

Experiment 4、Michelson 干涉儀及其應用

目的：

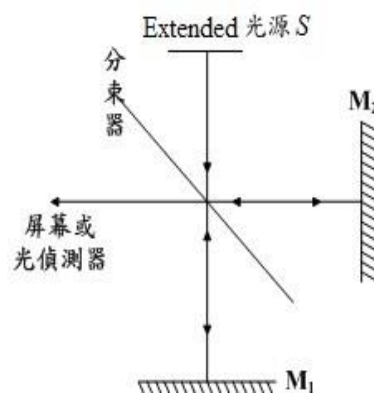
- (1) 練習 Michelson 干涉儀的架設及調整。
 - (2) 了解干涉原理。
 - (3) 利用 Michelson 干涉儀量測光源的波長。
 - (4) ※利用 Michelson 干涉儀量測光源的同調長度。
- ※為新增實驗，可視時間及興趣，由各組自行選擇是否要作。

原理：

以下參見光學課本 Ch7-1、Ch8-1、及 Ch9-1、Ch9-4，Pedrotti²: Introduction to Optics

(1) Michelson 干涉儀

干涉儀常用於各項光學檢測，譬如表面平坦度、表面曲率、光源波長、光源同調性、材料厚度、材料折射率及液晶單元檢測等等。干涉儀的架設型式相當多樣化，可依檢測所需自行設計光學系統。最基礎也最容易的干涉儀系統為 Michelson 干涉儀，其系統架設如圖一，最大特點是干涉的兩束光路徑分離，可以獨立處理，應用方便。Michelson 干涉儀所使



圖一

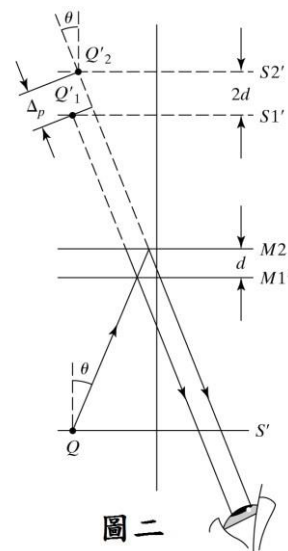
用的光源為 Extended source。發出的光經分束器分為兩束，再分別由 M_1 及 M_2 反射，部分圖一 反射光經過分束器之後合併干涉，在屏幕可以觀察干涉條紋。

若兩光束接近平面波光且互相部分同調，則所形成的干涉條紋強度為

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}(\cos\delta), \quad \delta = k \cdot \Delta(n\ell) + \Delta\phi \quad (1)$$

上式中， $\Delta(n\ell)$ 為兩光束光程差， $\Delta\phi$ 則為兩光束在同一時間在光源處的相對相位差。

圖一中的 Michelson 干涉儀可以幾何將兩道分別走不同路徑的光束，拉到同一方向上討論，如圖二所示。另假設光在分束器、 M_1 、 M_2 上的“反射”未造成二束光的相位差。實驗架設上，若 M_1' 以間距 d 平行於 M_2 ，則光程差將依光線入射的方向 決定。定為光線在 M_1 及 M_2 的入射角。所造成的等傾度條紋的光程差為



圖二

$$\Delta p = 2d \cos \theta \quad (2)$$

當 d 改變時，干涉條紋相對應的移動，不斷向中心縮陷或自中心湧出，光程差每改變一波長長度時，將消失或生出一週期的條紋。因此光程差與條紋改變數 m 的關係為

$$2d \cos \theta = m \lambda \quad (3)$$

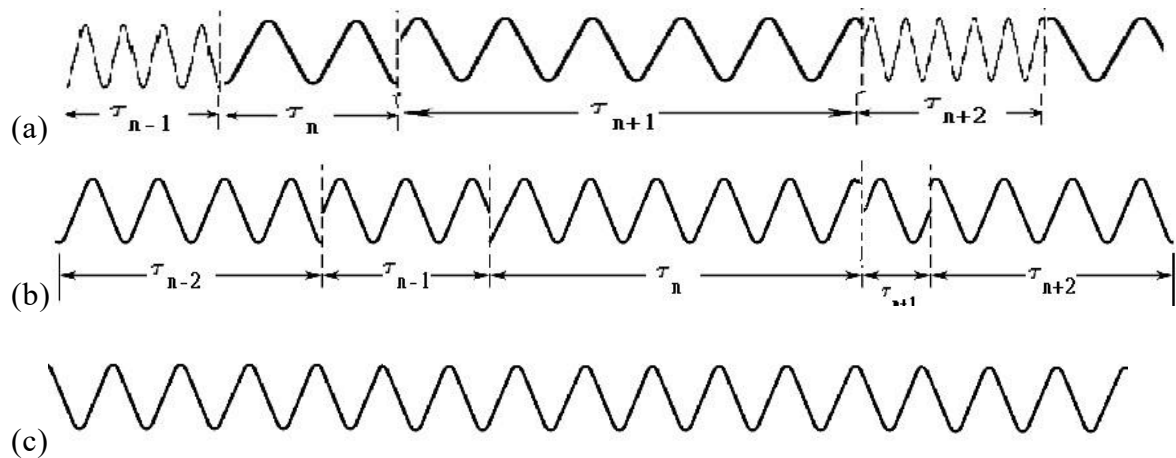
在中心處的光束 $\theta = 0$ ，反射鏡 (M_1 或 M_2) 移動距離 L 與條紋改變數 m 的關係可以由(2)式改寫成

$$2L = m \lambda \quad (4)$$

測量波長時由 m 及 L 計算 λ ，反之測距離時，由已知的 λ 及 m 計算 L 。

(2) Coherence 同調

兩道光波必須有良好的同調，方可形成明顯的干涉條紋。一般光源隨著時間所發出的光波如下圖三(a)，每段時間所發出的頻率，及甚至相位都不相同。此光源所發出的光波頻率非單一，相位也不連續。圖上的 n 為相位連續的時間，也就是該相位連續段光波存在的時間。若我們將此光源分光進行干涉，有可能會由不同段時間的光波互相干涉，無法造成明顯對比強的干涉條紋。即使由同段時間的光波互相疊加，造成明顯對比的干涉條紋；也將因相位連續時間短，造成人眼或偵測器觀測時，因前後段所形成不同狀況的干涉互相平均，而看不到干涉條紋。而如圖三(b)的光波，則是光頻率穩定，但相位不連續。這樣的光源雖為單頻，也將因相位連續時間 n 的長短影響觀測時干涉條紋的明晰度。相位連續時間越短的光源則是同調性差的光源，相位連續時間越長的光源則是同調性好的光源。平均相位連續時間 $\bar{\tau}$ 乘上光速 c ，即是同調長度 $L_c = \bar{\tau} c$ ，也就是此段相位連續的光波，在光路中存在的距離。如圖三(c)則為一完全相位連續的光波，其相位連續時間為無限大，這樣的光源稱為完全同調光。一般的雷射光源都為部分同調，皆存在著有限平均相位連續時間，可藉由 Michelson 干涉儀兩臂的光程差量測相位連續的光波存在的距離再換算成存在時間。



圖三

儀器：

He-Ne 雷射或綠光雷射、計數器、方塊型分光鏡(CBS)、可移動反射鏡、Iris(光圈)、反射鏡、凹透鏡、凸透鏡、已鍍膜鏡片、無鍍膜鏡片、光學滑軌(optical Bench)、光學桌。

步驟：

Michelson 干涉儀

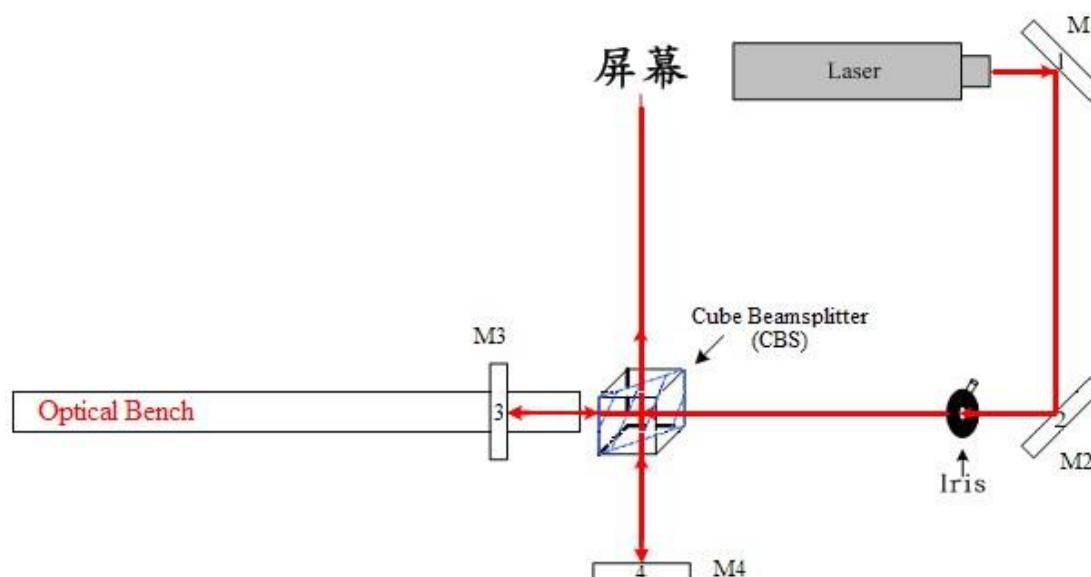
依下列步驟架設如圖四的 Michelson 干涉儀光路

1. 將光學滑軌固定於光學桌板上，架射雷射光束經面鏡 M1 及 M2 再反射到光學滑軌上方。利用實驗 1 的技巧將雷射光束的方向校準於光學滑軌移動方向上，也就是 Iris 在滑軌上各處移動時，雷射皆可通過中心的小孔洞。校正完畢後，可將 Iris 留在光路上，做為後續架設的校準點。

注意：此步驟的校準非常重要，若未校正好，實驗進行到步驟 6 時，有可能重來。

2. 先不放方塊型的分光鏡(CBS)，將 M3 架設在有螺旋測微器的移動平台上，再架設於光學滑軌最末端處上(圖四最左)，並可以沿著光學滑軌移動。校正 M3 的方向，使之垂直正對雷射光，此時經面鏡反射的雷射光，將沿原來路徑回到雷射出口處。將此校正好的 M3 推到離光學滑軌前端約 30cm 處。

務必利用 Iris 確認光束光路準直和所有光學元件校準。注意：不可直視雷射光束。注意：不可觸及鏡面。包括分光鏡、反射鏡及透鏡。注意：CBS 在防潮箱中，請找助教拿。

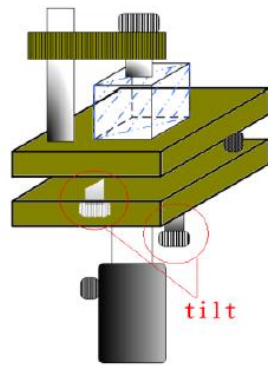


圖四

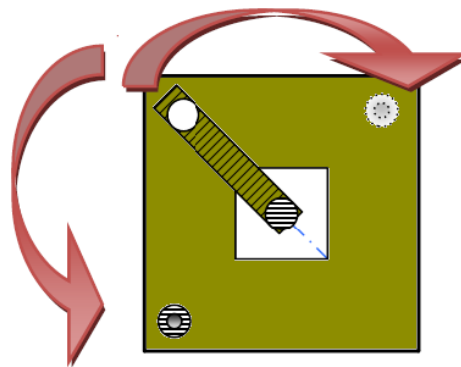
- 將方塊型的分光鏡(CBS)放入光路中，並貼近光學滑軌。校正 CBS 的位置、傾斜度，使雷射光束垂直打入 CBS 中心。此時雷射光需仍經過 Iris，除此之外經分光鏡兩個平面所反射的雷射光束皆回到雷射出口處。

PS：CBS 的固定架如圖五所示。可利用平台板下的兩個 tilt 調整 CBS 水平傾斜度；另外，可如圖六，稍微轉動 CBS 平台，調整雷射光束的入射角度。

- 將 M4 架設於距離 CBS 大約 20cm 處(30cm 這邊有問題，光學桌應該沒有這麼大空間，要架另一支滑軌或是縮短 M1 和 M2 之間距離/晚一點我們到實驗室擺擺看再決定，要留這麼長的原因是因為作 coherence length 時，要量到 M3 比 M4 相聚短也就是 M3 這邊光程長度較短的狀況)。架設屏幕，此時屏幕上會出現 2 個紅色光點。校正 M4 的鏡面傾斜度，其方向，使光束垂直入射 M4。此時，經 M4 的反射光，再經 CBS，會再分光；分出的兩道光束也會與原光束重合。
- 放凹透鏡至光路中(圖七)，可在屏幕觀察到干涉條紋，干涉條紋若無法形成”同心圓”，可以調整凹透鏡的鏡架旋鈕。



圖五



圖六

以 **Michelson** 干涉儀量測雷射光源的波長

- 量測 M4 到 BS 之間的距離，將 M3 移到等距處，並微調 M3 的位置與傾斜度，讓干涉條紋的對比及條紋間距最大。將計數器架設在光偵測器處，讓中心干涉條紋打在計數器的感應器中心。轉動 M3 移動平台上的螺旋測微器一圈(50 個刻度，相當於直線位移 $d=0.5 \text{ mm}$)，紀錄計數器上的數目，重複 3~4 次後取平均。
- 利用上個步驟的數據以及公式(4)算出波長與誤差。注意：若條紋數不明顯，轉動 M3 平台上的螺桿，改變 d 來調整干涉條紋的疏密。

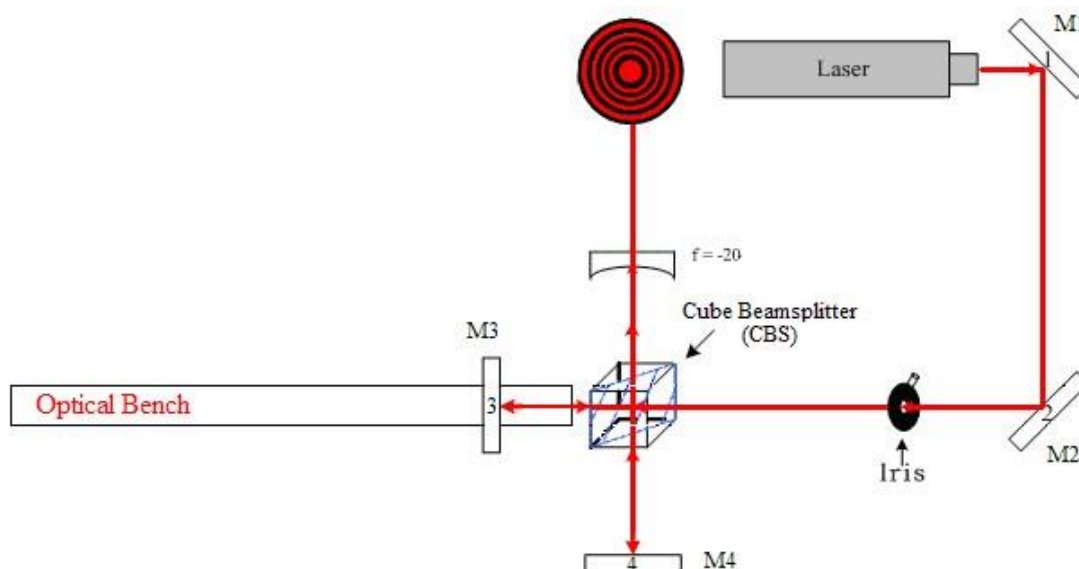
補充說明：校正 M3、M4 平面鏡時，若過度轉動平面鏡的 tilt 鈕，會造成干涉條紋消失，則可使用下列步驟修正。

(1)擋住 M3 與 Prism 之間的光路(如圖四)，調整 M4 的 tilt 鈕讓其反射光再打回 Iris 的中心。

- (2)擋住 M4 與 Prism 之間的光路(如圖四)，調整 M3 的 tilt 鈕讓其反射光再 打回 Iris 的中心。
- (3)重複步驟 4、5 即可。

以 **Michelson** 干涉儀量測雷射光源的同調長度

8. 將面鏡 M3 在光學滑軌上粗略移動，並同時觀測屏幕上的干涉條紋。過程中干涉條紋的明晰度(Visibility)可能會降低，但應大約可見到干涉條紋，若無干涉條紋則表示光學滑軌並未與光束準直，需回到步驟 1 重新開始。



圖七

9. 將 M3 移動到光學滑軌最前端，靠近 CBS 處。
10. 將光偵測器架在移動平台上，並放在干涉條紋前，移動平台移動的方向垂直於干涉條紋面。再將一開口約 1mm 大小的孔洞遮在光偵測器前。旋轉移動平台上的螺桿，只讓干涉條紋的亮紋中心或暗紋中心通過孔洞。分別記錄中心亮紋及第一圈暗紋的中心強度大小 I_{max} 、 I_{min} 。計算明晰度

$$V = \frac{I_{max} + I_{min}}{I_{max} - I_{min}}$$

11. 將 M3 在光學滑軌上移動，每次移動距離為 2cm，完成下面表一。以 M3 所在位置做為橫座標，Visibility 作為縱座標，作圖。再由圖找出 Visibility 最大值時，M3 的所在位置 X=_____cm。

逼近法：在 X 附近，i) 找出其中兩 Visibility 較大值時，M3 所在位置 x_1 、 x_2 。ii) 量測 M3 位置在 $(x_1 + x_2)/2$ 時的 Visibility。ii) 比較以上三個位置的 Visibility 找出較大的兩 visibility 時的 M3 所在位置。重覆以上步驟。

13. 以直尺量測此時 M3、M4 到 CBS 中心的距離 $L_3 = \underline{\hspace{2cm}}$ 、 $L_4 = \underline{\hspace{2cm}}$ ；並計算兩臂光路的光程差 $2(L_3 - L_4) = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

問題與討論：

- (1) 若光點沒有打在反射鏡中心，會造成何種影響？
- (2) 校正光路時，在何種情況下會移動反射鏡？
- (3) 在步驟 6 中，為何要重複 3~4 次？

儀器圖示：



He-Ne 雷射

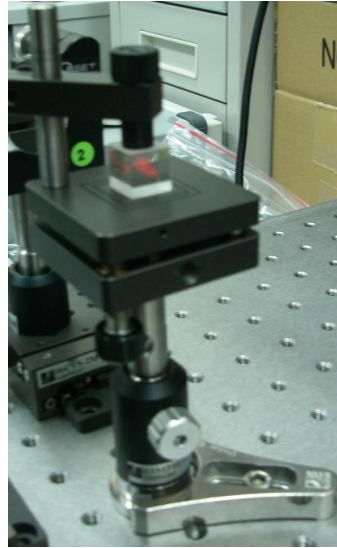
計數器的感應器



計數器



Iris(光圈)



CBS



反射鏡



可移動反射鏡



凹透鏡