

邁克生干涉(Michelson interference)實驗

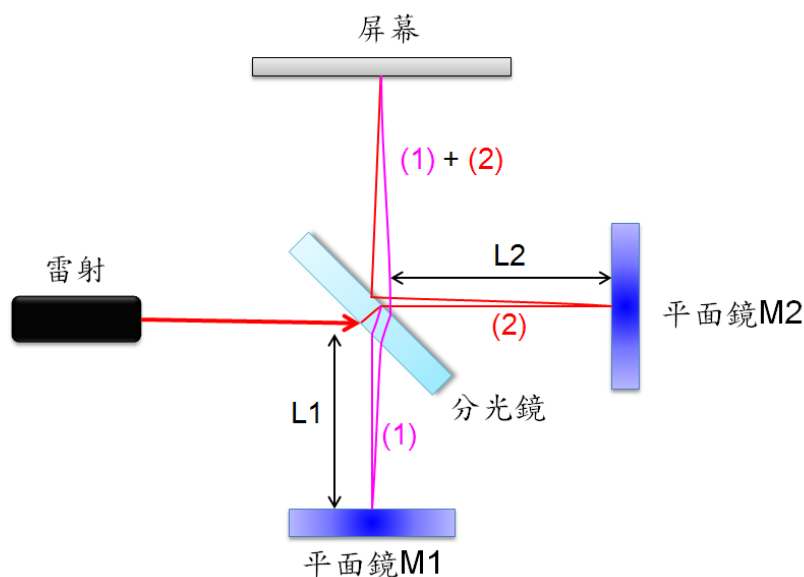
一、目的：

1. 探究邁克生干涉現象；
2. 練習邁克生干涉儀的調整及使用；
3. 利用邁克生干涉儀測量雷射光波長；
4. 利用邁克生干涉儀量測空氣之折射率。

二、原理：

邁克生干涉儀(Michelson interferometer)是美國物理學家 Albert Abraham Michelson (1852-1931, 1907 諾貝爾物理獎得主)發明，Michelson 和 Morley 利用此儀器證實以太(aether)不存在。2015 年，天文科學家更利用兩座臂長為 4 公里的邁克生干涉儀首度偵測到兩個黑洞融合過程中所產生的重力波。在應用方面，邁克生干涉儀被廣泛用於工具機的校正工作、微小距離的檢測、非同調單色光光源的波長校檢，以及空氣壓力場、溫度場、溼度場等等物理量的量測。

邁克生干涉儀的構造和光徑如圖一所示，光源以 45° 角入射至一面分光鏡後，分為兩道互相垂直的光束，分別射至兩面全反射鏡 M1 與 M2，並將透射光與反射光反射回分光鏡，再一次經過分光鏡將透射光與反射光疊合於屏幕，以產生干涉的光束條紋。兩分光鏡到兩面全反射鏡的距離決定了這兩道光程的光程差，此光程差決定疊合後的光束是破壞性，還是建設性干涉。



圖一、邁克生干涉儀的架構與光徑示意圖。干涉儀的兩臂長分別為 L_1 及 L_2 ，
光束 1 及光束 2 的光程差為 $2n(L_1-L_2)$ ， n 為空氣的折射率。

本實驗的光源是由二極體雷射與一透鏡組成，可視為一個點光源 S。此點光源 S 經分光鏡及反射鏡 M1 反射，在 M1 後方形成虛光源 S_1' ；同理，點光源 S 經反射鏡 M2 及分光鏡反

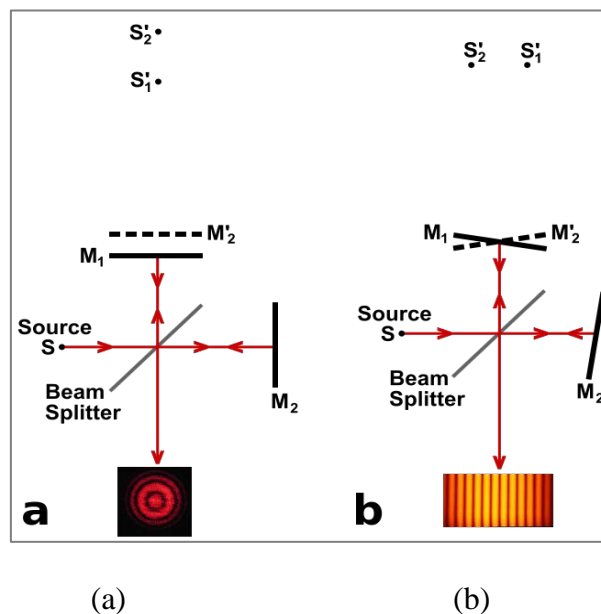
射在 M_2 後，方形成虛光源 S_2' 。如果 M_1 與 M_2' 平行，且 S_1' 和 S_2' 在屏幕的垂直線上，此時屏幕上會出現同心圓的干涉條紋，如圖二(a)所示。設 M_2' 、 M_1 相距 d (兩臂長 L_1 和 L_2 的差)，則 S_1' 和 S_2' 的距離為 $2d$ 。由虛光源 S_1' 和 S_2' 射至屏幕上一點的光程差為 $2nd\cos\theta$ ， θ 為光路徑與 S_1' 及 S_2' 連線的夾角。

(1) 當 $2nd\cos\theta = m\lambda$ ， m 為整數時，兩光束作用產生建設性干涉，則會在屏幕上呈現亮紋；

(2) 若 $2nd\cos\theta = (m + 1/2)\cdot\lambda$ ，為破壞性干涉，則在屏幕上呈現暗紋。

因兩反射鏡平行，同一夾角 θ 有相同光程差，所以在屏幕上出現同心圓干涉條紋，稱為等傾條紋(fringe of equal inclination)。對同一干涉亮紋而言，光程差固定，當 M_1' 、 M_1 靠近時， d 減小而 θ 增大，所以干涉條紋向外擴；反之，干涉條紋縮向圓心。

如果 M_1 與 M_2' 不平行有一夾角，如圖二(b)所示，則在屏幕上出現類似雙狹縫干涉的平行干涉條紋，稱為等厚條紋(fringe of equal thickness)



圖二 (a) M_1 與 M_2' 平行，產生同心圓的等傾條紋；(b) M_1 與 M_2' 不平行有一夾角，產生平行的等厚條紋。(資料來源：https://en.wikipedia.org/wiki/Michelson_interferometer)

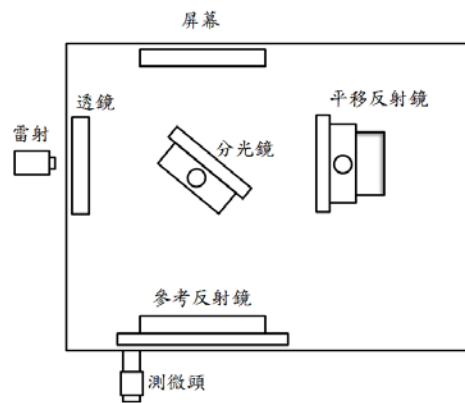
三、儀器：

邁克生干涉儀、氣室×1、氣壓計×1、屏幕×1

邁克生干涉儀包括：二極體雷射×1、透鏡×1、光學平台×1、分光鏡×1、平移反射鏡×1、參考反射鏡×1、旋轉平台、玻璃板×1。邁克生干涉儀照片見圖三，示意圖如圖四。參考反射鏡裝在微調鏡架上，可以調整其方向。平移反射鏡可以利用測微頭(micrometer head)微調其位置，測微頭移動的距離正比於平移反射鏡移動的距離 d 。測微頭改變 0.01 mm 對應於平移反射鏡移動 0.4 μm ，即測微頭移動的距離為平移反射鏡移動距離的 25 倍。



圖三、邁克生干涉儀照片。



圖四、邁克生干涉儀示意圖。

四、實驗步驟

(一)雷射光路調整

1. 架設雷射，使雷射光出口與平移反射鏡中心高度相同。
2. 移開雷射前的透鏡，將雷射光射至平移反射鏡，調整雷射方向使雷射光束反射回雷射光源。
3. 觀察屏幕上是否有兩組光點，可用電腦卡分別遮住分光鏡後的透射光及反射光，看屏幕上光點是否消失。
4. 調整參考反射鏡的兩微調鈕使屏幕上的兩組光點重疊。
5. 放回透鏡於雷射及分光鏡間，此時可於屏幕片見到干涉條紋，再微調整參考反射鏡的傾斜度，直到有同心圓干涉條紋出現。
6. 待同心圓干涉條紋出現後，把同心圓干涉條紋調到雷射光重疊區域的中心。
7. 試著重踩地板或輕碰桌面，觀察干涉條紋的變化。
8. 轉動測微頭(micrometer head)，透過干涉儀底下的機械裝置可以緩慢移動平移反射鏡，此時你將看見干涉條紋向外擴散或向內集中。

(二)測量雷射光波長

1. 將測微頭位置由小慢慢轉到刻度為 10 的位置，然後慢慢的向外轉出來(即往刻度大的方向轉)，記錄干涉條紋移動 20 個條紋後的測微頭刻度。重複此步驟 5 次。注意：所有的螺桿及測微頭都有齒隙(backlash)，即你反方向旋轉測微頭會有些許的滑脫現象，為了減少齒隙引起的誤差，在測量的過程中務必保持同方向旋轉測微頭。
2. 代入 $2\Delta d = \lambda \Delta N$ ，即可求出雷射光在空氣中的波長 λ ，其中 ΔN 為干涉條紋向外或向內移動的數目， Δd 為平移反射鏡移動的距離。注意：較精確的測量是將一細長黑膠帶貼在干涉條紋圓心外，計算通過此黑線的條紋數。

(三)測量玻璃的折射率

1. 將轉動平台的轉動桿的右緣對準小光學台上的角度 0 度。



2. 架上玻璃片，並與轉動桿的右緣對齊。



3. 調整光路使干涉圖樣清楚出現在屏幕上。
4. 緩緩將轉動桿由 0° 轉動到 10° ，觀察干涉圖形的改變，並計算干涉條紋移動數，代入
$$n = (2t - N\lambda)(1 - \cos \theta) / [2t(1 - \cos \theta) - N\lambda]$$
 求出玻璃的折射率 n 。其中 t 為玻璃片厚， λ 為光源波長 657 nm， N 是干涉條紋移動數， θ 為轉動角度。
5. 將轉動桿由 10° 轉回 0° ，計算干涉圈的移動圈數，求 n 。
6. 重複上述步驟 5 次，計算玻璃折射率 n 的平均值。

(四)測量空氣的折射率

已知空氣折射率 n 會隨空氣密度而改變，且氣室壓力 P 與空氣密度有關，利用邁克生干涉儀找出 Δn 與 ΔP 的關係，可以求出空氣折射率。

1. 將氣室置於轉動平台的孔中並使光束通過氣室，調整光路得到清楚的干涉條紋。



2. 緩緩將氣室的空氣抽出，注意真空計上的讀數，並觀察干涉條紋是否有變化。
3. 抽真空使真空計的讀數約為 10 kPa，計算過程中干涉條紋的改變量。
4. 將末壓力改為約 20、30、40、50、60、70 kPa，重複步驟 3，計算過程中干涉條紋的改變量。你也可以先將氣室抽真空至 70 kPa，慢慢將氣洩漏進氣室，計算過程中干涉條紋的改變數量。[注意：一大氣壓 = 101,325 Pa (pascal, 巴斯卡，是壓力的一種單位)，Pa 為標準寫法，但本實驗所使用的真空計將 Pa 寫成 pa]。
5. 代入 $n - n' = \Delta n = \Delta m \lambda / 2h$ 求出 Δn 。其中 Δm 為干涉條紋的改變量、 h 為氣室的長度、 λ 為光波波長、 n 、 n' 分別為壓力變化前、後之折射率。
6. 將 Δn 對 ΔP 作圖，分析兩者間的變化關係，並求出一大氣壓下空氣的折射率。

五、問題

1. 說明實驗步驟(二)測量雷射波長的可能誤差來源。
2. 試推導步驟(三)測量玻璃折射率的計算公式。
3. 說明如何求出一大氣壓下空氣的折射率。
4. 請問偏振互相垂直的兩束光重疊是否可以產生干涉條紋？如何利用邁克生干涉儀實驗驗證你的推論？