

生了 $\mu^- + p \rightarrow n + \nu$ 作用,放出中微子而不是质子或 α 粒子,即将小部分静能给予核而使核子重新安排.记录到的“电子释放”表明,负 μ 子在靠近核时取代了电子而沿核外轨道旋转,并在发生定态轨道跃迁时,发射的几 MeV 光子在金属箔上产生了康普顿电子或电子对,从而证实惠勒的看法:“介子具有绕核旋转的玻尔轨道特征”和 γ 射线是“介子在玻尔轨道跃迁过程中释放的”.所以,当时惠勒说这样的“第一个实验证据是张文裕……给出的”(1949),吴健雄等后来也说:“张文裕于1949年在用云室研究停止宇宙线负 μ 子时发现了 μ 原子”.这是第一次发现的非卢瑟福-玻尔原子,开拓了奇异原子研究的先河.

μ 原子的发现发表后,引起学术界的重视,有的称为“张原子”,也有的说是“张辐射”.但是,由于张先生当时坚决要求回国受到的审查和迫害,理应归于他的这项重要发现竟无人敢再提,而被埋没了近20年.在1971年中美恢复外交关系后的第二年,中国科学家代表团首次访美前夕,美国《今日物理》载文称张文裕是 μ 原子的发现者.1977年,V. W. 休斯和吴健雄发表的《 μ 子物理》第一卷中称“张文裕发现了 μ 原子”.张先生有一次告诉笔者,李峨森同志在1972年留美回国时向张先生说:“你发现的 μ 原子,你种下的这棵树,已经开花结果了!”掩盖不住他内心的兴奋.

在1983年笔者的文章《 μ 原子发现过程和张文裕教授》发表后,《中国青年报》发起的全国

青年科学知识得奖赛的许多题目中,列出了“ μ 原子是我国哪位科学家发现的?”从而使张先生的这个发现名扬中国大地.

张先生最看重的自己另一发现是他于1937年在剑桥大学负责的一项实验: ${}^{16}_8\text{O} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{16}_7\text{N} + {}^1_1\text{H}$,这是他和哥德哈勃(M. Goldhaber)和嵯峨根(R. Sagane)合作,用锂放射的中子轰击氧原子核时出现8s 衰变期的放射性元素,经研究知其放射源为新产生的放射性氮—— ${}^{16}_7\text{N}$.张先生告诉笔者,这个过程在原子能反应堆设计中应该特别注意,因为冷却水中有氧,按照这个反应会产生带放射性的 ${}^{16}_7\text{N}$,对人体有害,并且在后来确实得到应用.张先生与费米很熟,经常一起探讨,自然了解反应堆的发明者的设计思想了.

张先生是一位爱国主义者和在国内外享有盛誉的高能物理学家,他是我国宇宙线和高能物理研究的倡导者和主要奠基人.他在科学上造诣很深,成就卓著,党和人民也给予他很多荣誉.他待人宽厚、诚恳,十分平易近人.笔者每次见到他,都有如面对亲人和无话不可言的亲切感觉,他给人以可信、可敬、可爱、可亲的情感,一旦接近,终生难以忘怀.张先生病如植物人已经两年多,笔者每隔几个月总要去看望他,后来他辨认不出来人,我却仍然怀着敬仰和感激之情去看他,否则心感不安.张先生留给笔者的研究卡文迪什实验室的历史经验和卢瑟福的治学与为人课题,仍然还在认真做下去,藉以实现张先生晚年的遗愿和对笔者的殷切期望.

相衬显微镜与泽尔尼克

周汉明

(中国地质大学基础部,武汉 430074)

一、相衬显微镜的基本原理及应用

1. 基本原理

相衬显微技术的关键是把人眼无法直接观

察到的位相变化转变为可以直接观察到的强度变化.设位相物体是透明度很高的物体,光波通过该物体后,只改变波的位相,波振幅不变.将该物体放在透镜的物平面上,由于位相物体各部分的光学厚度不同,其复振幅透射系数可写

为

$$f(x, y) = \exp[-i\varphi(x, y)]^{[1]}, \quad (1)$$

式中 $\varphi(x, y)$ 为该位相物体的位相分布函数. 在透镜的后焦平面(即频谱面)上, $f(x, y)$ 的傅里叶变换为

$$\begin{aligned} F(u, v) &= \mathcal{F}[f(x, y)] \\ &= \iint e^{-i\varphi(x, y)} e^{2\pi i(ux+vy)} dx dy, \quad (2) \end{aligned}$$

(2)式中 $u = x/\lambda f, v = y/\lambda f$ 是频谱面上的坐标,也是二维空间函数 $f(x, y)$ 沿 x 方向和 y 方向的空间频率; f 为透镜焦距, λ 为入射光波长. 在应用相衬法时,位相变化 $\varphi(x, y)$ 的值是很小的,通常 $\varphi(x, y) \ll 1 \text{ rad}$,按级数展开并略去高次项,则(1)式可近似地写为

$$\begin{aligned} f(x, y) &= \exp[-i\varphi(x, y)] \\ &\approx 1 - i\varphi(x, y), \quad (3) \end{aligned}$$

式中 i 表示零频成分与衍射谱成分之间的位相差为 $\pi/2$. 将(3)式代入(2)式中积分,同时在透镜后焦平面上放置一个使零级频谱成分的位相相对于其他各级衍射谱成分的位相延迟 $\pi/2$ 的位相滤波器(即位相板),则滤过的频谱为

$$F^M(u, v) = -i\delta(u, v) - i\Phi(u, v), \quad (4)$$

式中 $\Phi(u, v)$ 为 $\varphi(x, y)$ 的傅里叶变换, $\delta(u, v)$ 为狄拉克 δ 函数,也是1的傅里叶变换.

当 $|\varphi(x, y)|$ 的值很小时,略去高次项,那么在像平面上强度图样为

$$\begin{aligned} |g(x, y)|^2 &= |\mathcal{F}^{-1}[F^M(u, v)]|^2 \\ &= |-i - i\varphi(x, y)|^2 \\ &\approx 1 + 2\varphi(x, y)^{[1]}, \quad (5) \end{aligned}$$

式中 $g(x, y)$ 为像平面上的复振幅. 这样,像的强度分布与物体的位相分布是线性关系,也就是说位相物体的位相变化已转换为可以直接观察的强度变化了.

若在透镜后焦平面上放置一个使零频成分的位相相对于其他各级衍射谱成分的位相延迟 $3\pi/2$ 的位相滤波器,则像的强度分布是

$$|g(x, y)|^2 \approx 1 - 2\varphi(x, y). \quad (6)$$

(5)式对应正相衬,(6)式对应负相衬. 在正相衬的情形下,插入的位相板是厚度为 $\lambda/4$ 的环形薄膜,被观察的位相物体看起来比本底亮. 在负物理

相衬的情形下,插入的位相板是厚度为 $3\lambda/4$ 的环形薄膜,这时被观察的位相物体看起来比本底暗.

图1为相衬显微镜的一种光学系统. 图1中 L_1 为聚光镜, L_2 为相衬物镜, D_1 为环形空圈板, D_2 为位相板, I 为样品, I' 为像平面, L 为辅助聚光镜, S 为光源. D_1 位于 L_1 中透镜的前焦平面, D_2 位于 L_2 中透镜的后焦平面,光源 S 经 L 成像于 D_1 , 透过 D_1 的光束由 L_1 中透镜准直成为平行光束,倾斜地照明位相物体(样品) I ^[2]. 在相衬物镜中透镜的后焦平面(即频谱面)上得到物体的频谱,其中零级谱对应于直射光,高级谱对应于衍射光. 频谱面上产生环形空圈板的图象,环形位相板与环形空圈板相匹配,可在像平面上观察到位相物体产生的光强变化.

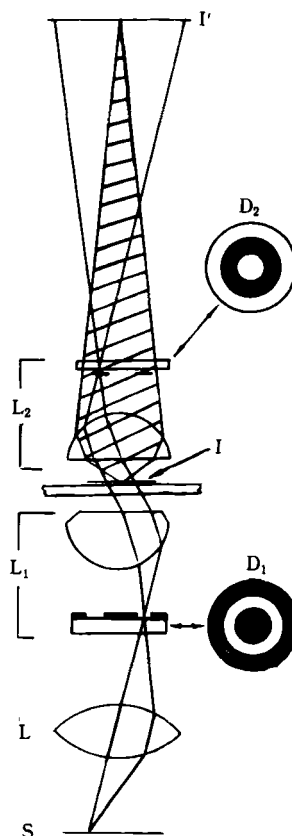


图1 相衬显微镜光学系统

2. 应用

相衬显微镜最初主要用于生物学及医学方

面作细菌学和病理学的研究. 50年代应用到矿物晶体微形貌学中, 进行晶体表面生长的动态观察. 笔者用相衬显微镜观察透明矿物晶体的显微构造, 获得了比较好的效果. 所观察的标本为微破裂花岗闪长岩薄片中的石英及斜长石等. 对同一标本拍照, 图2(a)中的Q和F(以及图2(b)中的相应位置)分别表示石英和斜长石. 它们都是透明晶体. 图2(a)中的石英、斜长石颗粒界线不清楚, 其显微构造也不明显. 而图2(b)中石英颗粒界线很清楚, 并且在剪切力作用下所产生的一组微裂隙近东西向, 另一组微裂隙近北西向. 斜长石受剪切力作用产生的北西向微页理, 以及近东西向的微裂隙均清晰可见.

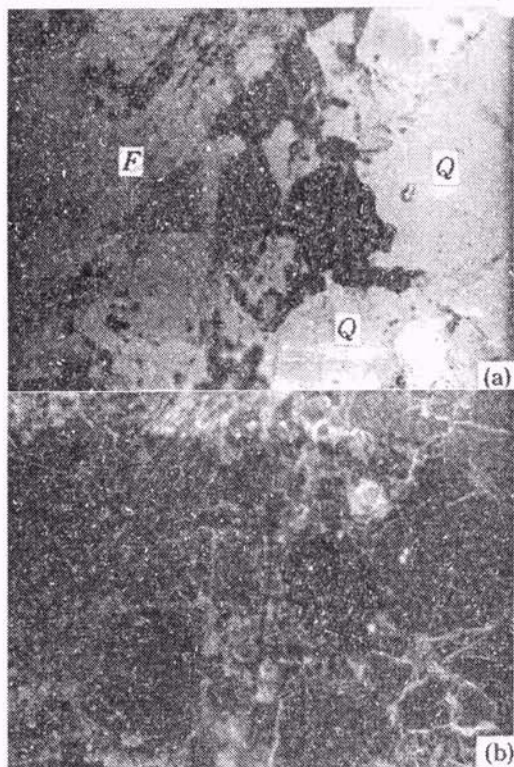


图2 微破裂花岗闪长岩薄片中的石英、斜长石显微照片($\times 220$)

- (a) 普通显微镜下拍摄的显微照片;
- (b) 相衬显微镜下拍摄的显微照片

二、相衬显微镜的发明及其发展

泽尔尼克对相衬显微镜的发明也像物理学中许多其他发现一样带有偶然性. 他在检验衍射光栅时, 通过望远镜看到了由于波的位相差所引起的干涉现象. 在此基础上泽尔尼克开发了相衬显微镜. 在他的第一次设计中, 使用一个直线条带(straight-lined strip)样的孔径光阑, 并在物镜的后焦面放置一个相应的直线条带光阑. 1953年泽尔尼克在他获诺贝尔奖的演讲中提到了发明的偶然性时说:“然而, 这个装置使物体结构的显微像显示了晕, 因为衍射效应使物体细节的带状物像——沿垂直于带的方向散开, 从而使像上的小亮点成为短线段状. 为了避免这种现象, 我改用了环状光阑, 此光阑导致晕圈向各方向散开, 不过晕圈变得很微弱以致实际上完全没有意义.”^[3]

1932年, 泽尔尼克试制成功第一台相衬显微镜, 同年4月26日在德国申请专利:“在非完全染色的显微样品里加强衬比技术”. 从第一台样镜到生产之间经过了异乎寻常的曲折道路. 泽尔尼克以坚韧不拔的精神克服重重困难, 终于使相衬显微镜被全世界广泛使用. 1932年, 泽尔尼克带着他试制的样镜向德国耶拿的卡尔·蔡司(Carl Zeiss)论证相衬显微镜的生产时, 没有得到蔡司的支持; 30年代中期, 在德国韦茨拉尔, 他与欧斯特·莱兹(Ernst Leitz)洽谈时, 发生了同样的情况; 甚至在1933年荷兰瓦赫宁恩(Wageningen)专业会议上, 他拿着论文《显微镜观察的一种新方法》作为他的实验和理论结论的摘要介绍时, 他再次受到挫折:与会者对此不感兴趣, 根本不问任何问题, 并且很快置之脑后. 经过泽尔尼克的不断努力, 直到1935年卡尔·蔡司才根据合同取得了泽尔尼克的发明. 1936年德国专利局才同意泽尔尼克在1932年申请的专利. 但是, 相衬显微镜引入市场又受到1939年所爆发的第二次世界大战相当大的打击. 至少直到1941年, 蔡司才生产出相衬物镜和附件. 与此同时, 泽尔尼克仍在继续试验, 对相衬显微镜

加以改进. 1944年在乌德勒支他与光学仪器制造者 C. E. 布林克博士合作研制了消色差的相衬显微镜物镜,并在物镜内安装了位相板. 1951年赫尔曼·海尼(Hermann Heine)为相衬设备开发了聚光镜的环状照明装置. 除了卡尔·蔡司,其他公司都是在第二次世界大战之后才陆续生产相衬显微镜的,如德国格廷根的蔡司-威克尔(Zeiss-Winkel)公司,美国的光学公司以及库克、特罗顿和辛姆斯(Cooke, Troughton & Sims)有限公司. 现在全世界生产相衬显微镜的公司很多,我国也生产相衬显微镜.

三、泽尔尼克的卓越贡献及生平简介

泽尔尼克不仅是一位杰出的物理学家,而且是一位优秀的科学实验者,是显微术的先驱者之一. 他因发明相衬显微镜而荣获1953年诺贝尔奖金物理学奖. 在此之前观察活体细胞及微生物体时,因为它们各部分的透明度基本相同,故常使用高赫(Robert Koch)提出的染色法. 但是细胞或活动微生物中的一部分能够排泄每种染料,而大部分被染料所杀死并改变了本身的结构^[4]. 因此,用普通显微镜进行上述观察是非常困难的. 1932年,泽尔尼克发明了相衬显微术,40年代末生产了相衬显微镜^[5],在活体细胞和组织的检查方面作出了划时代的贡献. 在同样条件下,对同一样品的观察,相衬显微镜能够观察到普通显微镜不能观察到或观察不清楚的许多细微构造,给人们带来的信息丰富得多. 现今,相衬显微镜不仅在医学和生物学中得到广泛的应用,而且在金相学、地质学、矿物学、晶体光学等领域的应用也为人们越来越重视. 此外,泽尔尼克对统计物理学,起伏现象,仪器的构造以及光的干涉等方面均有建树. 他受到全世界广大科学工作者的尊敬和赞誉.

泽尔尼克1888年7月16日出生在荷兰的阿姆斯特丹. 他的父母亲都是知识分子,青年时期的泽尔尼克对科学问题已经显示出伟大的才能和多方面的兴趣. 1905年中学毕业后,考入阿姆斯特丹大学,开始学习化学,此外还听了数学、物理

物理学、天文学及矿物学的讲座. 1906年就获得格罗宁根大学开展的概率论方面问题竞赛的第一名. 1912年以题为《气体中临界乳光理论》的博士论文获博士学位. 1913年荷兰天文学家 J. C. 卡普坦(1851—1922)发现了年轻而才华出众的泽尔尼克,并使他进入格罗宁根大学. 在那里他作为卡普坦的助手工作到1915年. 同年他接受乌得勒支大学的聘请任数学物理讲师. 1920年泽尔尼克32岁时,被格罗宁根大学聘为理论物理学教授,直到1958年退休. 1938年至1939年,泽尔尼克被任命为格罗宁根大学校长,这是他事业的最高峰时期.

由于他的卓越贡献,他还获得了多方面的殊荣. 1946年荷兰皇家科学院授与他皇家科学院院士并担任物理学部主任;1950年被伦敦皇家显微协会提名为荣誉会员;1952年被授与 Rumford 金质奖章〔朗福德伯爵(1753—1814),美国-英国物理学家,本名 B. 汤普森,朗福德是他的封号);1955年美国光学协会授与他荣誉会员. 另外,泽尔尼克获得了荷兰和法国皇家的高级荣誉奖品,而且1955年法国的普瓦捷大学、伦敦大学及1963年意大利的摩德纳大学分别授与他博士学位.

1958年以后,他与许多国家的朋友和合作者的联系日渐停止. 1966年3月10日在家乡阿姆斯特福特逝世,终年78岁.

泽尔尼克具有谦虚、宽容和坦率的高贵品格,对科学有不屈不挠的浓厚兴趣. 不论作为一位杰出的物理学家或是作为一位优秀的科学实验者,他总是废寝忘食地钻研他的工作,对所从事的科学研究锲而不舍,精益求精. 他时时以自然哲学原理分析自己的观点,使之具有严谨的科学基础. 泽尔尼克一贯遵守的格言是:“怀疑任何你尚未充分了解的事情.”

感谢黄思骥高级工程师和孟宪章工程师对本文照片提供的帮助.

[1] A. K. 伽塔克, K. 谢伽拉杨著,袁一方等译,近代光学,高等教育出版社,(1988),215,216.

[2] 吕乃光,傅里叶光学,机械工业出版社(1988),229.

[3] R. Beck, *Scien. Tech. Infor.*, 9-5(1989), 187.

社(1987), 284.

[4] A. W. 罗曼著, 虞祖良译, 光学信息处理, 清华大学出版

[5] 母国光、战元龄, 光学, 人民教育出版社(1978), 397.

怎样才能有效地观察光孤子

翟华金 李宝其

(武汉大学物理系, 武汉 430072)

到目前为止, 国内仍没有成功地令人信服地观察和记录光孤子, 要完成这一突破还需作艰苦的努力. 该文论述了光孤子存在的物理条件, 指出了国内为成功观察光孤子而开展的基础研究和应用研究的方向.

光孤子的观察以其苛刻的实验条件和高的技术要求, 直到1980年才由 Mollenauer 等^[1]首次在 Bell 实验室实现, 这已是 Hasegawa 等^[2]从理论上预言光孤子存在的八年之后. 光孤子的成功观察不仅有力地验证了光孤子理论, 同时导致了光孤子研究和光孤子通信等领域的一系列重大突破: 在孤子激光器方面, Mollenauer 等人^[3]于1984年研制成功的色心孤子激光器, 在孤子研究中发挥了积极作用; Smith 等人^[4]于1991年研制成功可以全光纤集成的掺铒光纤孤子激光器, 以其巨大优势在孤子研究和实用孤子通信系统中表现出强大的竞争力; 在实验室孤子传输方面, 利用周期性能量补偿(包括拉曼放大、掺铒光纤放大和半导体激光放大等)以克服光纤损耗, 可实现长距离孤子传输, 其中 Mollenauer 等^[5]利用周期性掺铒光纤放大已成功地观察到12000km 距离上孤子的传输; 在实用化方面, 美国、日本正着手将孤子通信系统推向实用, 这无疑将是通信领域的又一次革命.

一、光孤子的传输方程

光脉冲在光纤中的传输可由下面的方程进行有效的描述:

$$i \frac{\partial A}{\partial z} = -\frac{i}{2} \partial A + \frac{1}{2} \beta_2 \frac{\partial^2 A}{\partial T^2} - \partial |A|^2 A, \quad (1)$$

式中 $A(z, t)$ 为脉冲包络振幅, $T = t - z/v_g$ 为内

禀坐标系(即以群速 v_g 运动的坐标系)中的时间. (1)式计及的主要效应有:

(1)右端第一项描述光纤的线性损耗, α 为损耗系数.

(2)右端第二项描述光纤群速度色散(GVD), GVD 是指不同波长的成分在光纤中传输群速度不一样的性质, $\beta_2 \approx -\frac{\lambda^2}{2\pi c} D$ (D 为通常的色散参数)为 GVD 参数. 以光纤的零色散波长 λ_0 为分界点, 当 $\lambda > \lambda_0$ 时为光纤的负 GVD 区域, 在此区域内高频成分传输快, 低频成分传输慢; 当 $\lambda < \lambda_0$ 时则相反.

(3)右端第三项描述光纤的自相应调制(SPM)效应^[6], 它由光纤的非线性 Kerr 效应所引起, 使光脉冲在包络内的不同时刻表现为不同的频率. 由于光纤中的 SPM 效应, 脉冲的前沿频率将降低, 后沿频率将升高, 于是在脉冲中部形成了“红头紫尾”的啁啾, 如图1, 其中 n_2 为光纤的非线性系数, K 为真空中的波数, L 为脉冲在光纤中传输的距离.

值得指出的是, (1)式没有考虑高阶的非线性效应, 当脉宽 $< 100\text{fs}$ 时需引入一些高阶的修正项(如高阶色散项、脉冲自变陡项、脉冲自频移项等), 才能完整地进行描述.

由上述讨论显然可以看出, 只有脉冲波长落在光纤的负 GVD 区域时, 由 SPM 形成“红头紫尾”的啁啾脉冲, 负 GVD 使脉冲的低频前沿