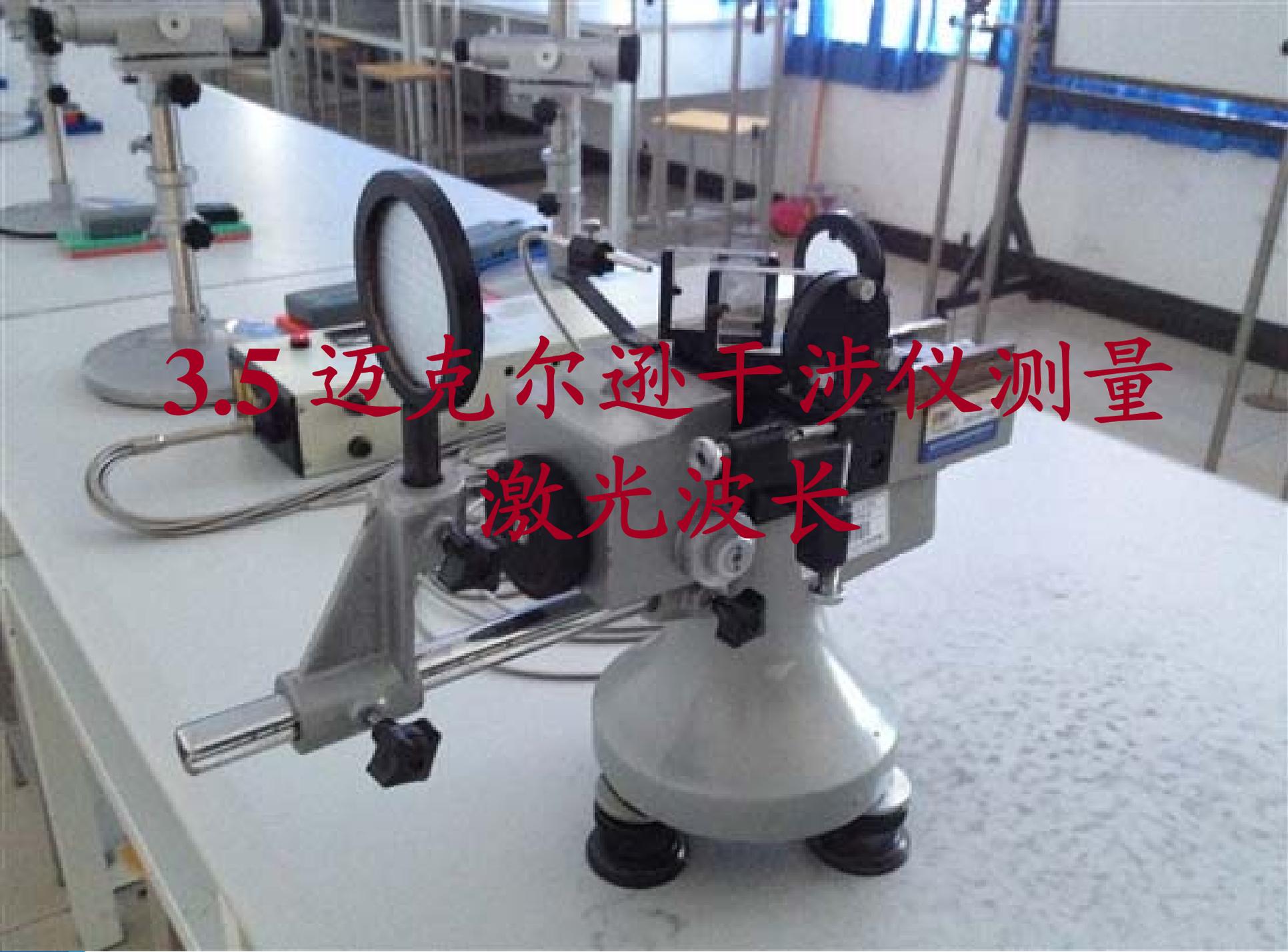


3.5 迈克尔逊干涉仪测量 激光波长





迈克尔逊简介



迈克尔逊 (1852-1931)

迈克尔逊，美国物理实验学家，主要从事光学和光谱学方面的研究。他发明了一种用以测定微小长度、折射率和光波波长的干涉仪（**迈克尔逊干涉仪**），因发明精密光学仪器和借助这些仪器在光谱学和计量学的研究工作中所做出的贡献，被授予了**1907年度诺贝尔物理学奖**。



实验简介

19世纪后期认为光是依靠宇宙间充满的“以太”（媒质）传播的电磁波，迈克尔逊1887年与莫雷完成了著名的迈克尔逊-莫雷实验，他们测量了成直角传播的两束光的传播速度，由于地球的公转与自转，依照“电磁以太”理论，地球在“以太”中穿行，上述两束光的传播速度应有所差别。但是，无论昼夜或冬夏的实验都未测得这种差别与变化。1905年，爱因斯坦指出，“以太”纯属多余，由此提出了同时的相对性，建立了狭义相对论。



实验目的

1. 了解迈克尔逊干涉仪的基本结构并掌握其调节和使用方法。
2. 观察非定域等倾干涉现象。
3. 利用非定域等倾干涉测量He-Ne激光的波长。



实验仪器

1. HJ2A-7型He-Ne激光器;
2. WSM-100型迈克尔逊干涉仪 ($\Delta_{\text{仪}} = 5 \times 10^{-5} \text{ mm}$);
3. 毛玻璃屏 (观察屏)。



迈克尔逊干涉仪

主尺

(仪器侧面)

激光束

分光板 G_1

补偿板 G_2

可动反射镜 M_1

导轨 精密丝杠

观察屏

读数窗

水平拉簧螺钉

反射镜
调节螺钉

粗动手轮

微动手轮

垂直拉簧螺钉

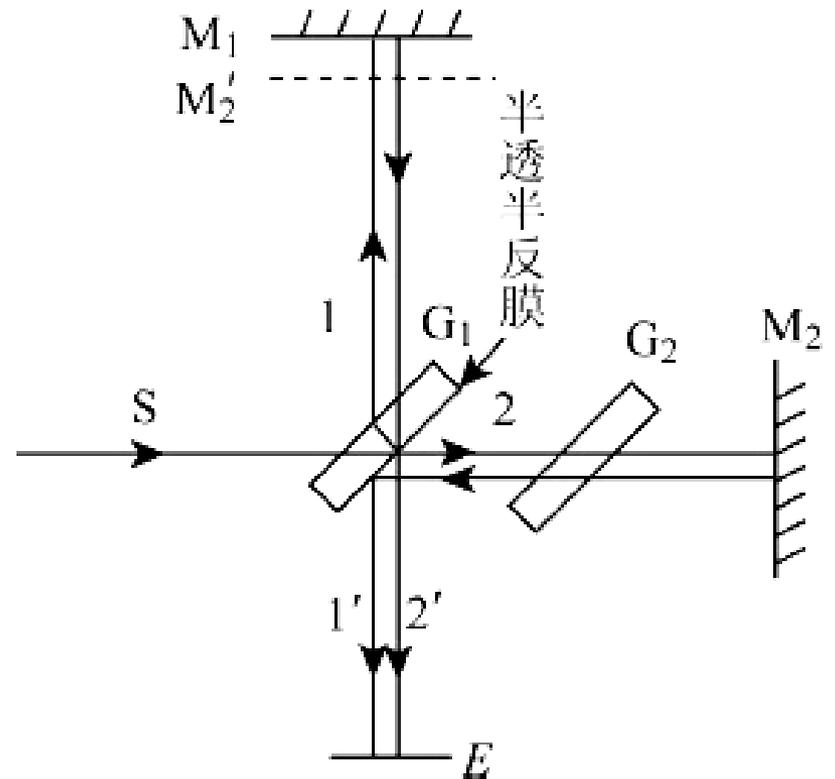
固定反射镜 M_2





迈克尔逊干涉仪光路图

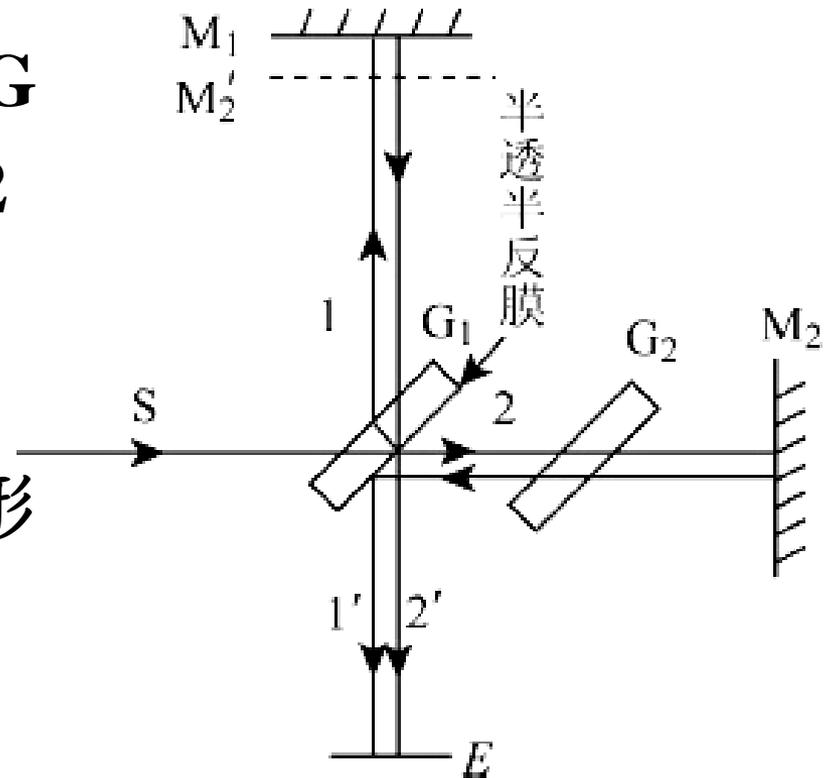
G_1 、 G_2 是两块同材料、同厚度、完全平行的平板光学玻璃， G_1 下表面镀有一层半透半反膜。 M_2' 是 M_2 对于半透半反膜的镜像。光源 S 发出的光入射到分光板 G_1 时，经半透半反膜反射和透射分成光束1和2。

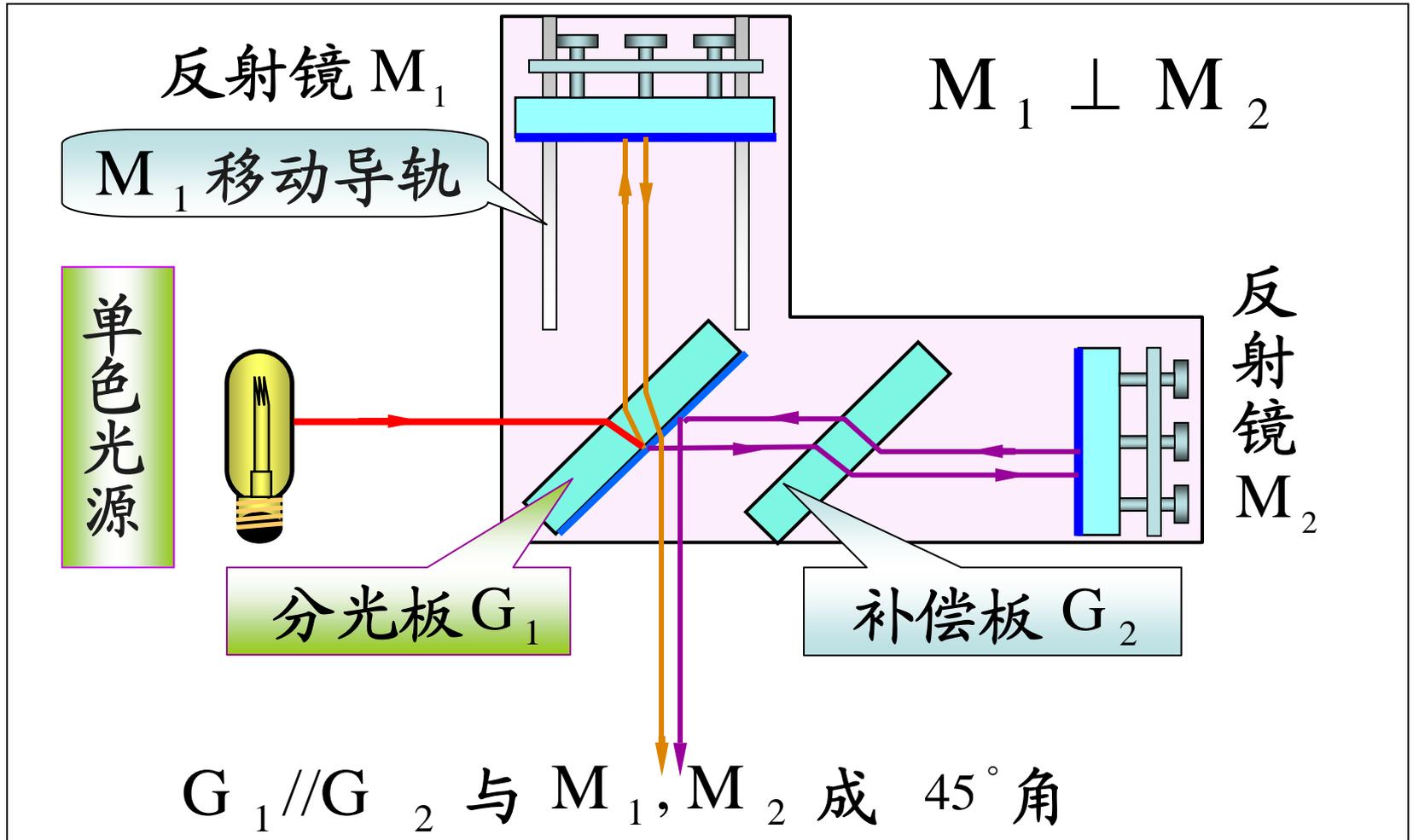


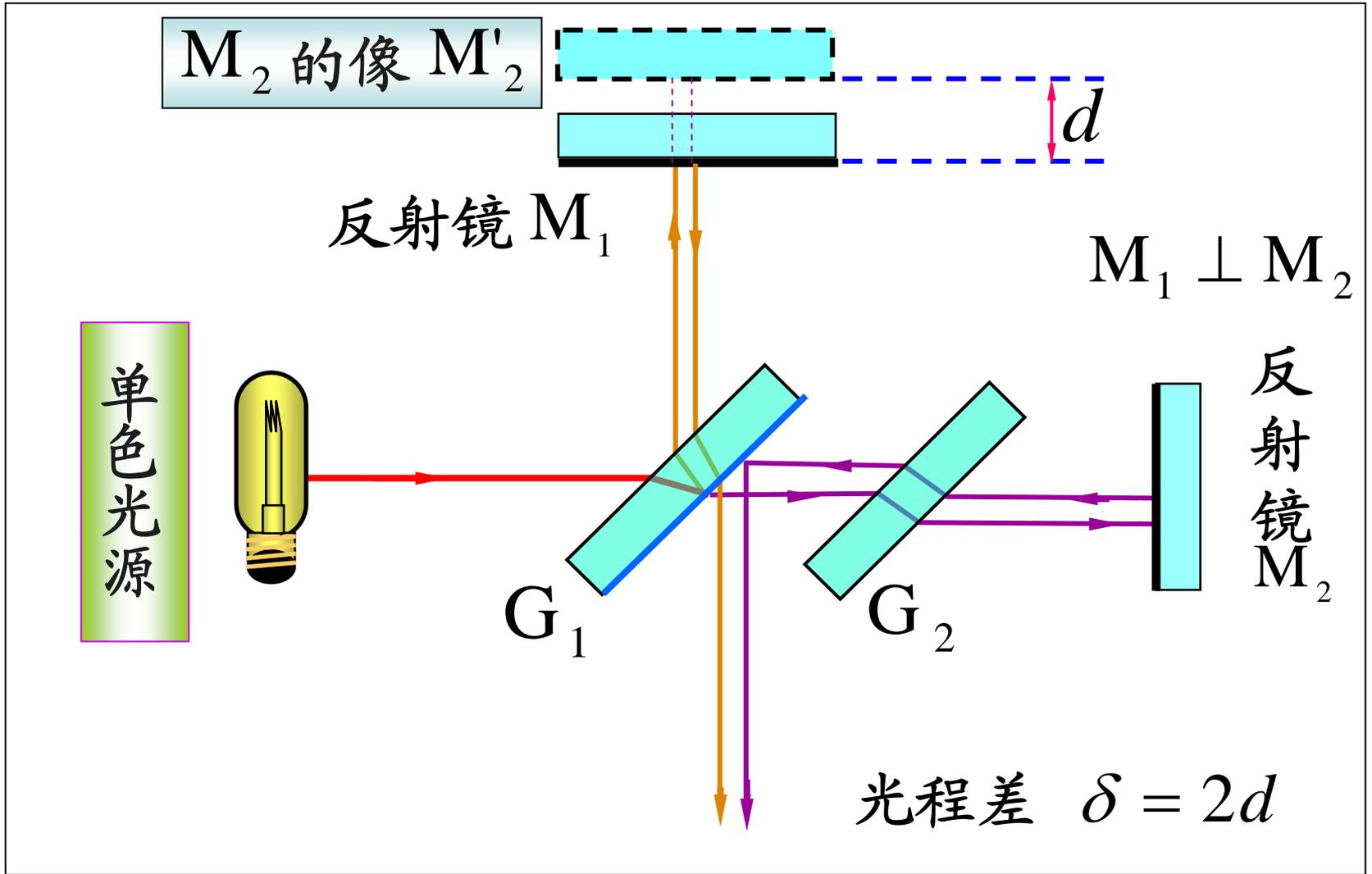


迈克尔逊干涉仪光路图

光束1向平面镜 M_1 传播，遇 M_1 全反射折回，再经过 G_1 透射形成光束1'。光束2经过 G_2 向平面镜 M_2 传播，遇 M_2 后全反射，再一次通过 G_2 后经半透半反膜反射形成了光束2'。光束1'和2'为相干光，它们在空间叠加形成干涉条纹。

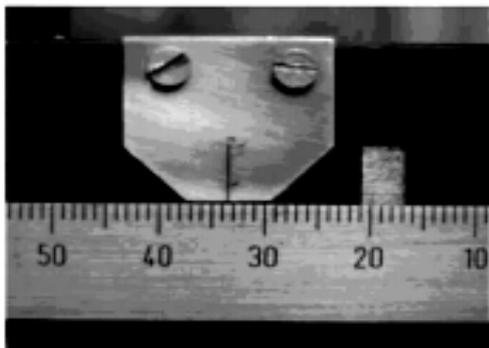




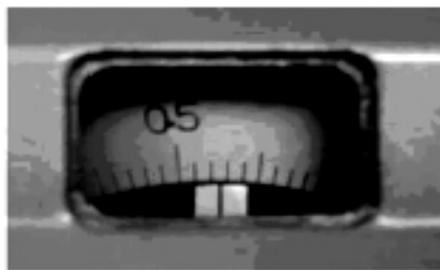




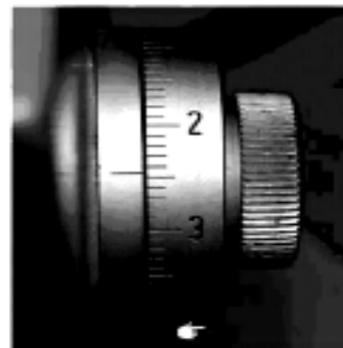
干涉仪的读数装置：由3部分组成



(a) 主尺

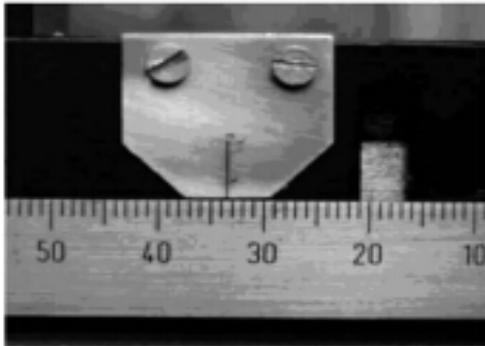


(b) 粗动手轮读数窗口

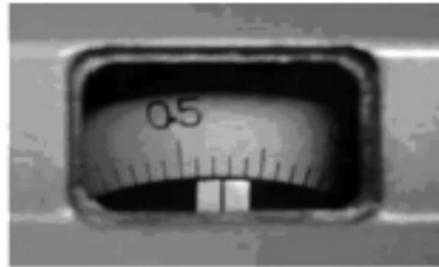


(c) 微动手轮

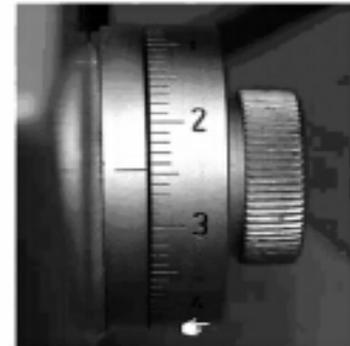
- (1) M_1 镜移动距离的毫米数值在机体导轨侧面的毫米刻度尺（主尺）上直接读出，只读到毫米整数位，不估读。



(a) 主尺

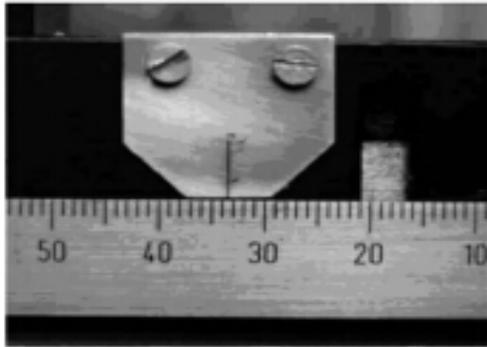


(b) 粗动手轮读数窗口



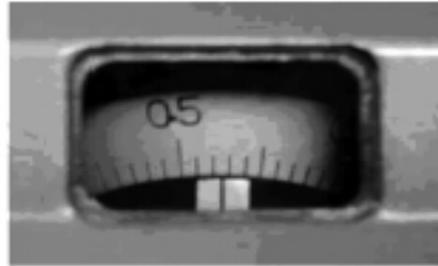
(c) 微动手轮

- (2) 粗动手轮转动一周， M_1 在主尺上移动1mm，粗动手轮的转动由读数窗内的刻度鼓轮显示，刻度鼓轮具有100个格子，鼓轮每转动一格， M_1 移动0.01mm，因此可准确读出 M_1 移动距离的0.1mm和0.01mm两位有效数字。



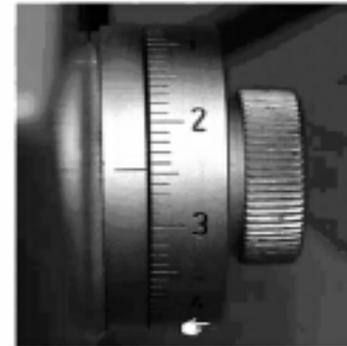
(a) 主尺

33mm



(b) 粗动手轮读数窗口

0.52mm



(c) 微动手轮

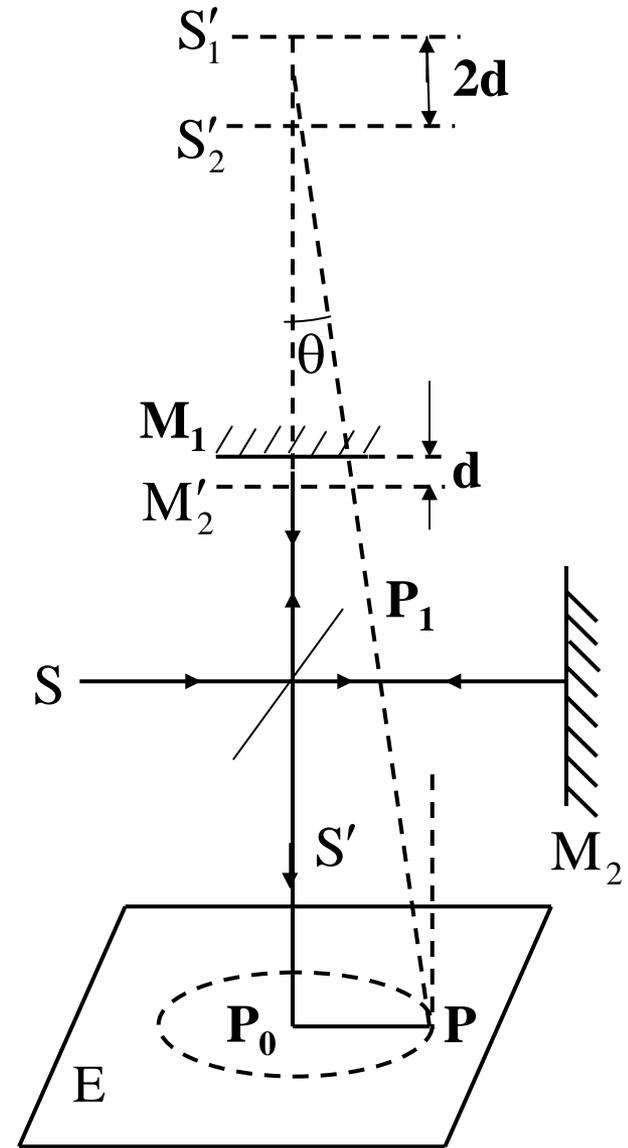
0.00246mm

(3) 微动手轮每转动一周，粗动手轮的鼓轮转一格， M_1 移动0.01mm，而微调鼓轮的周线也被等分为100格，微动手轮每转一格，表示 M_1 移动0.0001mm，可准确读出小数点后第四位，再加上估读一位，最后应该读到小数点后第五位。



2. 单色平面激光束的非定域干涉

调节 M_1 、 M_2 严格垂直，那么 M_1 、 M_2 严格平行，它们之间形成厚度均匀的空气薄膜。 S 对 P_1 半反膜的镜像为 S' ， S'_1 则是 S' 相对 M_1 的镜像， S'_2 是 S' 对 M_2 的镜像，细激光束 S 经 P_1 分束、经 M_1 、 M_2 平面镜反射、再经 P_1 射向观察屏 E 的光线可以等效地看成是由虚光源 S'_1 、 S'_2 发出的。

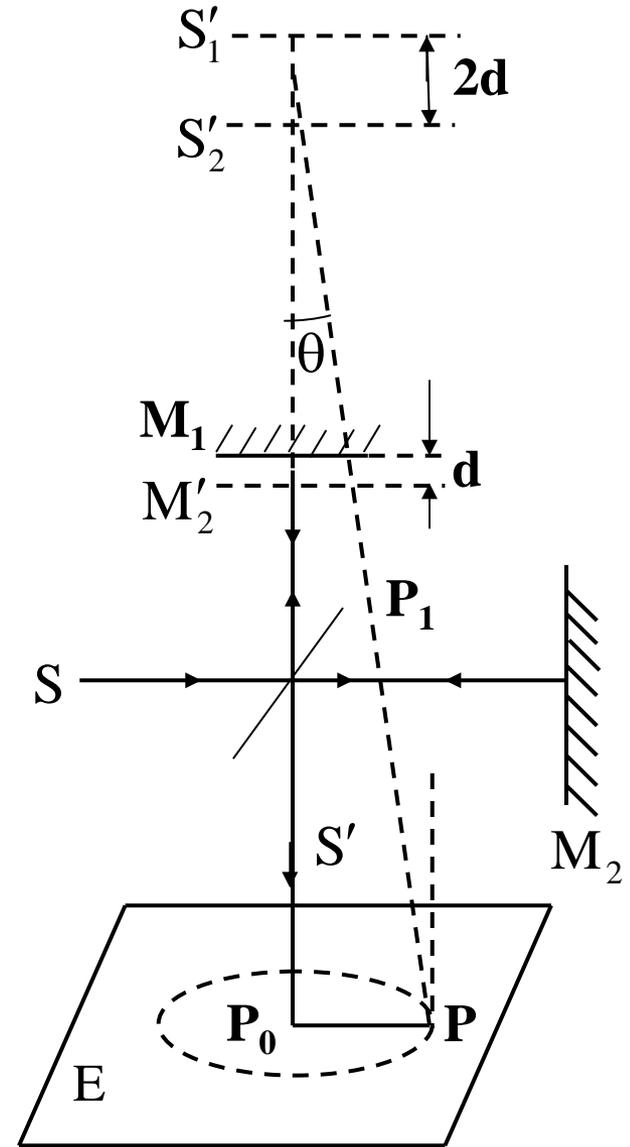




S'_1 和 S'_2 可看作是由平面激光源 S 分出的一对相干光源，它们发出的相干光在其相遇的空间里处处相干而产生干涉条纹，这种干涉现象没有确定的区域，称为**非定域干涉**。

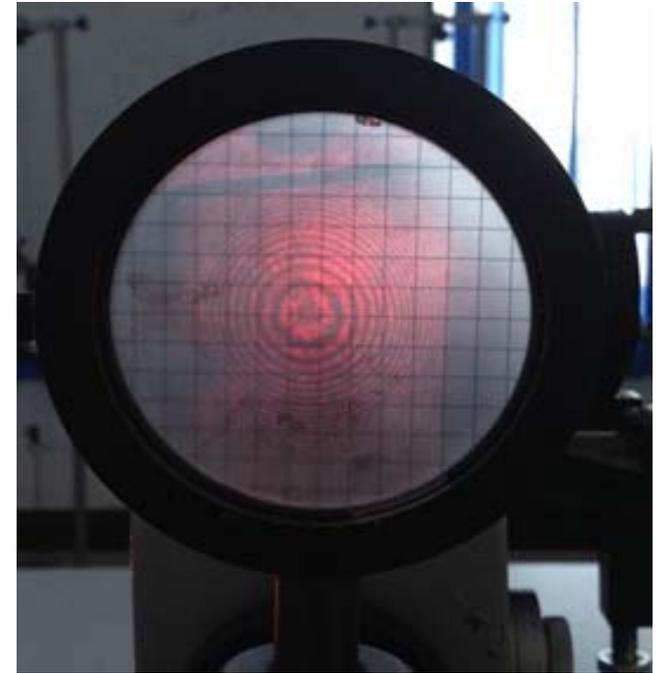
对于观察屏 E 上任一点 P ，由相干虚光源 S'_1 、 S'_2 发出的两光线的光程差为

$$\delta = 2d \cos \theta$$

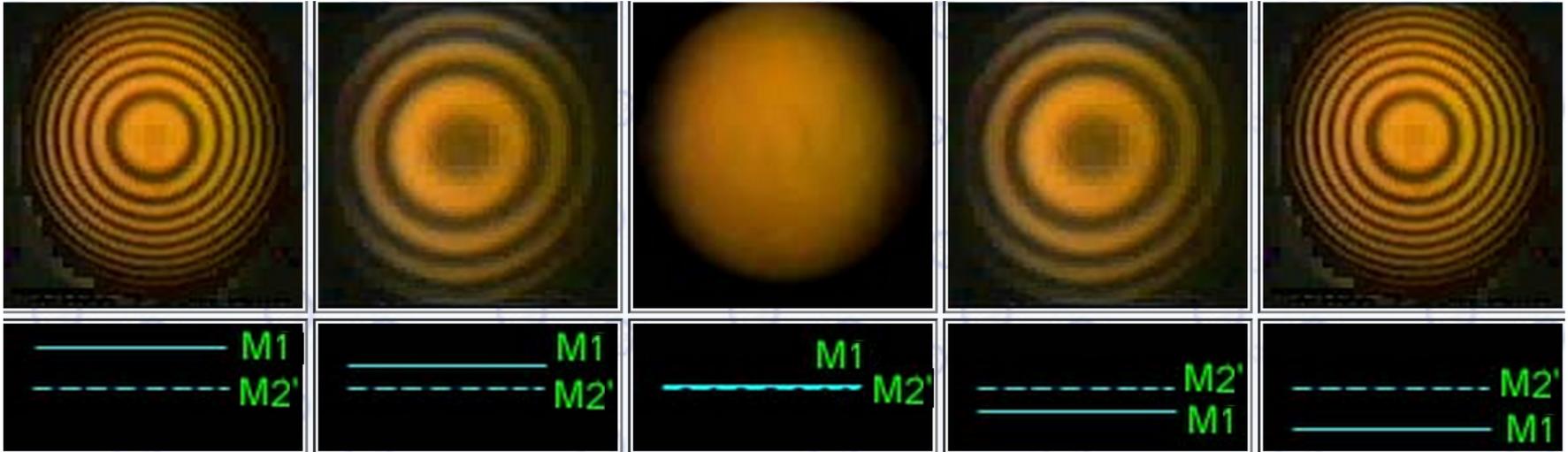




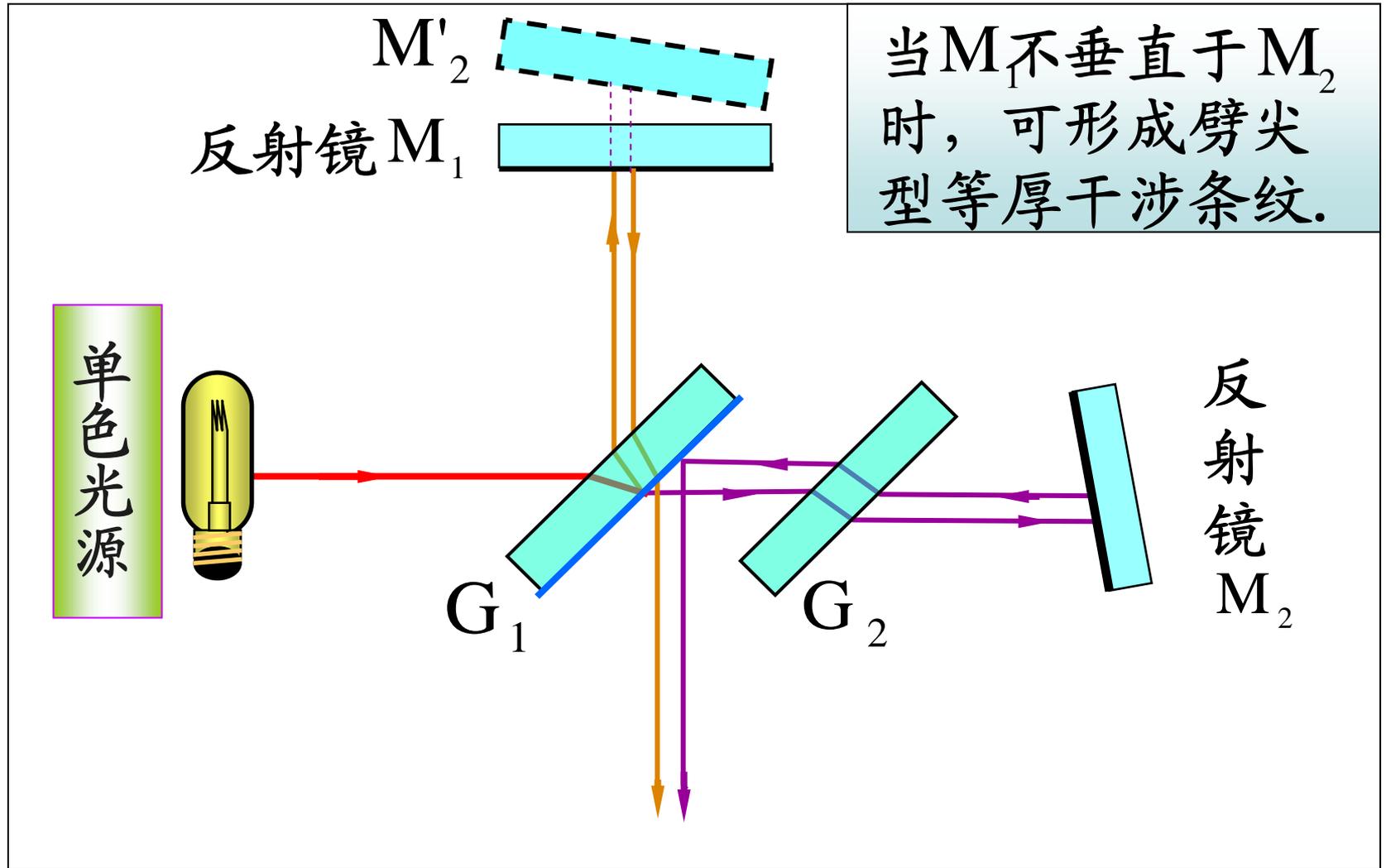
如果通过调节使得 M_1 、 M_2 严格垂直，那么 M_1 和 M_2' 严格平行，它们之间形成厚度均匀的空气薄膜，上式中 d 为常量，光程差 δ 只由倾角 θ 确定，即在倾角 θ 相等的方向上两相干光的光程差 δ 均相等，而具有相同倾角 θ 的各方向光束形成一圆锥面，屏上将观察到明暗相间的同心圆条纹，其特点是内疏外密，这种条纹称之为非定域的等倾干涉条纹。

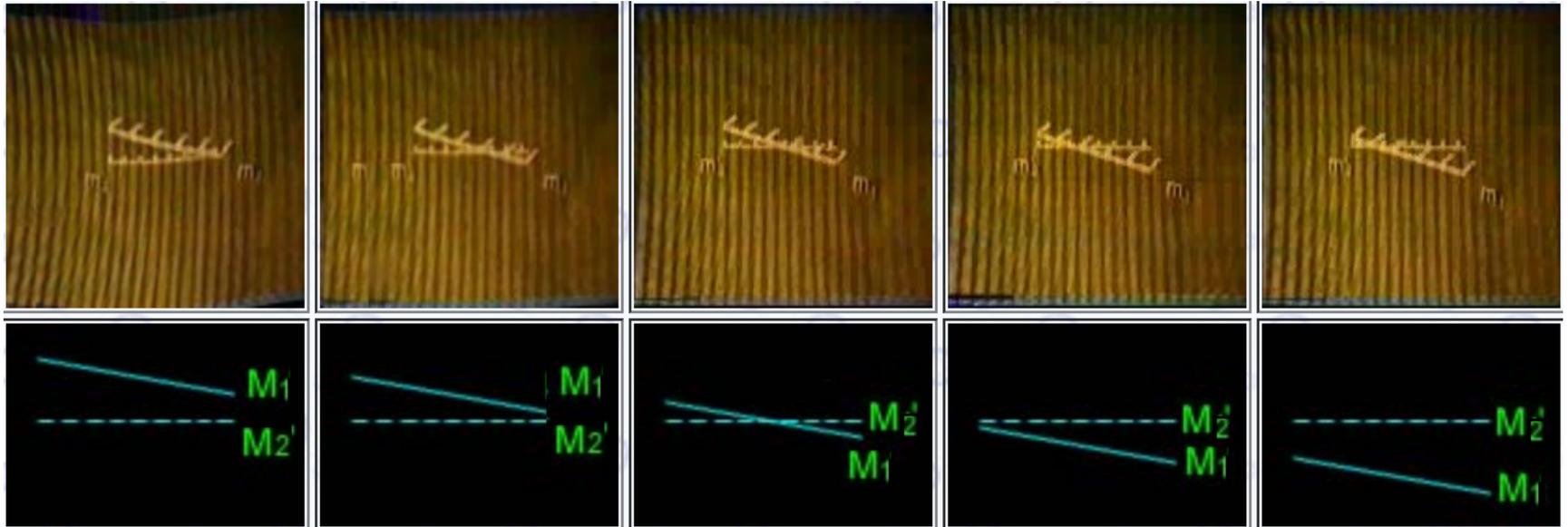


观察屏的同心圆条纹



非定域等倾干涉条纹及 M_1 和 M_2' 的相应位置





非定域等厚干涉条纹及 M_1 和 M_2' 的相应位置



实验测量原理

利用非定域等倾干涉条纹的变化可以精确地测量 He-Ne 激光的波长 λ 。

两束相干光干涉相长即形成明纹的条件为

$$\delta = 2d \cos \theta = k\lambda \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

对于倾角 $\theta = 0$ 中心处, $2d = k\lambda$, $2\Delta d = (\Delta k)\lambda$

则

$$\lambda = \frac{2}{\Delta N} \Delta d$$



实验内容与数据处理

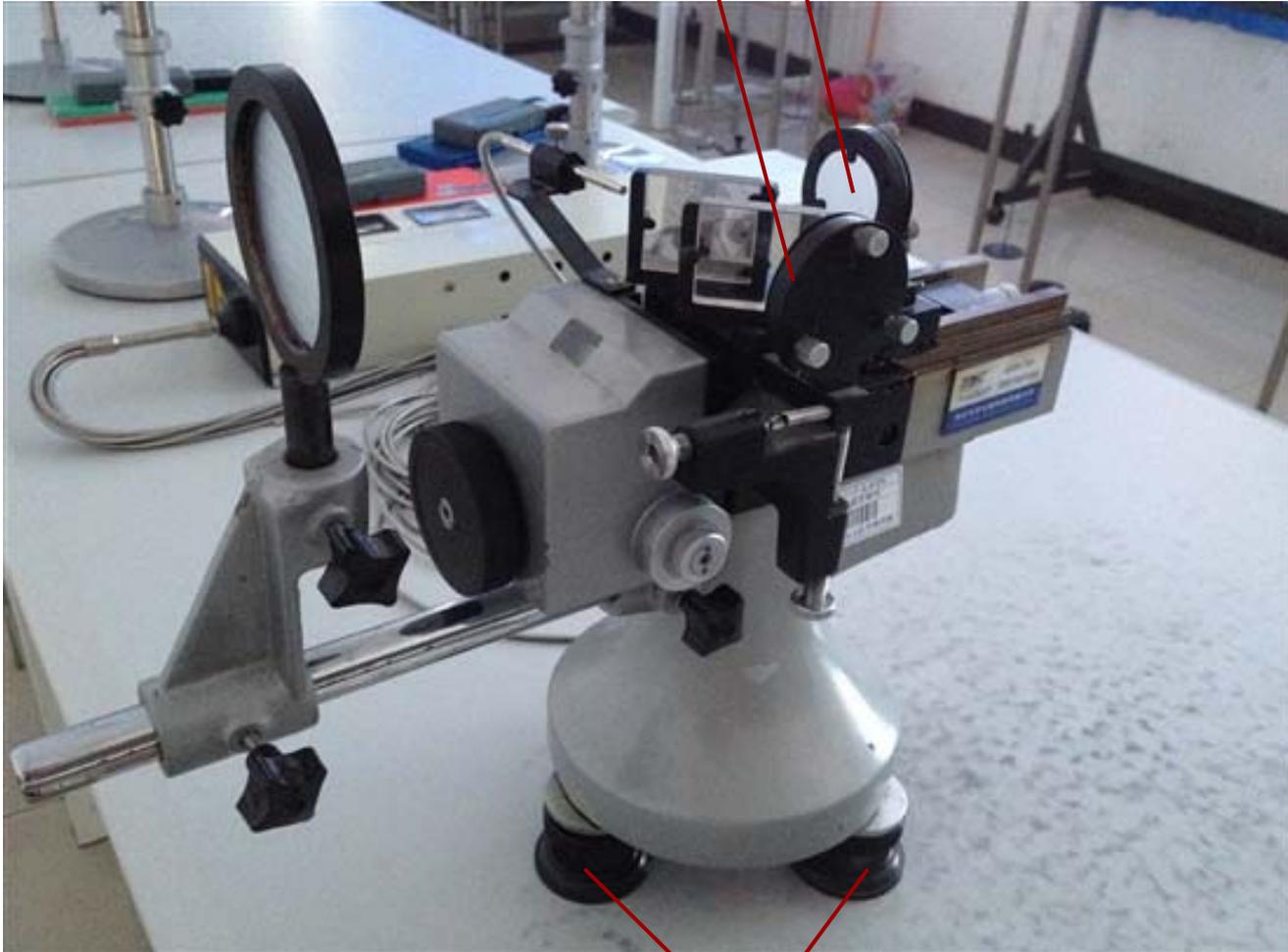
1. 迈克尔逊干涉仪的调节与非定域等倾干涉条纹的观察

(1) 粗调

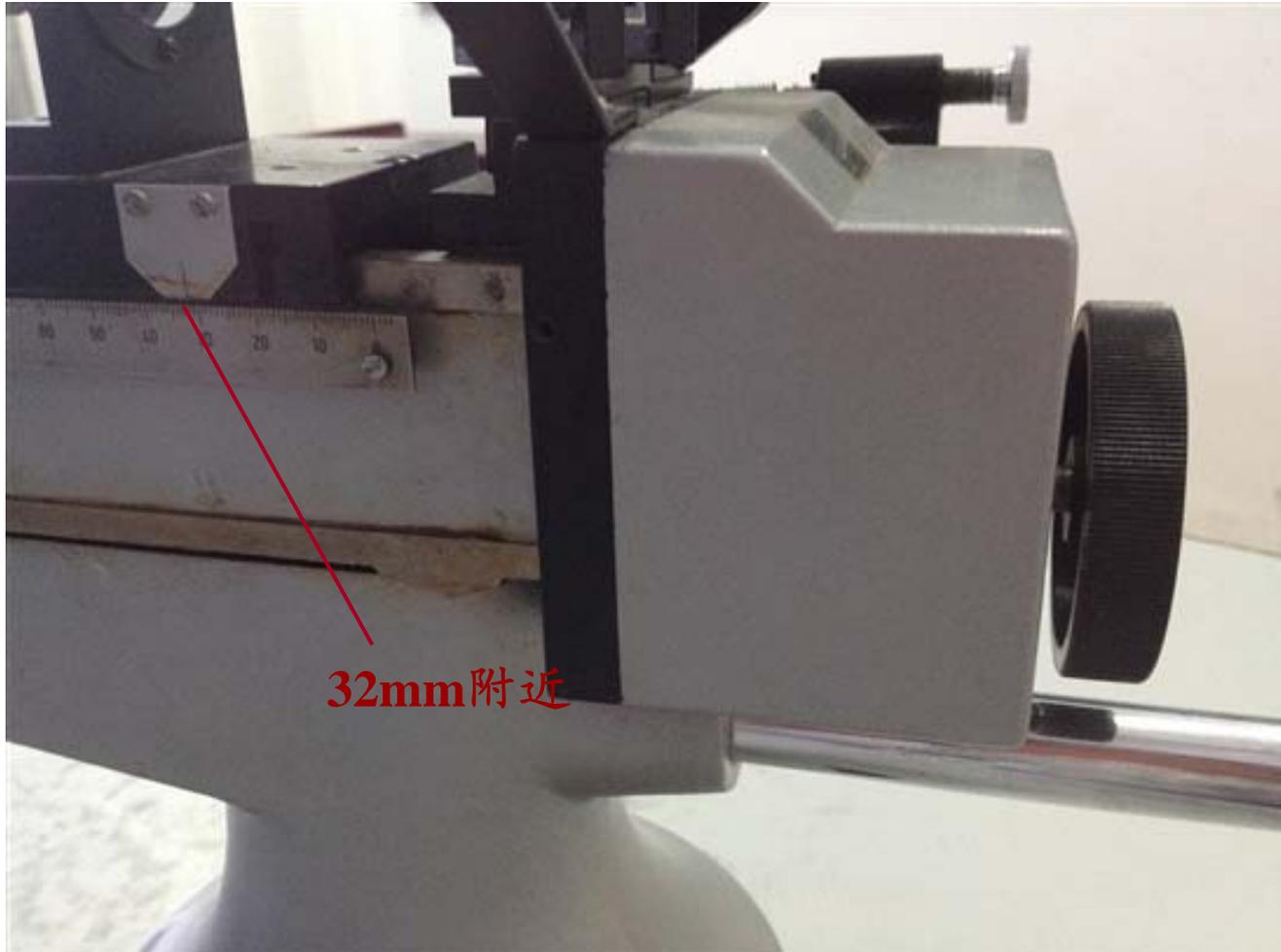
先调节迈克尔逊干涉仪基座上的3个“水平调节螺钉”，使干涉仪导轨基本水平。再调节 M_1 、 M_2 大致垂直，并且基本垂直于导轨。转动粗动手轮，将 M_1 位置置于机体侧面标尺约32mm处。



M_2 镜 M_1 镜



水平调节螺钉

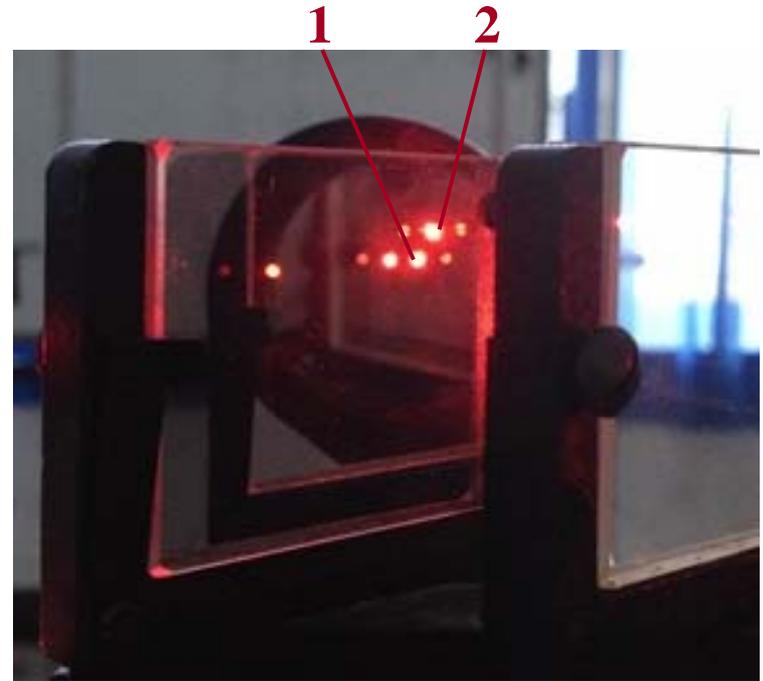


32mm附近



(2) 细调

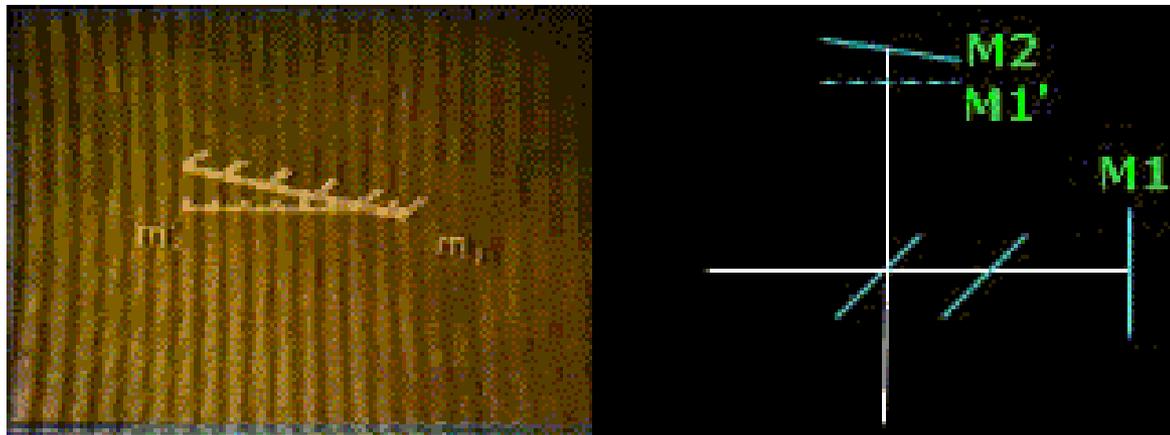
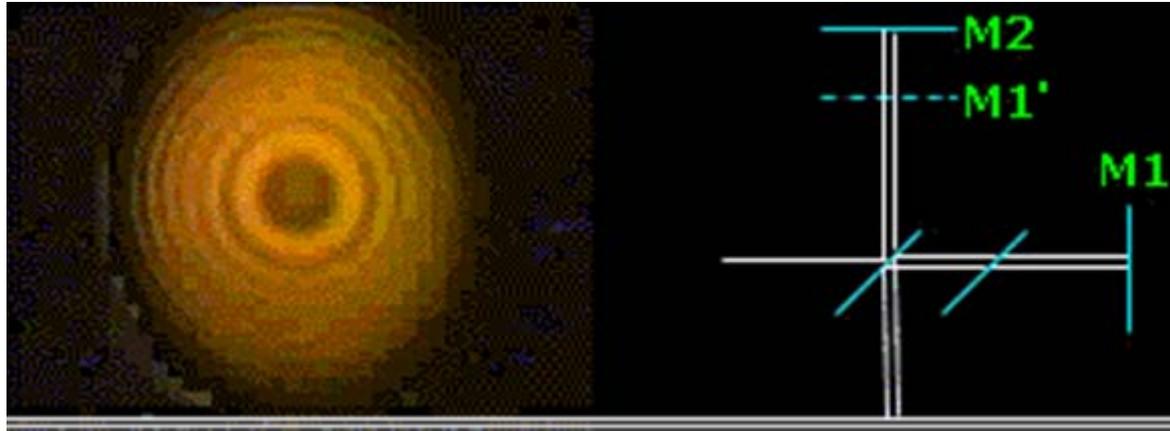
打开He-Ne激光器，使细激光束大致对准 G_1 的中部且垂直于 M_2 入射，取下观察屏用眼睛直看 M_1 （也可以在观察屏上观察），可看到两排激光光斑，仔细缓慢地调节 M_1 、 M_2 镜背后的螺钉，使两排光点中最亮的两个光点(图中1和2点)完全重合，此时 M_1 、 M_2 基本上就垂直了。





(3) 观察非定域等倾条纹变化并记录观察结果

转动粗调手轮使 M_1 镜前后移动，增大或减小 d 值，观察并记录非定域等倾干涉条纹随之变化的规律，即条纹的形状、疏密度、中心处“冒出”或“陷入”条纹随 d 变化而变化的情况。





2. 利用非定域等倾干涉条纹的变化测量He-Ne激光波长

(1) 调零。

先将微调手轮沿某一方向旋转至零，然后以同样的方向转动粗调手轮对齐读数窗中的任一刻度线。注意自此以后的测量中，只能以同一方向转动微调手轮移动 M_1 镜。

(2) 消除空程差。

按照调零时转动微调手轮的方向继续缓慢地向同一旋转方向转动微调手轮，当圆环条纹中心开始均匀陷入（或冒出）时，才可以开始读数测量。



(3) 测量。

继续同向转动微调手轮，将干涉环中心调至最暗（或最亮），记下此时 M_1 镜的初始位置，继续同向转动微调手轮，并对干涉条纹的陷入（或冒出）开始计数，每陷入（或冒出）50个就记录一次 M_1 镜的位置，直到450个的陷入（或冒出）。记录表格3-9中。



表3-9 M_1 位置 d_i 数据记录表

干涉条纹移动数 N_1	0	50	100	150	200
M_1 位置 d_i/mm					
干涉条纹移动数 N_2	250	300	350	400	450
M_1 位置 d_{i+5}/mm					

(4) 用对半分逐差法处理数据，并给出测量结果。

$$\lambda = (\bar{\lambda} \pm U_{\bar{\lambda}}) \text{nm}$$



注意事项

1. 拖动 M_1 在导轨上移动的是精密丝杆，丝杠和导轨精度是很高的，使用时要格外小心，动作要轻要慢。
2. 切记补课用手触摸 M_1 、 M_2 、 G_1 、 G_2 的光学镜面和半透半反膜，必须保持这些光学面的清洁。注意保护平面反射镜和望远镜，**不能用手触摸镜面。**
3. 切记各调节螺钉不可拧得太紧，尽量减少 G_1 、 G_2 、 M_1 、 M_2 的压应力。



思考题

1. 什么叫非定域的等倾干涉？
2. 在图3-21中， M_1 镜沿着 M_1 、 M'_2 距离减小的方向移动并越过 M'_2 ，在这一过程中环形条纹的“陷入”和“冒出”会发生什么变化？
3. 在观察450个条纹的陷入或冒出时，为什么微调手轮只能朝一个方向旋转？
4. 测量波长时，要求条纹数 ΔN 尽可能大，这是为什么？