

法布里-珀罗干涉仪的发明

艾宝勤 胡其图

(郑州轻工业学院基础部, 郑州 450002)

郭奕玲

(清华大学现代应用物理系, 北京 100084)

19世纪末期, 马赛大学两位年轻的法国物理学家法布里 (Charles Fabry) 和珀罗 (Alfred Perot) 描述了一个新颖的干涉装置, 被称为法布里-珀罗 (Fabry-Perot) 干涉仪。Fabry-Perot (以下简称 F-P) 干涉仪是一种精密的光学仪器。自从它诞生以来, 它就以独特的性能和精巧的结构引起人们的关注, 经过不断改进和发展, 很快地在许多领域得到广泛应用。

F-P 干涉仪已经有了将近一个世纪的历史。它的发明是多光束干涉现象的研究和半透明镀膜的使用相结合的结果。

一、多光束干涉理论的发展

19世纪初期, 波动理论的建立很好地解释了光的干涉现象。然而, 对多光束干涉的充分了解却经历了牛顿之后约两个世纪的时间。

1675年牛顿从微粒说出发, 用猝发理论解释了他著名的牛顿环实验。值得注意的是, 他的大部分观察和分析是在接近掠入射的情况下进行的。因为, 这种情况下条纹最为明显, 但牛顿并没有意识到这是由于光的多次反射所造成的。

W. Herschel 是一个有才华的仪器制造者和红外线辐射的发现者。在一段时间内他对接近全反射情况下的牛顿环产生了极大兴趣。在 Herschel 1809年的论文中谈到, 他用两块平面平行玻璃板观察等倾干涉条纹, 在接近掠入射时发现了多次反射的弧形条纹^[1]。他还发现, 光在房间里相对平行的反射镜间产生多次反射,

这种反复的反射特别明显。虽然 Herschel 认识到多次反射问题, 但他没有认识到条纹是定域在无限远处。他的理论纯粹是几何的。

最早认识到多光束干涉现象的是 S. D. Poisson。1810年前后, 他仍是一个坚定的微粒说者。作为法国科学院 1818年悬赏论文评奖委员的 Poisson, 在审查菲涅耳的理论时, 运用菲涅耳的方程推导圆盘衍射, 得到了一个令人稀奇的结果: 在盘后方一定距离的屏幕上影子的中心应出现亮点。Poisson 认为这是荒谬的。阿拉果用实验对这个问题进行了检验。实验非常精彩地证实了菲涅耳理论的结论, 影子中心果然出现了一个亮点^[2]。1818年以后, Poisson 尽管并没有完全转到波动理论上来, 但他深感光波理论并不如此简单, 他自愿地致力于波动理论的研究并认识到多光束干涉现象。在干涉条纹暗纹极小的讨论中, 他认识到, 穿入薄膜中的光不断产生反射, 每次反射此光中的一部分并传播到外部, 反射光是所有部分光叠加干涉的结果。他还认为, 一般情况下这些光根据接受的反射或折射次数的增多而逐渐减弱。然而, 数学家 Poisson 却未能采用数学手段计算在掠入射情况下的反射率, 因此他也未能发现掠入射情况下所产生的非同一般的现象。最早运用数学手段研究多光束干涉理论的是 Airy。

1831年 G. B. Airy 是剑桥大学的天文学教授, 是光的波动理论的一个积极支持者。他的设想和 Poisson 很接近。在多光束干涉理论的阐述中, 他给出了计算透射光强和反射光强的基本公式^[3]:

透射光强为

$$\frac{a^2(1 - e^2)^2}{(1 - e^2)^2 + 4e^2 \sin^2 \pi V / \lambda}, \quad (1)$$

反射光强为

$$\frac{4a^2 e^2 \sin^2 \pi V / \lambda}{1 - 2e^2 \cos^2 2\pi V / \lambda + e^4}, \quad (2)$$

这里 a 是人射光振幅, λ 是人射光的波长, e 是反射率, 路程差 $V = 2D \cos \beta$ 。他还指出反射光强和透射光强的互补性。他认识到, 一系列光波入射到两个分离很小间隔的玻璃板上, 一部分光在第一个板的下表面反射, 另一部分光在第二个板的上表面反射, 这些反射光相遇发生干涉。部分光折射进入第二个板, 产生透射光的干涉。1831年 Airy 最早用图解说明多光束干涉(见图1), 但他没有绘出光强特性曲线, 也未涉及到条纹锐度问题。

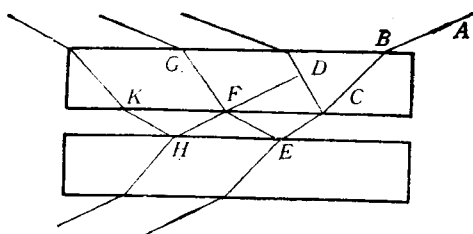


图1 Airy (1831年)解释平面平行板上的多光束用图

J. Jamin 一生从事多种学科的研究, 早期的时候他对光学的发展做出了重要贡献。1852年 Jamin 发表了他进行斜入射干涉问题的研究结果。从多次反射的计算和绘图中, 他看出, 反射光中的暗环非常细窄。同时, 他认识到, 由于每次反射减弱光束强度, 往往只考虑头两束反射光的干涉, 而忽略第三束和继后反射过多次的光束。当接近全反射时, 反射几乎不减弱光强, 因此必须考虑多光束参与干涉^[4]。遗憾的是, Jamin 没有把它发现的重要的两点联系在一起。因此, 在 Fabry 的论文发表之前, 人们对条纹锐度问题一直未能充分认识。

Fabry 1867年出生在马赛, 1885年进入巴黎综合工科大学。1889年他回到马赛从事一年的科研工作, 并受法国光学家 Macé 的影响对光学产生了极大的兴趣。一年后他到波尔多担

任中等学校的教师, 并在 Macé 指导下于1892年2月在波尔多完成了他的论文《干涉条纹的可见度和定域性理论》^[5], 同年5月获得了博士学位。Fabry 在论文中谈到, 两光束干涉条纹“边缘是一系列模糊的光带”, 多光束干涉条纹“轮廓则完全不同, 其反射条纹是一系列精细的黑线, 显现在均匀明亮的底部, 就象用羽毛笔在白纸上画的线一样。透射条纹和反射条纹互补, 是一系列明亮的细线, 显现在黑暗的底部, 光强最小值几乎为零”。他认为, “这种现象起因于薄片中的多次反射, Airy 公式很容易解释它”。Fabry 紧紧抓住单色光, 对准锐度这个核心问题, 明确阐述了多光束干涉的理论, 并最早绘制了光强特性曲线, 但论文中没有涉及到实际的应用。

二、半透明镀银膜的发明和使用

15世纪以后, 镀有不同金属的玻璃反射镜相继出现。然而, 其光学性能不适于做光学仪器使用。L. Foucault 在这方面做出了很大贡献。1843年他采用 T. Drayton 的镀银方法^[6], 并发明一种机械抛光^[7], 可使反射镜有完美的光学性质。最初, 银膜是不透光的, 1858年 Foucault 通过稀释溶液的方法制成了半透膜。半透明薄银膜的发明对 F-P 干涉仪的诞生起了关键作用。

1893年 R. Boulouch 最早使用镀银玻璃得到了多光束干涉条纹。他在条纹可见度的理论分析中发现, 条纹可见度与表面反射率有关, 反射率提高时, 条纹可见度增大。通过双钠线条纹分裂的观察, Boulouch 指出, 在两种情况下与上述理论相符: 一种是缝光源掠入射在一块薄玻璃板上; 另一种是光线垂直入射到两个镀薄银膜的玻璃片中, 分裂光环都能清晰地出现^[8]。这表明, 两种方法都提高了平板表面的反射率, 产生多光束干涉现象。但是, 他没有说明条纹的锐细程度。Boulouch 一生在波尔多从事中等学校的教育工作。他的发现是在 Fabry 完成博士论文离开波尔多之后。然而, 他最早

对镀银玻璃性能的认识和使用，在 F-P 干涉仪发明中的贡献是不可忽视的。

三、法布里-珀罗干涉仪的发明

Perot 1863 年出生在南锡，1882 年进入巴黎综合工科学校。1884 年他毕业后到南锡大学物理实验室工作，并于 1888 年在那里取得了博士学位，接着被聘为马赛大学的讲师。1894 年他成为工业电学教授，并参加了 Macé 小组。这时，Fabry 也来到这里，不久，就开始了他们多年的合作。

从 1896 年到 1899 年，Fabry 和 Perot 关于干涉问题接连发表了几篇文章。然而，在他们 1897 年联合发表的论文《薄镀银板中的条纹以及它们对测量空气层微小厚度的应用》^[9] 中，最明确地阐述了多光束干涉的理论以及多光束干涉条纹的性质和特点。在论文中，他们对 Airy 公式修正后，给出了新的透射光强公式为

$$I = \frac{\theta^2}{(1-f)^2} \cdot \frac{1}{\{1 + [4f/(1-f)^2] \sin^2 \pi \Delta / \lambda\}}, \quad (3)$$

θ 和 f 分别是透射率和反射率， Δ 是连续分量的光程差。图 2(a) 是他们当时绘制的光强分布曲线。他们给出了三个重要的特征参量，用来描述镀银玻璃板间薄空气层中多光束干涉条纹的主要性质：

1. 对比度

描述条纹的清晰程度，用最小透射光强与峰值透射光强的比值 ρ 表示，并且证明 $\rho = [(1-f)/(1+f)]^2$ 。

2. 精巧系数

描述条纹的锐细程度，用(3)式分母中 $4f/(1-f)^2$ 表示。

3. 峰值透射率

描述条纹的亮度，用透射亮条纹的光强与入射光强的比值表示。

可见，反射率的大小，直接影响条纹的性质。他们还指出，对固体金属膜， f 可接近于

0.90。这时，在几乎全黑的背景上显现出很细的亮条纹。

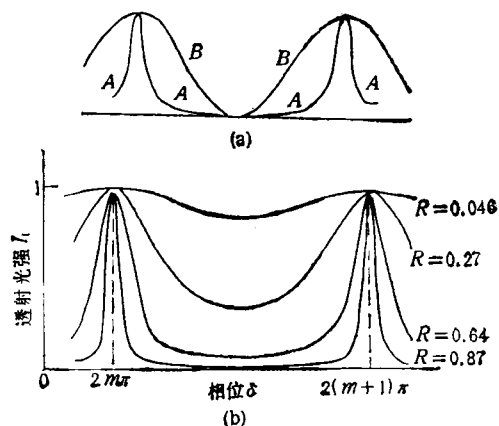


图 2

(a) 1897 年 Fabry 和 Perot 论文中的光强分布曲线 (A 曲线反射率为 0.75)；

(b) 1980 年 Born 和 Wolf 绘制的光强分布曲线

在论文中 Fabry 和 Perot 进一步描述了镀银玻璃板间薄空气层中多光束干涉条纹的主要特征：“……两玻璃板的镀银表面是精确平行的两个平面。通过一个透镜或直接用眼睛往无限远处看，就会观察到非常细的呈圆环状的条纹。这些条纹定域在无限远处。环的直径随着空气层厚度的增加成比例地减小。”

在这篇论文中他们阐述的多光束干涉的理论也正是 F-P 干涉仪的基本原理。从这个意义上讲，认为 F-P 干涉仪诞生于 1897 年是非常合适的。

Perot 精湛的机械技术和卓越的见识对 Fabry 的光学专长是一个极好的补充。1899 年 Fabry 和 Perot 详细描述了 Perot 设计的可改变间距的干涉仪装置。装置中有两个竖直放置的镀银玻璃板，一个板可沿玻璃滑板平行移动，改变两板的间距。两个相对的镀银表面通过角度调整，保持精确平行。整个装置安装在木制底座上。这是 F-P 干涉仪最早的面貌。1901 年 Fabry 和 Perot 进一步描述了由 M. Jobin 制造的 F-P 干涉仪，其基本设计和 1899 年的原型相似。干涉仪两个板的平行性和间距的精细调整以及装置的稳定性都有明显改进 (见图 3)。

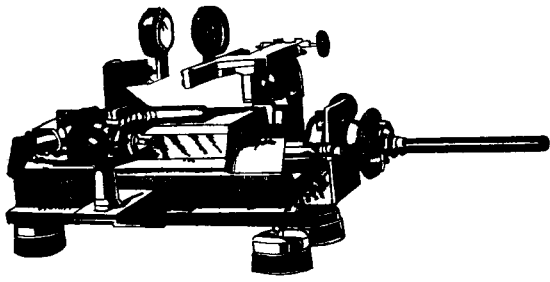


图3 1901年 Jobin 制造的 F-P 干涉仪^[10]

Fabry 和 Perot 还在 1901 的天体物理杂志上第一次给出了波长为 5460.7424 \AA 的绿水银弧光多光束干涉条纹的摄影记录 [见图 4(a)], 比迈克耳孙两光束干涉条纹 [见图 4(b)] 精细得多。

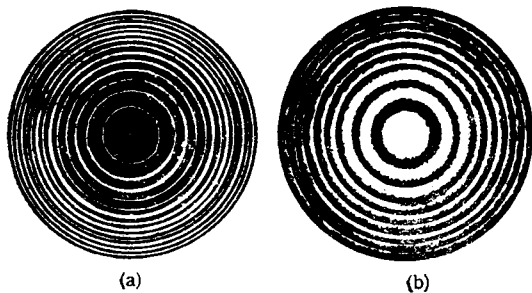


图4 多光束和两光束干涉条纹

在许多实验中 Fabry 和 Perot 使用一种简单的有固定间隔的 F-P 干涉仪, 称为 F-P 标准具。图 5 是 Fabry 和 Perot 测量弧光和太阳光谱时使用的标准具。图 5 中圆形的镀银玻璃片紧靠着经过精加工的钢板, 通过钢板弹簧和对接螺钉改变压力, 使接触处发生微小形变, 用以调整镀银表面的平行性。这时候, F-P 干涉仪已经开始了它在计量学和光谱学中的应用。特别是 1905 年摄影记录工艺技术的建立和完善, 进一步促进了 F-P 干涉仪在光谱学研究中的应用。

由于 F-P 干涉仪的平板在移动后, 很难保持严格平行, 因此从本世纪 20 年代开始, 各种形式的 F-P 标准具相继产生。图 6 是 1927 年 W. Kösters 描述的标准具^[12]。这个标准具有矩形的镀银板, 其间隔为殷钢制成的 U 形导

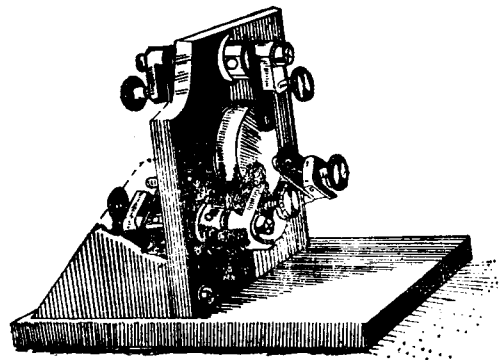


图5 1902年 Fabry 和 Perot 使用的标准具^[11]

槽。在新式标准具中, 有一固定间隔器, 平板经过涂镀的内表面必须非常平, 误差不能超过 $1/20$ 个波长^[13]。改变间隔器上的压力使两个内表面准确平行, 而平板本身一般是劈形, 以避免没有涂镀表面反射光的干扰。

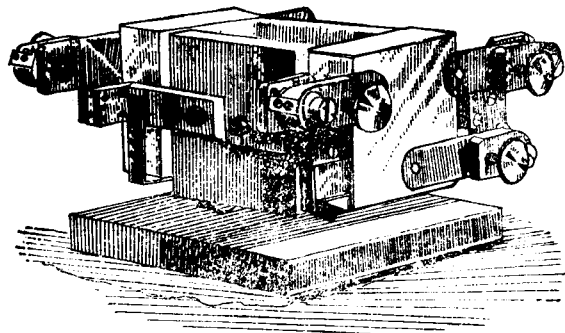


图6 1927年 Kösters 描述的标准具

1927 年 Houston 提出的用前后排列的两个标准具构成的“复合干涉仪”提高了标准具的分辨本领。1947 年 Banning 采用多层介质膜代替 F-P 干涉仪的金属膜用以提高反射系数并减少金属膜的吸收损失。40 年代, 随着光电探测器和压电转换器的出现, Jacquinet 和 Dufour 在 1948 年发明了扫描 F-P 干涉仪, 提高了仪器的使用效率。1956 年 Connes 发明了球面 F-P 标准具。这种标准具有较高的亮度和精巧系数, 并且对不平行度更不敏感, 因此被广泛使用。F-P 标准具还为 60 年代激光的产生提供了谐振腔的基本模型。由图 2(b) 可以看出, 现代 F-P 标准具有很高的分辨本领。最近几年 F-P 标准具对涂层设计有新改进, 通

过减小散射和吸收造成的光损失,反射光可达到 99.99—99.995%。这种涂层的最新式 F-P 标准具其精巧系数比 10000 还要大^[14]。

随着光学技术的发展,尽管相继不断有许多先进光学仪器产生,但 Fabry-Perot 干涉仪仍在发挥它的重大作用,并不断地以其新的理论、新的面貌和新的结构展示其极大的优越性。

- [1] P. Connes, *J. Opt.*, **17**(1986), 8.
[2] 郭奕玲、沈慧君,物理学史,清华大学出版社,(1993), 171.

- [3] Vanghan, *The Fabry-Perot Interferometer*, Adam Hilger, (1989), 3.
[4] J. Jamin, *Ann. Phys.*, **36**(1852), 158.
[5] Ch. Fabry, *Ann. Fac. Sc.*, **5**(1892), 63.
[6] 同 [1], 16.
[7] L. Foucault, *Ann Obs. Imp.*, **5**(1858), 232.
[8] R. Boulouch, *J. Phys.*, **2**(1893), 316.
[9] Ch. Fabry and A. Perot, *Ann Chim.*, **12** (1897), 459.
[10] 同 [3], 15.
[11] Ch. Fabry and A. Perot, *Astrophys. J.*, **15** (1902), 73.
[12] 同 [3], 37.
[13] C. Candler 著,周雄豪译,近代干涉仪,上海科技出版社,(1959), 246.
[14] T. Higgins, *Lasers and Optronics*, **5**(1987), 60.

第七届全国电介质物理学术会议简讯

受中国物理学会委托,电介质物理专业委员会于 1993 年 12 月 5 日至 8 日在武汉湖北大学召开了第七届全国电介质物理学术会议,出席这次会议的教授、专家和有关的研究工作者近 100 人。中国科学院院士殷之文、姚熹和王业宁教授出席了会议,并分别在大会上作了题为《第八届国际铁电会议 (IMF-8) 简介》、《从 IMF-8 展望我国铁电材料的发展》和《畴界动力学的研究》的特邀报告。钟维烈、肖定全、胡行方、杨大本和李景德教授也分别在大会上作了邀请报告。令人欣慰的是,一批具有博士、硕士学位的年轻科技工作者参加了大会并作了学术报告,这表明我国电介质物理研究后继有人,他们将成为今后我国电介质物理和相关材料与器件研究的新生力量。

由全国电介质专业委员会委员邝安祥教授担任主编的《第七届全国电介质物理学术会议论文集》(1993 年 11 月第一版)已由电子科技大学出版社出版。论文集集中收录了具有较高学术水平的论文 72 篇,内容包括:电介质理论、单晶电介质、多晶(陶瓷)电介质及其应用、聚合物电介质、介质薄膜、生物电介质、复合材料、实验方法研究、新型功能材料及应用等,集中反映

了我国电介质物理学及相关科学的研究工作者和工程技术人员在电介质理论、材料、实验技术和方法,以及电介质的应用等方面的科研成果和发展动态。

经中国物理学会批准,会议期间开展了中国物理学会电介质物理专业委员会的换届工作,并召开了新一届电介质物理专业委员会全体委员会议。会议听取了姚熹教授和夏钟福教授分别作的关于在我国召开亚洲铁电学会议 (Asian Meeting on Ferroelectricity, 简记为 AMF) 和国际驻极体会议的筹备情况的报告。专业委员会将积极支持并大力协助在我国召开这样两个在电介质物理方面有影响的国际性或区域性会议。专业委员会决定,第八届全国电介质物理学术会议将于 1996 年在南京举行,由南京大学负责筹办。专业委员会全体委员会议还选举了新一届专业委员会负责人,周志刚教授当选为全国电介质物理专业委员会主任,王永令、钟维烈、肖定全三同志当选为副主任,秘书长由肖定全同志兼任。

(四川大学材料科学与工程系 肖定全)

(上接第 538 页)

- [8] M. Bozoian, K. M. Hubbard and M. Nastasi, *Nucl. Instrum. Methods*, **B51**(1990), 311.

- [9] J. Y. Tang et al., *Nucl. Instrum. Methods*, **B74** (1993), 491.