

22.7 薄膜干涉 (二) — 等倾条纹

(equal inclination fringes)

一、点光源照明时的干涉条纹分析

光束1、2的光程差：

$$\delta = n(\overline{AB} + \overline{BC}) - n' \overline{AD} + \frac{\lambda}{2}$$

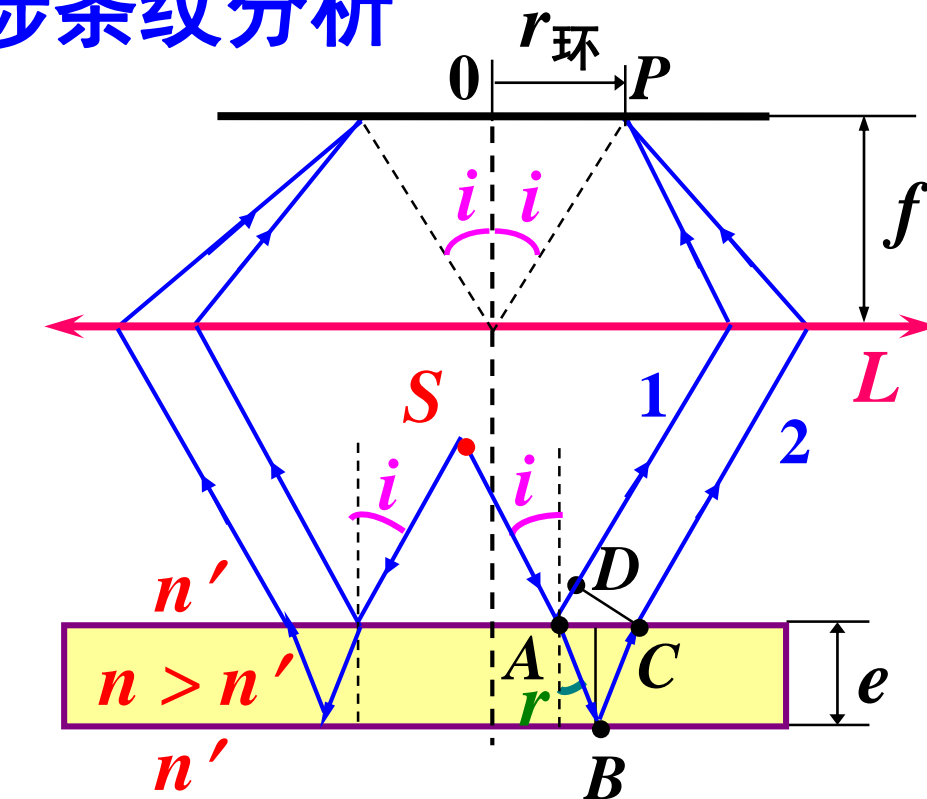
$$\overline{AB} = \overline{BC} = \frac{e}{\cos r}$$

$$\overline{AD} = \overline{AC} \cdot \sin i$$

$$= 2e \cdot \operatorname{tg} r \cdot \sin i$$

$$\therefore \delta = \frac{2ne}{\cos r} - \frac{2n'e \cdot \sin r \cdot \sin i}{\cos r} + \frac{\lambda}{2}$$

又 $n' \sin i = n \sin r$



膜厚均匀 (e 不变)

得 $\delta = 2ne \cos r + \frac{\lambda}{2}$

或
$$\delta = 2e\sqrt{n^2 - n'^2 \sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = \delta(i)$$

明纹 $\delta(i) = k\lambda, \quad k = 1, 2, 3, \dots$

暗纹 $\delta(i) = (2k' + 1)\frac{\lambda}{2}, \quad k' = 0, 1, 2, \dots$

当 k (k') 一定时, i 也一定, 即 **倾角**

i 相同的光线对应同一条干涉条纹 — **等倾条纹**

条纹的特点:

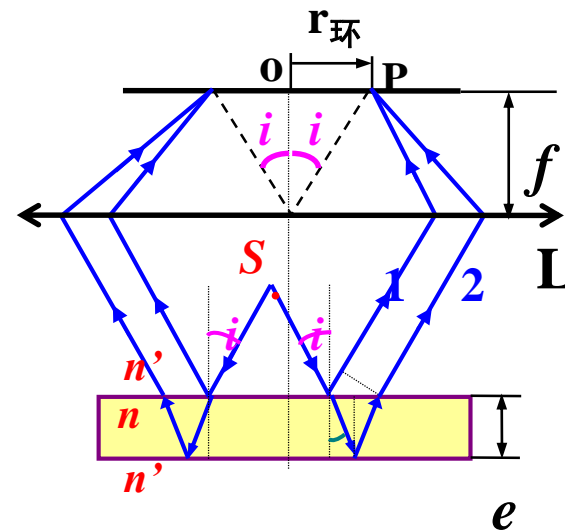
形状: 一系列同心圆环 $r_{\text{环}} = f \tan i$

条纹间隔分布: 内疏外密 (为什么?)

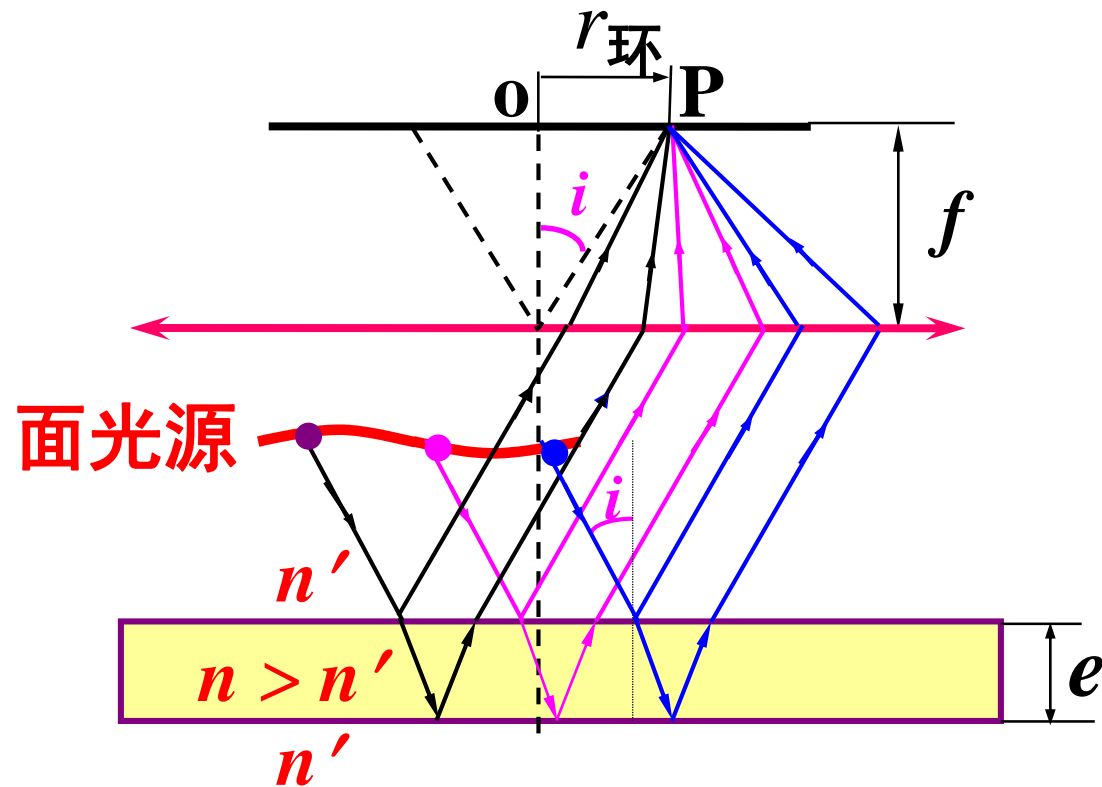
条纹级次分布: 内高外低 $r_k \downarrow \rightarrow i \downarrow \rightarrow \delta \uparrow \rightarrow k \uparrow$

膜变厚, 环纹扩大: k 一定, $e \uparrow \rightarrow i \uparrow \rightarrow r_k \uparrow$

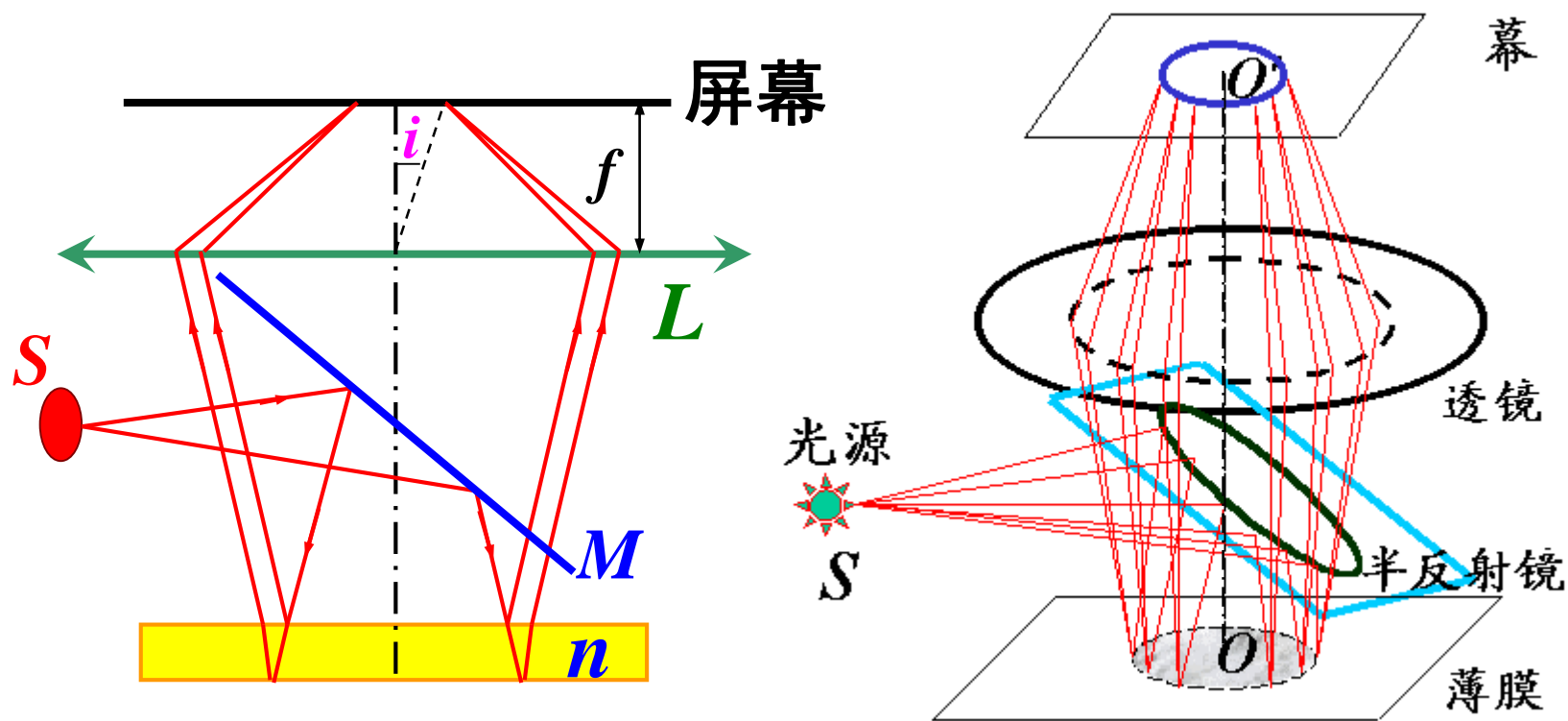
波长对条纹的影响: k, e 一定, $\lambda \uparrow \rightarrow i \downarrow \rightarrow r_k \downarrow$



二、面光源照明时，干涉条纹的分析

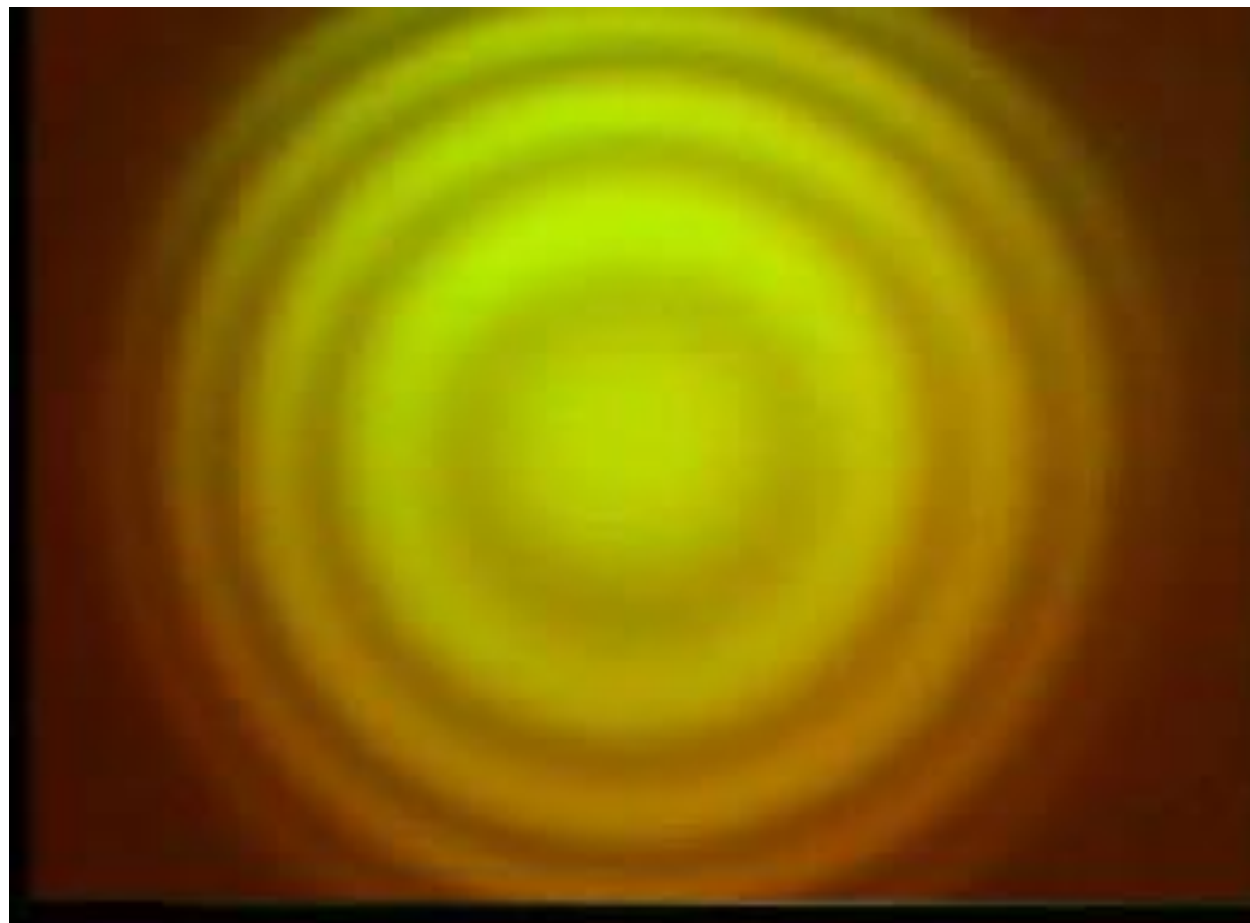


只要 i 相同，都将汇聚在同一个干涉环上（非相干叠加），因而明暗对比更鲜明。



观察等倾条纹的实验装置和光路

对于观察等倾条纹，没有光源宽度和条纹
衬比度的矛盾！

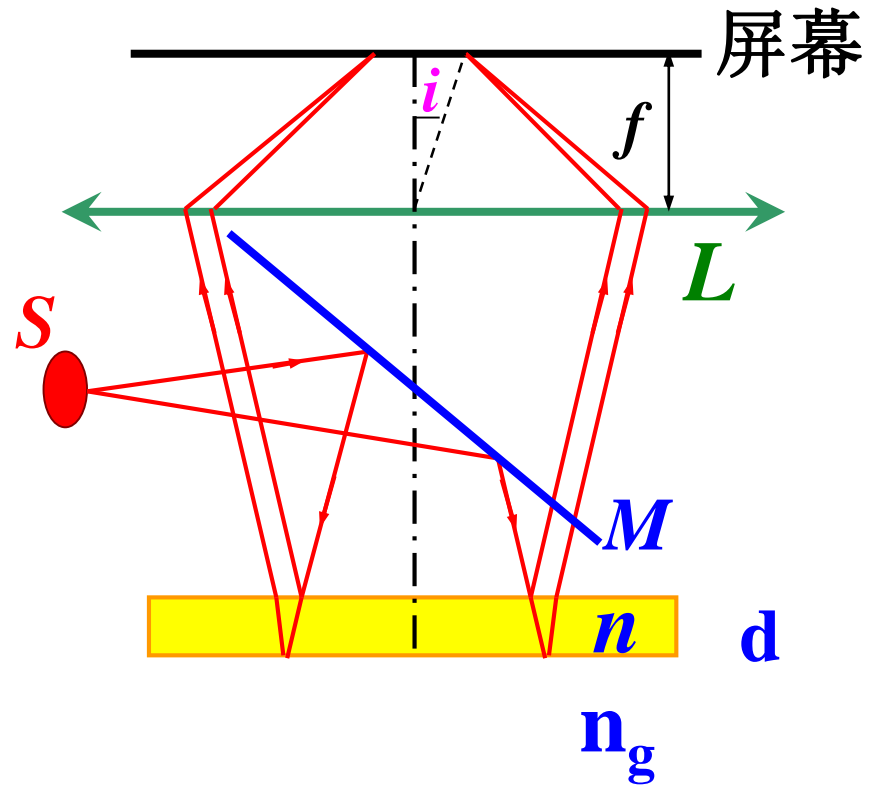


等倾条纹照片

例22.14 在如图所示的装置中，透镜焦距为 $f=20\text{cm}$ ，光源波长为 $\lambda=600\text{nm}$ ，产生干涉现象的薄膜是玻璃板（折射率 $n_g=1.5$ ）上的氟化镁涂层，其折射率为 $n=1.38$ ，厚度为 $d=5.00\times 10^{-2}\text{ mm}$ ，试问(1)在反射光方向上观察到的干涉圆环，其中心是亮点还是暗点？(2)从中心向外计算，第5个亮环的半径是多少？

解：(1) 由于薄膜折射率介于空气和玻璃之间，所以两反射相干光间无附加光程差，中心点的光程差为

$$\delta = 2nd = k_0\lambda$$



可得 $k_0 = \frac{\Delta L}{\lambda} = \frac{2nd}{\lambda} = 230$

由于是 k_0 整数，因此中心点是亮点。

(2) 对于从中心向外的第 N 个亮环，其干涉级为 $k = k_0 - N$

由 $2nd = k_0\lambda$ 和 $2nd \cos r_k = k\lambda$

可得 $2nd(1 - \cos r_k) = N\lambda$

再利用折射定律 $\sin i = n \sin r$ ，以及小角度近似

$$\sin \theta \approx \theta \quad \text{和} \quad \cos \theta = 1 - 2 \sin^2 \frac{\theta}{2} \approx 1 - \frac{\theta^2}{2}$$

可得第 N 个亮环的角半径和半径分别为：

$$\theta_N = i_k \approx nr_k \approx \sqrt{\frac{nN\lambda}{d}}$$

$$r_N \approx f\theta_N$$

将N=5代入上式，可得从中心数第5个亮环的角半径和半径分别为：

$$\theta_5 \approx 0.288 \text{ rad}$$

$$r_5 \approx 5.75 \text{ cm}$$

22.8 迈克耳孙干涉仪 (Michelson interferometer)

一. 仪器结构、光路

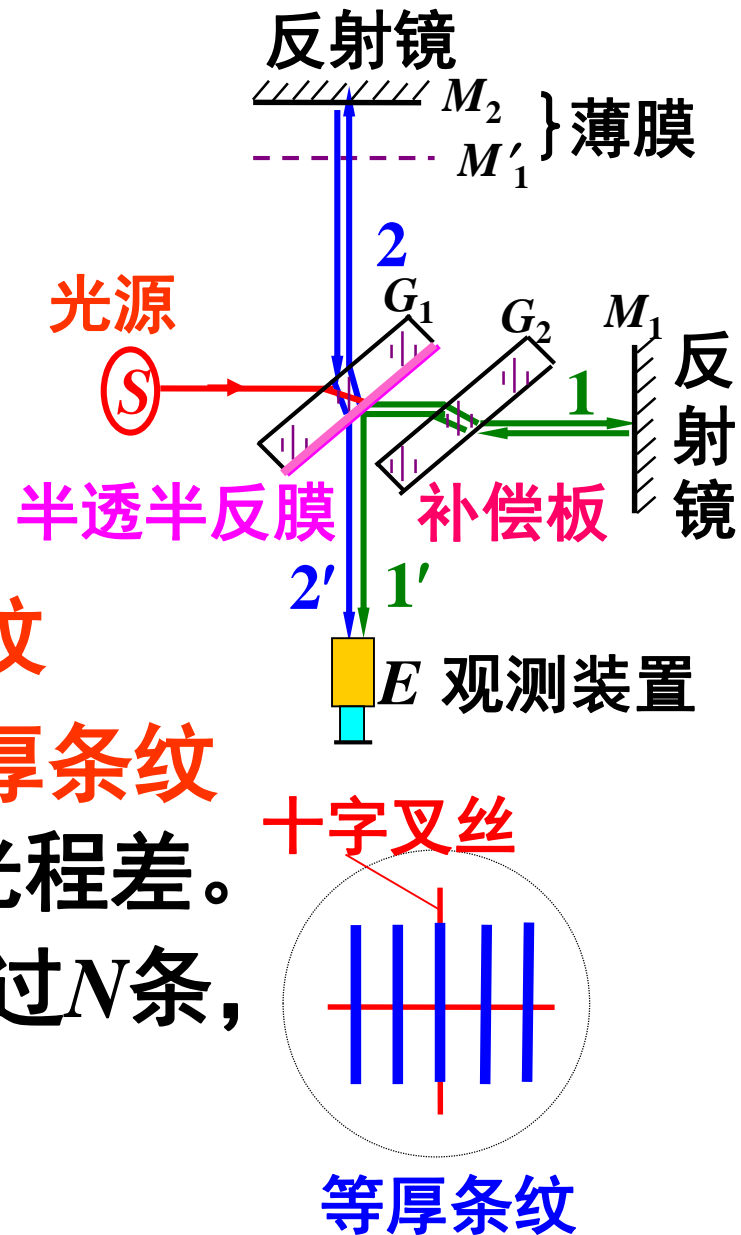
二. 工作原理

光束2'和1'发生干涉

- 若 M'_1 、 M_2 平行 \Rightarrow 等倾条纹
 - 若 M'_1 、 M_2 有小夹角 \Rightarrow 等厚条纹
- 补偿板可补偿两臂的附加光程差。
- 若 M_1 平移 Δd 时, 干涉条移过 N 条,

则有:

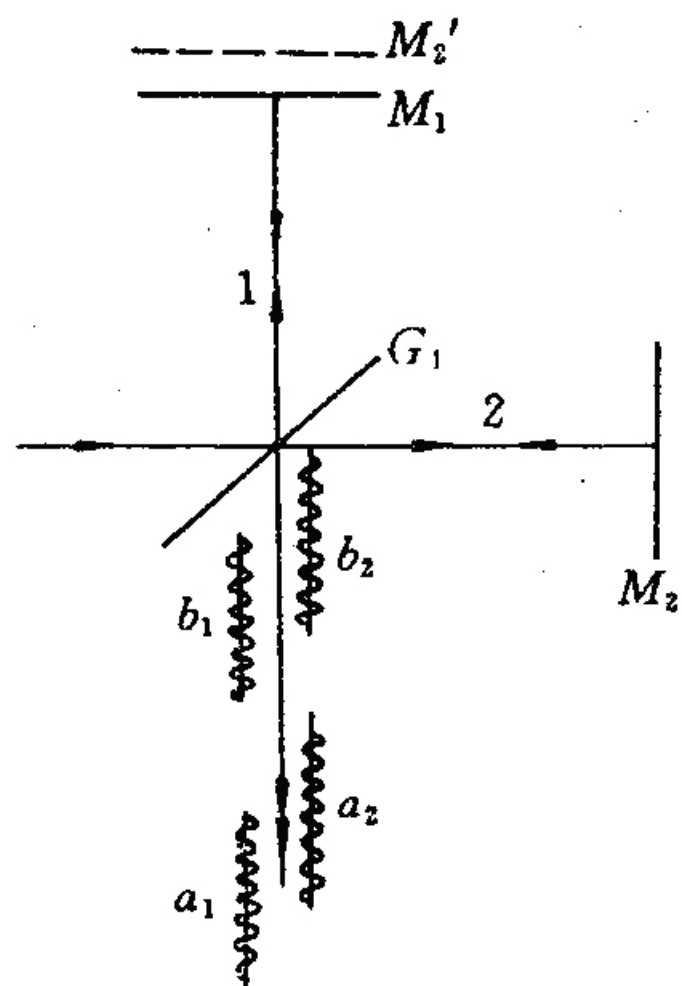
$$\Delta d = N \cdot \frac{\lambda}{2}$$



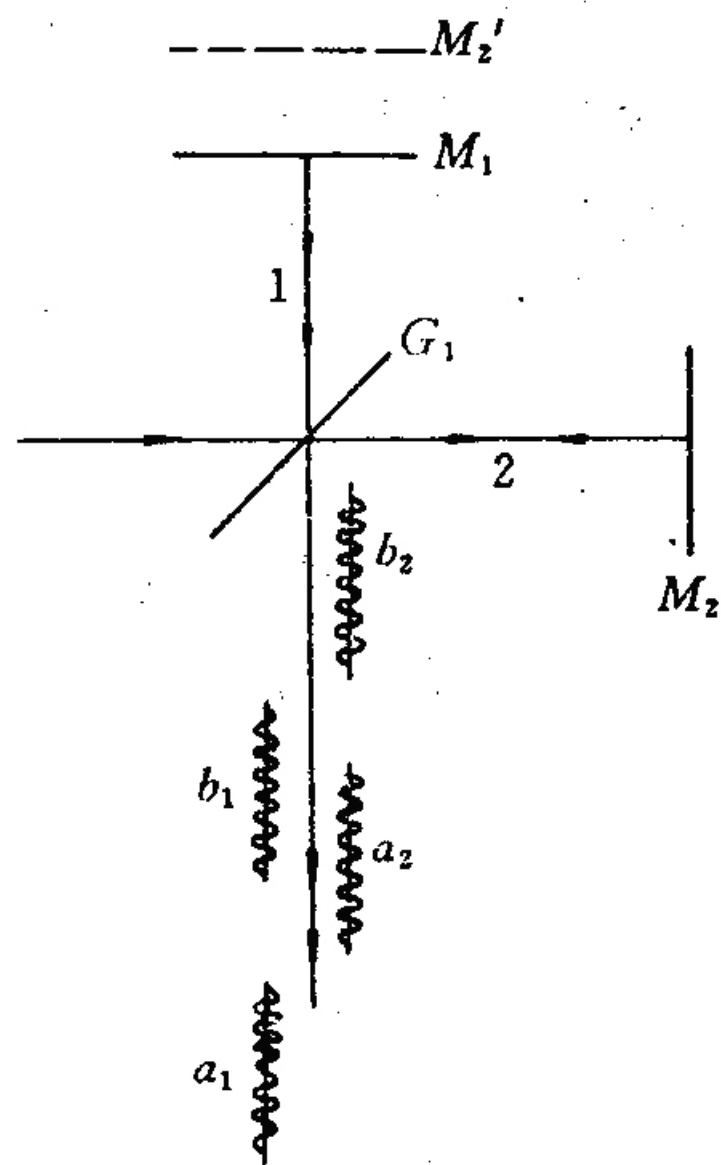
补偿板

补偿板在单色光照明时并非必要，光束2经过玻璃板所增加的光程，光束1可以用空气中的行程来补偿。

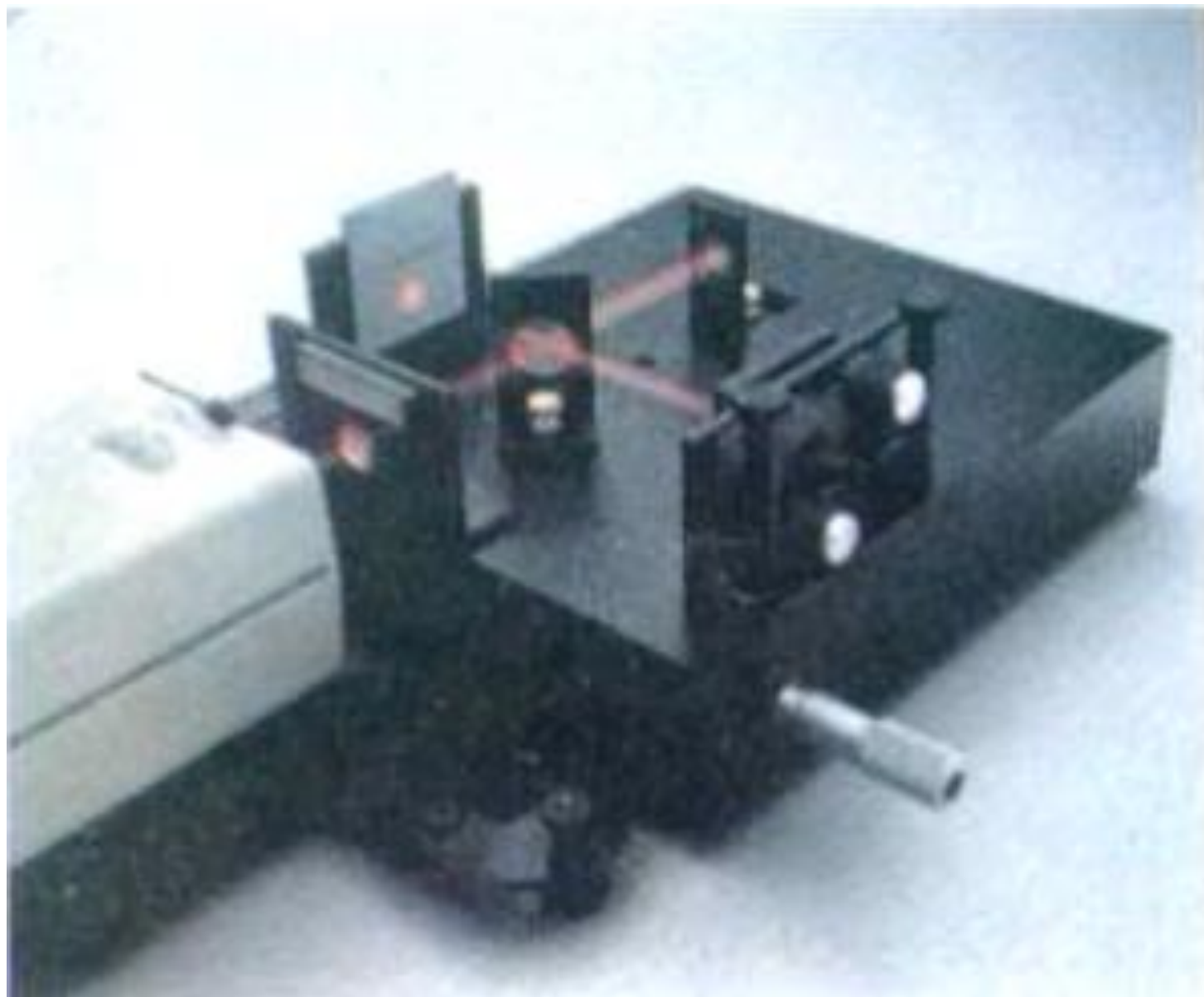
但是当光源发出的光具有较大的频谱宽度时，因为玻璃有色散，不同波长的光有不同的折射率，因而对不同的波长，通过玻璃板时所增加的光程不同，这是无法用空气中的行程来补偿的，这时必须加入补偿板才能同时补偿各种波长的光程差。



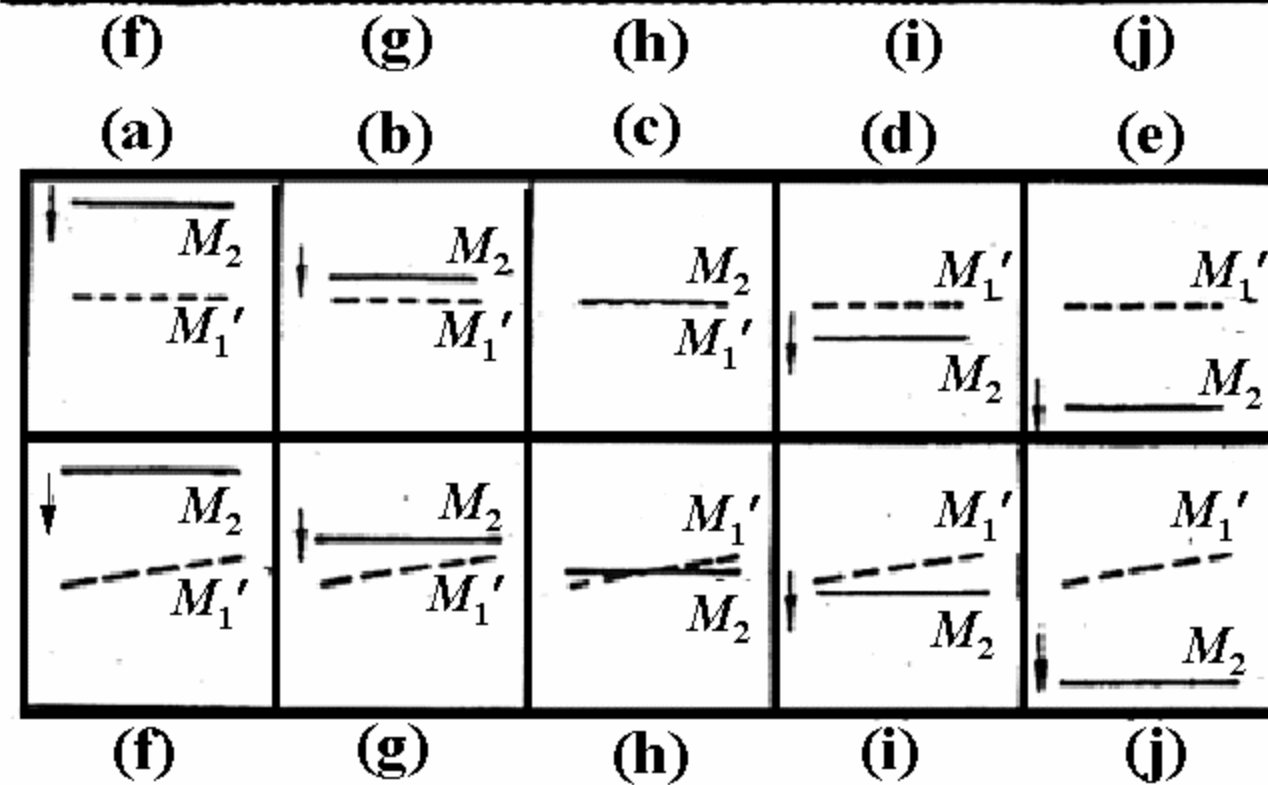
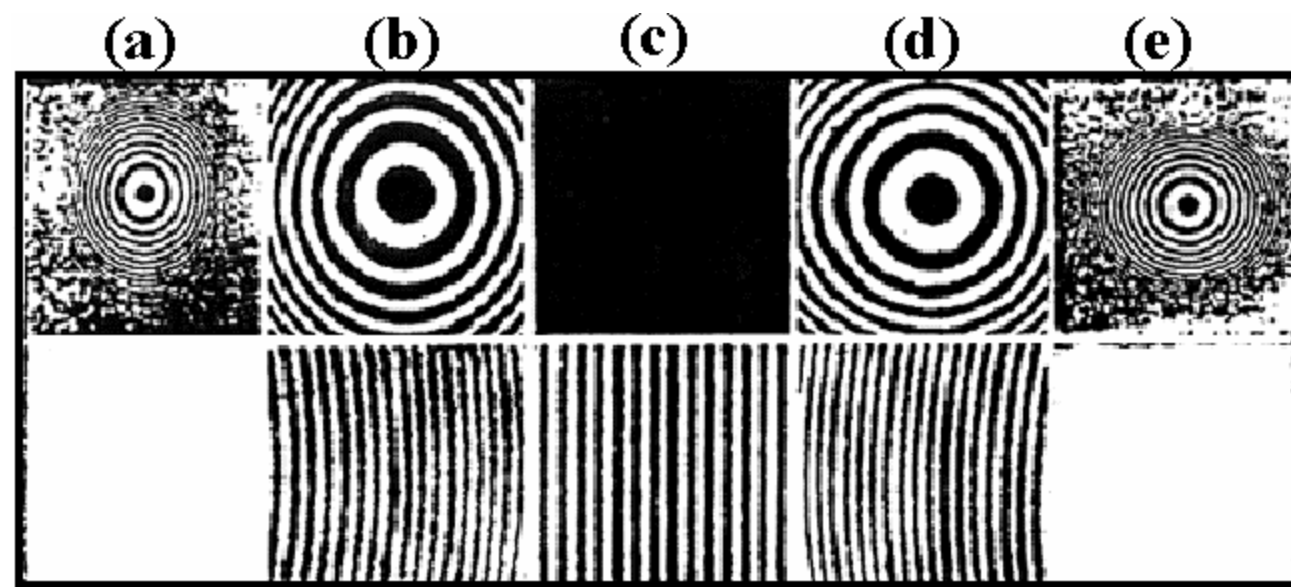
(a) 同一波列分出的两波列
相遇, 可以干涉

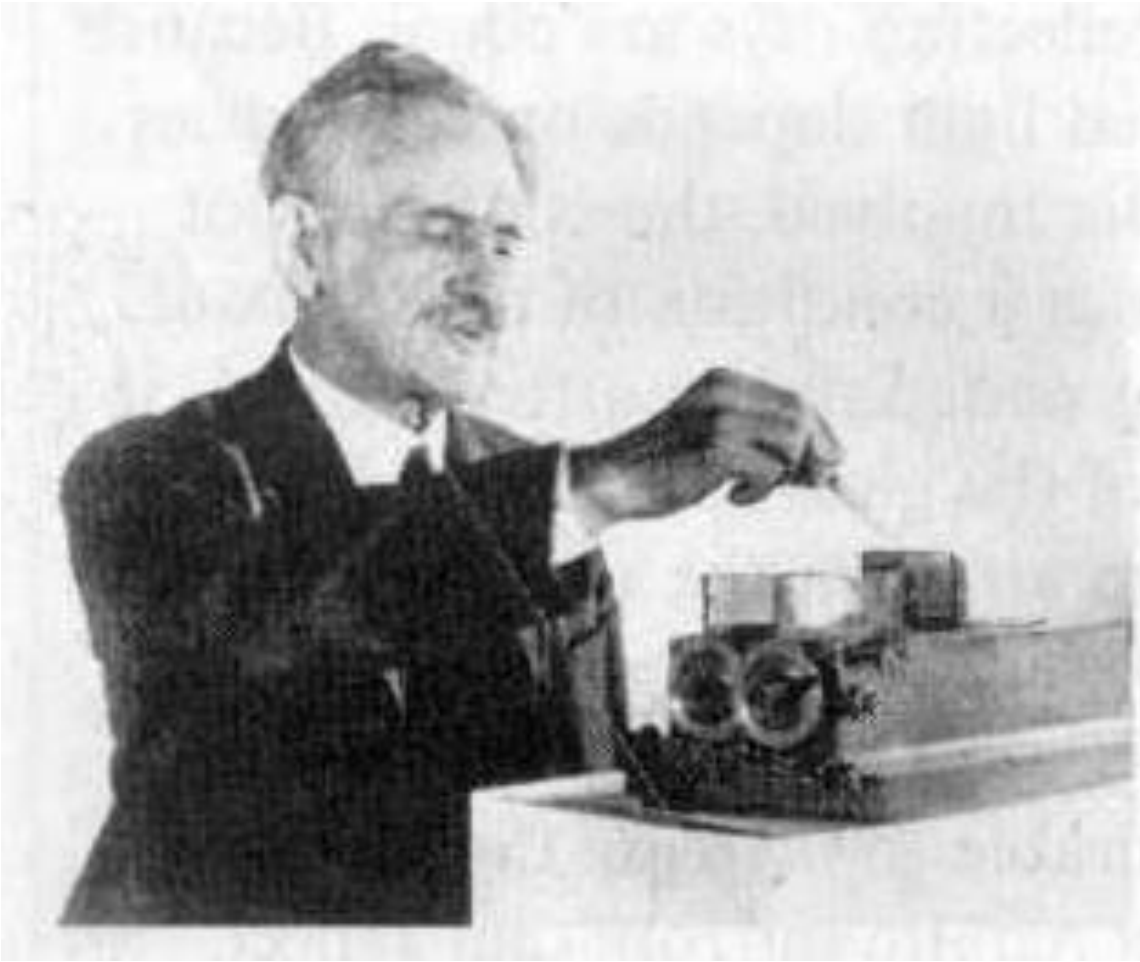


(b) 同一波列分出的两波列
不相遇, 不能干涉



迈克耳孙干涉仪





迈克耳孙在工作

迈克耳孙
(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。

迈克耳孙干涉仪至今仍是许多光学仪器的核心。

爱因斯坦赞誉道：

“我总认为迈克耳孙是科学中的艺术家，他的最大乐趣似乎来自实验本身的优美和所使用方法的精湛，他从来不认为自己在科学上是个严格的‘专家’，事实上的确不是，但始终是个艺术家。”

**许多著名的实验都堪称科学中的艺术，如：
全息照相实验、 吴健雄实验、 施—盖实验等等。**

**重要的物理思想 + 巧妙的实验构思
+ 精湛的实验技术 → 科学中的艺术**



迈克耳孙

Albert Abraban Michelson
(1852 — 1931)



莫雷

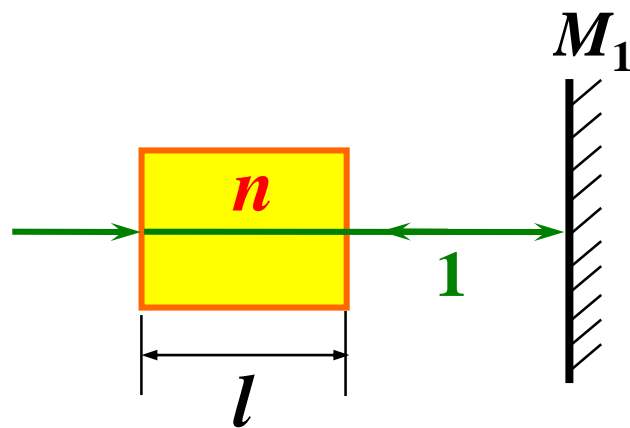
Edward Morley
(1838 — 1923)

三、迈克耳孙干涉仪的应用

- 测量微小位移

以波长 λ 为尺度，可精确到 $\frac{\lambda}{20}$

- 测介质折射率



光路1中插入待测介质，
产生**附加光程差**：

$$\delta = 2(n - 1)l$$

若相应移过 N 个条纹，

则应有 $\delta = 2(n - 1)l = N\lambda$

由此**可测折射率 n** 。（书p. 27习题22.23）

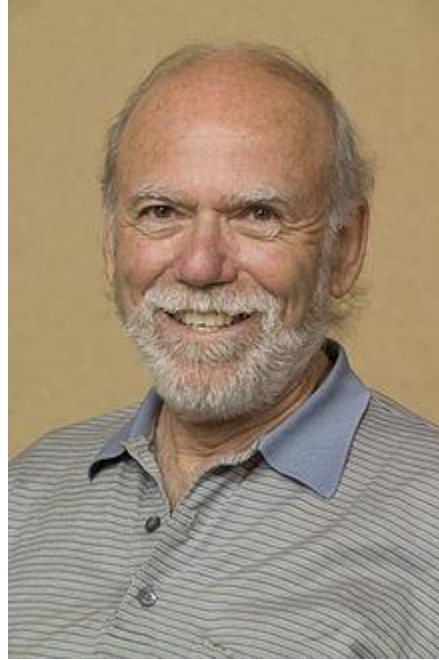
2015年9月14日，激光干涉仪引力波天文台（以下简称LIGO）首次观测到了黑洞系统合并产生的引力波现象，印证了爱因斯坦广义相对论的重要预言，从而也打开了人类观察宇宙的新的窗口。

2017年9月21日，雷纳·韦斯、基普·索恩和巴里·巴里什三人获得了第二届复旦中植奖，分享三百万人民币奖金。而仅仅两周后，三人共同获得了2017年诺贝尔物理学奖。

The Nobel Prize in Physics 2017



韦斯(1932-)



巴里什(1936-)



索恩(1940-)

The Nobel Prize in Physics 2017 was divided, one half awarded to **Rainer Weiss**, the other half jointly to **Barry C. Barish** and **Kip S. Thorne** *"for decisive contributions to the LIGO detector and the observation of gravitational waves"*.



2017年12月17日，雷纳·韦斯（左三）、基普·索恩（左四）和巴里·巴里什（左五）在上海领取第二届“**复旦-中植科学奖**”。

该奖项**设立于2015年**，每年轮流表彰在数学、物理学和生物医学三个学科领域做出原创性杰出贡献的全球科学家，2017年奖项聚焦物理学领域。



德雷弗

索恩

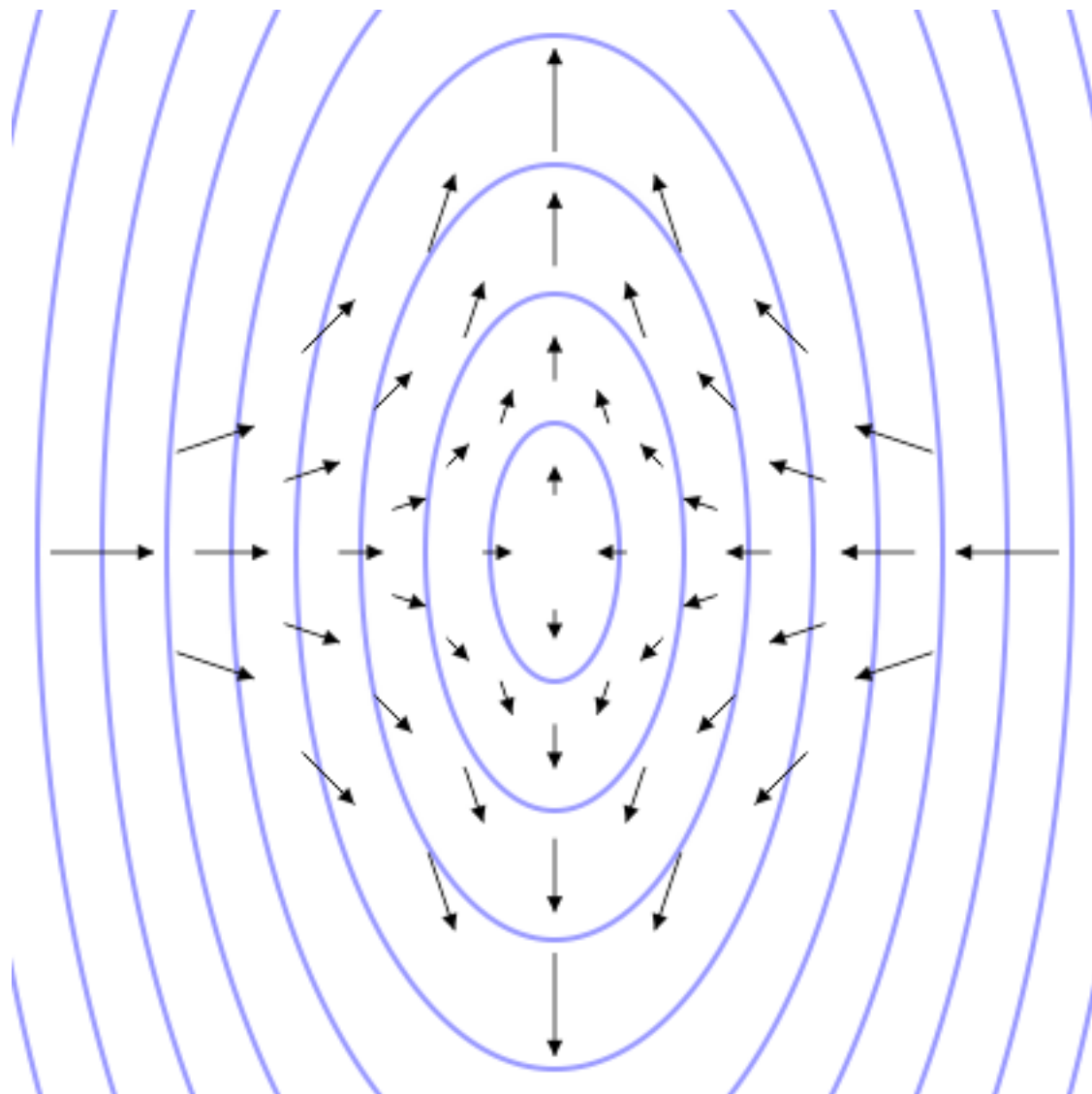
韦斯



黑洞双星合并的模拟动画

由于黑洞双星离我们如此遥远， 因此我们探测到的黑洞双星合并其实早在**十几亿年前**就已发生。 那时地球上的生物还处于**细胞层次**。 在引力波扫过浩瀚空间的十几亿年的时间里， 地球上的生物往着越来越复杂的方向进化着， 并最终进化成了被称为“**人**”的智慧生物。 当引力波扫过大麦哲伦云时， 地球上的人刚刚披上很原始的“衣服”； 当引力波离地球还剩 **100光年时**， 地球上一位名叫**爱因斯坦**的人刚刚预言了引力波的存在； 当引力波离地球还剩**50光年时**， 爱因斯坦的追随者们刚刚开始**尝试引力波的探测**； 当引力波离地球还剩**20光年时**， **LIGO**的两个观测台刚刚开始**建设**； 当引力波离地球只剩几“**光日**”时， **LIGO** 刚刚展开**高灵敏度的引力波探测**…… 最终， 当引力波经过十几亿年的漫长时光， 完成了十几亿光年的漫长跋涉抵达地球时， 恰好被**LIGO** 探测到。

卢昌海



引力波
— 时空的涟漪



LIGO 汉福德观测台



LIGO 利文斯顿观测台

GW150914

GW151226

GW170104

GW170608

1916年： 爱因斯坦**预言**引力波；
1917年： 爱因斯坦为**激光**奠定基础；
2016年： 用**激光****发现**了引力波。



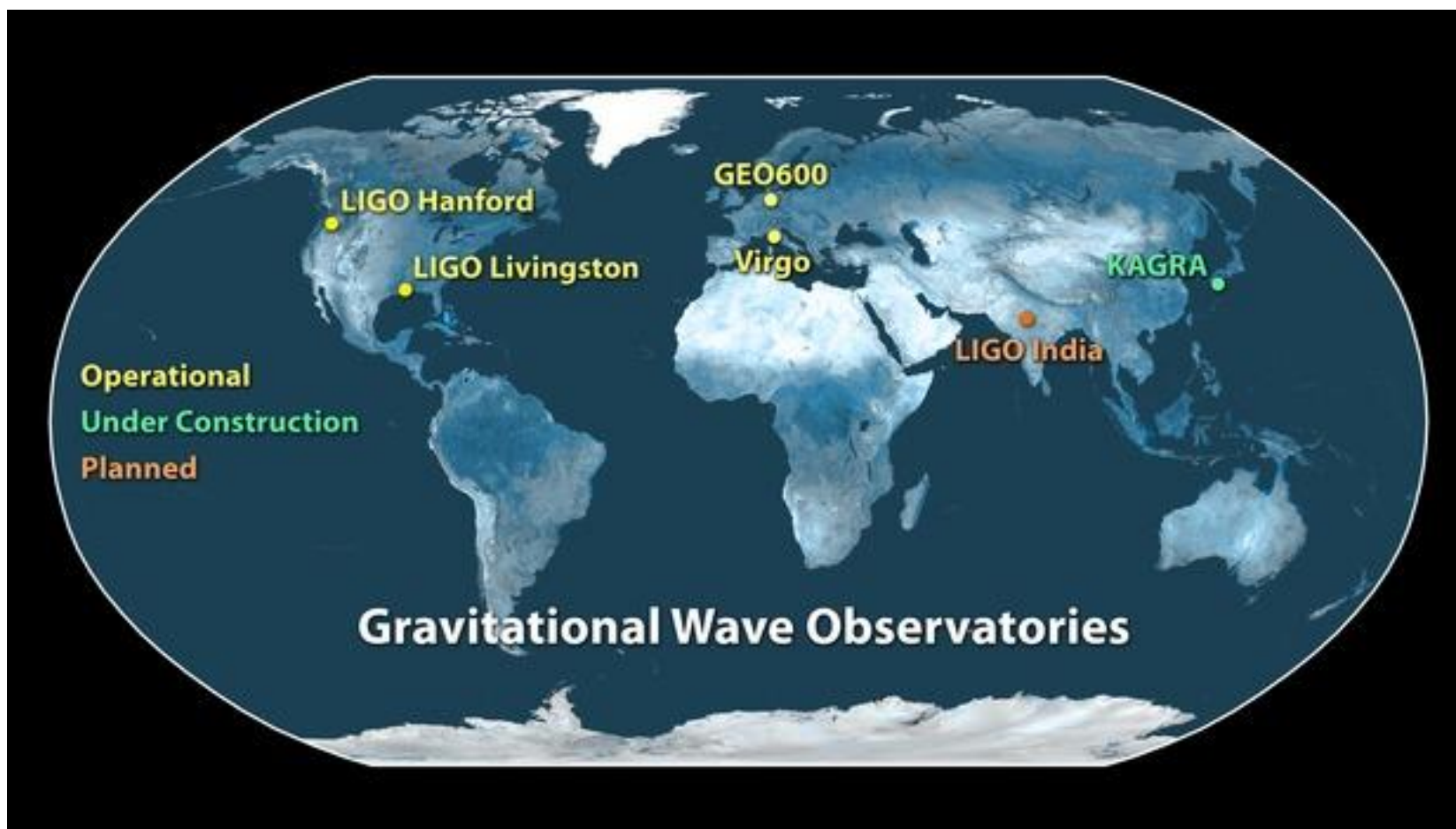
Virgo 引力波观测台

GW170814

GW170817

中子星双星合并

已建成、在建及拟建的引力波天文台的位置
黄色为“已建”，绿色为“在建”，
橙色为“拟建”。



第22章结束