

邁克森干涉儀

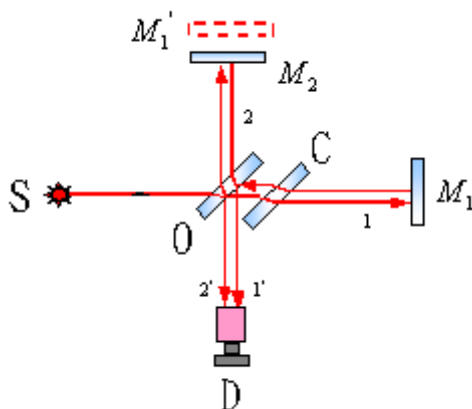
【目的】

1. 認識邁克森干涉儀的干涉原理
2. 學習調整邁克森干涉儀，觀察干涉圖像的變化，並測定零點位置。
3. 藉由量測干涉條紋的位置，測量玻璃的折射率。

【原理】

邁克森干涉儀(Michelson Interferometer)是利用分振幅法產生雙光束干涉的干涉儀，可觀察等傾干涉條紋(interference fringes of equal inclination)和等厚干涉條紋(interference fringes of equal thickness)。1881年，邁克森為研究「乙太(aether)」(假想介質)是否存在而設計的，著名的邁克森-莫雷(Morley)實驗使尋找絕對參照系「乙太」的企圖失敗了，經典物理學所賴以建立的絕對時空觀受到了嚴重的挑戰，為狹義相對論的建立提供了實驗基礎。

邁克森干涉儀原理圖如圖一所示，從光源S發出的光，經過傾斜 45° 的分光鏡(beam splitter)O分成兩部分：一部份的光透射分光鏡到平面鏡 M_1 ，經過反射回到分光鏡再反射至偵測器D，即光束1的路徑；一部份的光被分光鏡反射到平面鏡 M_2 ，經過反射回到分光鏡後透射至偵測器D，即光束2的路徑。光束1和光束2兩者的路徑長不同形成光程差，產生干涉現象。



圖一 邁克森干涉儀原理圖

在 OM_1 光路間放入一片補償片(compensator)C—與分光鏡材質相同、厚度相同的玻璃片，並與分光鏡O平行放置。作用是補償由於兩光路不對稱引入的附加光程差。因為經 M_1 之光束1通過分光鏡O僅1次，而經 M_2 之光束2通過分光鏡O共3次，放入補償片C後，兩路反射光都3次經過相同材料相同厚度的玻璃片，從而「補償」了兩路光程的不對稱性。因兩光路通過相同的玻璃厚度，故兩光路的光程差完全來自於兩光路的路程差。因為分光鏡的玻璃材質具色散特性，若不使用補償片，則此干涉儀只能讓準單色光使用。因此，觀察白光條紋時，補償片不可或缺，用來消除色散效應(dispersion)。

將平面鏡 M_1 相對於分光鏡O成虛像於 M_1' ，若平面鏡 M_1 是固定的，而平面鏡 M_2 可用微調螺旋移動，則 M_2 和 M_1' 之間的距離h可以改變。當 M_1 與 M_2 嚴格垂直時， M_2 和 M_1' 之間形成厚度均勻的空氣膜，可觀察到等傾干涉條紋。當 M_1' 成像於 M_2 前方時， M_2 往分光鏡移動靠近 M_1' 時(h減少)，圓環條紋向中心收縮，並在中心一一消失。每移動一個 $\frac{\lambda}{2}$ 的距離，在中心就消失一個條紋，根據條紋消失的數目，可以確定 M_2 移動的距離。當 M_2 和 M_1' 完全重

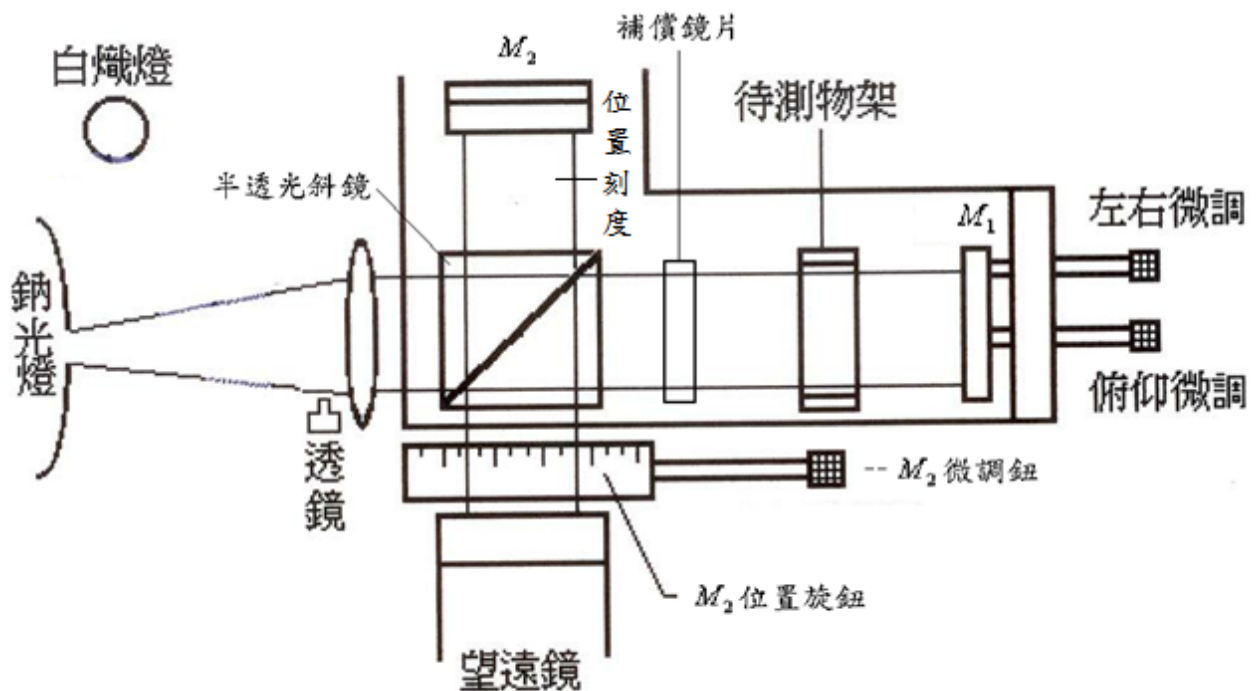
合時，因為對於各個方向入射光的光程差均相等，所以視場是均勻的，看不出干涉條紋的變化。如果繼續移動 M_2 ，使 M_2 逐漸離開 M_1 ，則條紋不斷從中心冒出，並且隨著 h 的增大，條紋越來越細且變密。

當 M_1 與 M_2 不嚴格垂直時， M_2 和 M_1 之間形成楔形空氣膜，可觀察到等厚干涉條紋。由於 M_2 和 M_1 均為平面，因此，所得到的等厚干涉條紋是直線，這些直線和 M_2 、 M_1 的交線相平行。與平行平板條紋一樣， M_1 每移動一個 $\frac{\lambda}{2}$ 的距離，條紋就相應地移動一個。白光條紋只有在楔形虛平板極薄（ h 僅為幾個波長）時才能觀察到，這時的條紋是帶彩色的。

當出現白光的彩色條紋時，即 h 僅為幾個波長。此時在 CM_1 光路間放入一片厚度 L 、折射率 n 的平板，則 h 會因為插入前、後有光程差 $\Delta d = nL - L = (n-1)L$ 而改變，故彩色條紋消失。若將 h 恢復為僅有幾個波長，則彩色條紋會再次出現。移動 M_2 的位置，使前後位置差 $|d_2 - d_1|$ 滿足光程差 Δd 的距離，即 $(n-1)L = |d_2 - d_1|$ ， $n = 1 + \frac{|d_2 - d_1|}{L} \dots\dots (1)$

【實驗器材與裝置】

干涉儀本體【含固定式反射鏡 M_1 、移動式反射鏡 M_2 、半透光斜鏡、凸透鏡（產生平行光）、望遠鏡、補償鏡片】、鈉光燈、白熾燈、遮光片（電木塊）、待測玻璃（載玻片）



圖二 邁克森干涉儀頂視圖

【注意事項】

1. 旋轉 M_2 位置旋鈕前，一定要向上抬起 M_2 微調鈕，以避免損壞減速螺桿。
2. 反射鏡 M_2 位置螺桿有機械間隙，且每次反轉時機械間隙並不相同，故絕對不可以反轉。
3. 放置遮光片和待測玻璃片時，小心放置架上的兩塊鐵片，避免割傷。
4. 鈉光燈請正確使用，以免損壞。開啟方式為打開開關（向上），按住黃色按鈕至鈉燈全亮時放開。

【實驗步驟】

1. 干涉儀的調整

(1) 將凸透鏡及望遠鏡倒下，鈉光燈放在凸透鏡前 60 cm 以外，把遮光板放在待測物架上，在反射鏡 M_2 前移的狀態下，將反射鏡 M_2 移到 12.40 毫米位置上。由望遠鏡位置穿過半透光斜鏡，可看到經由 M_2 反射回來的鈉光燈孔像，用小燈照自己的眼睛，上下、左右調整鈉光燈，使鈉光燈孔像與眼睛同時位於反射鏡 M_2 中央。

(2) 移開 M_1 反射鏡前面的遮光板，調整 M_1 上兩個旋鈕，使經由 M_2 反射回來的兩個鈉光燈孔像精確重合，直到在光孔像中，可看到斜方向的干涉紋，繼續調整 M_1 上兩個旋鈕中的任一個旋鈕，使干涉紋變成水平或垂直，再換另一個旋鈕使干涉紋加寬，直到看不見干涉紋為止，此時二反射鏡 M_1 與 M_2 已大略平行。

(3) 將凸透鏡豎起來，使反射鏡中充滿黃色的鈉光，豎起望遠鏡，並將其聚焦於無限遠，即滑套完全推入，此時應該可以看到圓形干涉紋，再仔細調整 M_1 上的兩個旋鈕，可使圓形干涉紋更加清晰。

註：若圓心在望遠鏡視野的邊緣，可以調整望遠鏡的支架，上下或左右轉動，使其置中。

(4) 若干干涉紋襯度不足，可判定其位於‘節拍效應’的谷點，將 M_2 位置向前稍加移動，即可改善。

(5) 經由望遠鏡觀看圓形干涉紋，再對 M_2 反射鏡做極微量的調整，使干涉紋更圓、更清晰，此時二反射鏡已完成精確平行的調整。

2. 干涉圖像的觀察和零點位置的測定

(1) 逆時針旋轉 M_2 位置微調鈕，使 M_2 向望遠鏡移動，觀察並記錄干涉紋的移動方向。

註：干涉紋在中央消失代表二反射鏡間的光程差漸減。

(2) 繼續使 M_2 前移，觀察並紀錄干涉紋寬度和圈數的變化。當干涉紋只剩下三個完整圓形時，記錄 M_2 的位置 P1。

(3) 繼續使 M_2 前移，圓形干涉紋的完整性將被破壞，當明暗交變現象發生時，即分不清楚干涉紋是內縮消失還是向外產生，記錄 M_2 的位置 P2。

註： M_2 在 P2 位置時，二反射鏡間的光程差為零。

(4) M_2 繼續前移，當再次看到三個完整圓形干涉紋出現時，記錄 M_2 的位置 P3。請仔細觀察並記錄現在干涉紋移動的方向。

註：二反射鏡間的光程差漸增，干涉紋在中央生成。

(5) 繼續前移 M_2 到 10.00，以順時針方向反轉 M_2 的位置微調鈕，使 M_2 向後退，遠離望遠鏡。當干涉紋再次移動時，記錄 M_2 的位置 P4，則反射鏡 M_2 位置螺桿的機械間隙為 (P4-10.00)

註：P4 與 10.00 在位置上的差異，是因為反射鏡 M_2 位置螺桿有機械間隙所造成，且每次反轉時機械間隙並不相同，故在相關的位置數據取得過程中，位置旋鈕是絕對不可以反轉的。

(6) 當 M_2 繼續後退時，出現三個完整圓形干涉紋的位置為 P5，再來是干涉紋消失，然後再次出現三個完整圓形干涉紋的位置即為 P6。

(7) 由步驟 (2) 到 (6) 的過程中，可以判定 M_1 與 M_2 兩個反射鏡間在光程差為零時， M_2 可能存在的範圍。

(8) 將凸透鏡倒下來，即不使用凸透鏡，望遠鏡移到支架的尾端，並將鏡筒內外套分兩段拉長至鏡筒內套上的畫線處，直到 M_2 上的污點或壓片清晰可見，此時望遠鏡已經聚焦於 M_2 鏡面上，微量調整 M_1 上的俯仰旋鈕(逆時針旋轉)，使干涉紋改變成水平的平行條紋(約 30 條)，繼續使 M_2 後退，同時記錄干涉紋移動的方向。

※請維持干涉儀的位置以便進行步驟 3. 的實驗

3. 測量玻璃的折射率

註：確認望遠鏡鏡筒內外套分兩段拉長至鏡筒內套上的畫線處，將鏡筒外套上的兩顆旋鈕旋緊，固定望遠鏡的鏡筒長度，避免壓縮鏡筒長度而影響彩色干涉紋的成像，導致找不到。

(1) 打開白熾燈，可調光孔徑打開約 4 mm，放在凸透鏡前 30 cm 處，調整其上下、左右位置，使望遠鏡視野中有均勻的白光，此時視野內沒有任何干涉紋存在。

註：有無凸透鏡均可看見彩色干涉紋，差別在於彩色干涉紋的襯度不同。無凸透鏡，彩色明顯；有凸透鏡，彩色稍弱。

(2) 利用 M_2 位置的微調鈕，使 M_2 繼續後退(順時針)，直到一組彩色的干涉紋出現為止，將干涉紋的中央暗線對準叉絲，記錄 M_2 的位置 d_1 。

註：若干干涉紋不明顯，將白熾燈前的可調光孔調小，可改善干涉紋的襯度。

(3) 將待測玻璃放在待測物架上，並使其與光軸垂直，因為玻璃遮擋了一半的視野，故望遠鏡視野中，被玻璃遮擋的一半區域裡，看不見彩色干涉紋。利用 M_2 微調旋鈕，使 M_2 繼續後退，直到彩色干涉紋在另外一半視野中出現，慢慢的移動，使中央暗線再次對準叉絲，記錄 M_2 的位置 d_2 。

註：在後退過程中，望遠鏡視野的中央帶狀區域會出現彩色干涉紋，此乃只經過待測玻璃一次的邊緣光線所產生，不要被騙了。

(4) 將數據代入公式(1)，算出折射率，並與標準值比較，算出百分誤差。

註：待測玻璃的厚度 $L=0.691$ mm，玻璃折射率 $n=1.5$ 。

(5) 將 M_2 前移至 10.00 位置，重複步驟(2)到(4)，測量 3 個 n 值，就會發現機械間隙是完全不可靠的。

【問題】

1. 何謂‘節拍效應’？
2. 環形干涉紋的成像位置與平行干涉紋的成像位置有何不同？
3. 何謂零點干涉？為何白光的干涉紋只存在此狀況下？

【參考資料】

1. 幾何光學，葉玉堂、饒建珍、肖峻編著，郭浩中校訂，台北市，五南圖書出版股份有限公司，2008年12月，CH 5.2.2、5.5.1、5.6.2。
2. Optics, by Eugene Hecht, 4th Edition, Ch 9.4。