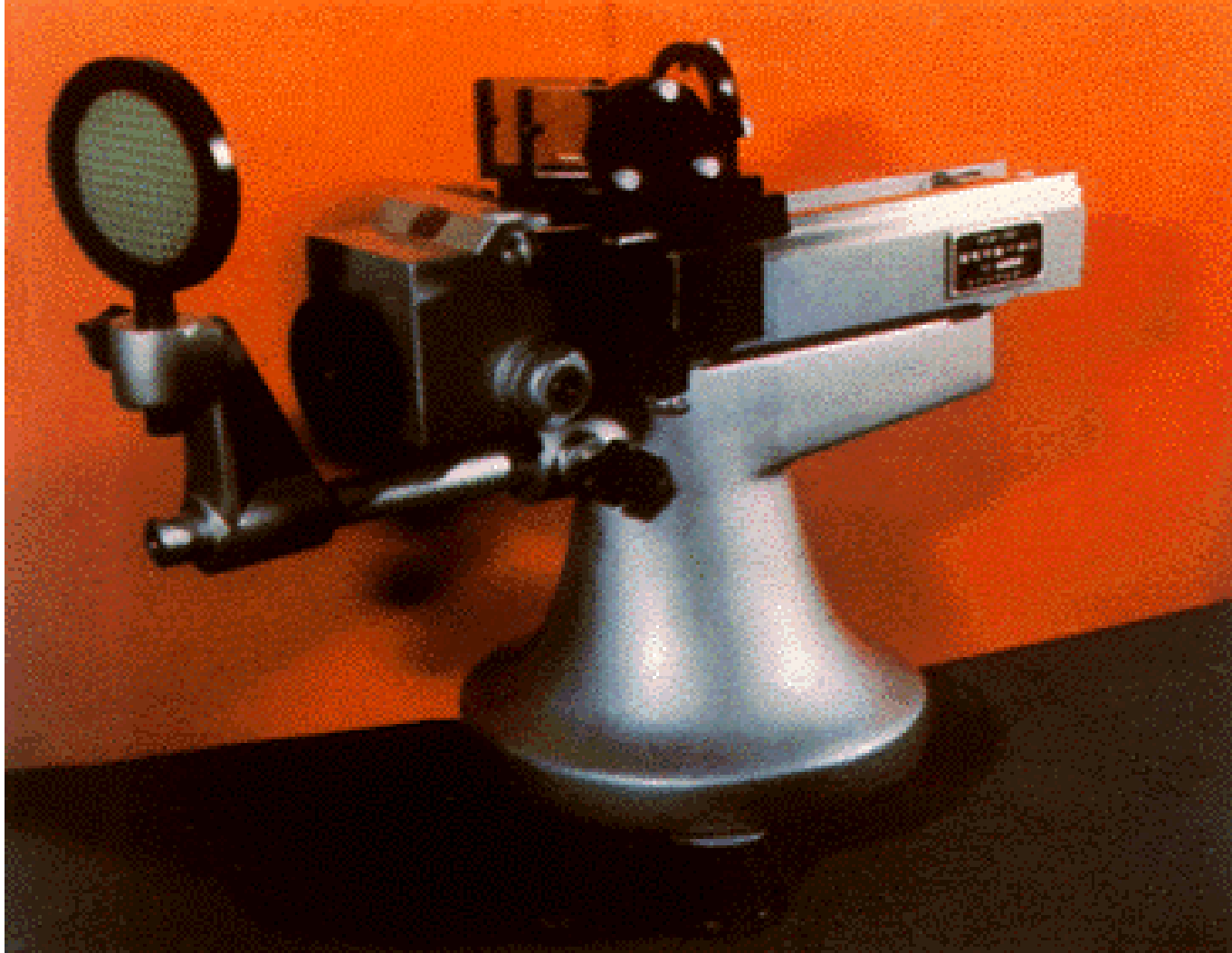


第五节

迈克尔逊干涉仪



迈克耳逊
(A.A.Michelson)

美籍德国人

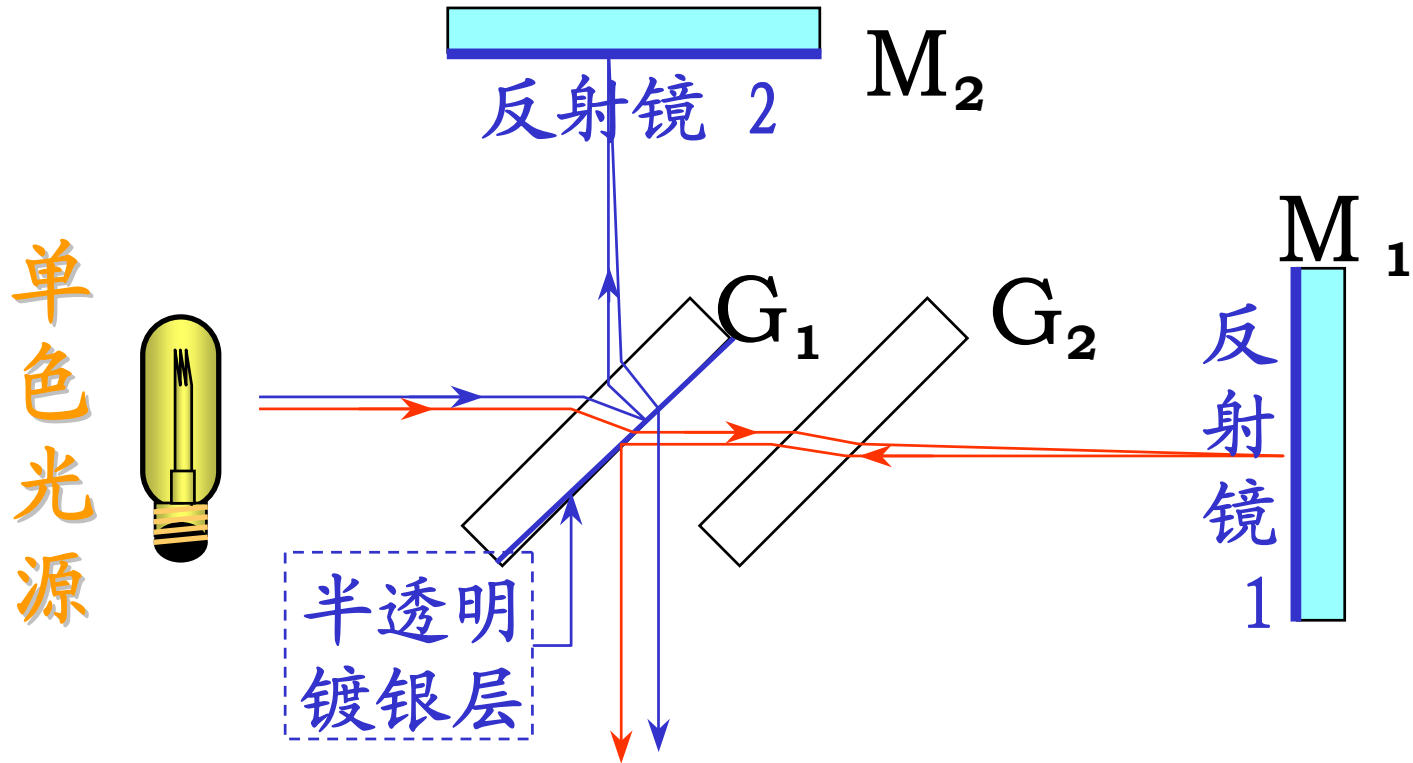
因创造精密光学仪器，用以进行光谱学和度量学的研究，并精确测出光速，获1907年诺贝尔物理奖。



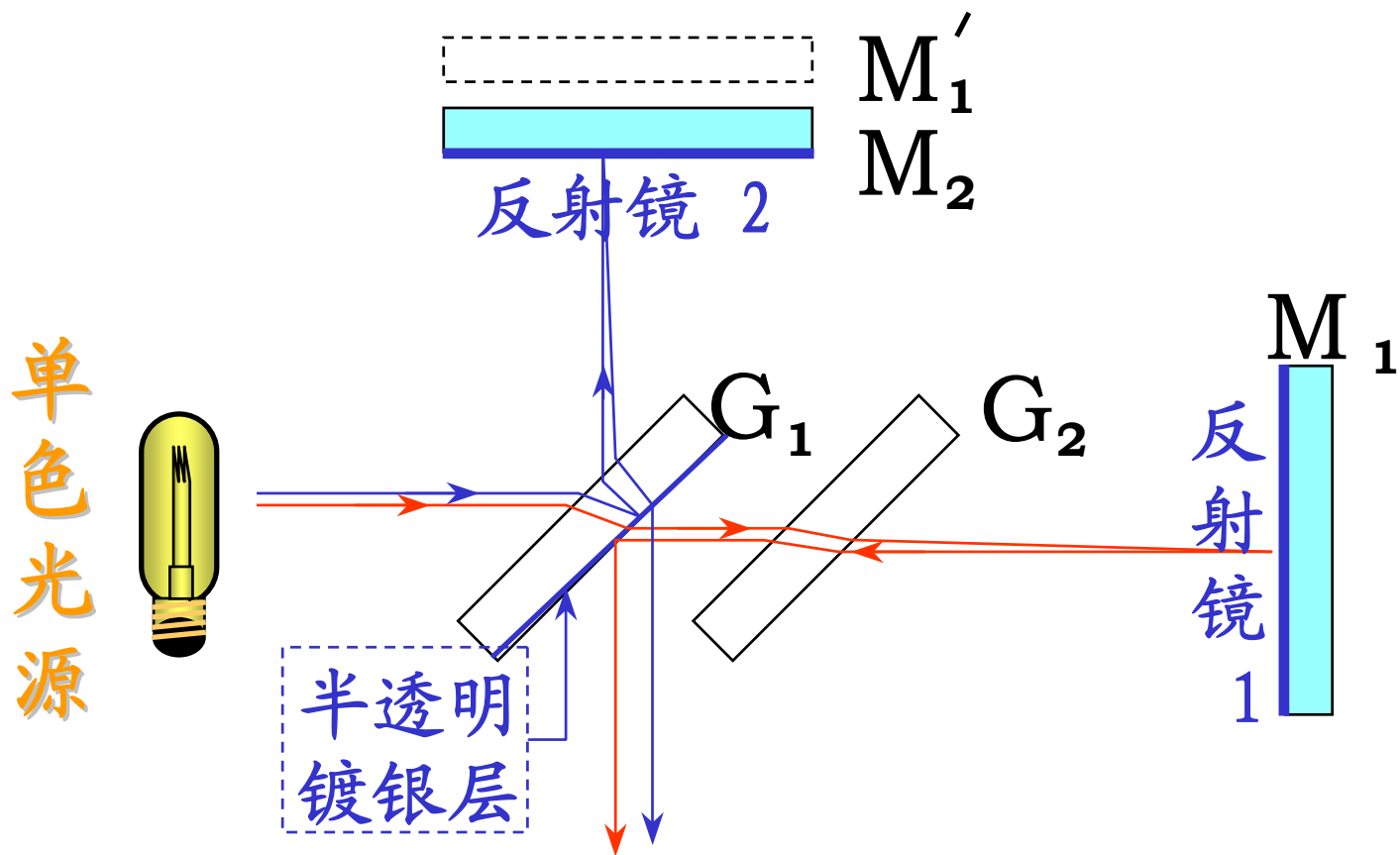
迈克耳逊在工作

迈克耳逊干涉仪

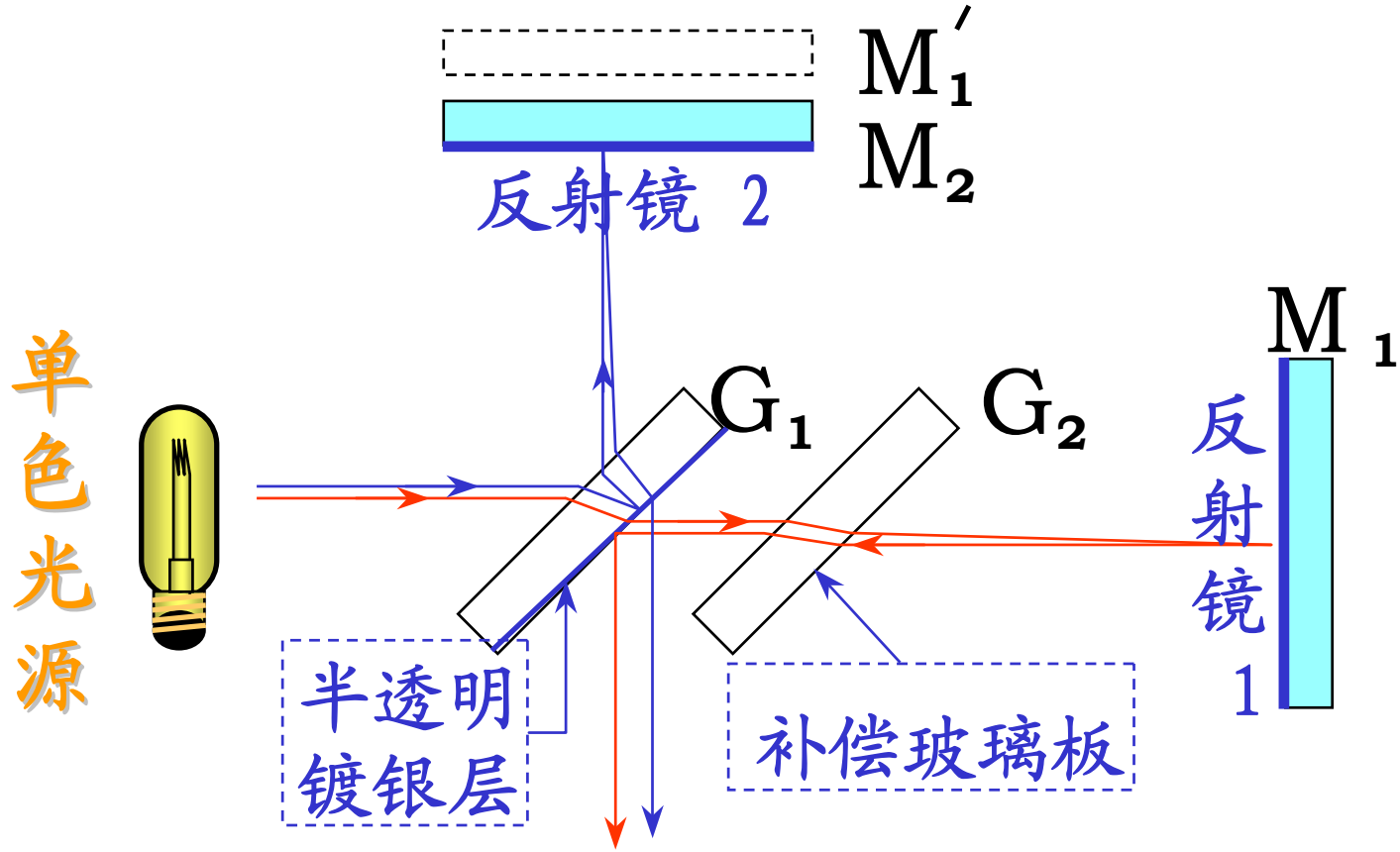
一. 干涉仪结构和干涉条纹



迈克耳逊干涉仪



迈克耳逊干涉仪



二. 条纹特点

1. 若 M'_1 、 M_2 平行

等倾条纹

2. 若 M_1 、 M'_2 有小夹角

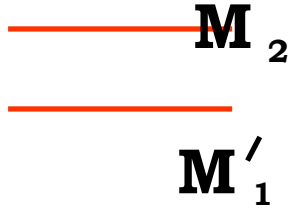
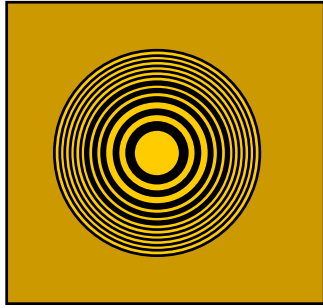
当 M_1 和 M'_2 不平行，且光平行入射，此时为等厚条纹

3. 若 M_1 平移 Δd 时，干涉条纹移过 N 条，则有

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

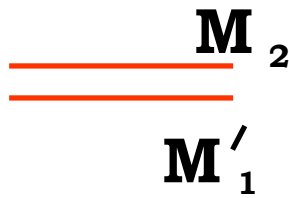
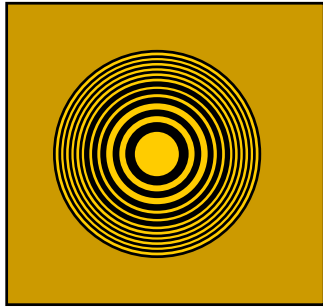
迈克耳逊干涉仪的干涉条纹

等倾干涉条纹



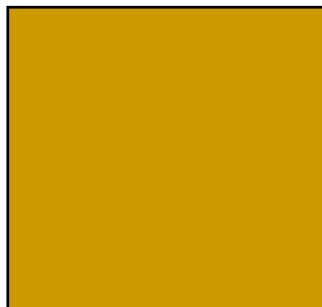
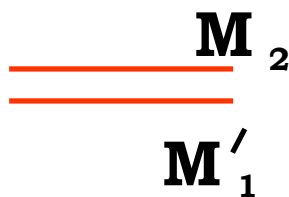
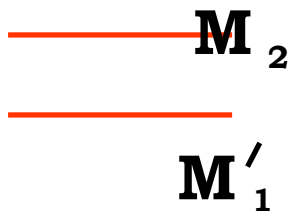
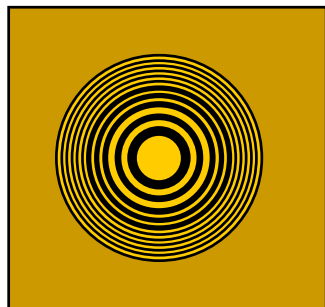
迈克耳逊干涉仪的干涉条纹

等倾干涉条纹



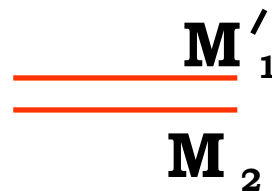
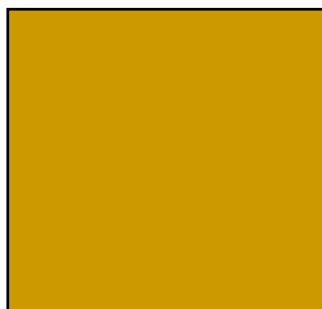
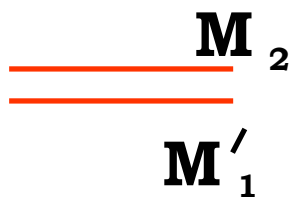
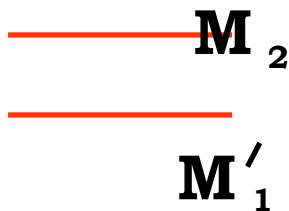
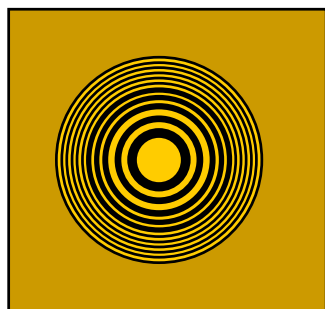
迈克耳逊干涉仪的干涉条纹

等倾干涉条纹



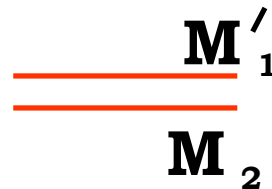
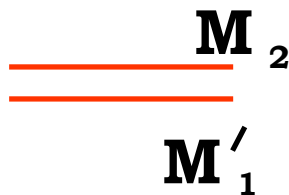
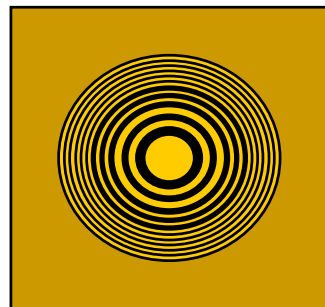
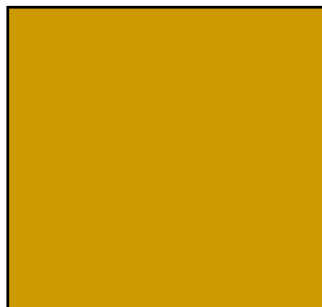
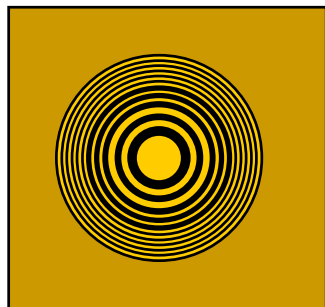
迈克耳逊干涉仪的干涉条纹

等倾干涉条纹



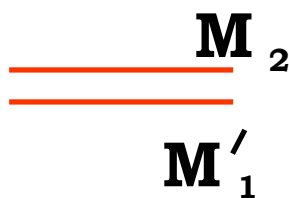
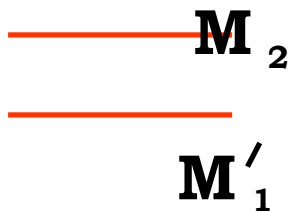
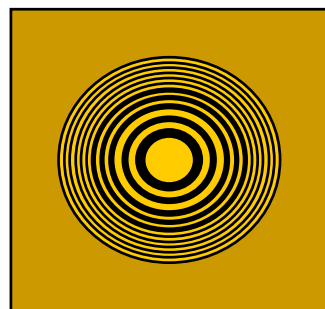
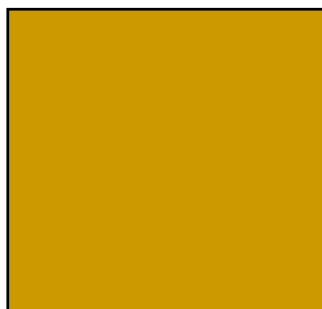
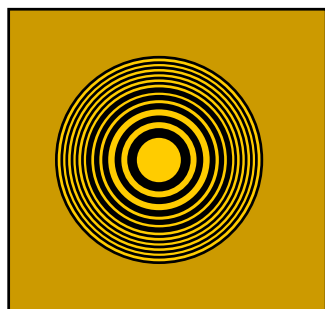
迈克耳逊干涉仪的干涉条纹

等倾干涉条纹

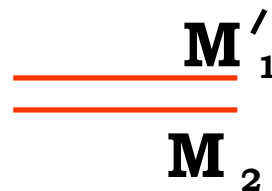


迈克耳逊干涉仪的干涉条纹

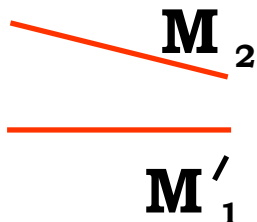
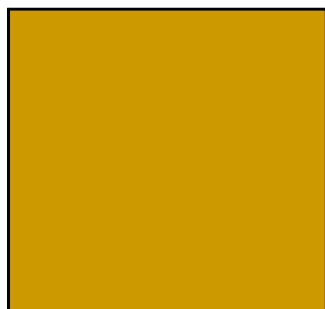
等倾干涉条纹



M_1' 与 M_2
重合

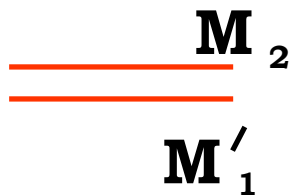
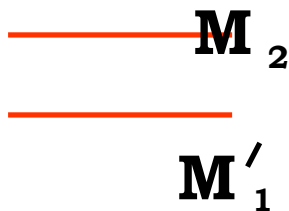
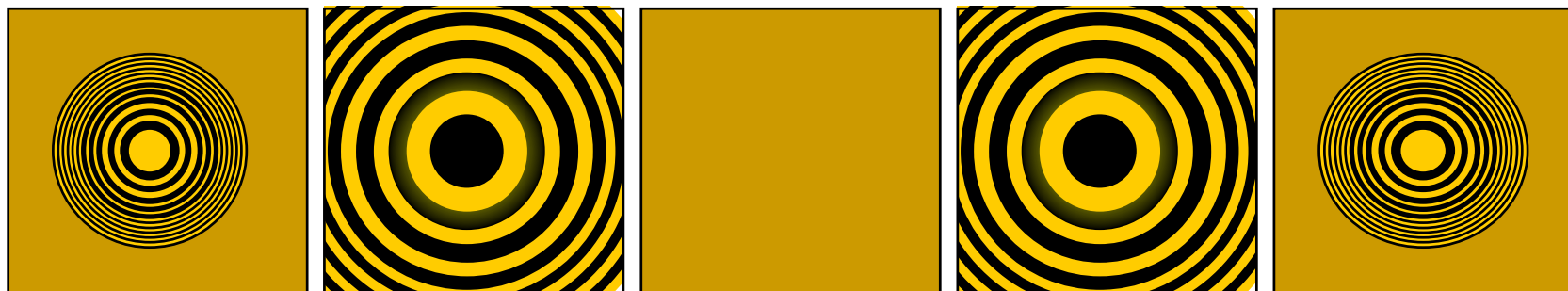


等厚干涉条纹

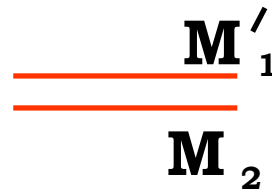


迈克耳逊干涉仪的干涉条纹

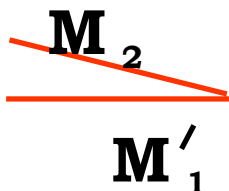
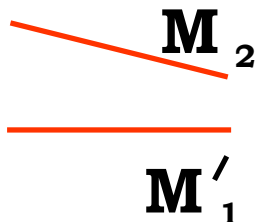
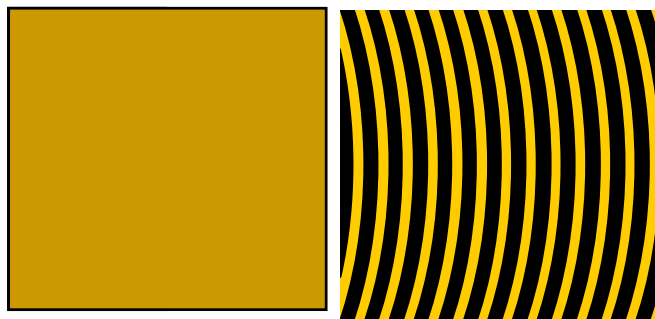
等倾干涉条纹



M'_1 与 M_2
重合

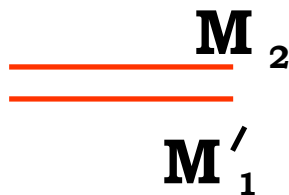
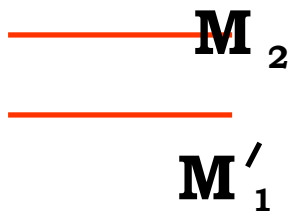
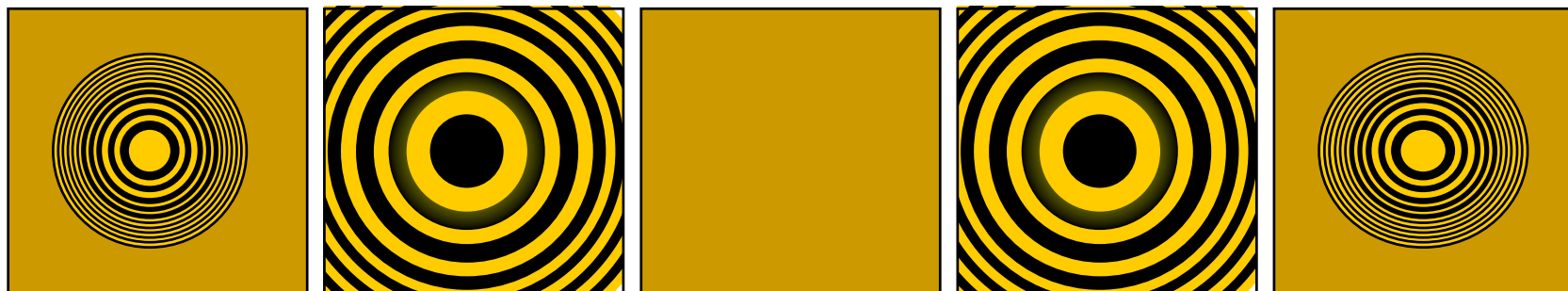


等厚干涉条纹

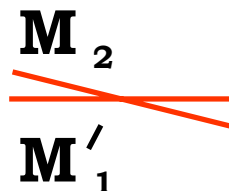
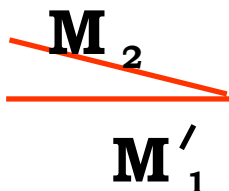
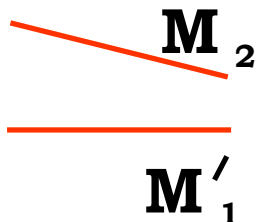


迈克耳逊干涉仪的干涉条纹

等倾干涉条纹

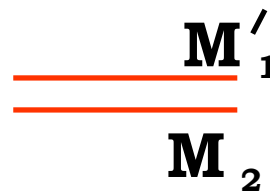
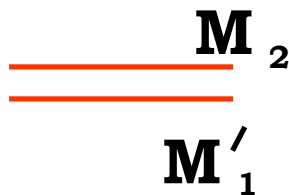
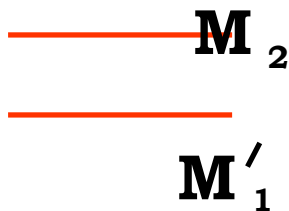
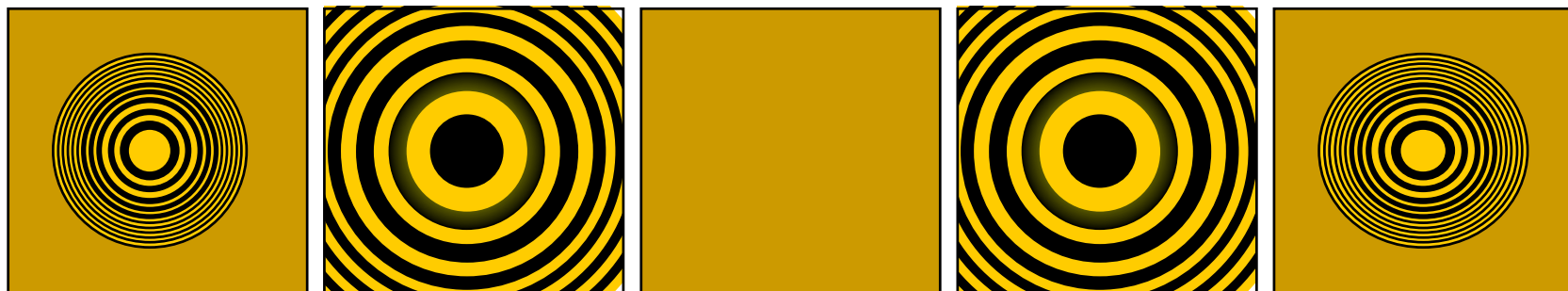


等厚干涉条纹

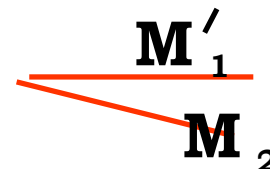
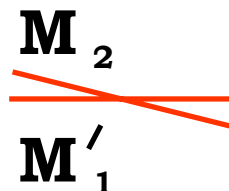
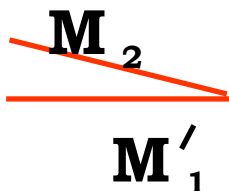
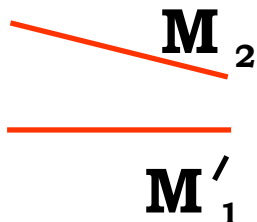
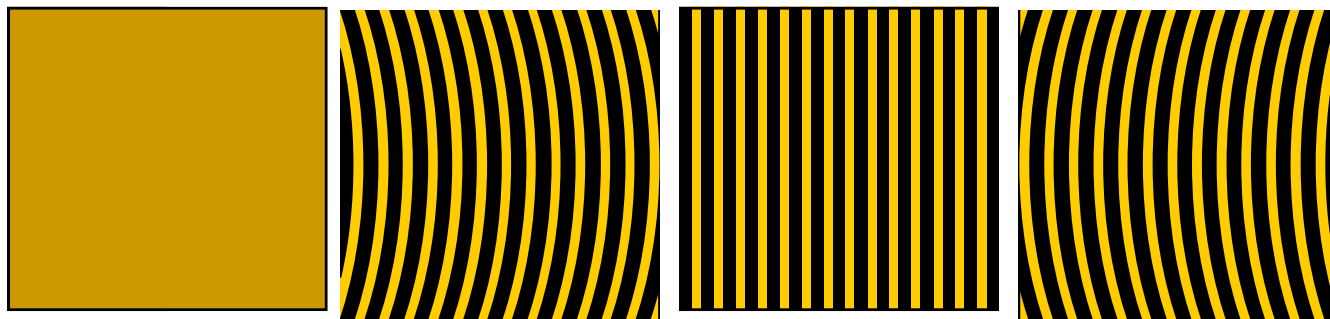


迈克耳逊干涉仪的干涉条纹

等倾干涉条纹

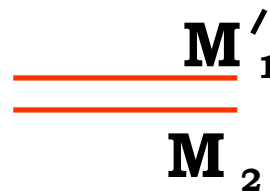
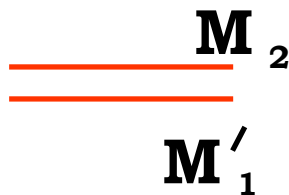
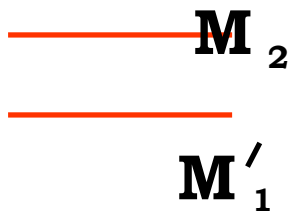
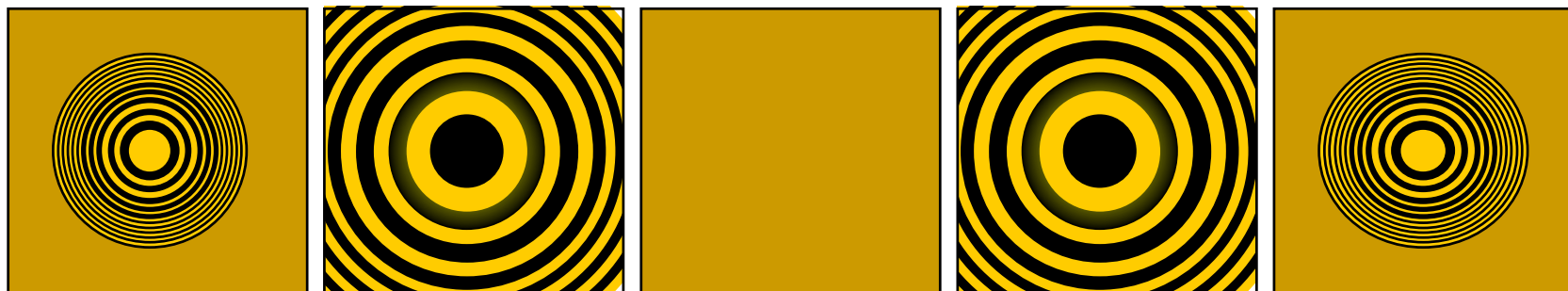


等厚干涉条纹

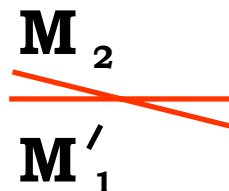
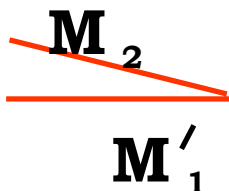
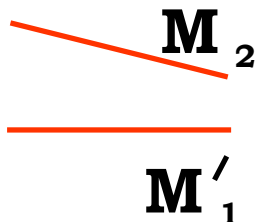
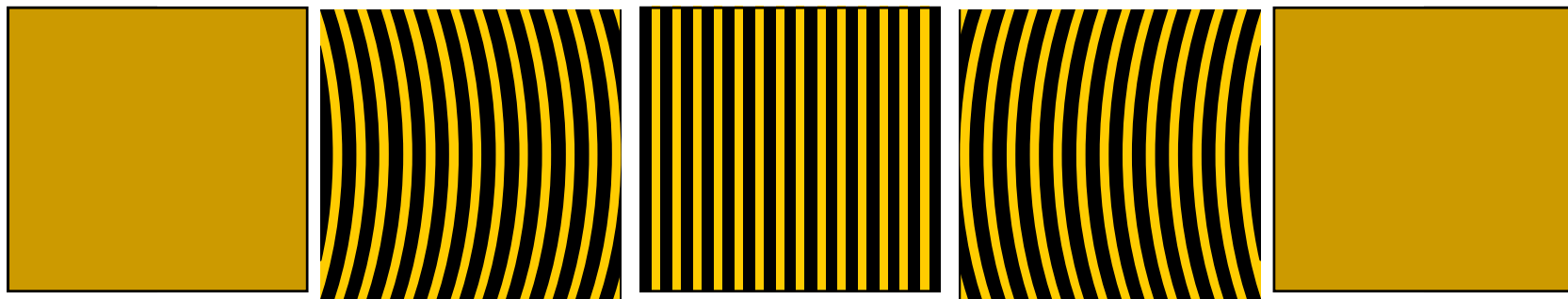


迈克耳逊干涉仪的干涉条纹

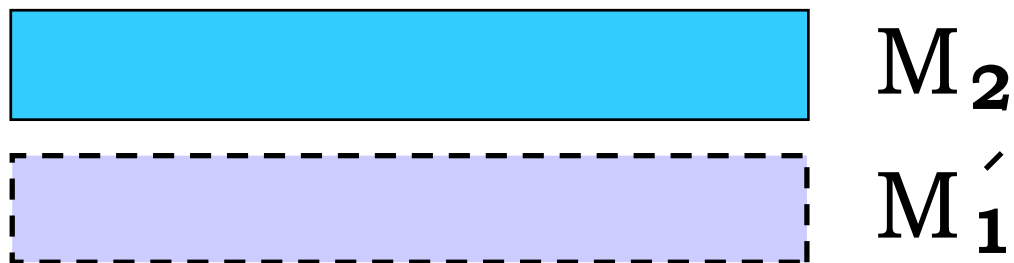
等倾干涉条纹



等厚干涉条纹



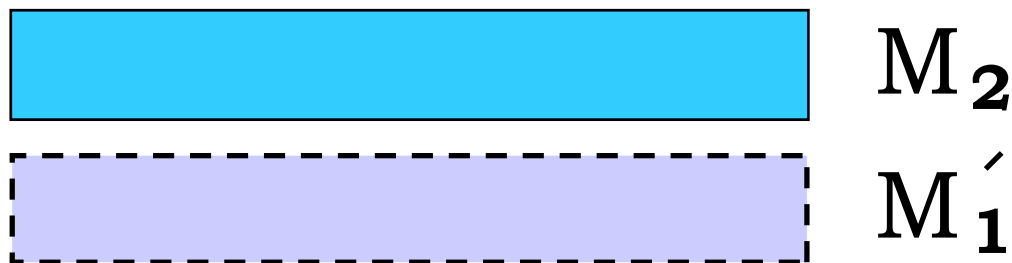
干涉条纹 的移动



当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大
时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



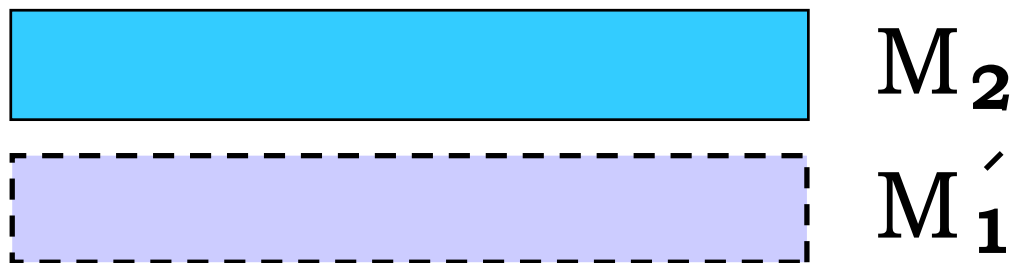
干涉条纹 的移动



当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大
时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



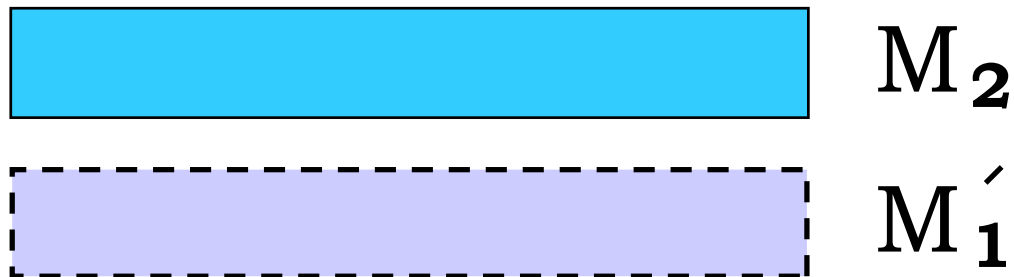
干涉条纹 的移动



当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大
时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



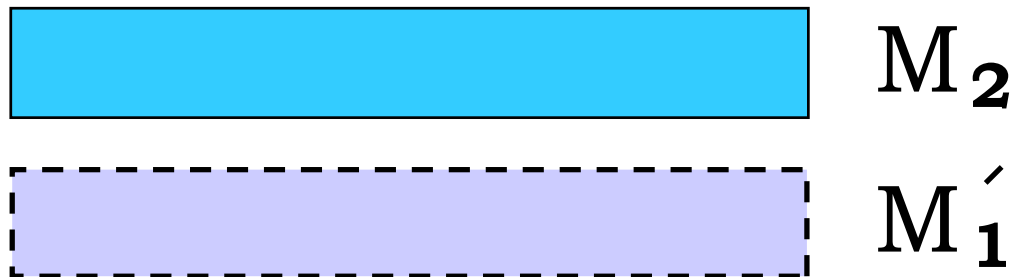
干涉条纹 的移动



当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大
时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



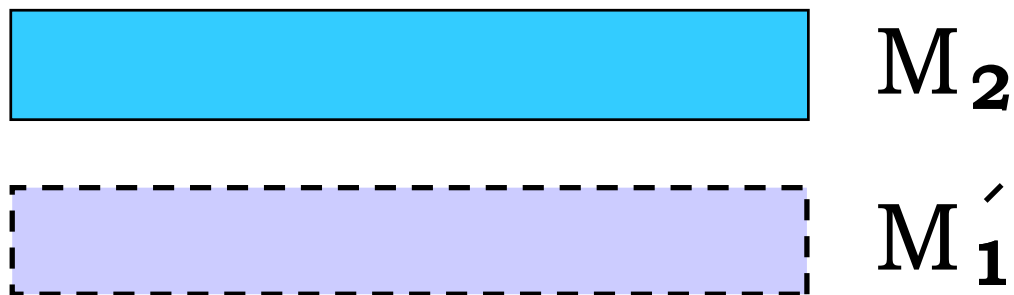
干涉条纹 的移动



当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大
时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



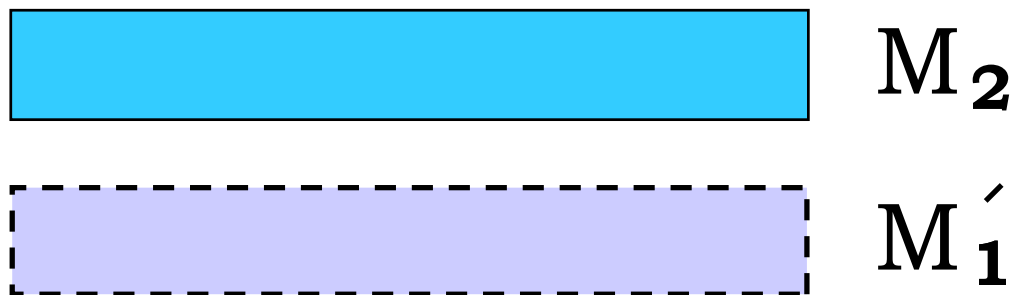
干涉条纹 的移动



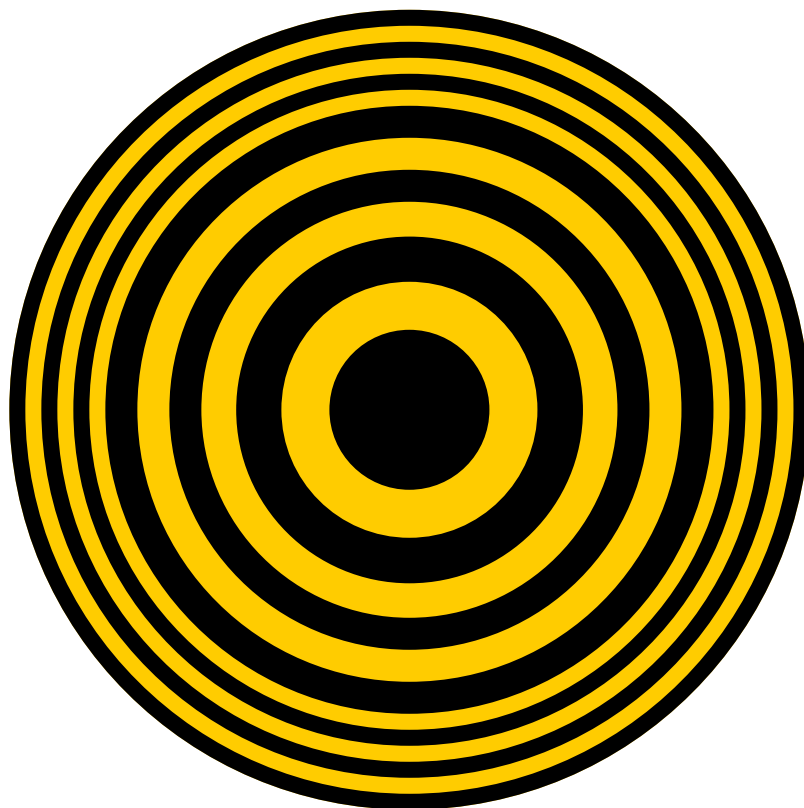
当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大
时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



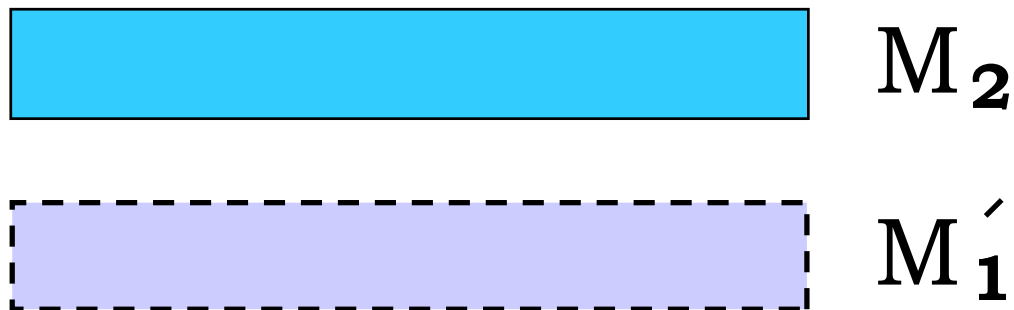
干涉条纹 的移动



当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大
时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



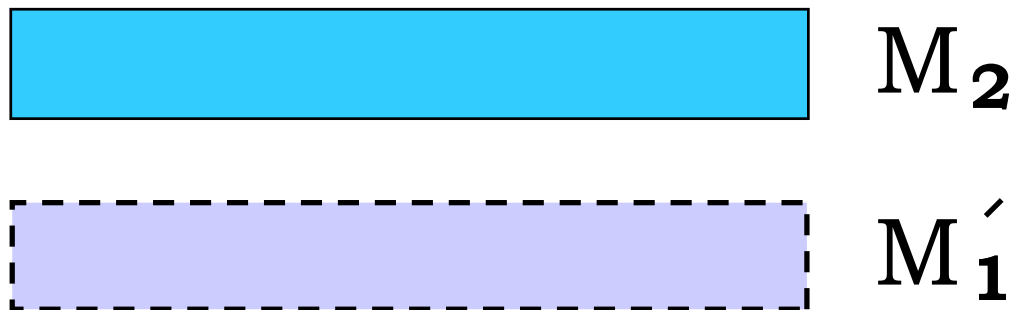
干涉条纹 的移动



当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大
时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



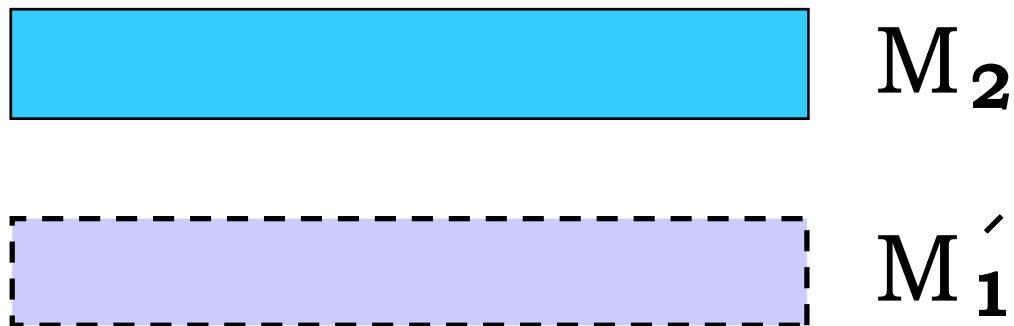
干涉条纹 的移动



当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大
时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



干涉条纹 的移动



当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大
时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



干涉条纹 的移动

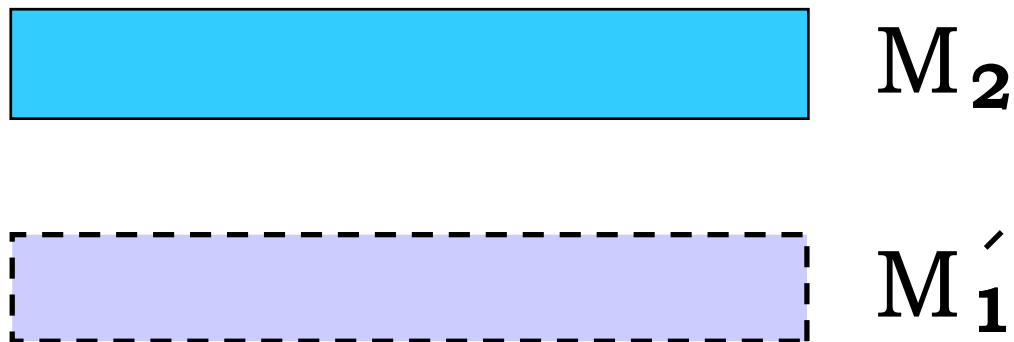


当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大
时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。

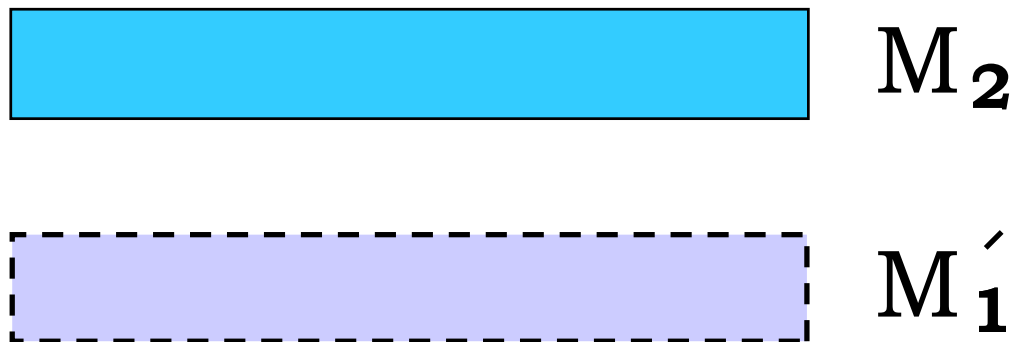


干涉条纹 的移动

当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大
时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



干涉条纹 的移动

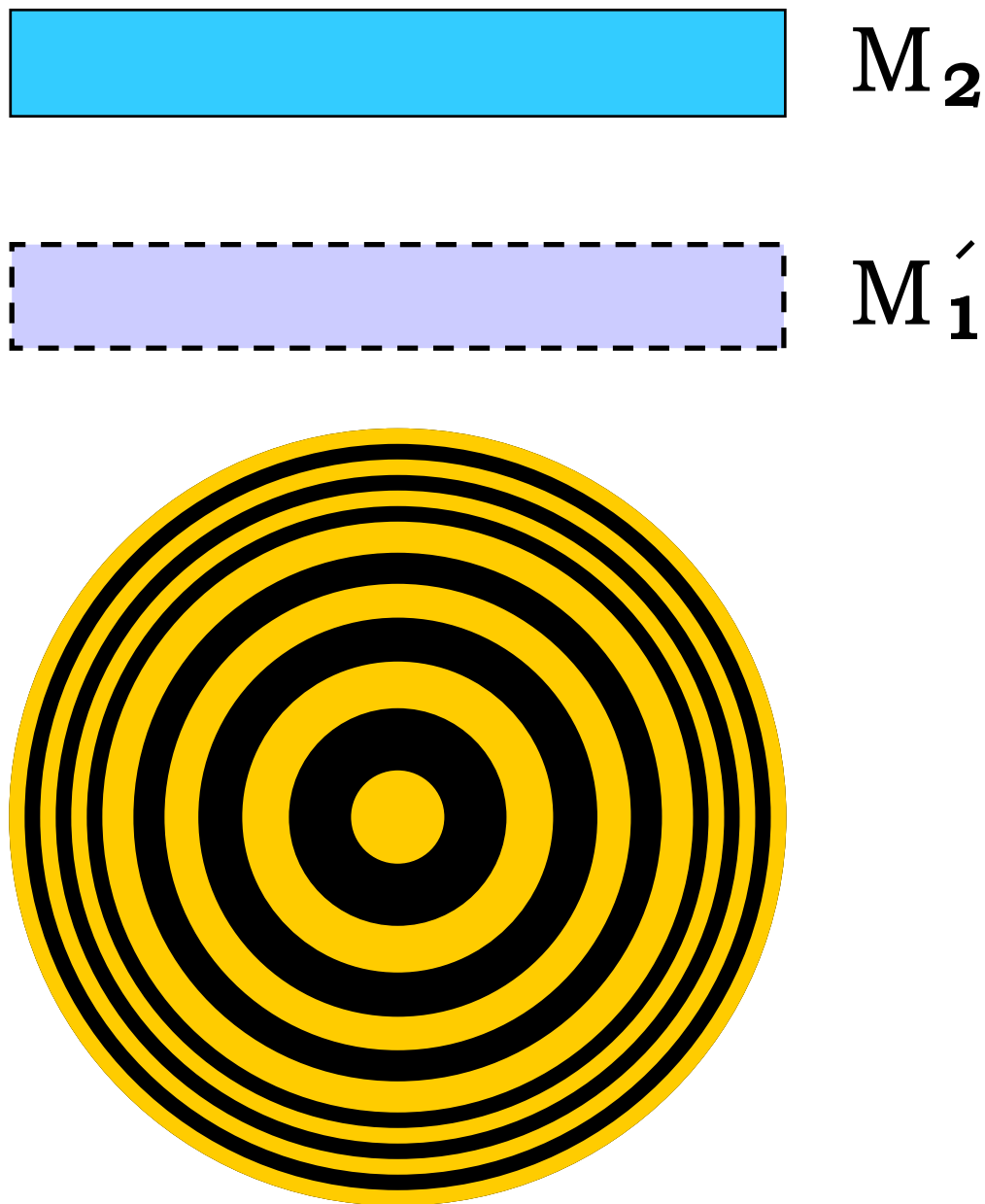


当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大
时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



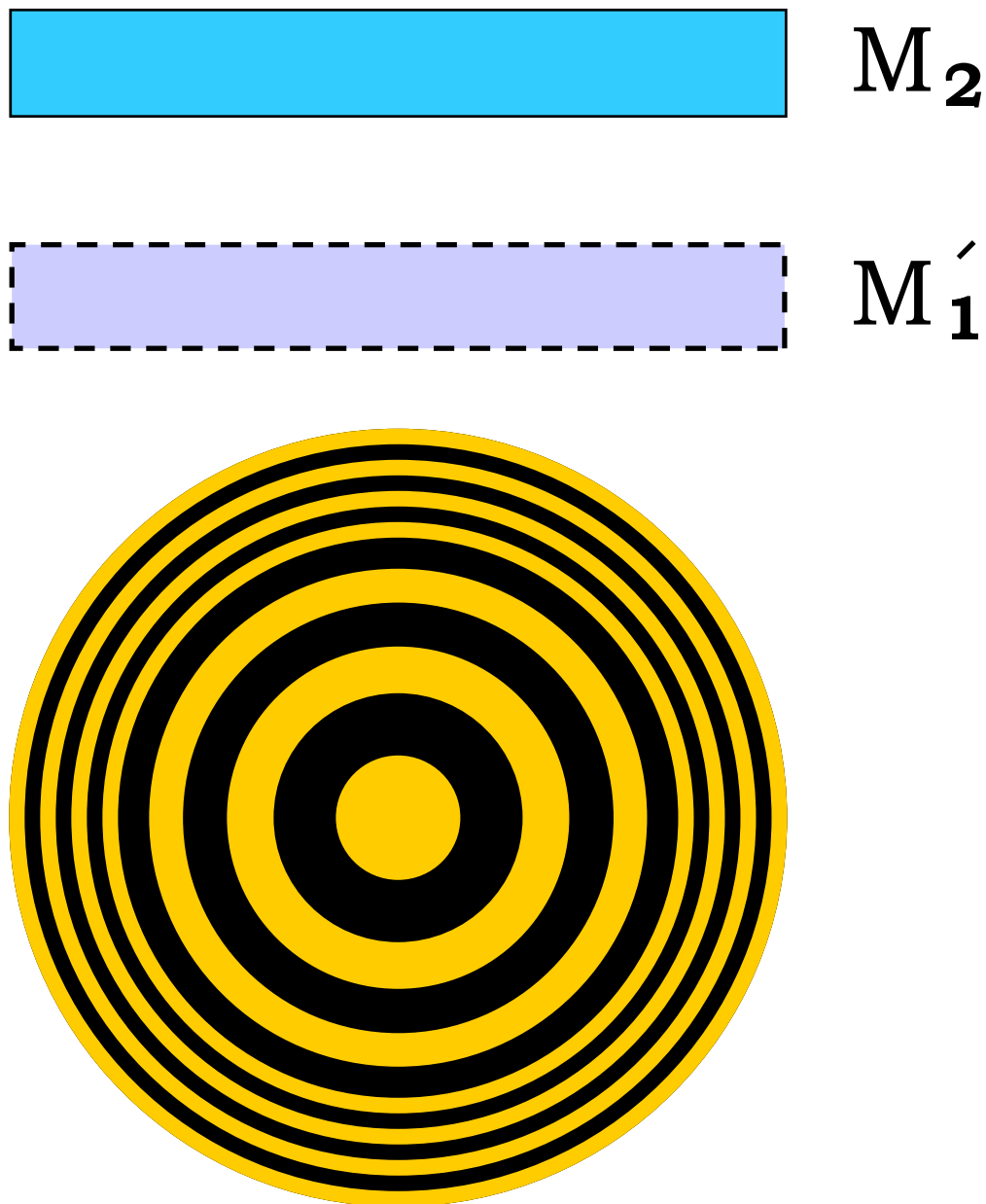
干涉条纹 的移动

当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



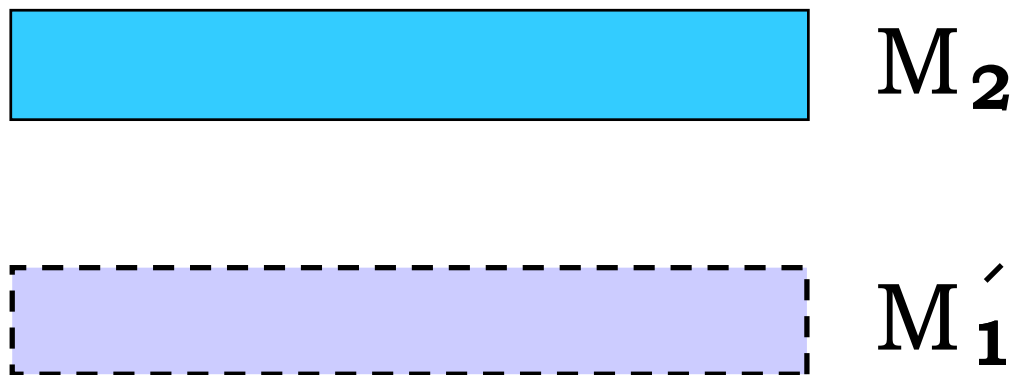
干涉条纹 的移动

当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大
时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



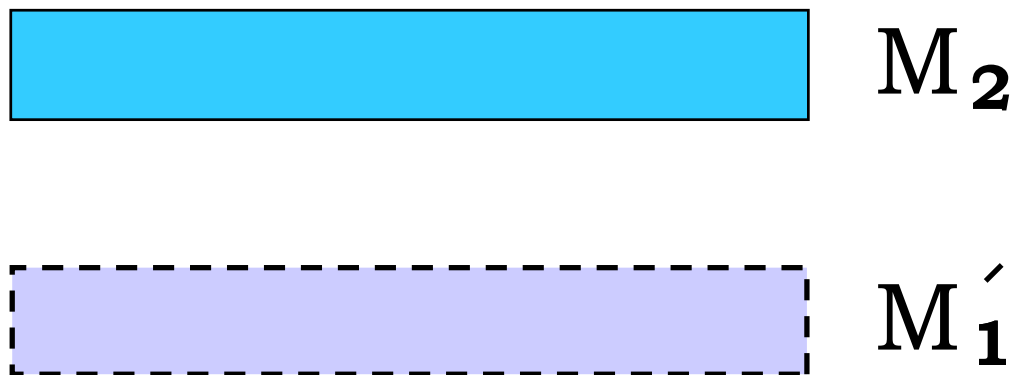
干涉条纹 的移动

当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



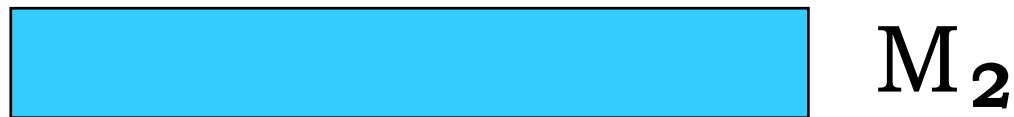
干涉条纹 的移动

当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大
时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



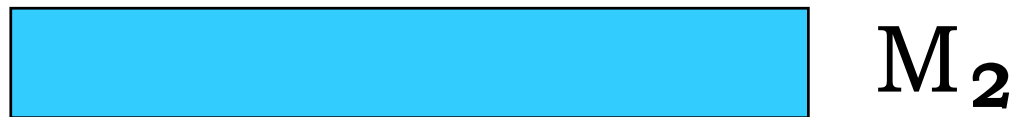
干涉条纹 的移动

当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



干涉条纹 的移动

当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大
时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



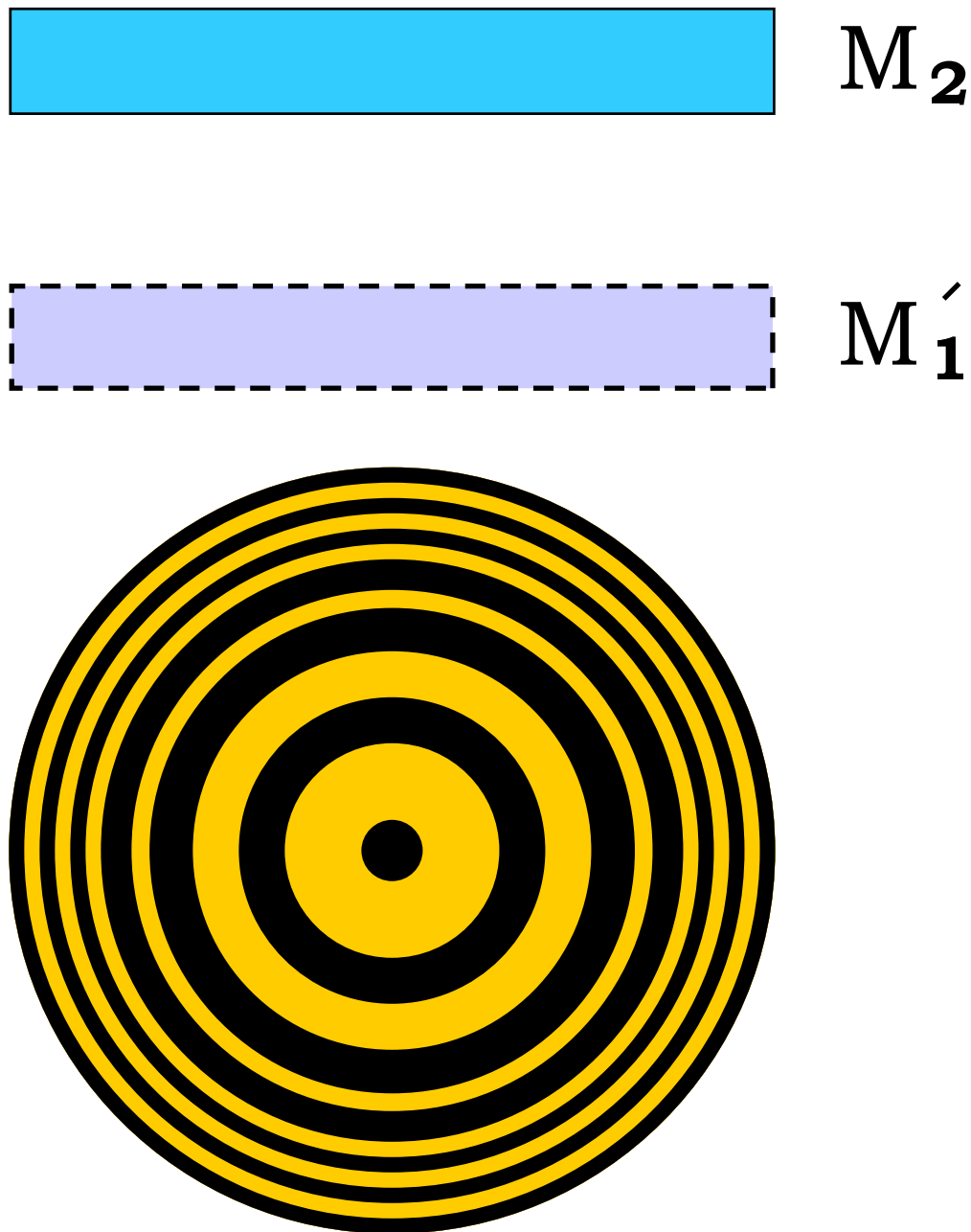
干涉条纹 的移动

当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



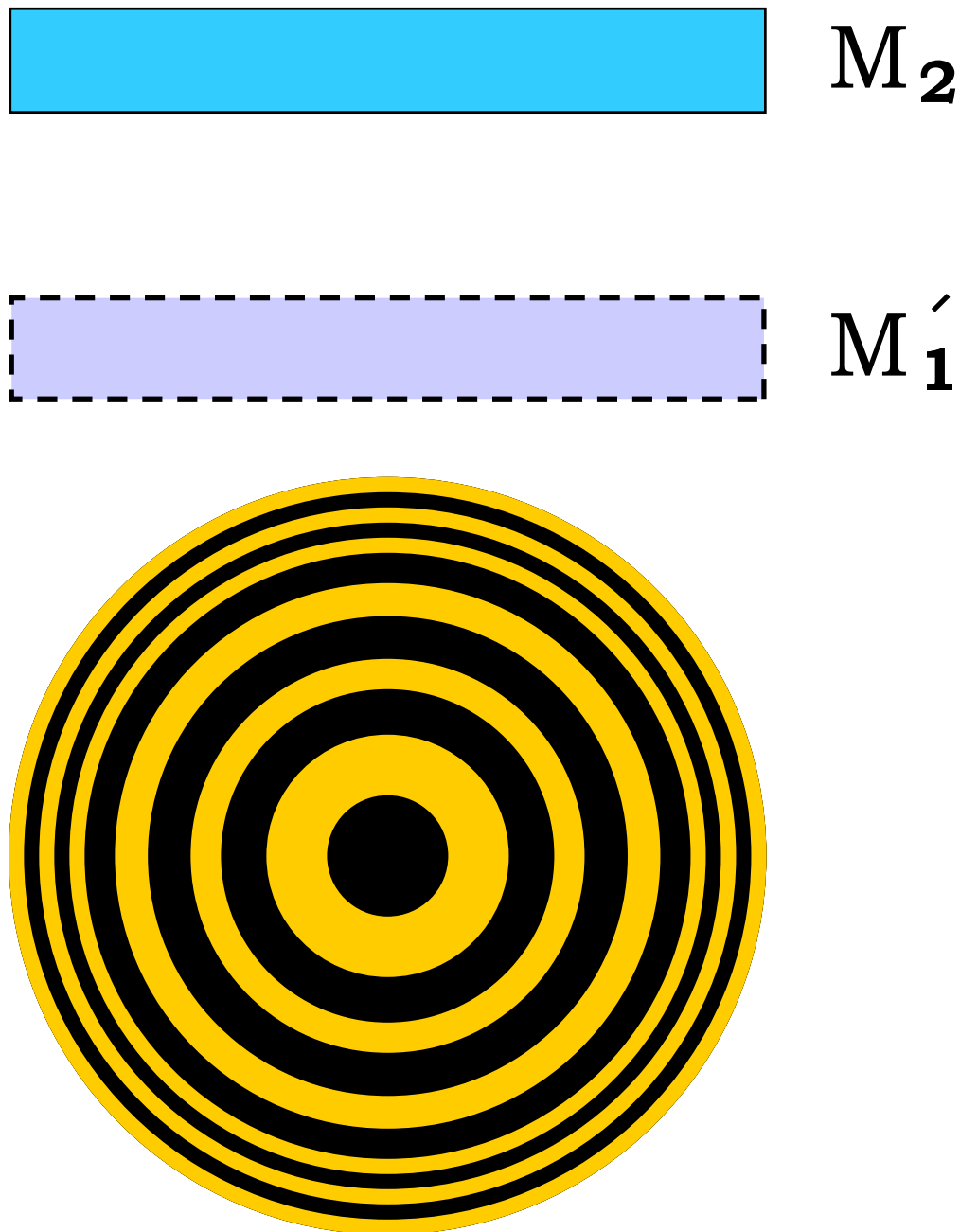
干涉条纹 的移动

当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



干涉条纹 的移动

当 M_2 与 M_1' 之
之间距离变大时，圆形干涉
条纹向外扩张，
干涉条纹变密。



三. 工作原理

光束 1 和 2 发生干涉

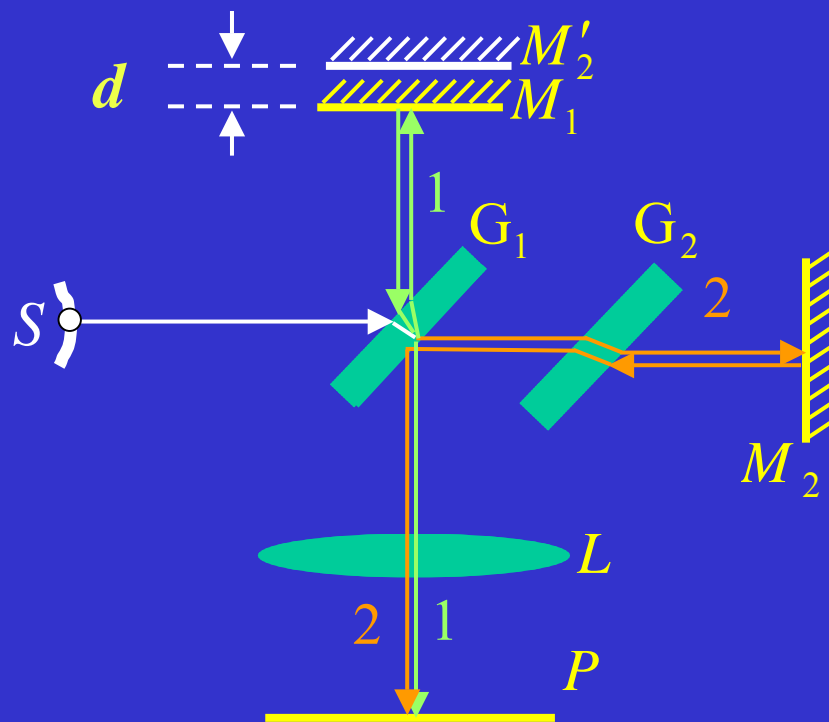
光程差

$$\delta = 2d \quad (\text{无半波损})$$


$$\delta = 2d + \frac{\lambda}{2} \quad (\text{有半波损})$$

$$2d = 2k \cdot \frac{\lambda}{2} \quad k = 1, 2, \dots \quad \text{加强}$$

$$2d = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad \text{减弱}$$



四. 时间相干性

两光束产生干涉效应的最大光程差称为相干长度, 与相干长度对应的光传播时间称为相干时间 

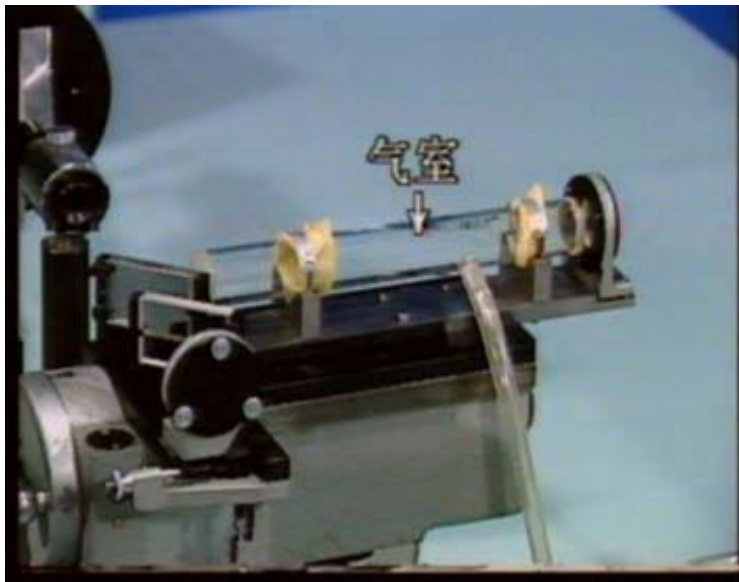
相干长度 L 和谱线宽度 $\Delta\lambda$ 之间的关系为 $L = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$

五. 应用

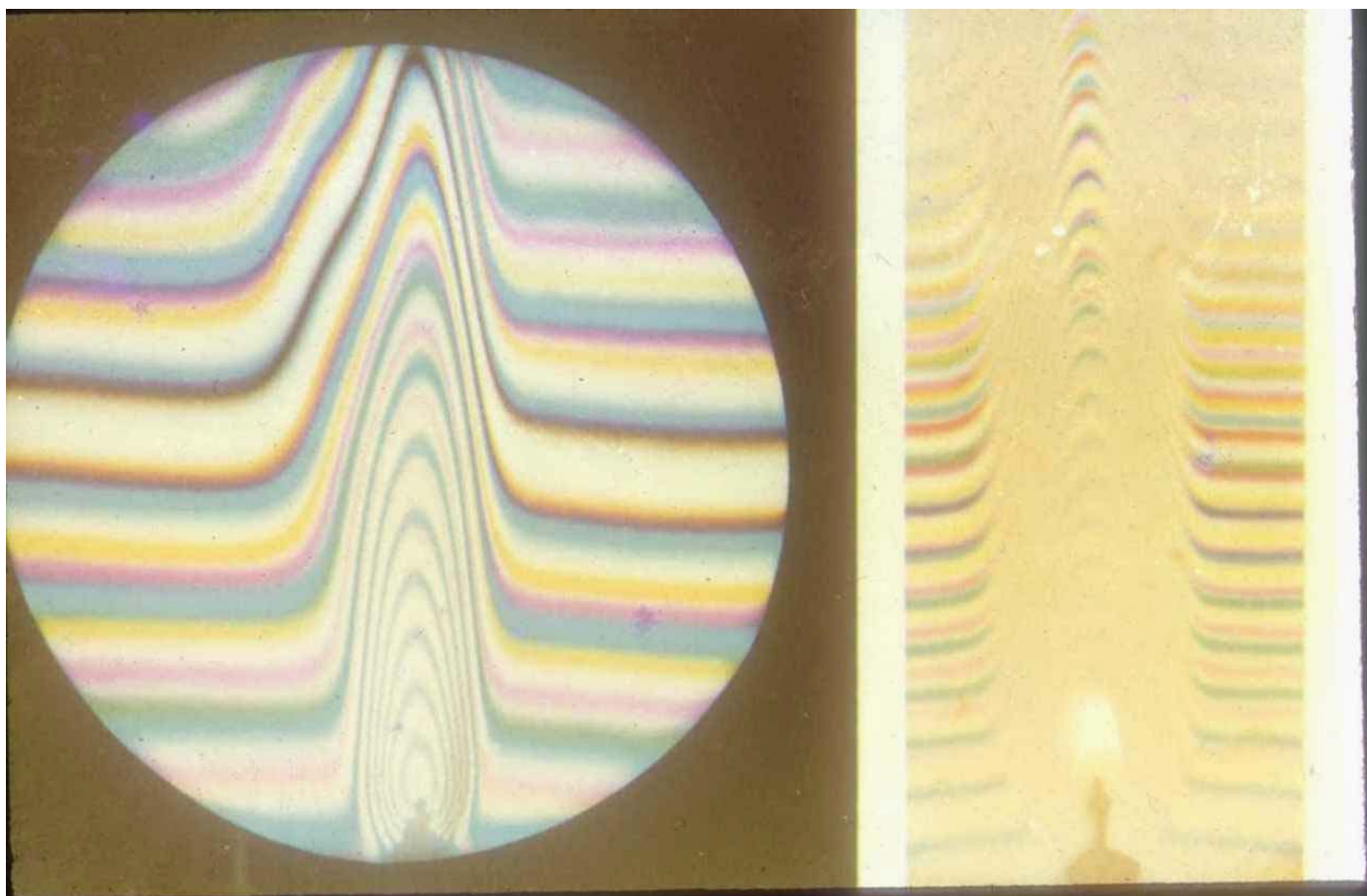
1. 微小位移测量 $\Delta d = N \cdot \frac{\lambda}{2}$

2. 测波长 $\lambda = \frac{2\Delta d}{N}$

3. 测折射率



利用干涉仪测气体折射率



用迈克耳逊干涉仪测气流

六、“古老”原理的现代应用之例

光学相干CT — 断层扫描成像新技术
(Optical Coherence Tomography简称OCT)

CT-Computed Tomography

计算机断层成象

第一代: X射线CT

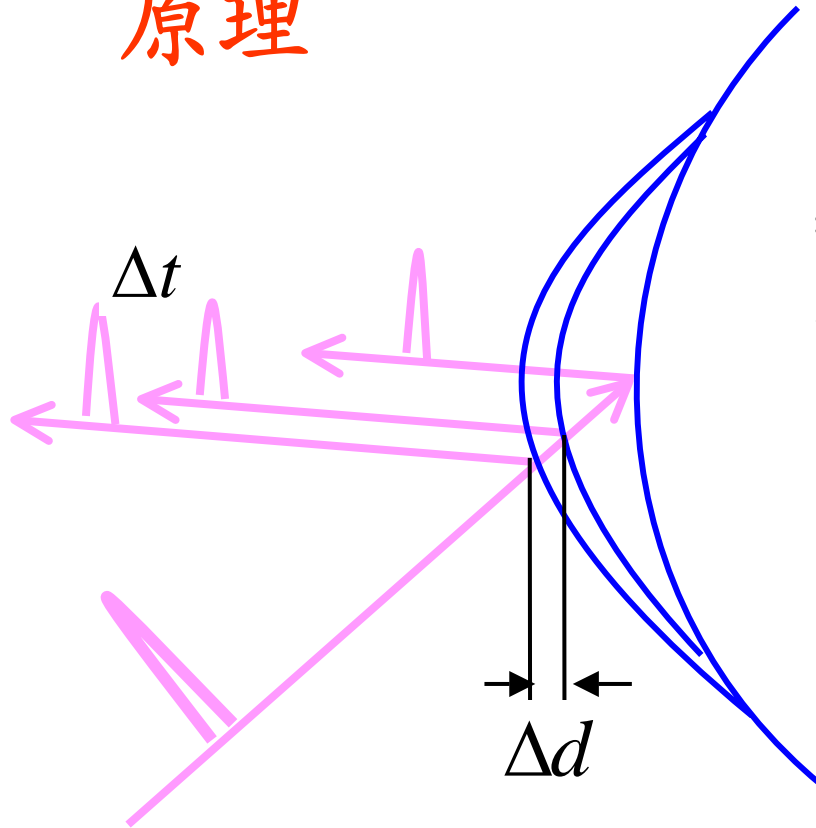
γ 射线CT - 工业CT

第二代: NMR CT - 核磁共振成象

第三代: 光学相干CT - OCT

微米量级的空间分辨率

原理



* 样品中不同位置处反射回的光脉冲延迟时间不同

* 不同的材料或结构反射的强度不同

$$\begin{aligned}\Delta t &\approx \frac{2n\Delta d}{c} = \frac{2n\Delta d}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} \\ &\approx 10^{-8} \Delta d \text{ s/m} \\ &= 10^{-14} \Delta d \text{ s}/\mu\end{aligned}$$

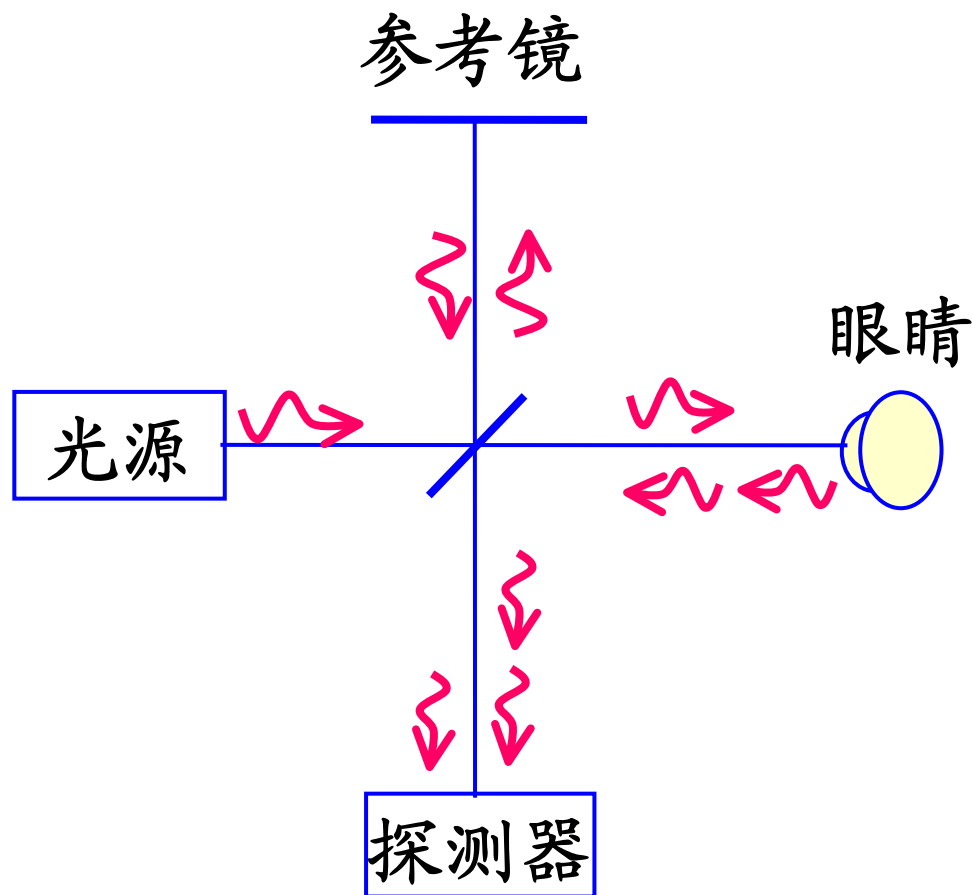
要实现微米量级的空间分辨率, 即 $\Delta d \sim \mu\text{m}$

就要求能测量 $\Delta t \leq 10^{-14}$ 秒的时间延迟

激光器的脉冲宽度要很小 $\sim 10^{-15}$ 秒 - 飞秒

时间延时长至 $10^{-14} \sim 10^{-15}\text{s}$ 电子设备难以直接测量

可利用光学迈克耳逊干涉仪原理



只有当参考光与信号光的某个脉冲经过相等光程时才会产生光学干涉现象

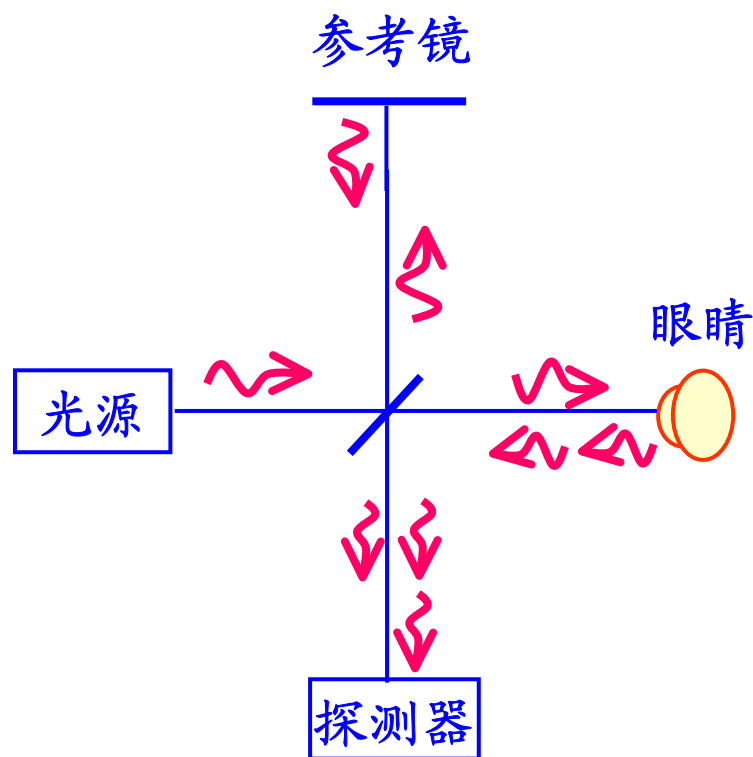
因为 10^{-15} 秒的光脉冲大约只有一个波长

要测量从眼内不同结构回来的光延迟 只须移动参考镜

使参考光分别与不同的信号光产生干涉

分别记录下相应的参考镜的空间位置

这些位置便反映了眼球内不同结构的相对空间位置

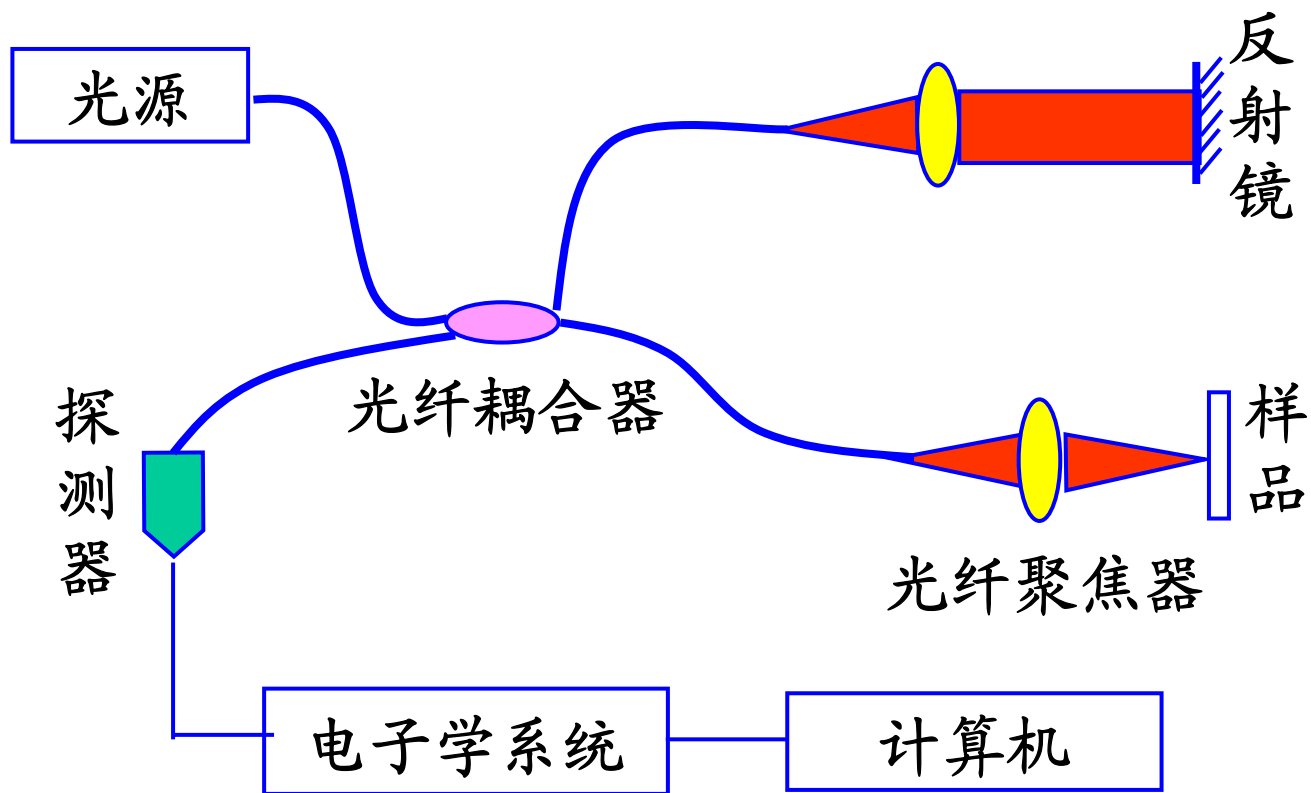


参考臂扫描可得到样品深度方向的一维测量数据

光束在平行于样品表面的方向进行扫描测量 可得到横向的数据

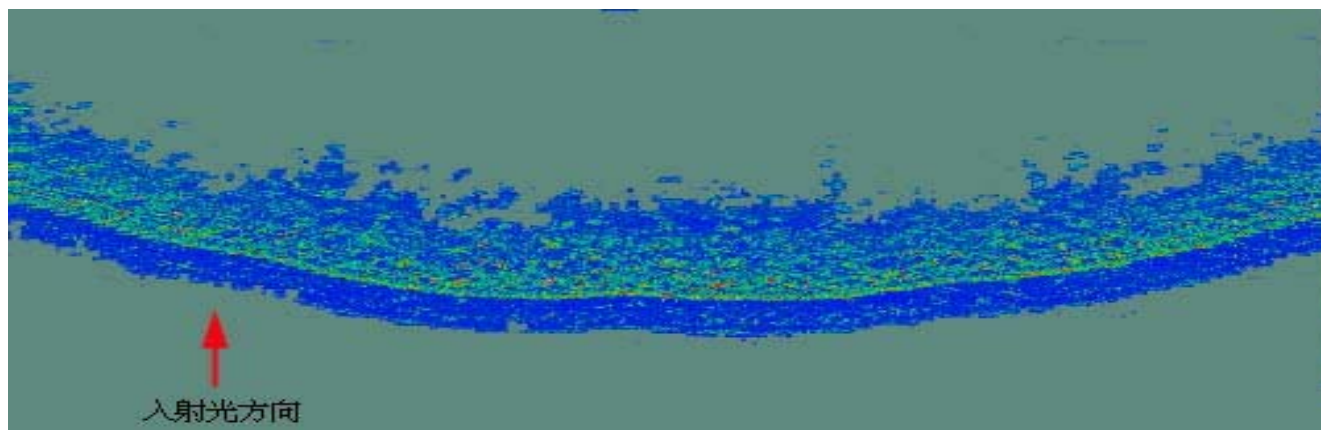
将得到的信号经计算机处理便可得到样品的立体断层图像

实验装置 - 光纤化的迈克耳逊干涉仪



应用

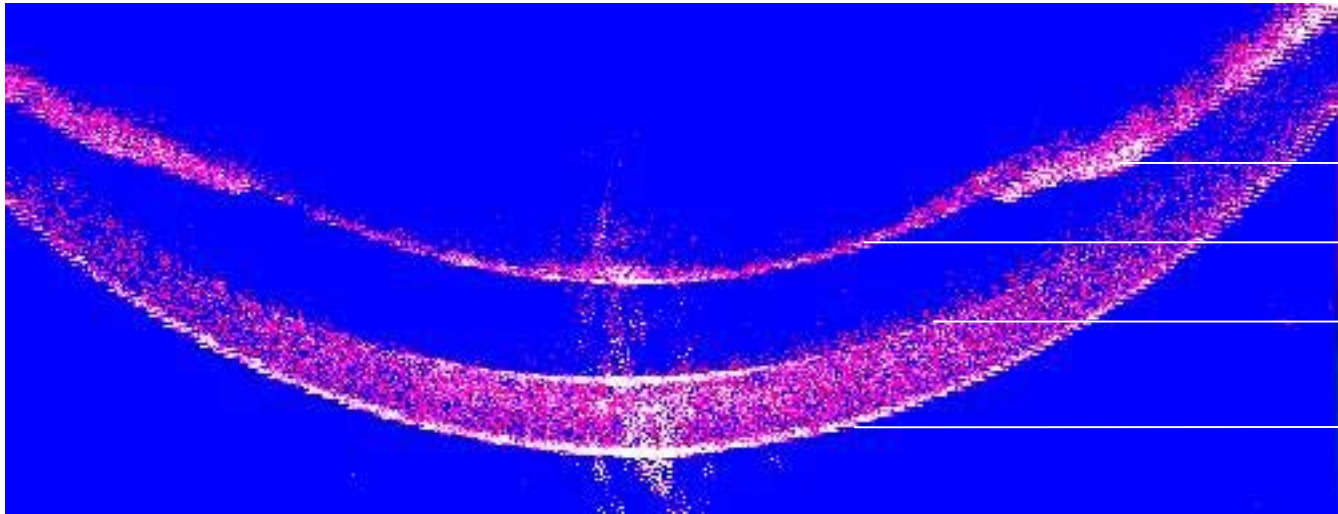
生物 医学 材料科学



大葱表皮的 OCT 图像

实际样品大小为 $10\text{mm} \times 4\text{mm}$ ，图中横向分辨率约为 $20\ \mu\text{m}$ 纵向分辨率约为 $25\ \mu\text{m}$

我国第一台 OCT 的第一张图 清华原子分子国家重点实验室



睫状体
晶状体上皮
角膜后表面
角膜前表面

兔子眼球前部的OCT图像