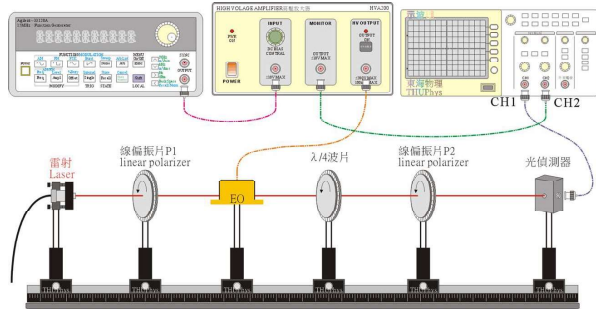
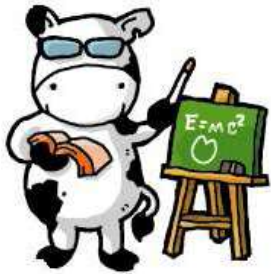


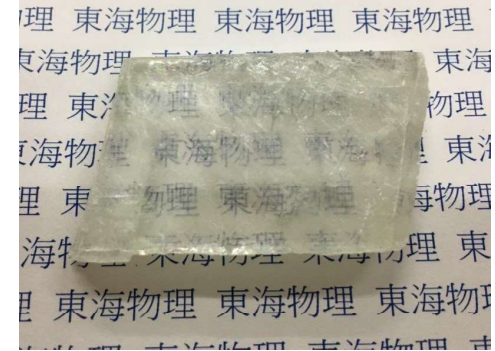
實驗6： E.O. 電光效應

Electro-Optic (EO) Modulation



光的雙折射現象

透過方解石 (CaCO₃) 看東西，會有疊影的現象。



雙折射現象-方解石

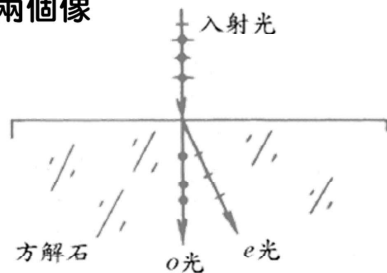
<http://lqcc.ustc.edu.cn/fwsun/Optics/6-01.pdf>



紅色箭頭經過方解石晶體後的兩個像

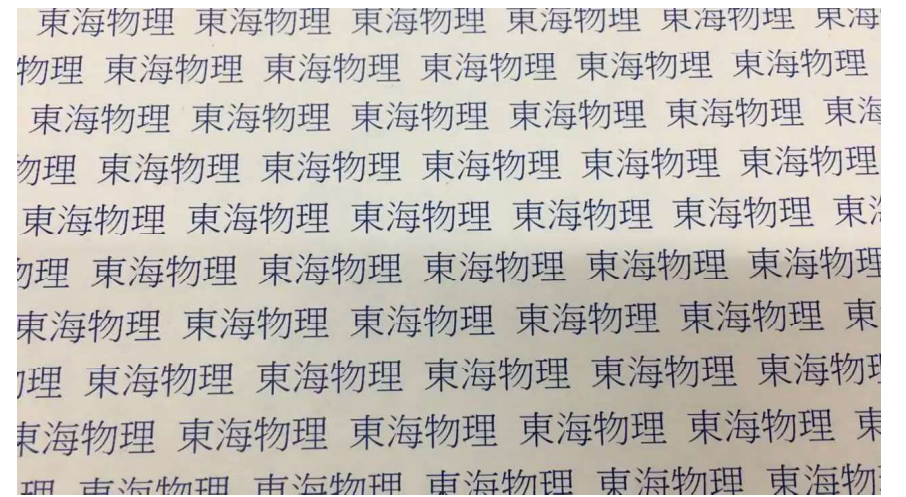
經過線偏振器後，o光的像

將線偏振器旋轉90度後，e光的像



雙折射現象-方解石

<https://youtu.be/jIY9INM0I-o>





光的雙折射現象

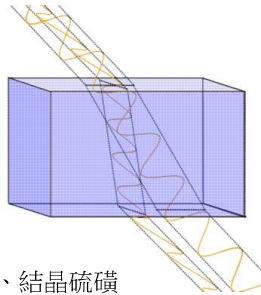
當光照射到**各向異性晶體**（單軸晶體，如方解石、石英、紅寶石等）時，發生兩個不同方向的折射：

其中一個遵守折射定律的稱為**o光**（ordinary ray、o-ray、尋常光），

另一束不遵從折射定律的稱為**e光**（extraordinary ray、e-ray、非常光），

這兩束光都是偏振光，偏振方向相互垂直。

所謂的**o-ray**和**e-ray**只在雙折射晶體的內部才有意義，光束離開晶體後，就沒有所謂的**o-ray**和**e-ray**了。



傳播速度（折射率）與入射光的偏極有關。



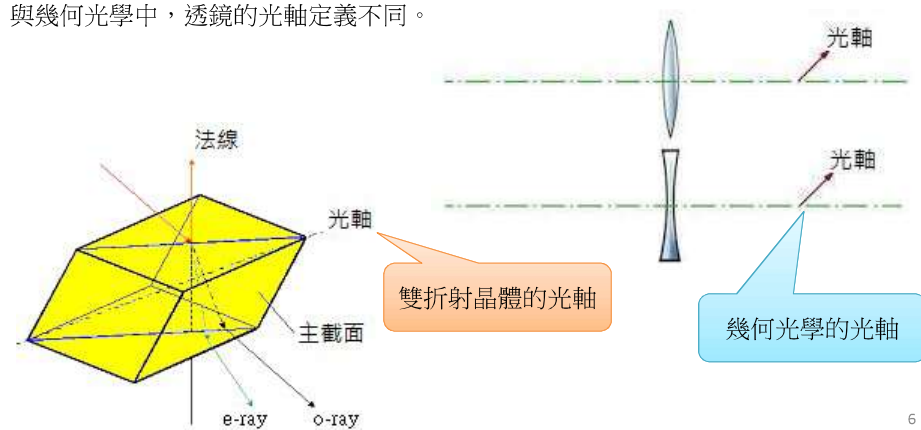
對於雙軸晶體（如雲母、藍寶石、結晶硫磺等），兩束光都不滿足折射定理。



雙折射晶體中有一定特定方向稱為**光軸**，當光線沿著此一特定方向入射晶體時，在此方向上所有偏極的傳播速度（折射率）都相同，即**o-ray**和**e-ray**不會分開。

在這裡，光軸指的是一特定方向，晶體中任何與此方向平行的直線都是光軸。

與幾何光學中，透鏡的光軸定義不同。

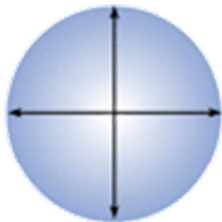


在折射率為 n 的**各向同性介質**中，一個點光源 P ，它發出的光波沿著各方向的傳播速度都一樣，

$$v = \frac{c}{n}$$

經過一段時間 Δt 後，所形成的波面為一個半徑為 $v\Delta t$ 的球面，我們稱它為**光線面**（ray surface）。

o 光波振面

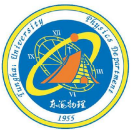
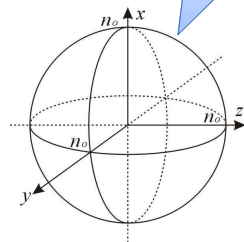


$$n = n_o$$

$$\frac{x^2}{n_o^2} + \frac{y^2}{n_o^2} + \frac{z^2}{n_o^2} = 1$$

球面方程式

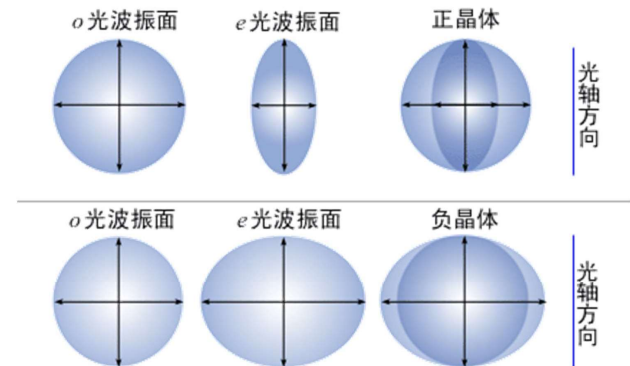
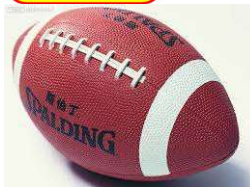
光線面是一個球面



在**各向異性介質**中，對於**o-ray**而言，因為它的傳播速度 v_o 不因方向不同而改變，因此它的光線面是一個球面；

對於**e-ray**而言，它的傳播速度 v_e 隨方向不同而改變，因此它的光線面是**以光軸為軸的旋轉橢球面**。

想像一下美式橄欖球的形狀





雙折射現象可以分成兩類

➤ 雙軸晶體

對於雙軸晶體，兩束光都不滿足折射定理。

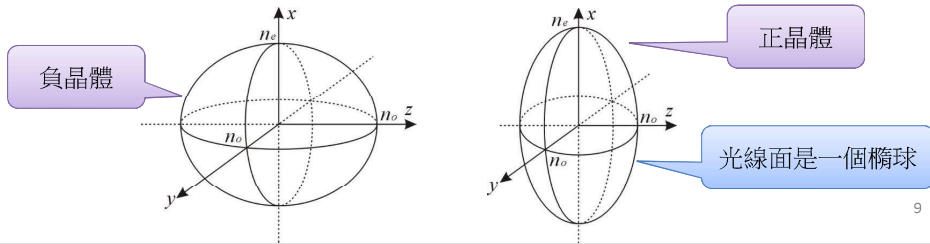
雙軸晶體的折射率橢球方程式：
$$\frac{x^2}{n_x^2} + \frac{y^2}{n_y^2} + \frac{z^2}{n_z^2} = 1$$

➤ 單軸晶體

單軸晶體的折射率橢球方程式：
$$\frac{x^2}{n_e^2} + \frac{y^2}{n_o^2} + \frac{z^2}{n_o^2} = 1$$

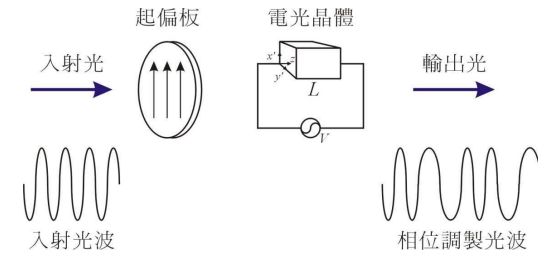
(a) 負晶體：以冰洲石為代表， $v_e > v_o$ ，即 e-ray 的波面是扁橢球。

(b) 正晶體：以石英為代表， $v_e < v_o$ ，即 e-ray 的波面是長橢球。

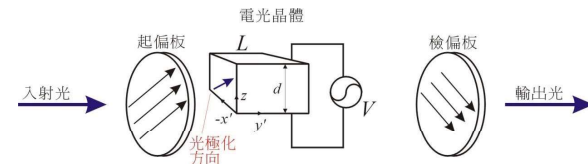


電光調制器是利用電場改變電光晶體晶格的排列，來調制光的電場方向（偏振方向），依用途可分下列兩種：

➤ 相位調制器（Phase Modulator）

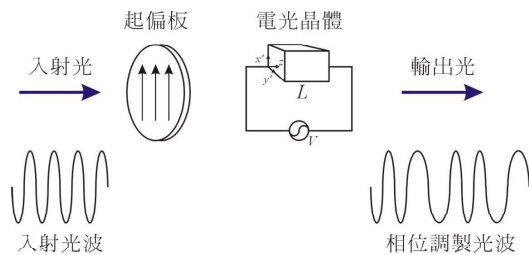


➤ 振幅調制器（Amplitude Modulator）



➤ 相位調制器（Phase Modulator）

現舉 KDP 晶體為例，假設有一 Z 軸切割之 KDP 晶體，其光軸為 Z 軸（如圖），長度為 L；在和 x 和 y 軸的寬度和高度分別為 W 和 d。



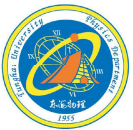
實驗室所使用的是 KDP 晶體

Z 軸為光前進的方向

若在 z 軸上加一電壓 E_z ，則由理論之推導可得其折射率橢球方程式為：

$$\frac{x^2}{n_x^2} + \frac{y^2}{n_y^2} + \frac{z^2}{n_z^2} + 2r_{63}E_zxy = 1$$

(r_{63} 為該材料之電光係數)



若將座標適當地旋轉（ 45° ），則化簡後可得：

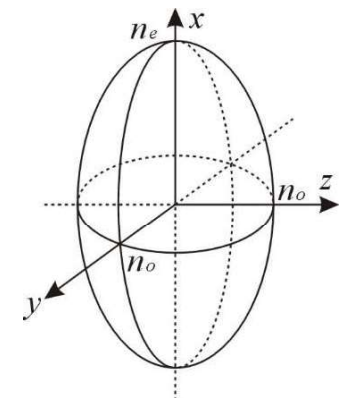
$$\frac{x'^2}{n_x'^2} + \frac{y'^2}{n_y'^2} + \frac{z'^2}{n_z'^2} = 1$$

雙軸晶體的折射率橢球方程式：

$$\frac{x^2}{n_x^2} + \frac{y^2}{n_y^2} + \frac{z^2}{n_z^2} = 1$$

單軸晶體的折射率橢球方程式：

$$\frac{x^2}{n_e^2} + \frac{y^2}{n_o^2} + \frac{z^2}{n_o^2} = 1$$

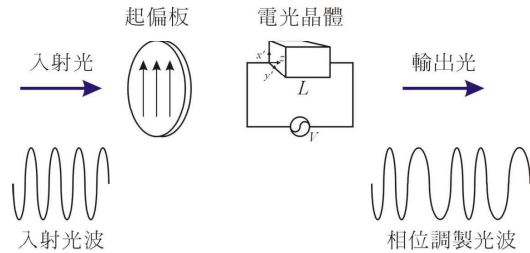




➤ 相位調制器 (Phase Modulator)

若將座標適當地旋轉 (45°)，則化簡後可得：

$$\frac{x'^2}{n_x'^2} + \frac{y'^2}{n_y'^2} + \frac{z'^2}{n_z'^2} = 1$$



現在，假設入射光沿 z 軸方向入射 (與加電場方向相同，稱為縱向調變 longitudinal modulation)，則由折射橢球，其兩個特徵平面波對應的折射率分別為 n_x' 和 n_y' ，所以經一段距離 L 後，其相位差 Γ 為：

$$\Gamma = k_0 L (n_o^3 r_{63} E_z) = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o^3 r_{63} V)$$

入射光的偏振可以用一偏振片控制。若偏極平行 x' 軸或 y' 軸，經過此加電場之電光晶體，其相位將隨著外加電場而變，稱為相位調變 (Phase modulation)

外加電場固定，相位固定。



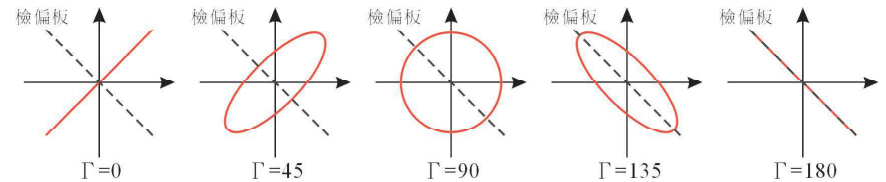
➤ 相位調制器 (Phase Modulator)

若入射光為 45° 偏極，兩個特徵平面波有相位差時，兩者就不再同相，因此其偏振的軌跡會是橢圓形，因此稱為橢圓偏振。

特別的是，如果當 $\Gamma = \frac{\pi}{2}$ 時，則橢圓形會變成圓形，成為圓偏振。

當 $\Gamma = \pi$ 時，兩個波的偏振剛好相反所以雖然是線偏振，只是其偏振方向轉 90 度。

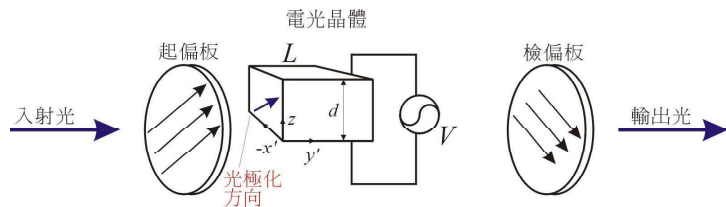
$\Gamma = \pi$ 時所須之電壓為 $V_{\lambda/2}$ (稱為 $\lambda/2$ 電壓)，亦可寫成 V_π ， $V_{\lambda/2}^l = \frac{\lambda}{2n_o^3 r_{63}}$ 。



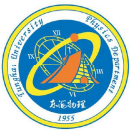
➤ 振幅調制器 (Amplitude Modulator)

若入射光行進方向與所加之電場方向垂直，稱為橫向調變 (transverse modulation)，如圖所示，光入射方向 y' ，其極化方向在 $x'z$ 平面上且與 z 軸夾 45°，則經一段距離後，其相位差為：

$$\Gamma = k_0 L \left[n_e - n_o + \frac{n_o^3}{2} r_{63} E_z \right] = k_0 L (n_e - n_o) + \frac{\pi L}{\lambda_0 d} n_o^3 r_{63} V$$



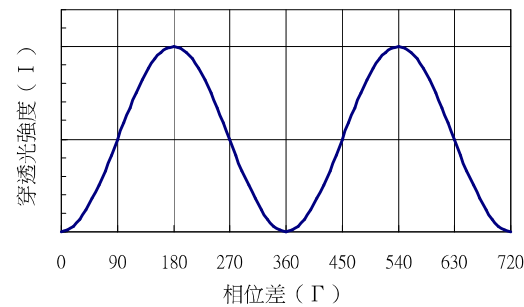
欲達相位差為 π 所須之電壓 $V_{\lambda/2}^l = 2V_{\lambda/2}^l \left(\frac{d}{L} \right)$



➤ 振幅調制器 (Amplitude Modulator)

在實際的運用中，通常再加一起偏板和一檢偏板，使其輸出成為振幅調變，如圖5所示，我們可證明當雙折射晶體夾在兩個互為垂直的線偏極板時 (即 $P1 \perp P2$)，其穿透光強度為：

$$I = I_0 \sin^2 \frac{\Gamma}{2}$$

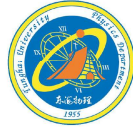


I_0 為入射光強度。因為在橢圓偏振時，只有其中一個分量的功率可以通過檢偏板。當 V 是交流三角波 ($S(wt)$) 時， Γ 隨著時間而變化，也就是橢圓的形狀隨時間變化。

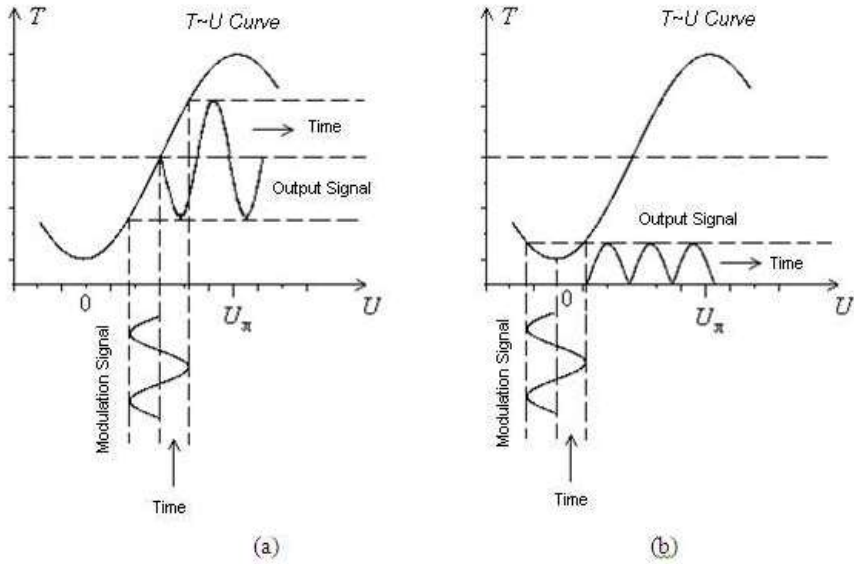
因此公式 I 的輸出功率會隨時間改變，形成振幅調變

$$I = I_0 \sin^2 \left[\frac{\pi V}{V_\pi} S(wt) \right]$$

若 $\Gamma=0$ (或 180) 附近使 Γ 產生小小的變動，即是調制，所以 I 值的變化不大。若是使 $\Gamma=90$ 度 (或 270)，則 I 的調制就會表現的較明顯。



➤ 振幅調制器 (Amplitude Modulator)



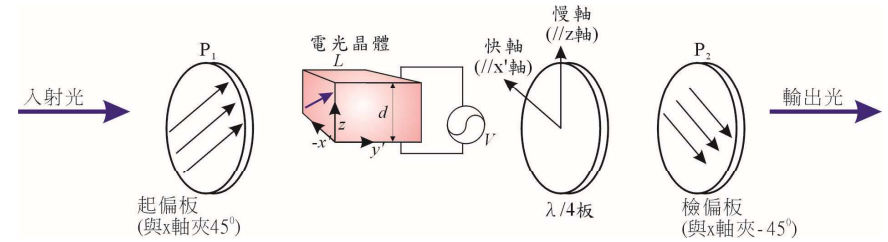
➤ 振幅調制器 (Amplitude Modulator)

調變器通常加一個 $V_{\pi/2} + V \cdot S(\omega t)$ ，使相位有一個 $\pi/2$ 的平移，

$\Gamma = \frac{\pi}{2} + \pi \frac{V}{V_{\pi}} S(\omega t)$ ，使操作點移至中間較直線部份，以便使失真減至最小，其

輸出光強為 $I = I_0 \sin^2 \left[\frac{\pi}{4} + \frac{\pi V}{V_{\pi}} S(\omega t) \right]$ 。產生 $\pi/2$ 相位平移的方法可以用一個 $\lambda/4$

波片取代 $V_{\pi/2}$ ，如圖所示。



實際實驗操作



儀器架設(一)：

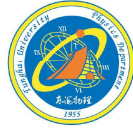
1-對光

將雷射打入光偵測器，確定訊號最強。

確定此時示波器顯示的光訊號最強！

CH1耦合設定為DC



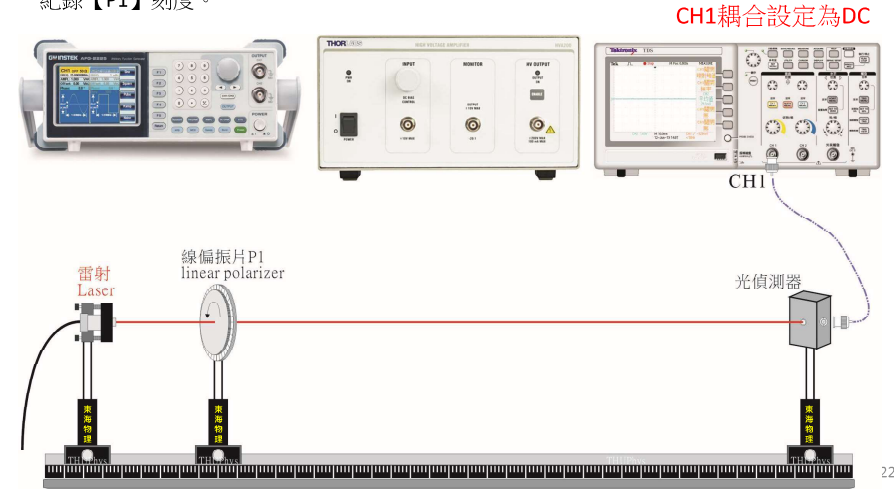


Detector (光偵測器)



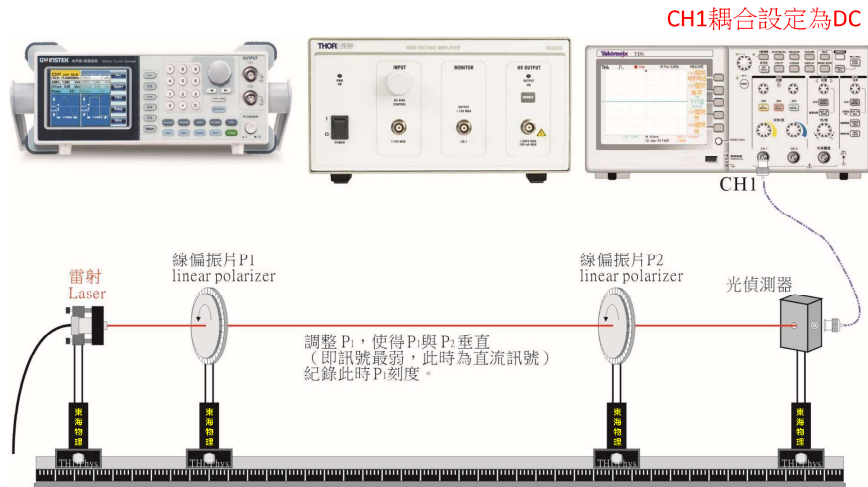
儀器架設(一):
2-放偏振片 P1

放入偏振片(P1), 旋轉P1, 使得訊號最弱。
此時【雷射偏振】與【P1】垂直。
【P1】轉90度, 使得【雷射偏振】與【P1】平行。
紀錄【P1】刻度。



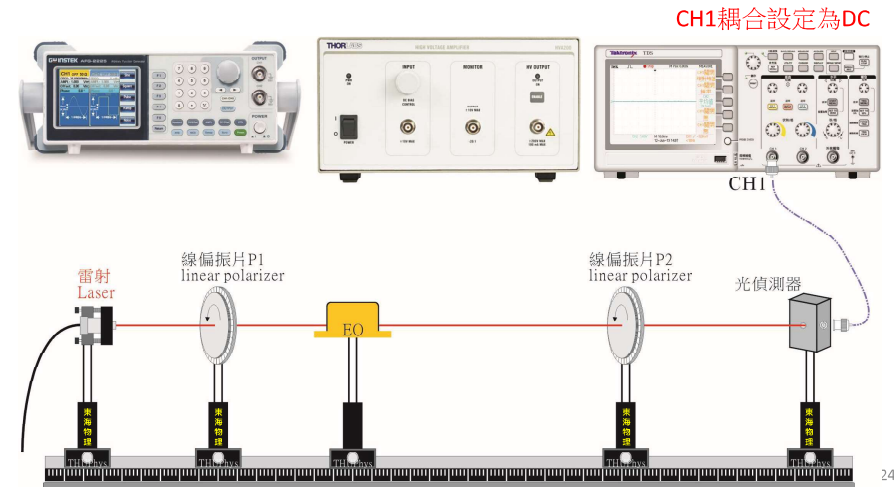
儀器架設(一):
3-放入偏振片 P2

放入偏振片(P2), 旋轉P2, 使得訊號最弱。
此時【P1】與【P2】垂直。【雷射偏振】與【P1】平行。
紀錄P2刻度。



儀器架設(一):
4-放入電光晶體 EOM

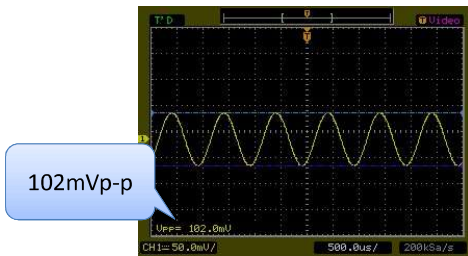
放入電光晶體 EOM, 調整 EOM, 使得訊號維持最弱。





儀器架設(二)：確認放大器放大倍率

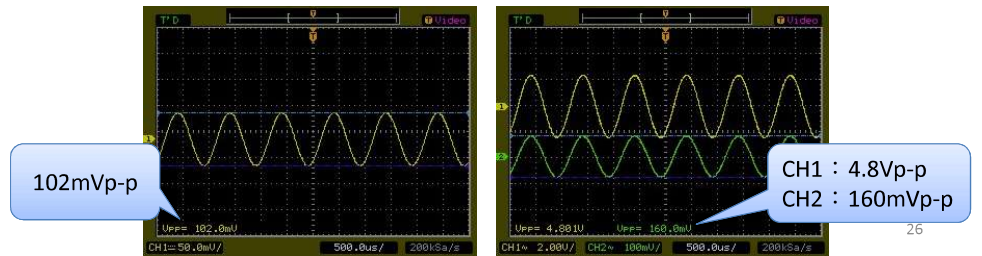
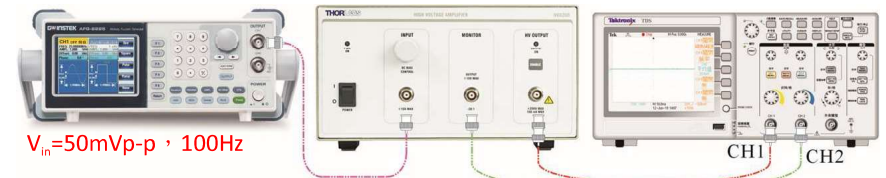
1-將【訊號產生器】輸出接到【示波器CH1】
存圖，要有measure



儀器架設(二)：確認放大器放大倍率

2-將【訊號產生器】輸出接到【高壓放大器輸入】
高壓放大器 monitor接到示波器CH1
高壓放大器 高壓輸出接到示波器CH2
存圖，要有measure。

高壓放大器有換新儀器
請用自己的數據去計算放大倍率

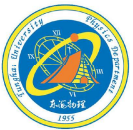


高壓放大器
High Voltage Amplifier
HVA200

放大倍率20倍

DC BIAS CONTROL旋扭：
利用DC BIAS CONTROL能提供
(200V) ~ (-200V) 的直流電壓

ENABLE按鍵：
高壓輸出確認

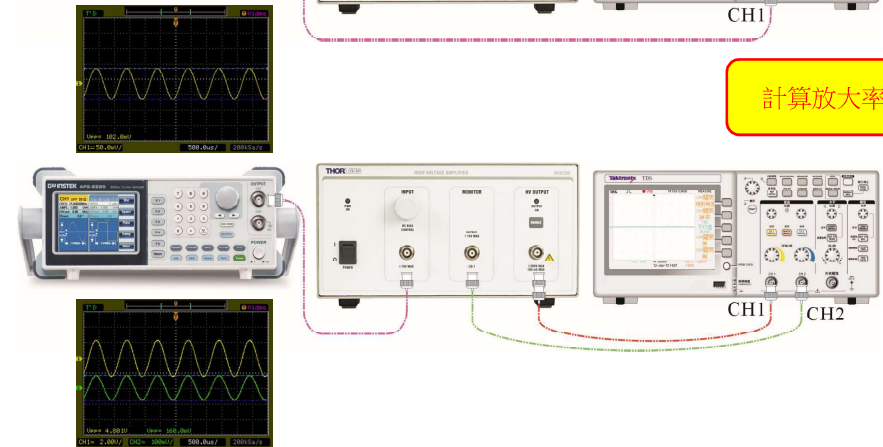


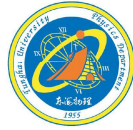
儀器架設(二)：確認放大器放大倍率

$V_{in}=50mVp-p, 100Hz$



計算放大率！

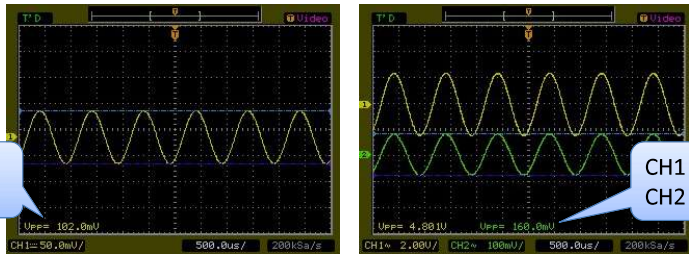




儀器架設(二)：確認放大器放大倍率 3-計算放大倍率

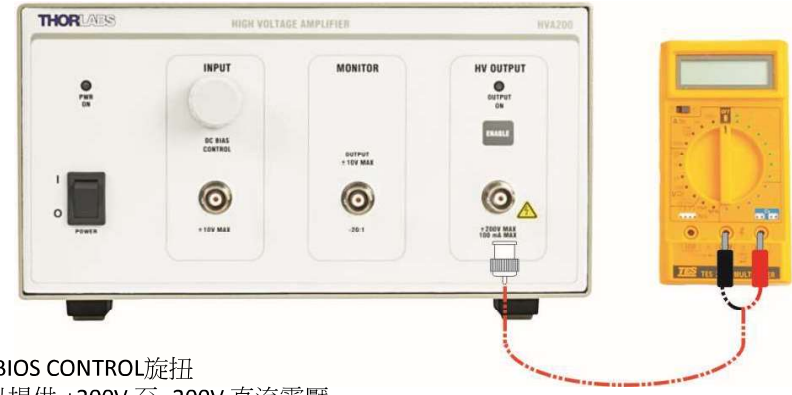
- 1) 振幅放大器 v.s. 波形產生器
4.8V/102mV
- 2) Monitor v.s. 波形產生器
160mV/102mV
- 3) 振幅放大器 v.s. Monitor
4.8V/160mV

高壓放大器有換新儀器
請用自己的數據去計算放大倍率



DC BIOS CONTROL 提供0V直流偏壓

旋轉DC BIOS CONTROL旋扭，利用三用電表量測得到【0V】。
再接續下一步驟。

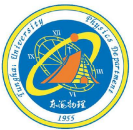
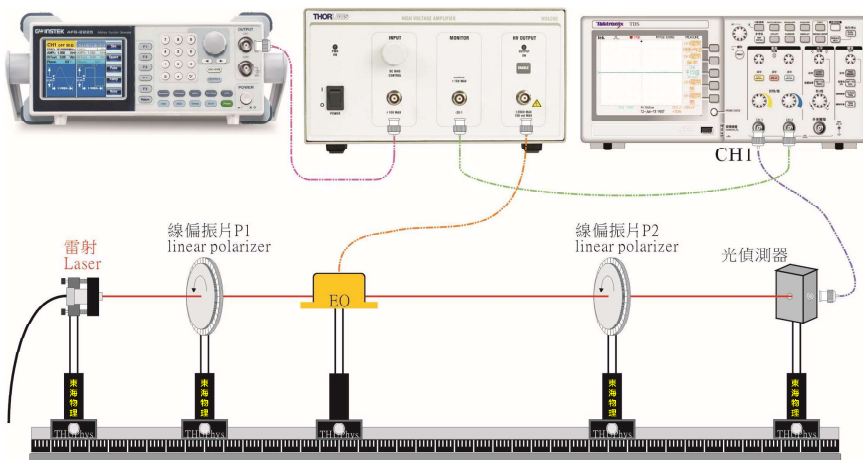


DC BIOS CONTROL旋扭
可以提供 +200V 至 -200V 直流電壓



儀器架設(三)：相位調變 1-相位調變

訊號產生器設定400mVp-p, 1kHz
調整P1，使得示波器CH1為DC訊號（呈現水平線）



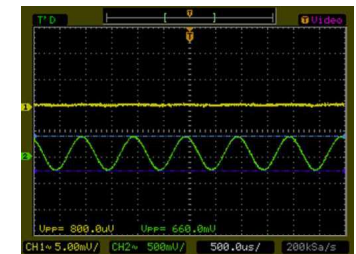
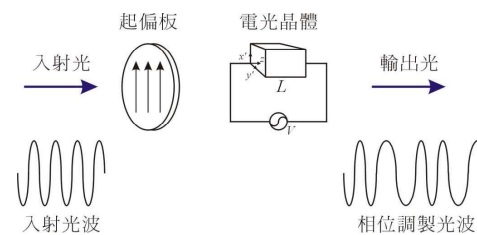
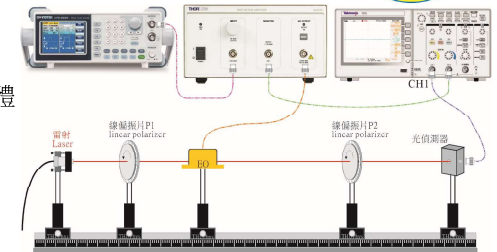
儀器架設(三)：相位調變 1-相位調變

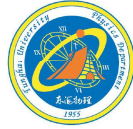
此時【P1⊥EOM】或【P1//EOM】
至於是哪一個...到此步驟無法判斷！

線偏振光(linear polarization)進入EO晶體
出來的還是線偏振光，維持DC訊號

示波器耦合(coupling)設定為DC
示波器上可以看到，水平線上下移動

示波器耦合設定為AC
轉動P2，示波器上可以看到，維持水平線，不會有振幅

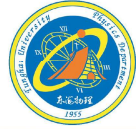
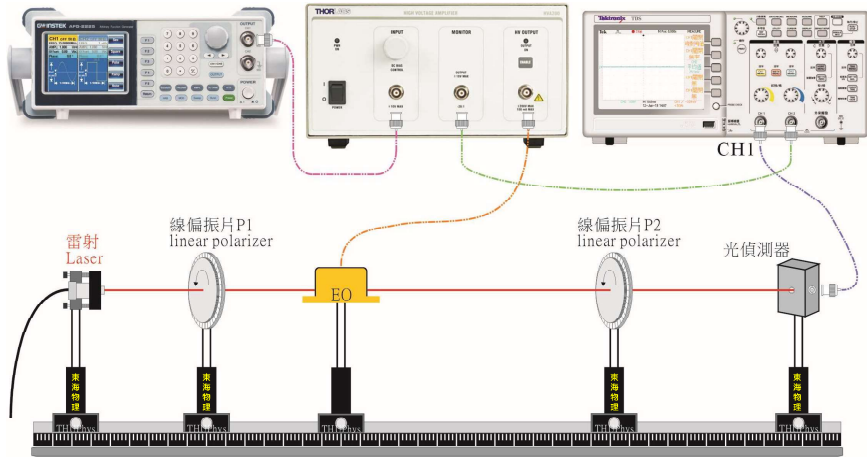




儀器架設(四)：振幅調變

1-振幅調變

此時【P1】與【EOM】夾45度



儀器架設(四)：振幅調變

2-振幅調變

此時【P1】與【EOM】夾45度

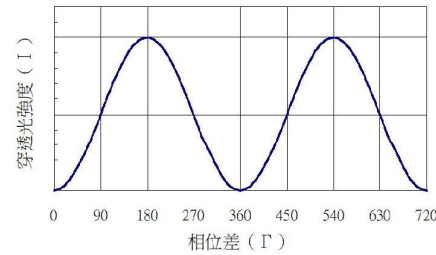
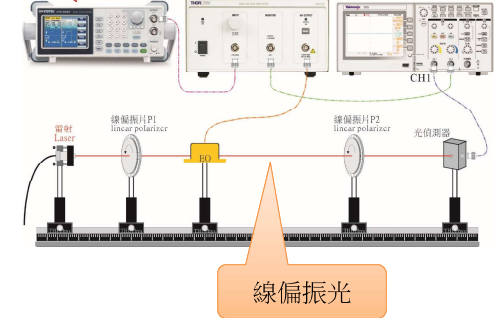
波形產生器關閉

比較【P1⊥P2】和【P1//P2】

此時通過EOM的光為線偏振光
 $\Gamma=0$

示波器看到的是DC訊號

關閉



儀器架設(四)：振幅調變

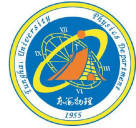
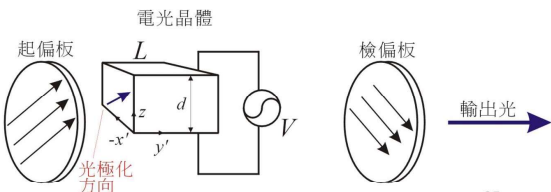
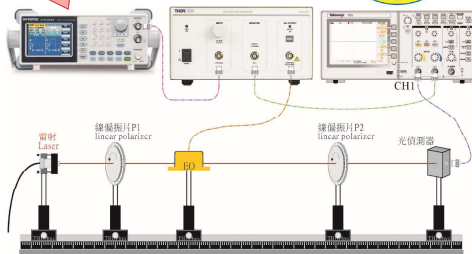
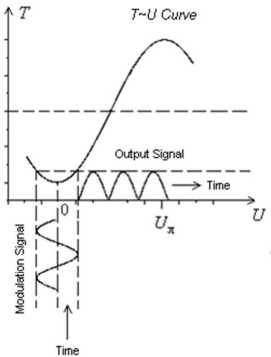
3-振幅調變

【P1】與【EOM】夾45度角。

波形產生器設定1kHz，400mVp-p(調變)

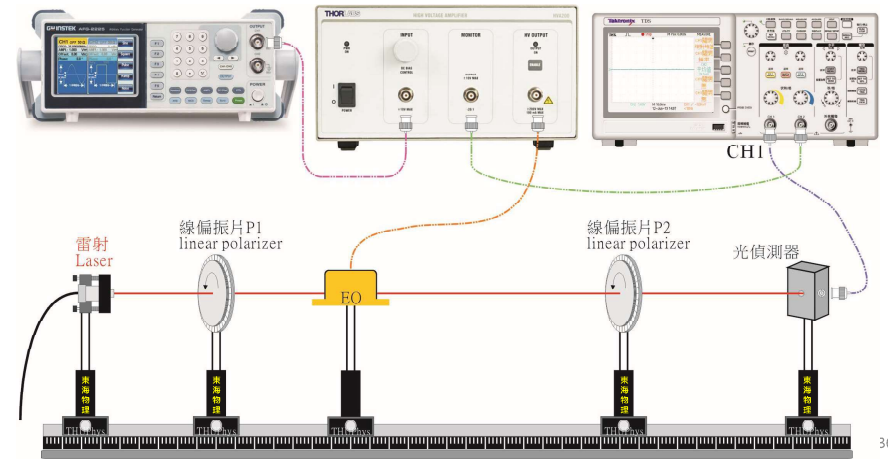
1kHz，400mVp-p

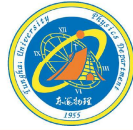
- 1) P2轉一圈，觀察波形變化。
- 2) P1⊥P2。存圖。
- 3) P1//P2。存圖。
- 4) 轉P2，使CH1振幅最大
- 5) 改變波形：方波、三角波、正弦波。



儀器架設(五)：最佳調變條件 $V_{\pi/2}$ 與 $\lambda/4$ 波片

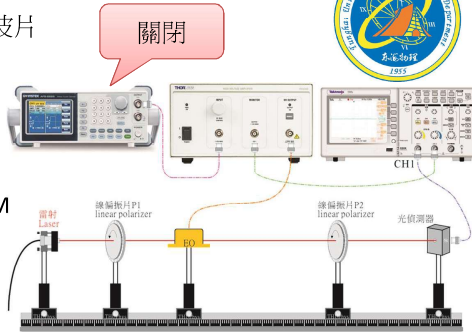
1- $V_{\pi/2}$





儀器架設(五)：最佳調變條件 $V_{\pi/2}$ 與 $\lambda/4$ 波片
1- $V_{\pi/2}$

此時【P1】與【EOM】夾45度
波形產生器關閉
【P1】 \perp 【P2】



旋轉DC BIOS CONTROL，提供直流偏壓給EOM
使得CH1訊號最大(V_{max})

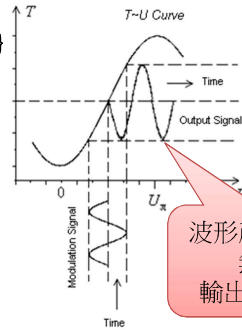
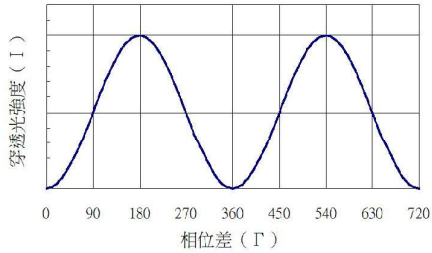
此時 $\Gamma=180$

再次調整DC BIOS CONTROL

使得CH1訊號為【 $1/2 V_{max}$ 】

此時 $\Gamma=90$

利用三用電表量直流偏壓，這個直流偏壓為 $V_{\pi/2}$



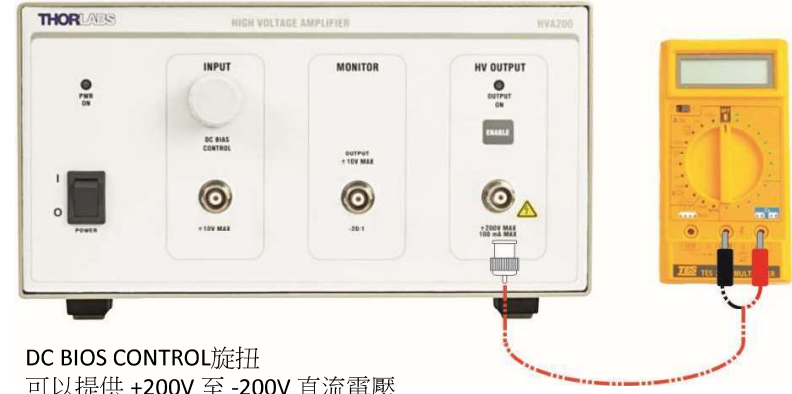
波形產生器關閉
無調變
輸出為DC訊號



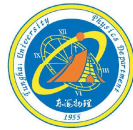
利用三用電表量直流偏壓，這個直流偏壓為 $V_{\pi/2}$

DC BIOS CONTROL

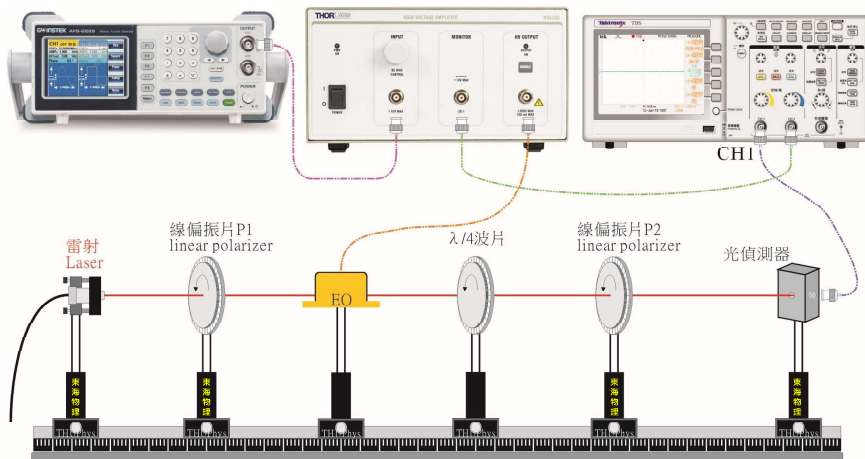
利用三用電表量測得到【?V】。
再接續下一步驟。



DC BIOS CONTROL旋轉
可以提供 +200V 至 -200V 直流電壓



儀器架設(五)：最佳調變條件 $V_{\pi/2}$ 與 $\lambda/4$ 波片
1- $\lambda/4$ 波片



儀器架設(五)：最佳調變條件 $V_{\pi/2}$ 與 $\lambda/4$ 波片
1- $\lambda/4$ 波片

【P1】與【EOM】夾45度角。

【P1】 \perp 【P2】

波形產生器設定1kHz，400mVp-p(調變)

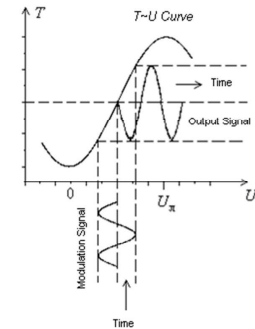
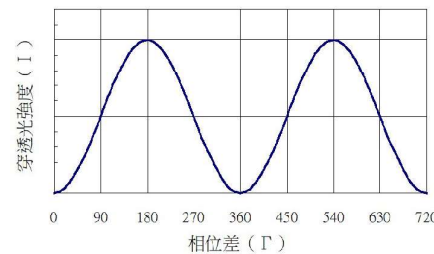
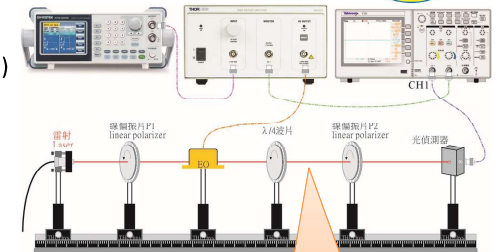
DC BIOS CONTROL=0V

放入 $\lambda/4$ 波片， $\lambda/4$ 波片轉一圈

線偏振

圓偏振..... $\Gamma=90$

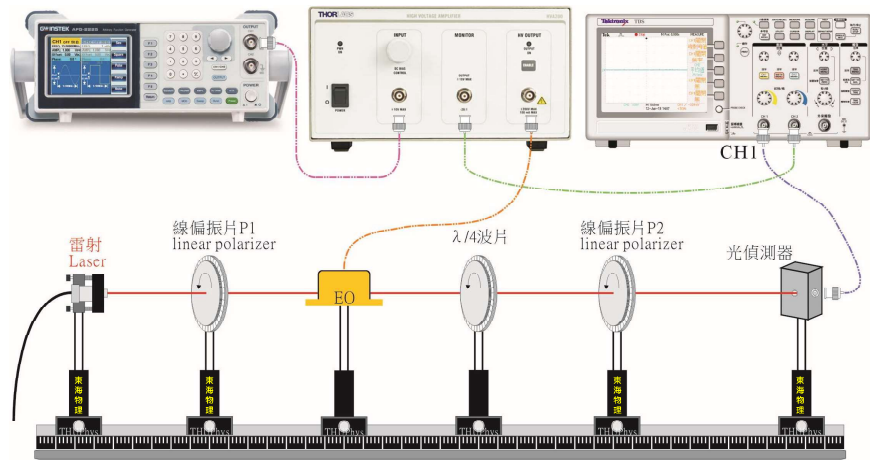
橢圓偏振



線偏振光
圓偏振
橢圓偏振



儀器架設(六)：響應頻率



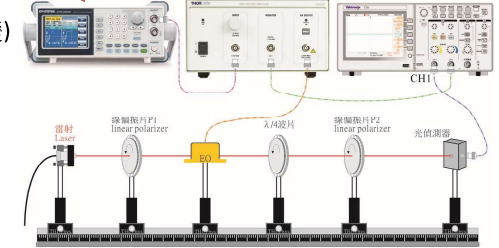
儀器架設(六)：響應頻率

【P1】與【EOM】夾45度角。

【P1】⊥【P2】

波形產生器設定1kHz，400mVp-p(調變)
DC BIOS CONTROL=0V

1kHz，400mVp-p



1、調整λ/4 波片
使CH1振幅最大，失真最小。

2、調整訊號產生器之輸出振幅。
紀錄振幅大小

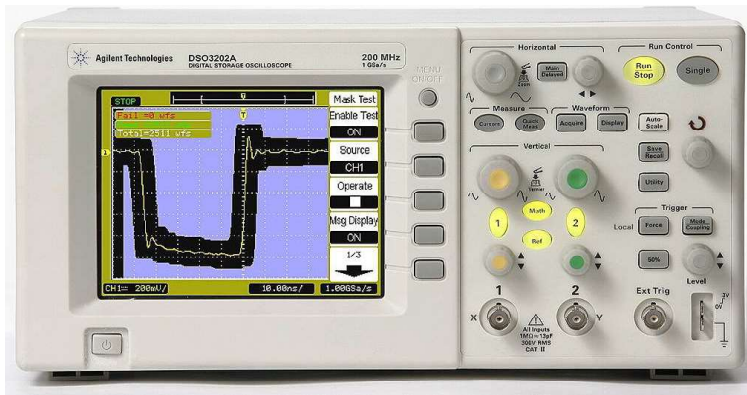
3、改變訊號產生器之頻率。

4、當振幅為原來的 $1/\sqrt{2}$ (~70%)時，紀錄此時的頻率。

【高頻截止頻率！】



Agilent-DSO-3102A示波器



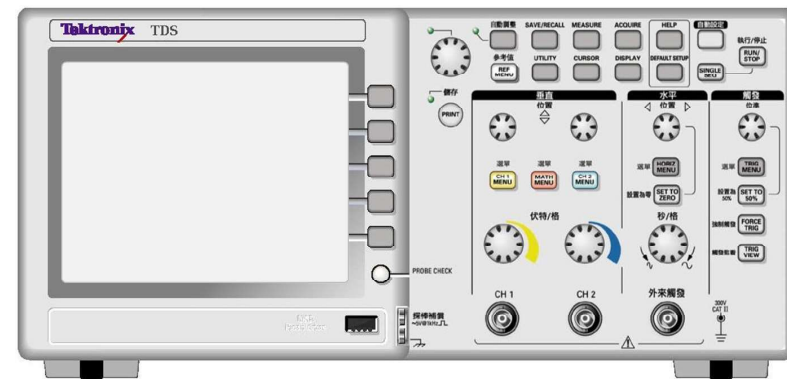
儲存方式 (1G以下USB隨身碟)

Save/Recall

這台示波器不會自動將要存的圖編號，因此一定要設定檔名，以免將上一個存好的圖覆蓋.....這樣就白做實驗了！



TDS2022C示波器

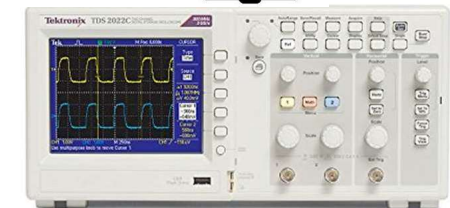


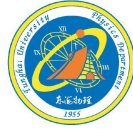
儲存方式 (32G以下USB隨身碟)

1-Save/Recall

2-Print

示波器會將螢幕影像儲存
至目前的資料夾並自動產生檔案名稱。





【做完實驗助教要檢查以下項目】

- 1、放大倍率
高壓放大器 v.s. 訊號產生器
Monitor v.s.訊號產生器
高壓放大器 v.s. Monitor
- 2、E-V ($\pi/2$)
- 3、
- 4、
- 5、高頻截止頻率

entropy

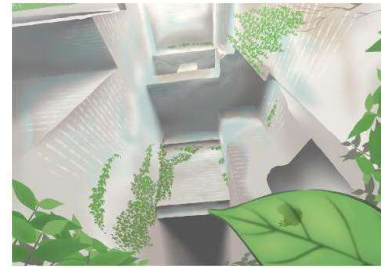
有點想知道~

我整理了那麼多資料... (講義、網站、PPT)
你們學了多少? 報告裡寫了多少?



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/>