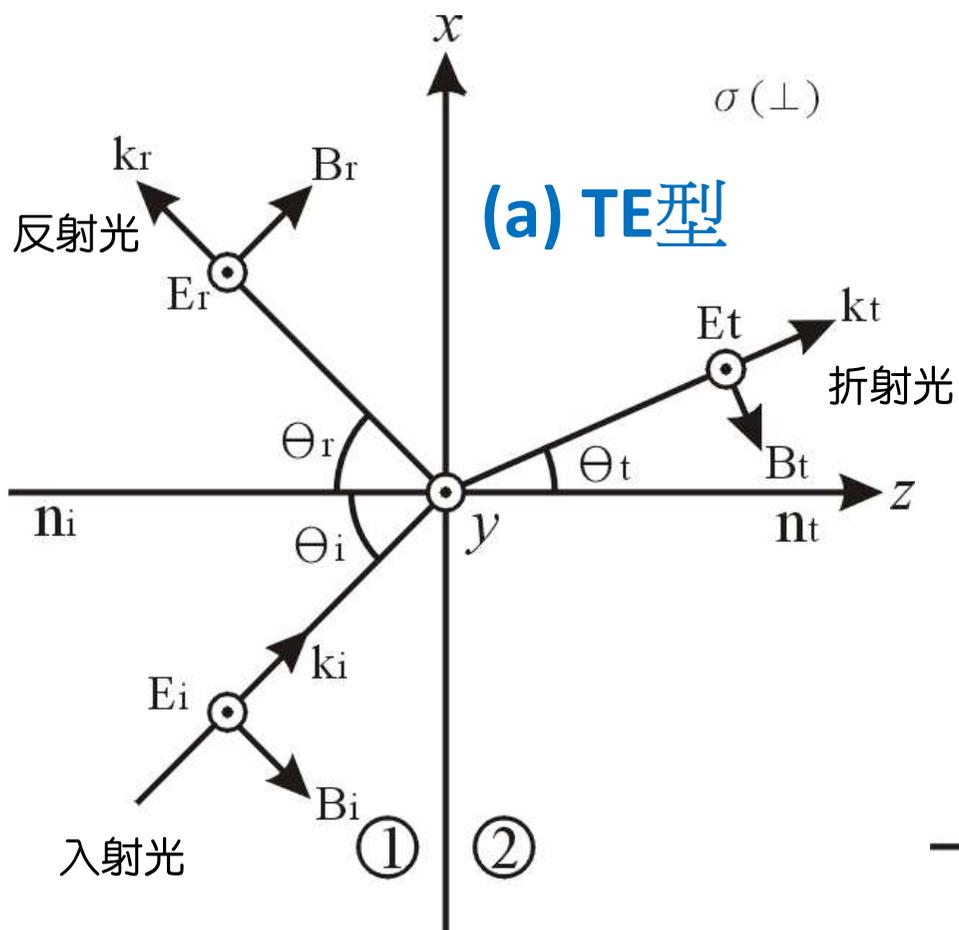
何謂TEM wave? 簡單的說, 就是電場方向與磁場方向皆與「整體」波行進的方向成垂直, 為何強調「整體」呢? 一般而言, 波行進方向與電場、磁場皆為垂直:

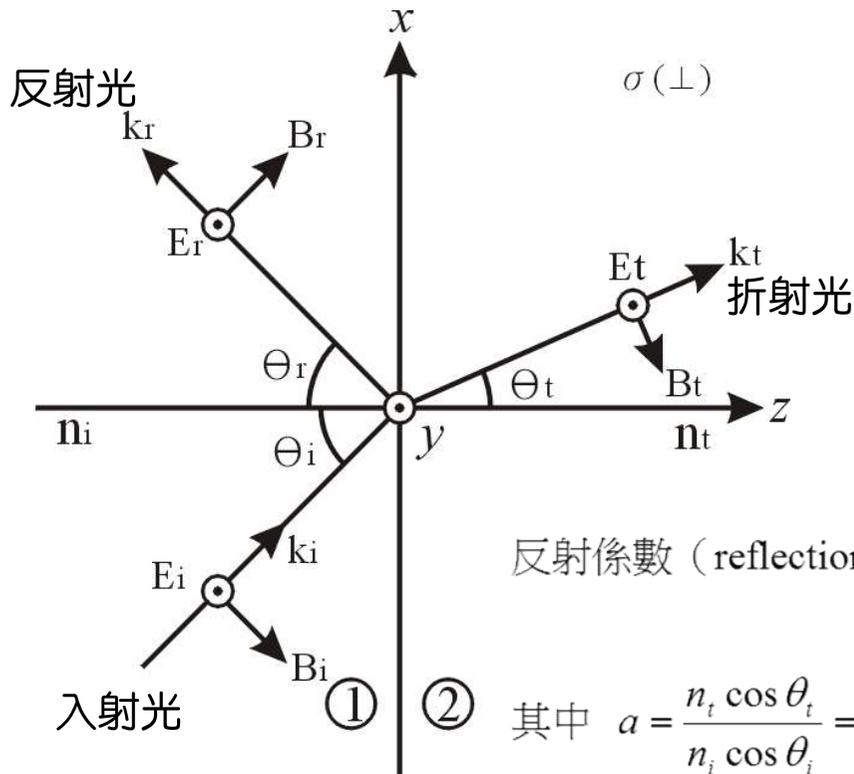


假設, 波存在於導體之間, 由於電磁波無法穿透導體, 而造成反射, 使得電磁波被侷限於導體內行進, 如下圖所示:



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

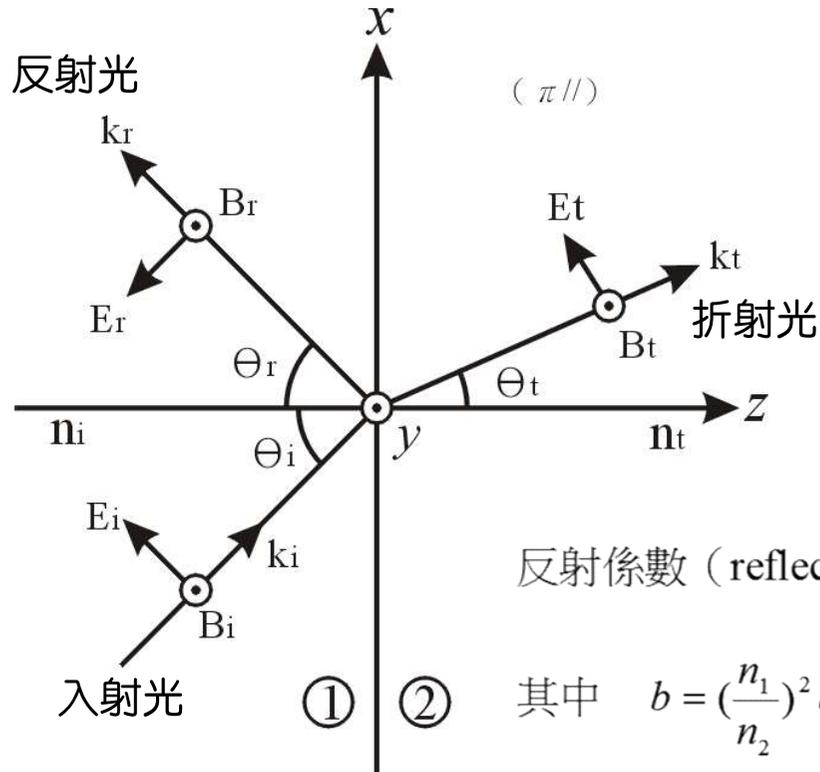
反射係數 (reflection coefficient) $r_{TE} = -\frac{\sin(\theta_i - \theta_t)}{\sin(\theta_i + \theta_t)} = \frac{1-a}{1+a}$ (16)

其中 $a = \frac{n_t \cos \theta_t}{n_i \cos \theta_i} = \frac{\sqrt{n_t^2 - n_i^2 \sin^2 \theta_i}}{n_i \cos \theta_i}$, θ_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 $R_{TM} = r_{TM}^2 = \frac{\tan^2(\theta_i - \theta_t)}{\tan^2(\theta_i + \theta_t)}$

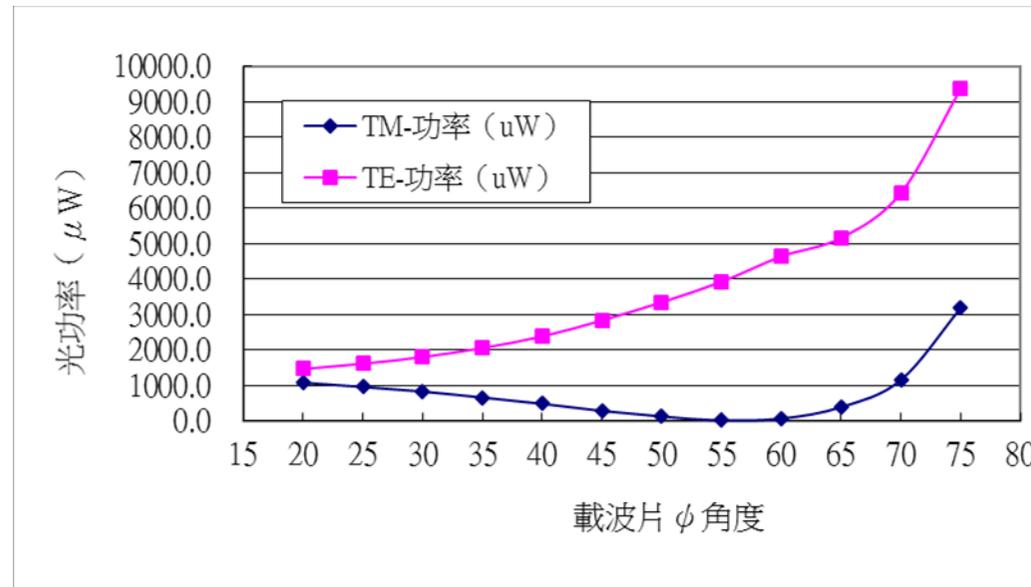


(b) TM型

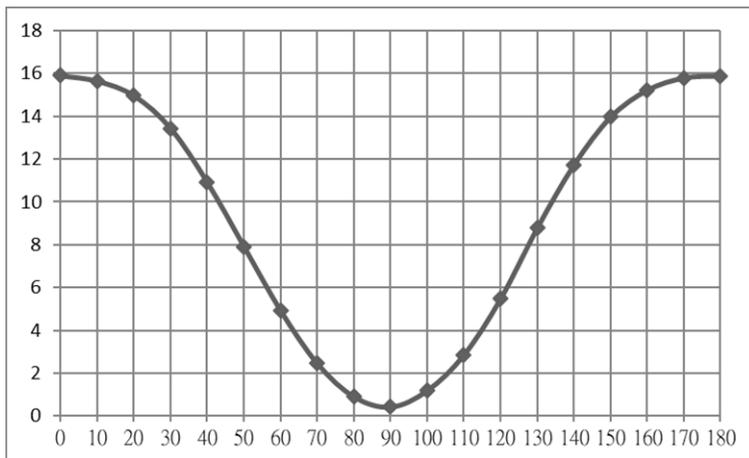
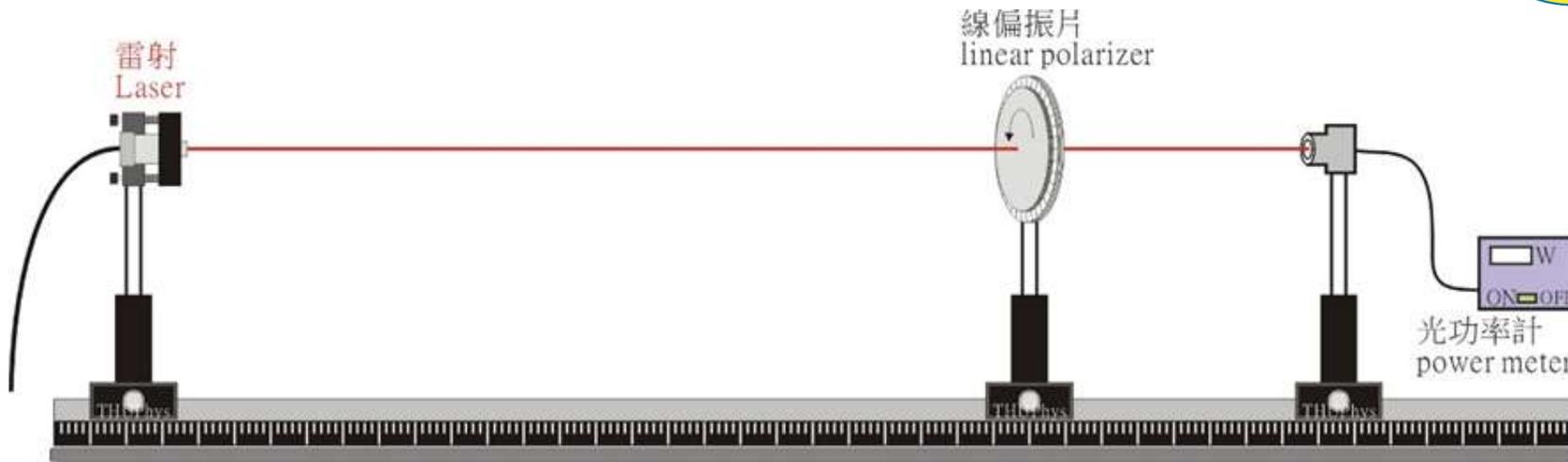
$$r_{TM} = 0$$

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

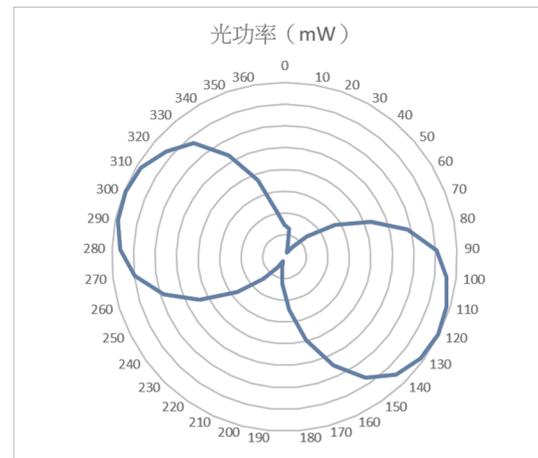
布魯斯特角



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

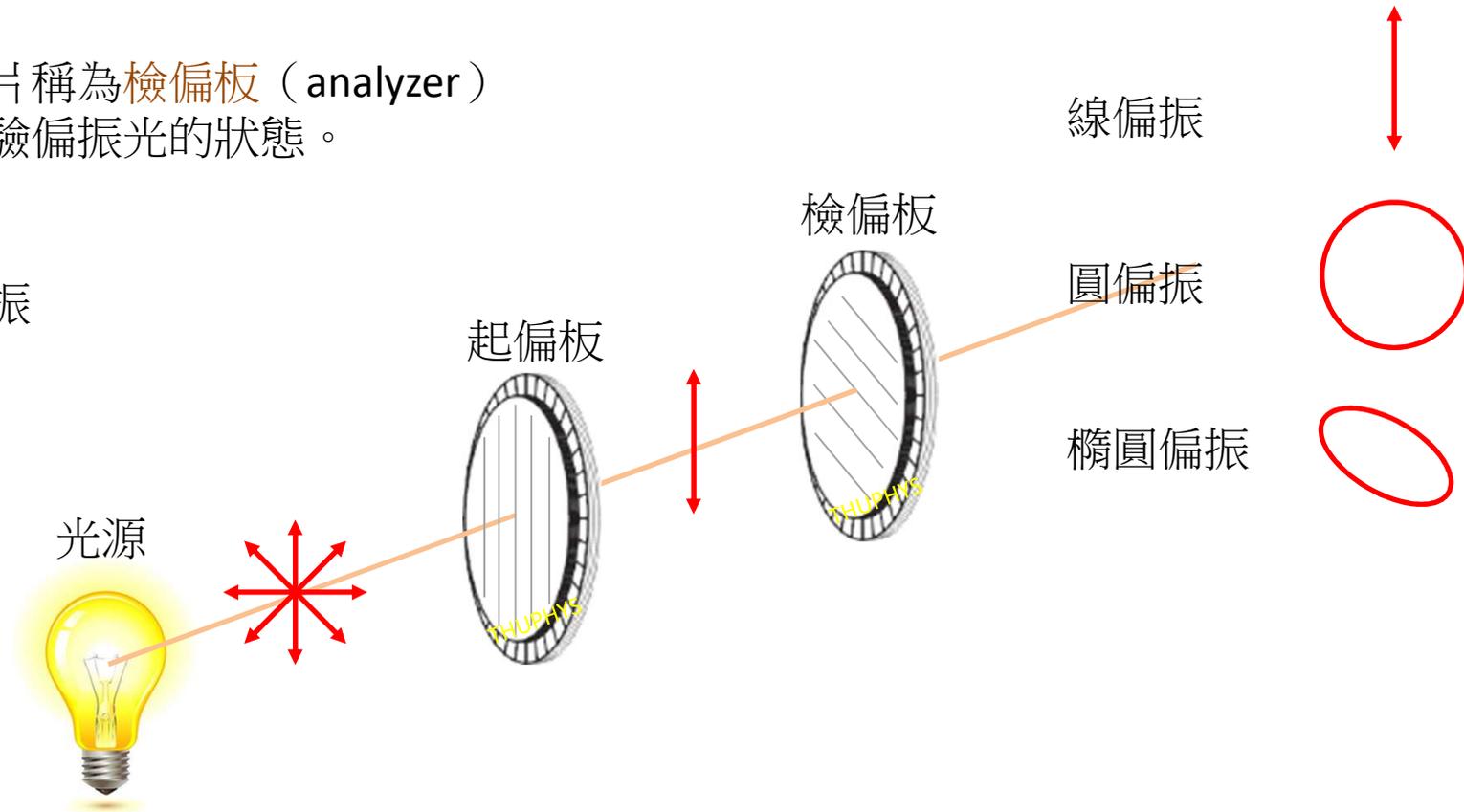
1-先將線偏振片轉一圈，記錄功率最小時的刻度，定義此刻度為角度90度。
2-轉到角度0度，角度每轉10度，記錄光功率值。(表格1)



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。

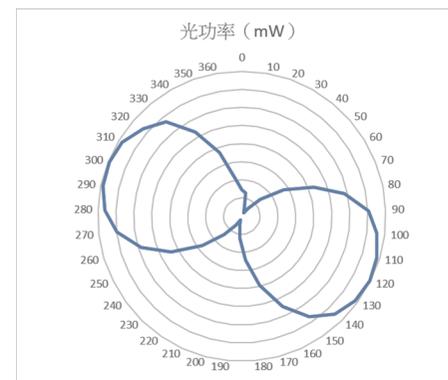
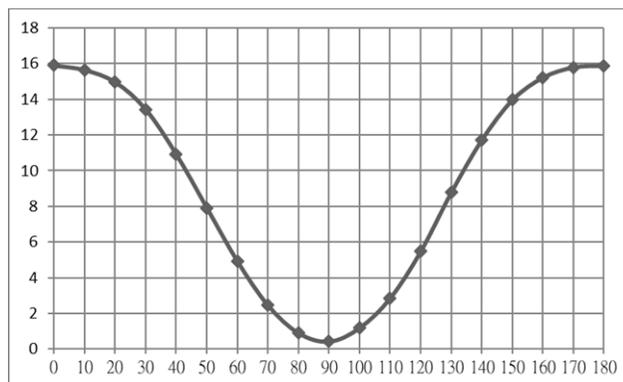
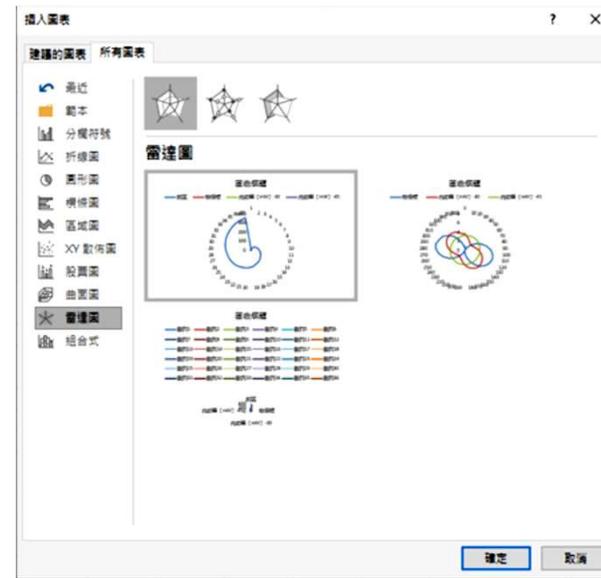
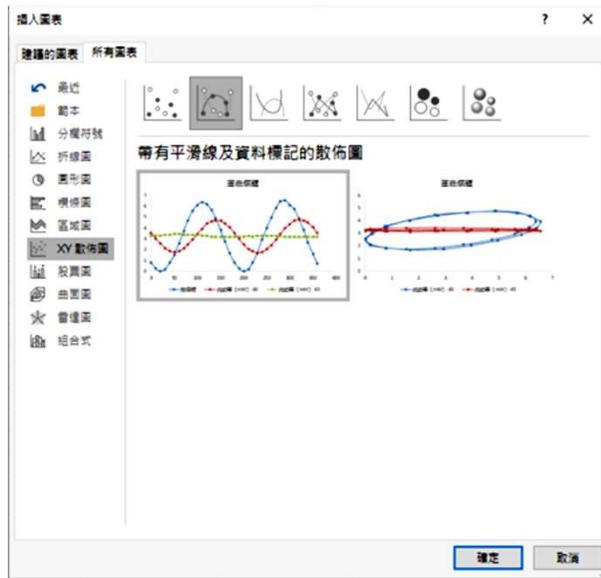
- 線偏振
- 圓偏振
- 橢圓偏振

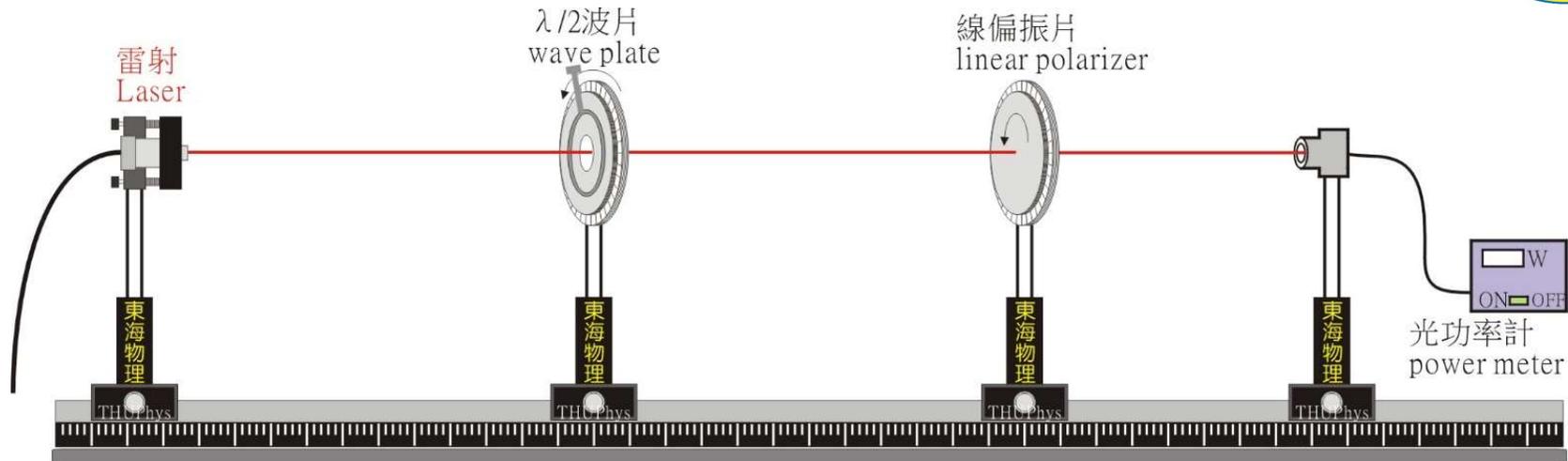




1) 雷射的偏振特性與Malus定律

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)

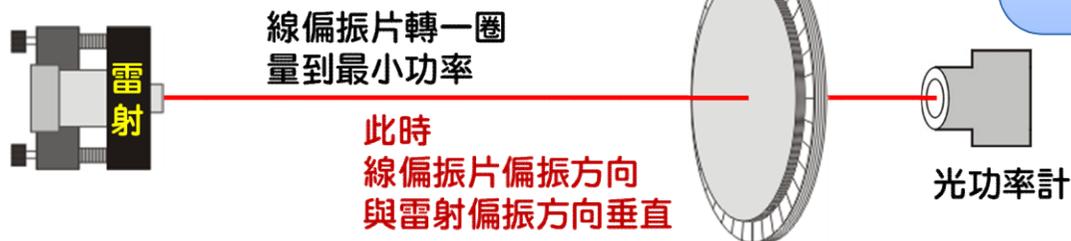
4-將 $\lambda/2$ 波片轉45度，旋轉線偏振片，角度每轉10度，記錄光功率值。(表格3)

【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！

雷射
偏振方向

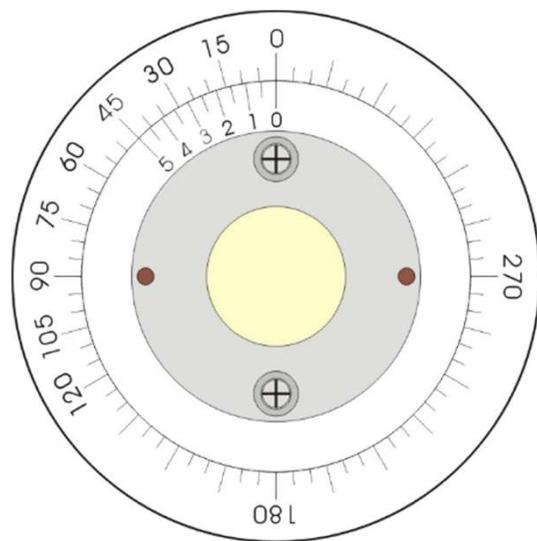
線偏振片
偏振方向

定義此時
線偏振片的
刻度為
角度90度



放入
 $\frac{1}{2}$ 波片

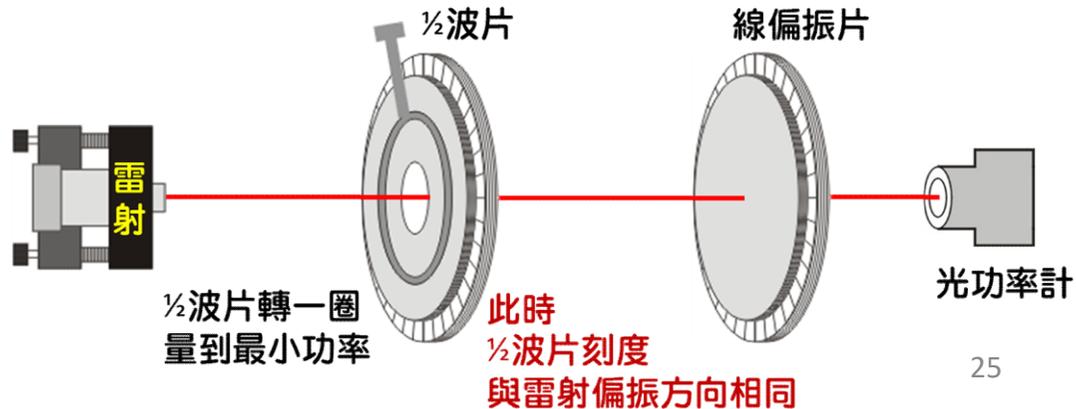
定義此時
 $\frac{1}{2}$ 波片
的刻度為
角度0度



雷射
偏振方向

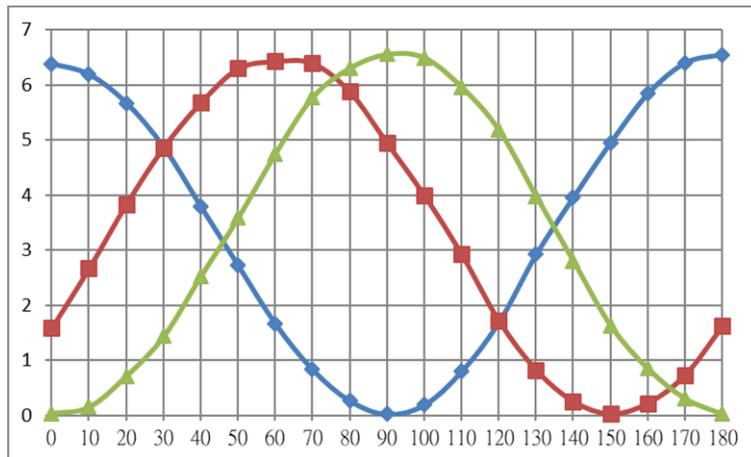
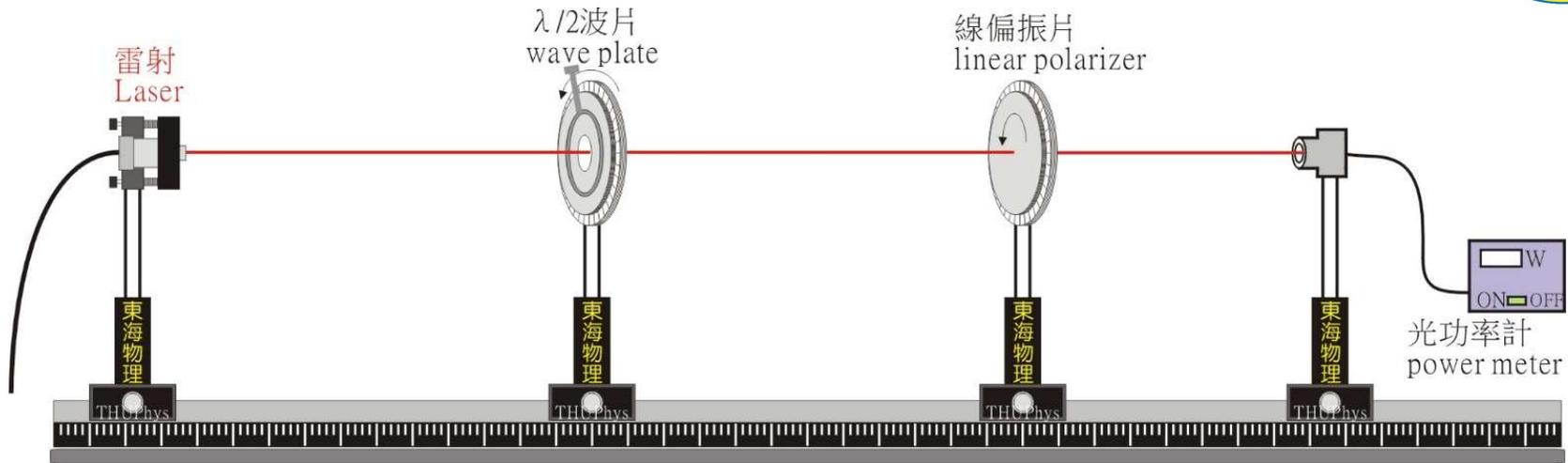
$\frac{1}{2}$ 波片
偏振方向

線偏振片
偏振方向

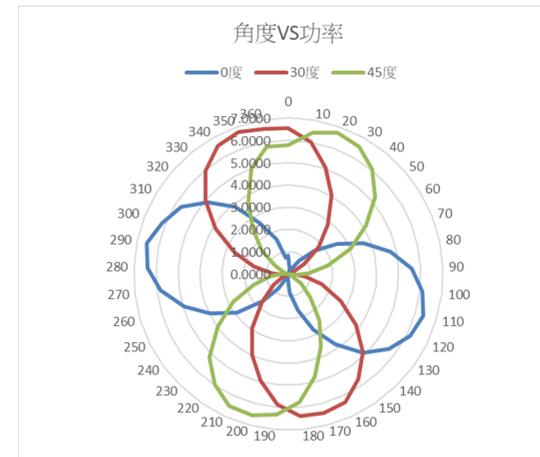


2) 偏振光控制元件 ($\lambda/2$ 波片與 $\lambda/4$ 波片) 之特性

$\lambda/2$ 波片



XY散佈圖
光功率vs角度

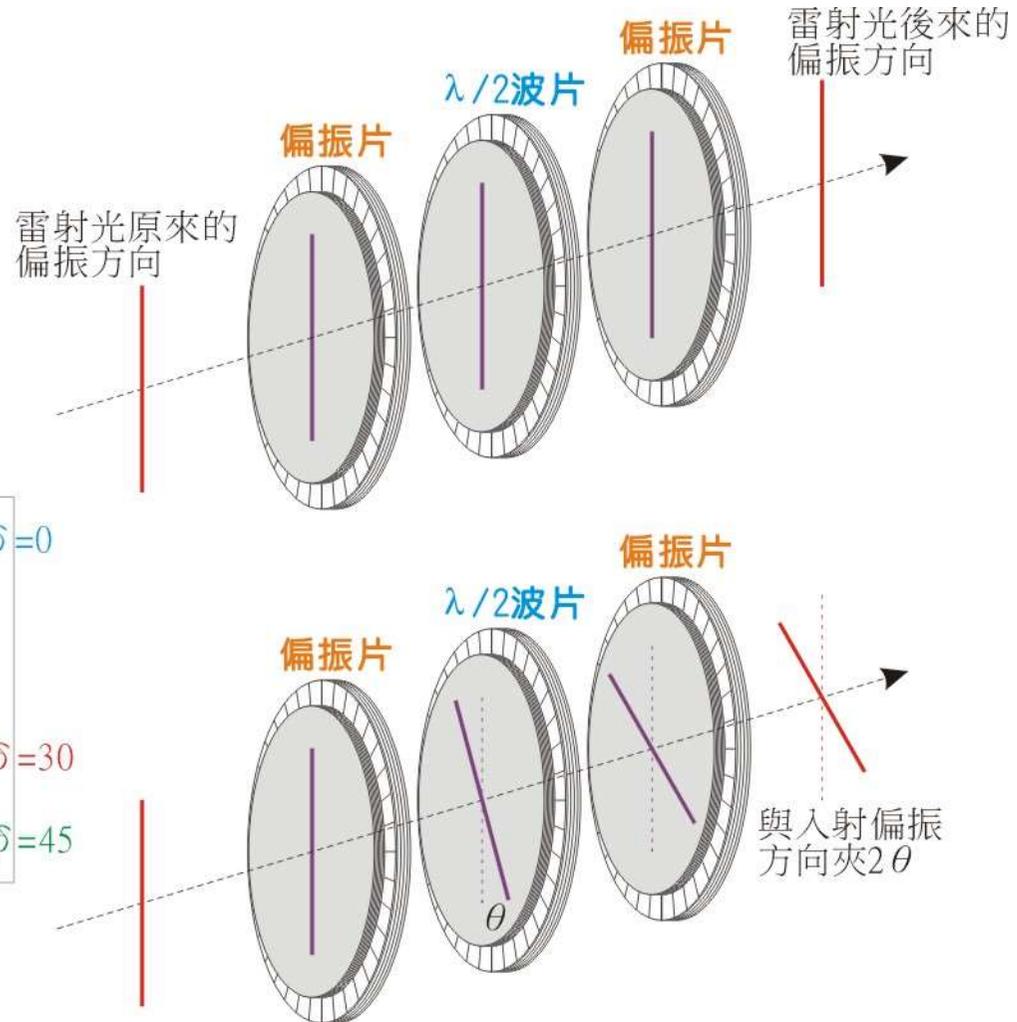
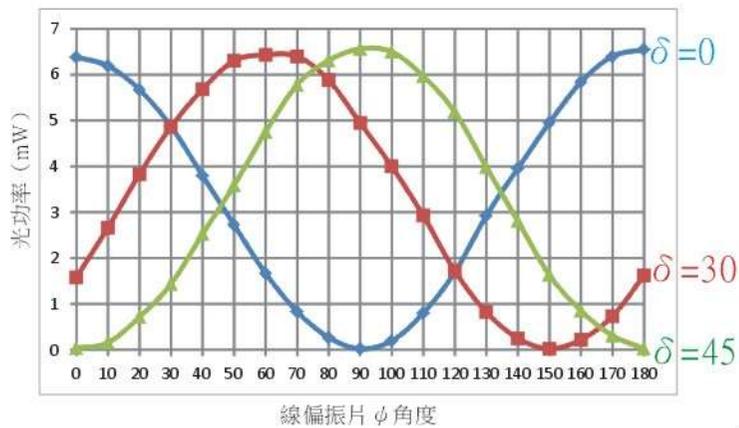


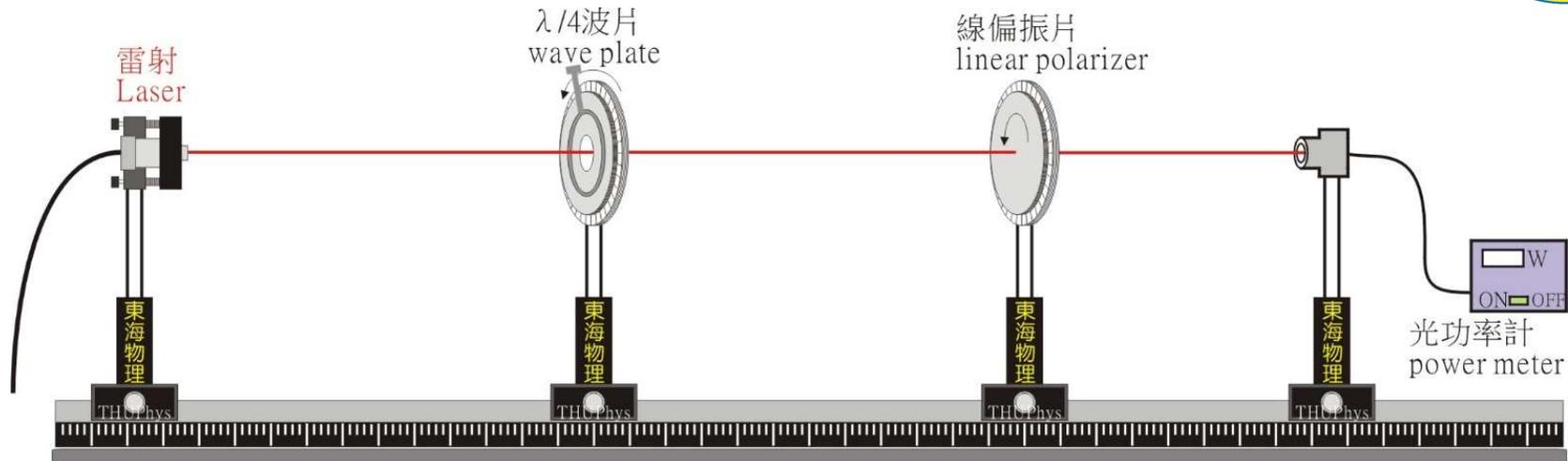
雷達圖
光功率vs刻度

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)

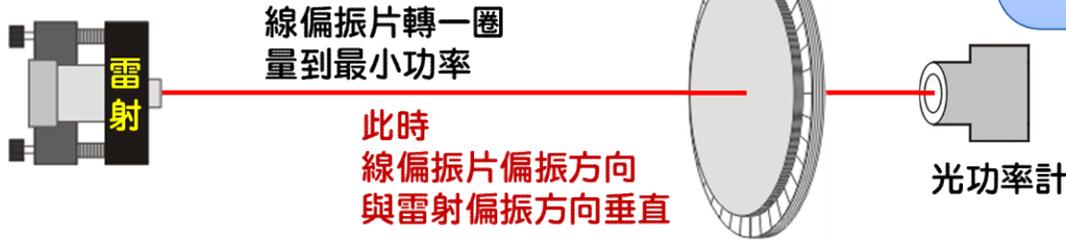
4-將 $\lambda/4$ 波片轉45度，旋轉線偏振片，角度每轉10度，記錄光功率值。(表格5)

【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

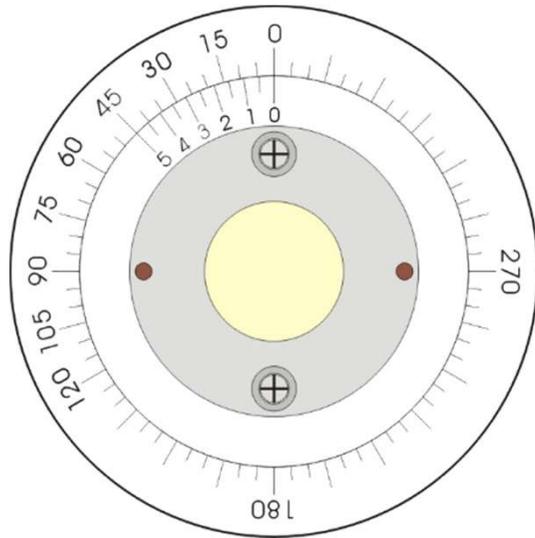
線偏振片
偏振方向

定義此時
線偏振片的
刻度為
角度90度



放入
1/4波片

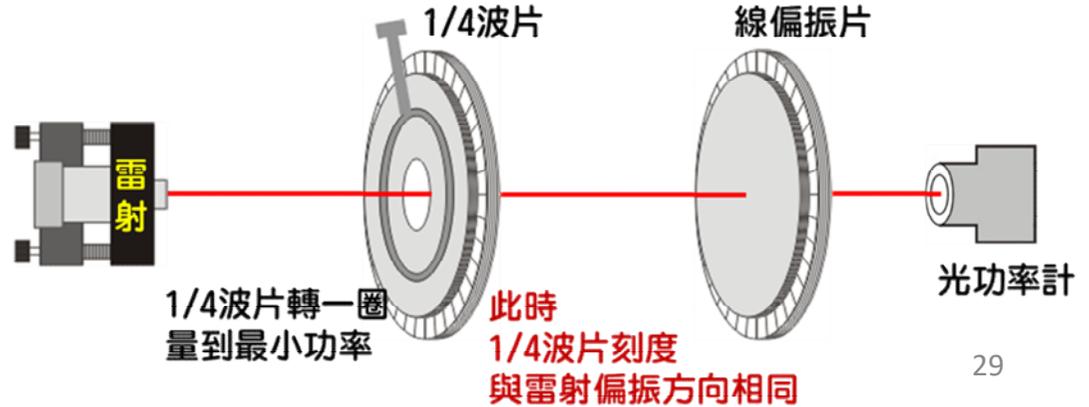
定義此時
1/4波片的
刻度為
角度0度



雷射
偏振方向

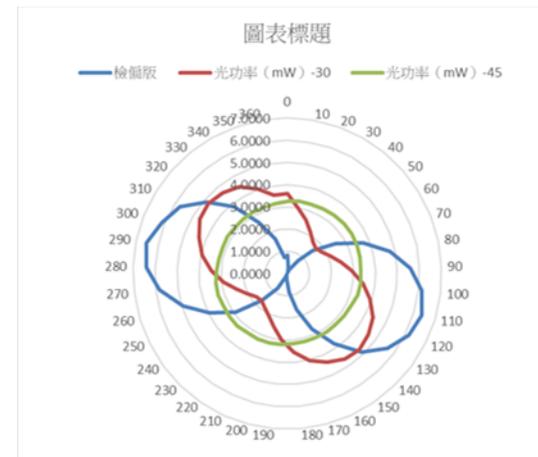
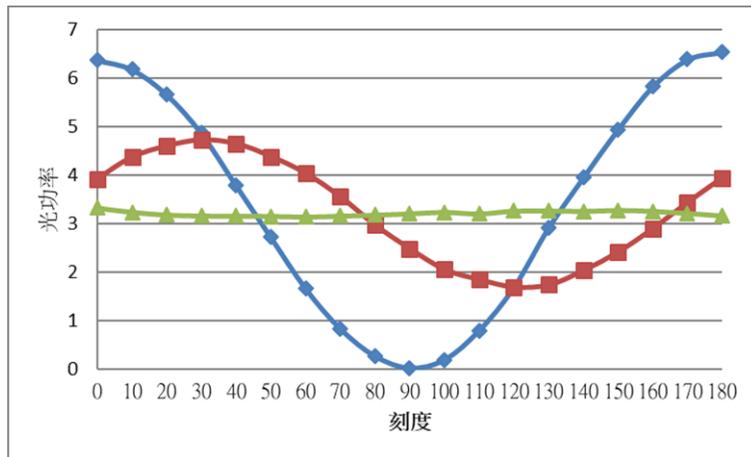
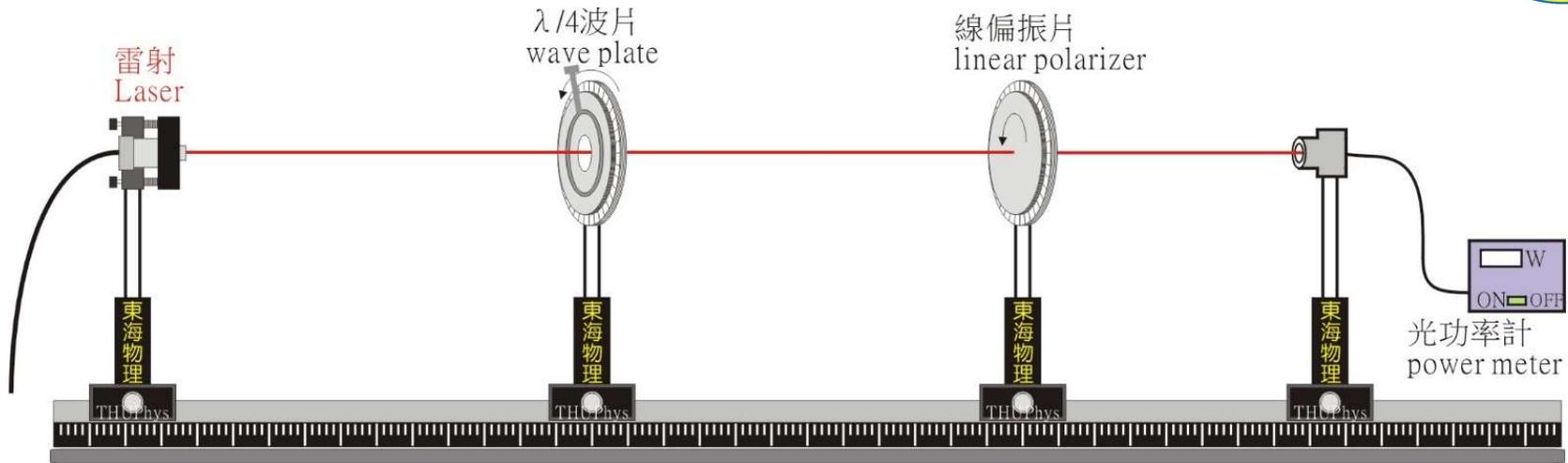
1/4波片
偏振方向

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

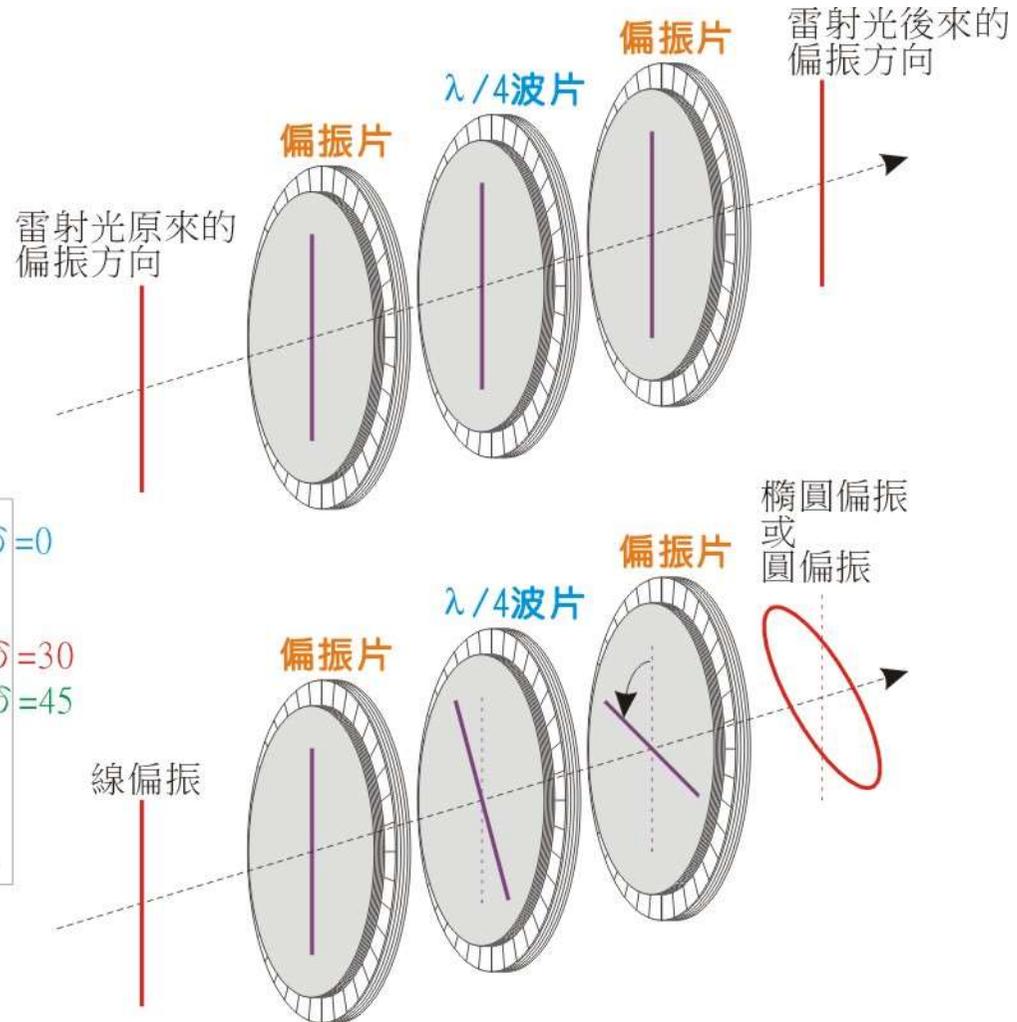
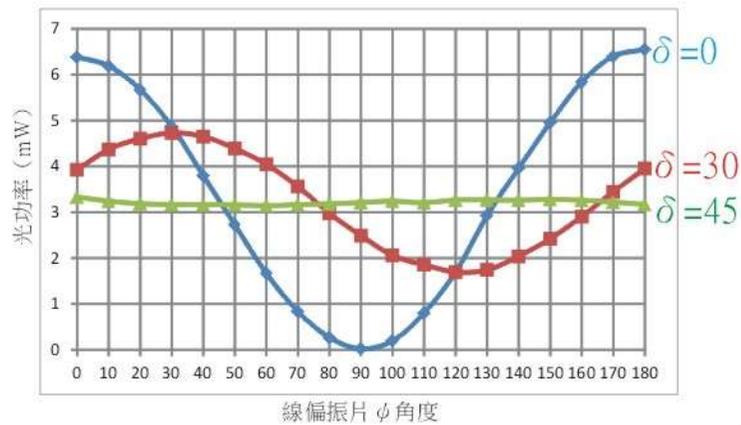
入射光是線偏振~

出射光有可能是

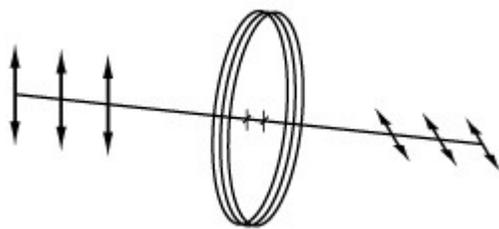
【線偏振】-與光軸同向

【橢圓偏振】

【圓偏振】-夾45度角



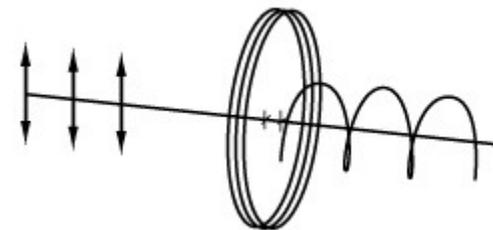
3) $\lambda/2$ 波片



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

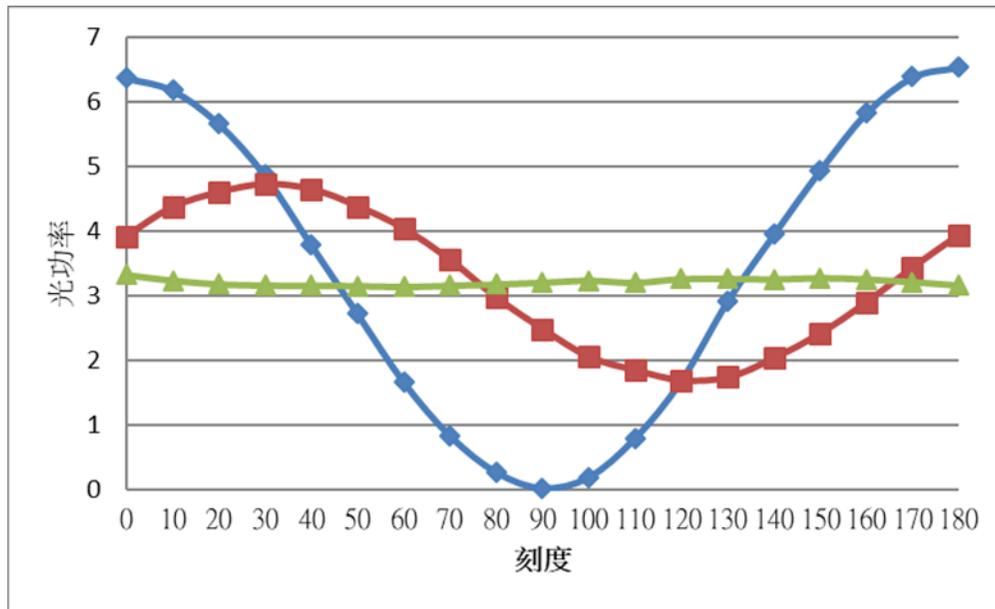
有一道偏振光入射，你手上只有一片線偏振片。

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？

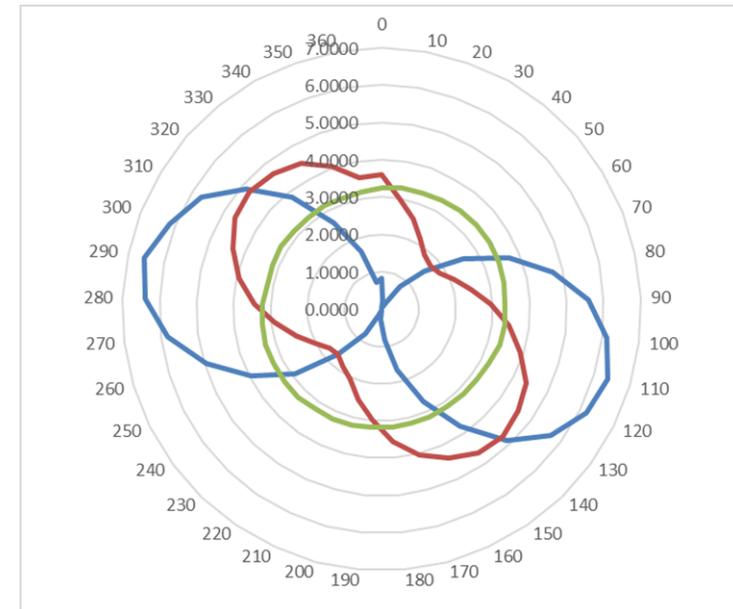
線偏振

圓偏振

橢圓偏振



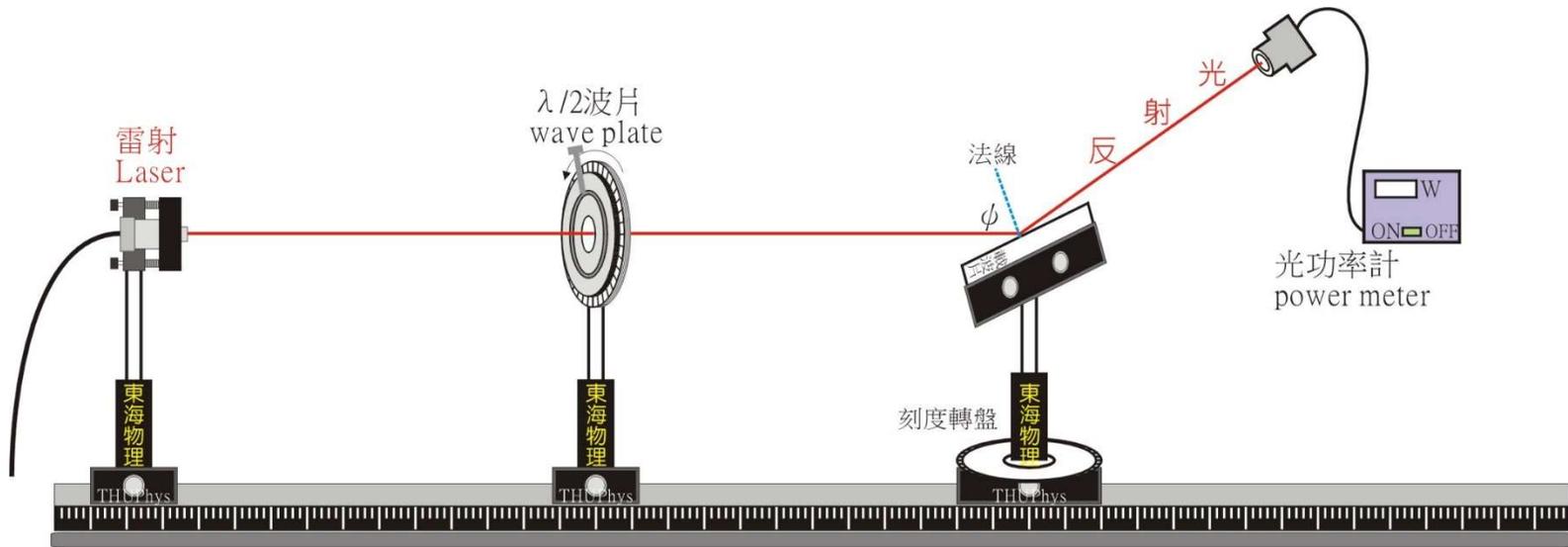
XY散佈圖
光功率vs角度



雷達圖
光功率vs刻度

5) 布魯斯特角

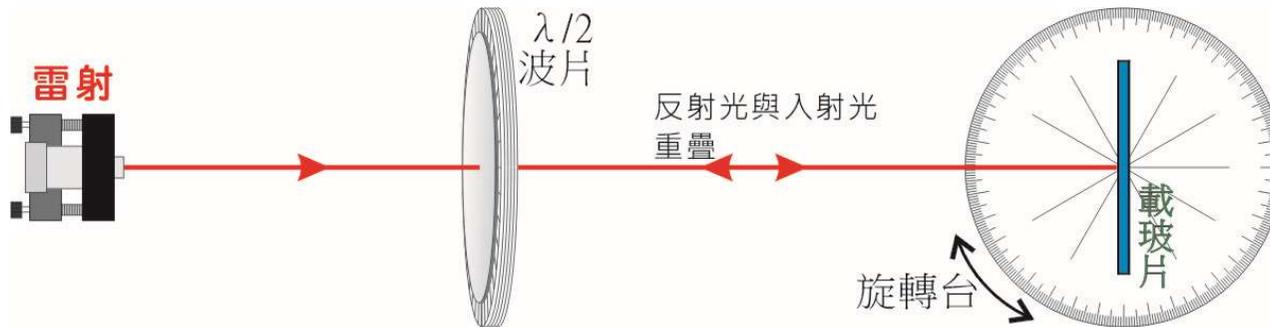
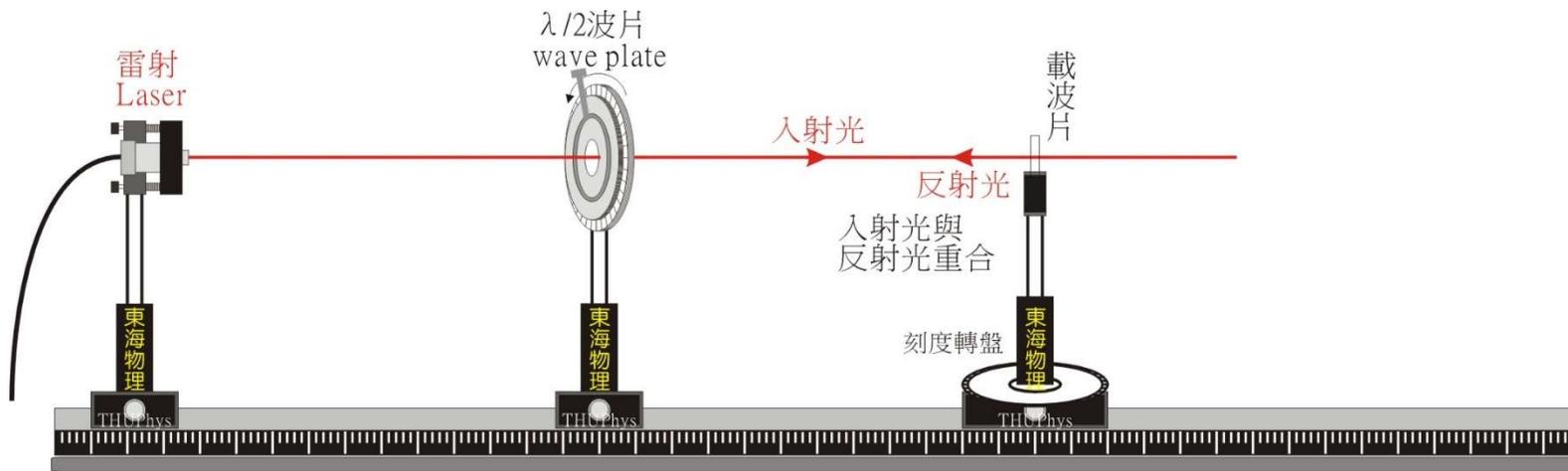
測量
反射光



1-入射光與反射光重疊
→角度 $\psi=0$ 度。

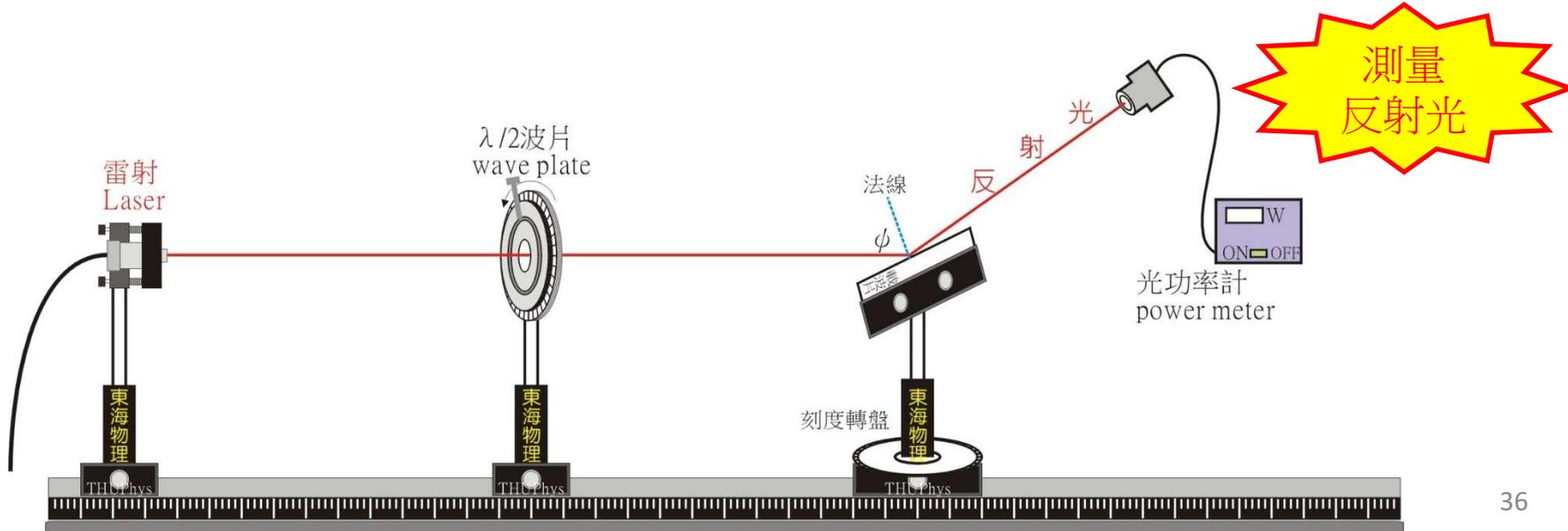
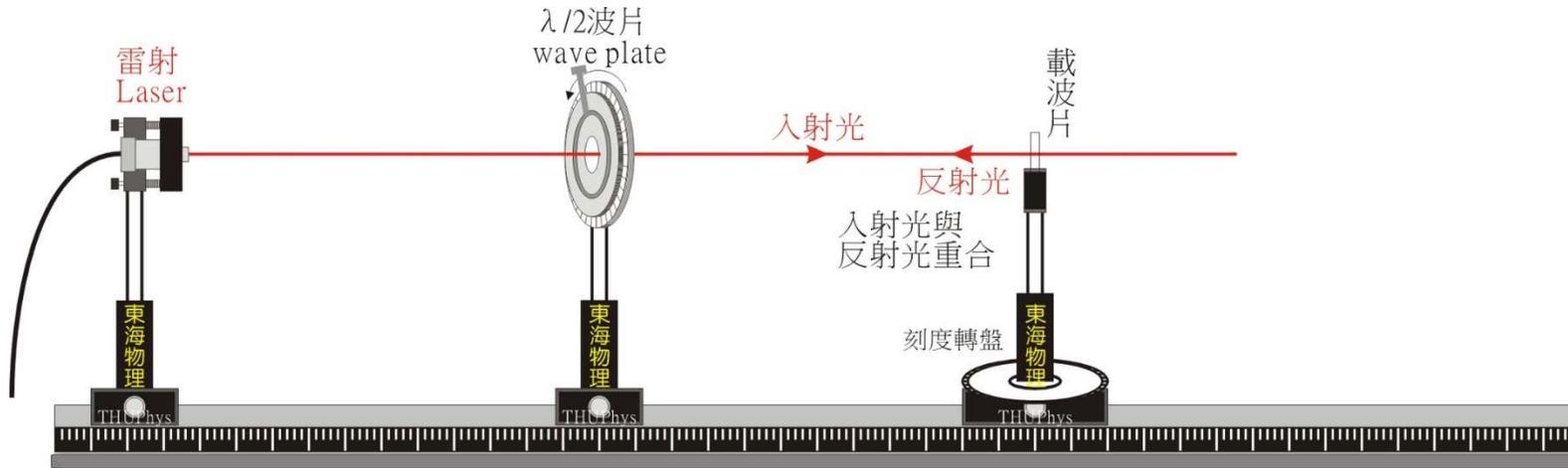
5) 布魯斯特角

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。



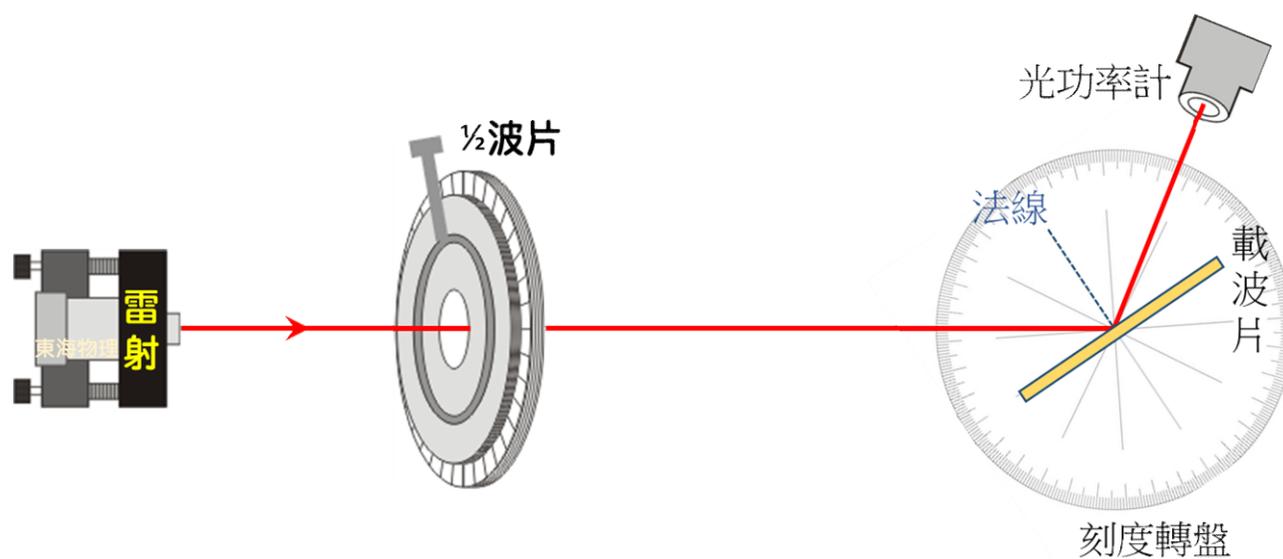
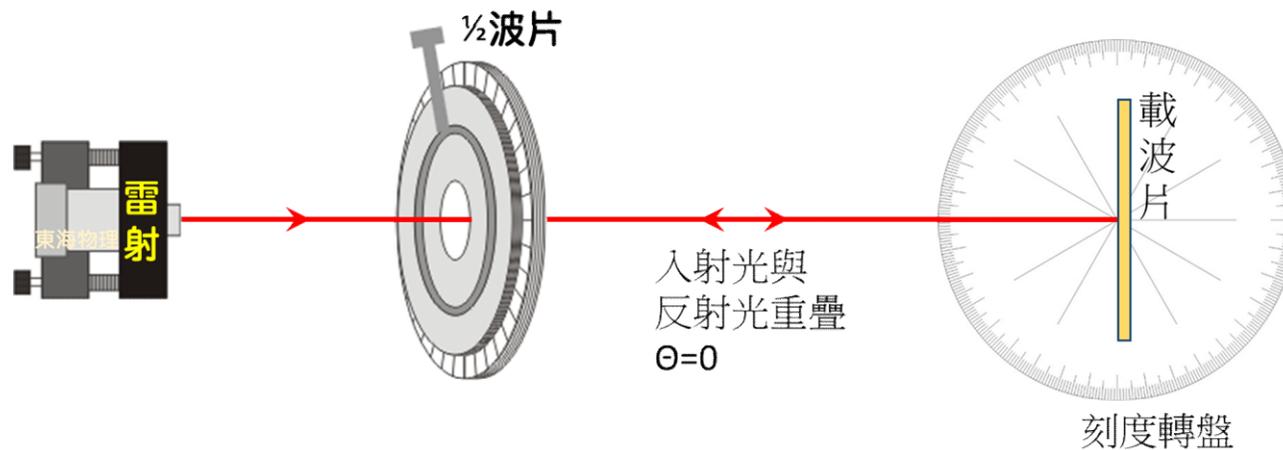
5) 布魯斯特角

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。



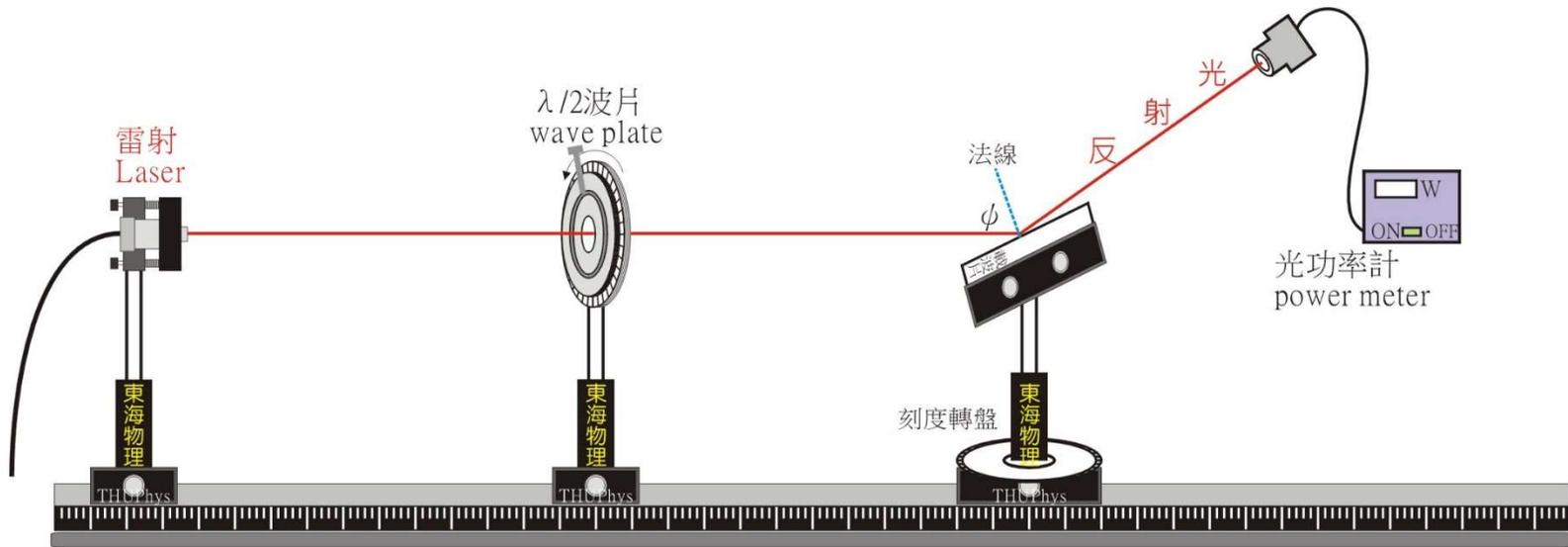
5) 布魯斯特角

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。

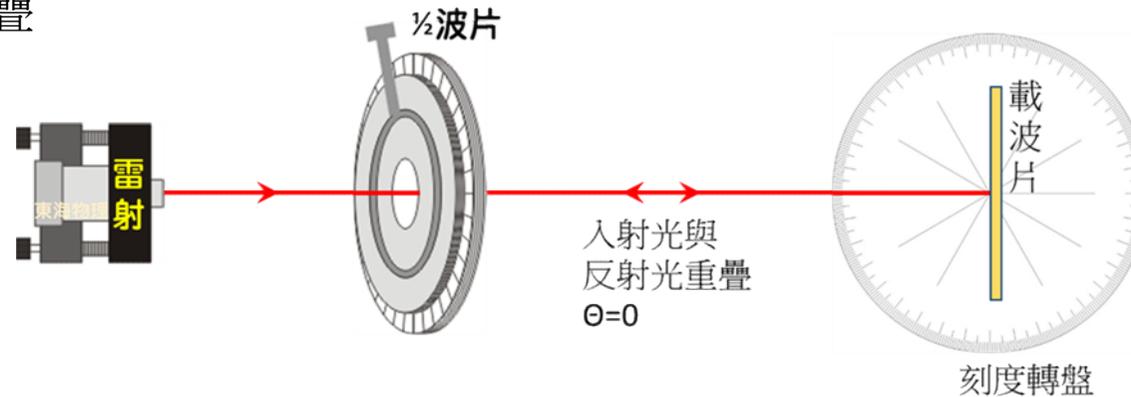


6) TE、TM

測量
反射光



1-入射光與反射光重疊
→角度 $\psi=0$ 度。



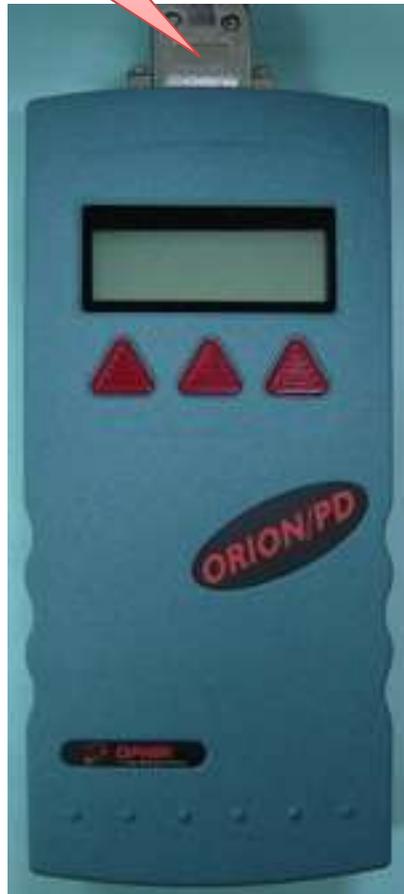
光功率計 (Power meter) gentec UNO



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)

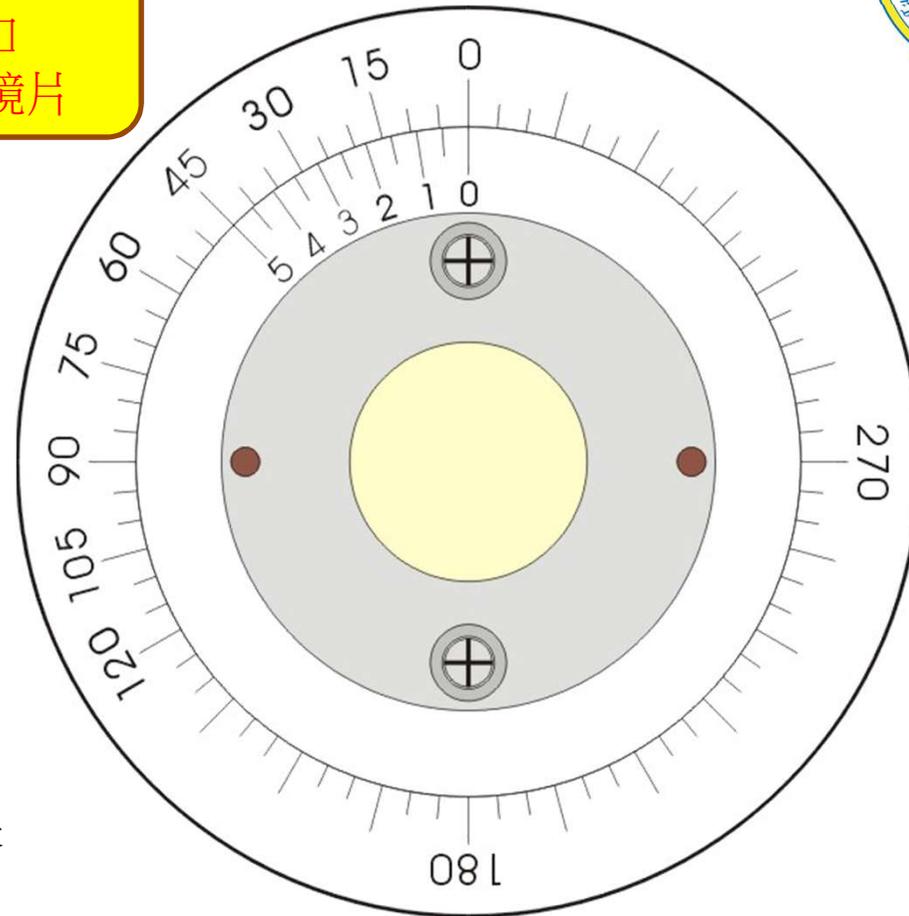


量測到功率最小時，選定一字母指向某一個刻度，該刻度定義為角度90度，再去計算相對角度。

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



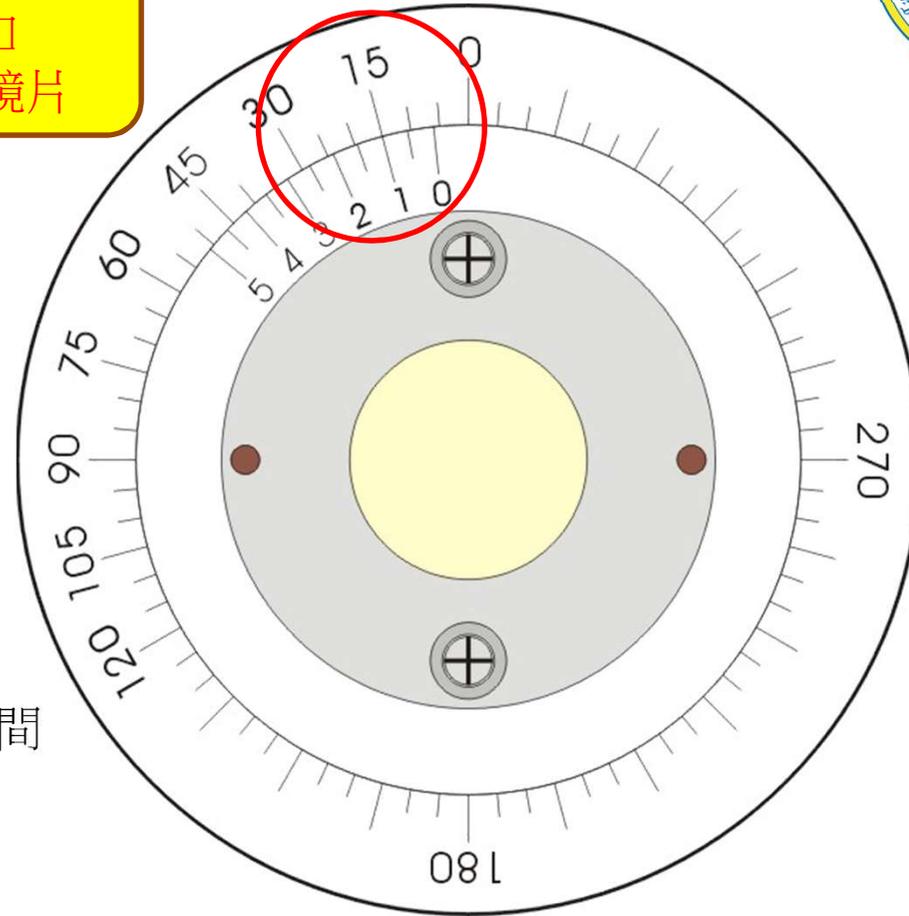
主尺角度0度與副尺0刻度對齊

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 $5+\Delta\theta$

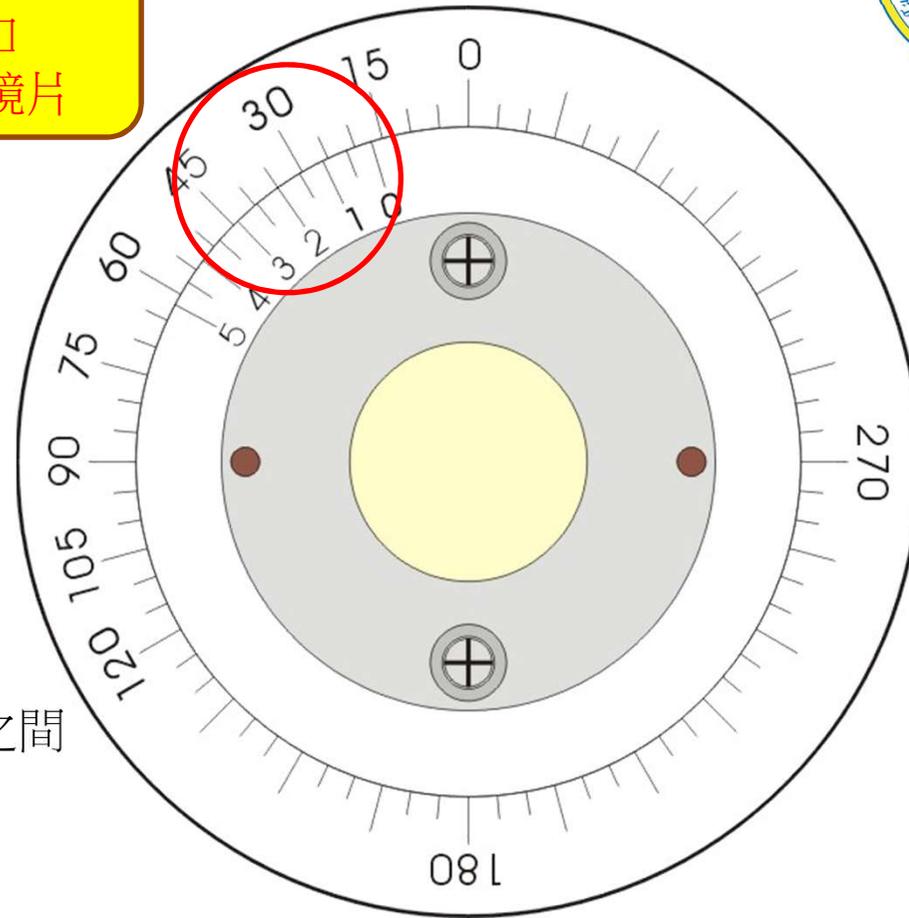
副尺1刻度與主尺15對齊

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”)

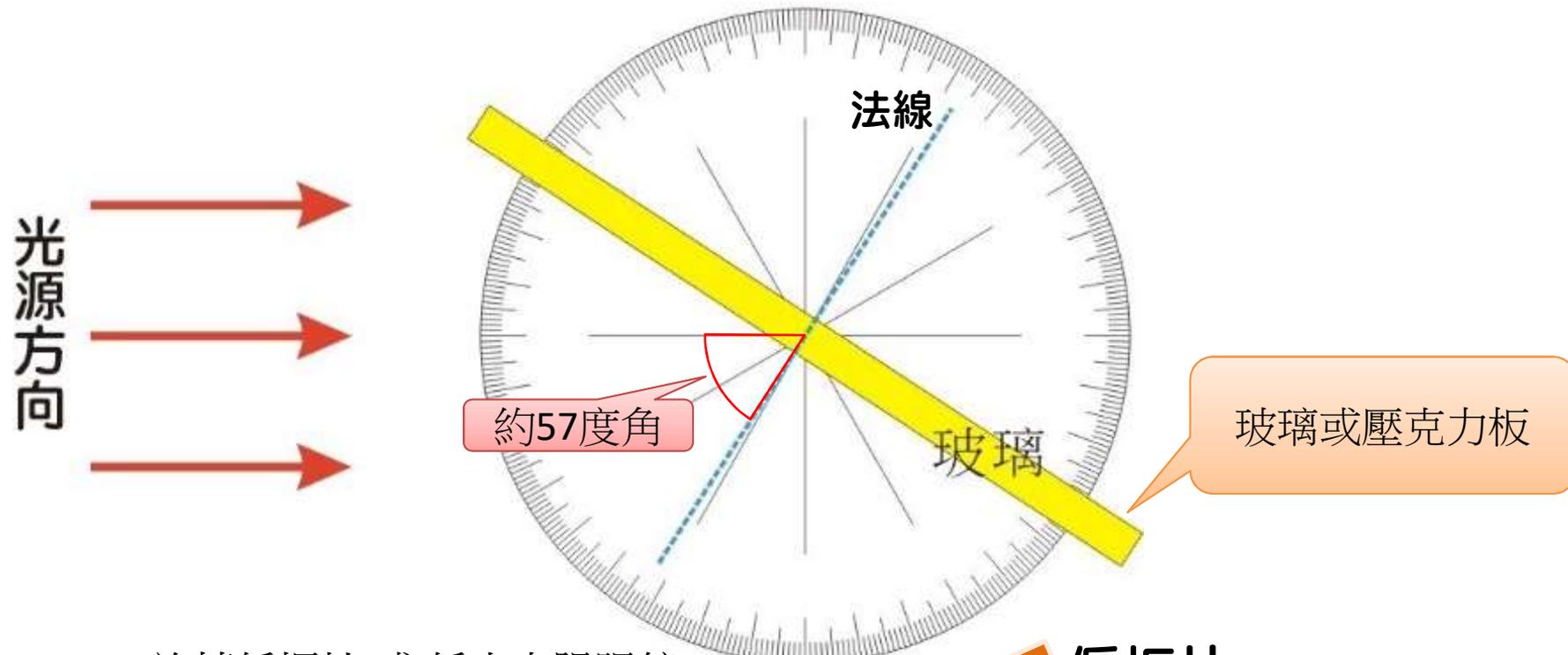


↑偏振方向水平，瓷磚地板反射的光線相當明顯。



↑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

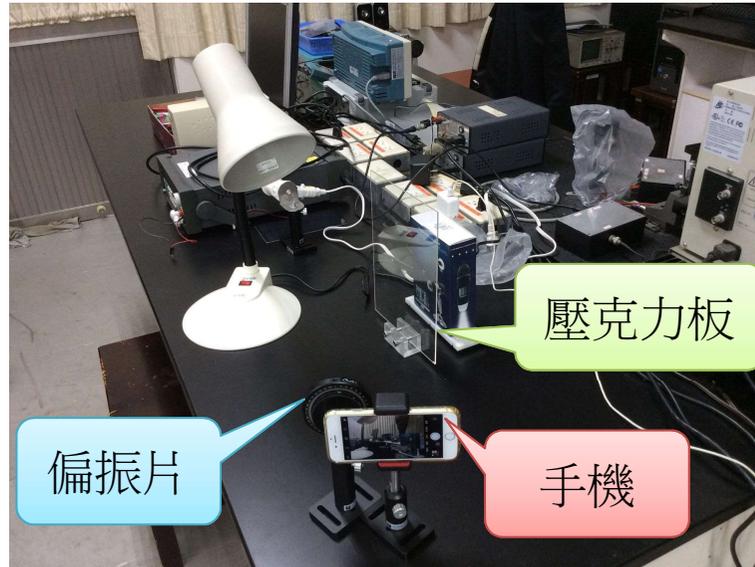


6) 偏光在生活中的應用



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

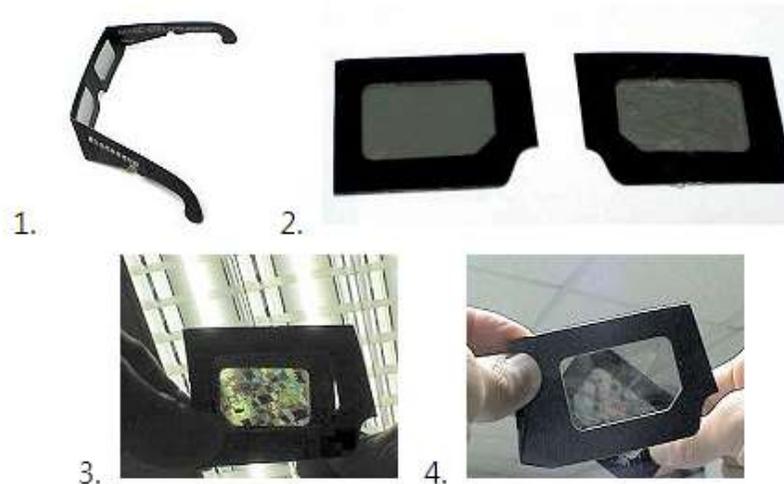
劇場簡介

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/>