

非线性光学及其若干新进展*

尹国盛 顾玉宗 黄明举 毛艳丽

(河南大学物理系 开封 475001)

摘要 扼要介绍了非线性光学的基本概念及其最近 10 年来在飞秒激光、半导体材料、光纤通信和光信息存储等若干方面的研究进展。

关键词 非线性光学,飞秒激光,光纤通信,光信息存储

NONLINEAR OPTICS AND ITS RECENT PROGRESS

YIN Guo-Sheng GU Yu-Zong HUANG Ming-Ju MAO Yan-Li

(Department of Physics, Henan University, Kaifeng 475001, China)

Abstract The basic concepts and recent progress of nonlinear optics are briefly introduced with emphasis on femtosecond lasers, semiconductor materials, fiber communication and optical information storage.

Key words nonlinear optics, femtosecond laser, fiber communication, optical information storage

1 引言

非线性光学是描述物质对光场的响应与光的场强成非线性关系的学科,它是近 40 年来随着激光器的诞生而迅速发展起来的一门新兴学科.它作为现代光学的一个重要分支,越来越受到人们的青睐和关注,吸引了许多科学工作者,并取得了令人可喜的累累硕果.有关非线性光学的基本内容等知识本刊已有介绍^[1,2],本文仅就它最近 10 年来的若干新进展作一简单综述,以供对此有兴趣的同志参考.

2 非线性光学的若干新进展

1960 年, Maiman 成功地做出了第一台红宝石激光器以后,科学家们立即意识到这是一个开拓崭新领域的极为重要的工具,并迅即开始了多方面的探索工作,从而导致了非线性光学的诞生.尤其是近 10 年来,非线性光学的研究在许多方面都取得了重大进展.

首先,最引人注目的是利用新型的非线性晶体,如 β -BaB₂O₄(β -BBO), LiB₃O₅(LBO), KTiPO₄(KTP) 等制作在宽广波长范围可调谐的连续或皮秒(ps)飞秒(fs)脉冲光学参量振荡器(OPO)及光学参量放大器(OPA),它们在 ps 和 fs 调谐激光及连续波调谐激光方面充分显示了极大的应用潜力. Eckardt 及

Lee 等人详细分析研究了 I 型和 II 型连续波 OPO 的性质,使用 KTP 晶体和特殊的腔体设计,得到了双共振(DRO)OPO 的信号与闲频光的频差为 THz 的调谐范围. Gerstenberger 等人采用二极管抽运的单频、连续波 Nd:YAG 激光器的倍频输出去抽运 LiNbO₃ 的单共振(SRO)OPO,得到了 966nm 至 1165nm 范围内的调谐输出. Cornell 大学的 Tang 小组采用钛宝石激光束为抽运光,得到了高重复率的、脉宽短至 57fs 的可见及红外区 OPO 等等. 所有这些红外或可见波段、连续波或超短脉冲、DRO 或 SRO 的 OPO 及 OPA 技术的巨大进展,已经有效地促进了激光光谱及非线性光学的研究,为更高精度和 fs 量级的非线性光学研究提供了有效的红外相干辐射光源^[3].

其次是 fs 区非线性光学的研究也极为引人注目. 在 20 世纪 90 年代, fs 激光器已经实现商品化,并在实验室中得到广泛应用. 掺有稀土元素 Er 光纤的制备,使得在光通信最感兴趣的波段得到了高增益介质, Ainslie 等人已经从 Er 光纤成功地放大了 200fs 的光脉冲. Paye 和 Hulin 采用 100fs 的光脉冲研究了半导体非线性法布里-珀罗标准具的响应特性. Arabat 和 Etchepare 用 90fs 的光脉冲在玻璃中观察到六波混频效应,测量了透明玻璃的 $\chi^{(5)}$ 的对称张量元与不对称张量元之比. Hattori 等人用对撞锁

* 2002-03-12 收到初稿, 2002-05-21 修回

模环形染料激光器的 60fs 光束,观测到超短脉冲引起的感生相位调制^[3].姜雄伟等人用钛宝石激光器的 120fs 光脉冲和 Nd:YAG 激光器的 38ps 光脉冲,分别照射 K9,LaF₁,LaF₂ 及石英光学玻璃,研究了某些光学玻璃在 ps 及 fs 激光照射下产生的暗化特性^[4].钟方川等进行了 fs 强激光作用下微毛细管等离子体 X 射线辐射特性的研究^[5].王淮生等人分别用 5fs,20fs 等超短脉冲照射,对光栅的瞬时 Talbot 效应进行了研究^[6].关于瞬态光学及其进展的问题,侯洵作了简单综述^[7].

在相干辐射扩展方面取得的一个重要突破是多次谐波的产生(HHG).1996年,Preston 采用 248nm 的 KrF 激光从 He 气中得到了 37 阶谐波. Huiller 等从 He,Ne 气体中得到了 1.053 μ m 波长基频光的 135 阶谐波.1997年,Zhang 等用 26fs 的激光在 He 和 Ne 中产生分别高达 221 阶和 297 阶的 HHG 输出. HHG 输出的极宽的波长范围及其相位关系提示人们,它们有望产生更短的激光脉冲阿秒(as)^[3].

fs 激光应用的另一个重要领域是 fs 化学和 fs 生物学. fs 化学主要是研究化学反应中的超快动力学过程、化学键的断裂和生成、异构化以及反应的中间过渡物等.加州理工大学的 Zewail 在 20 世纪 80 年代就开始利用 fs 激光研究化学反应过程,由于他在 fs 化学研究工作中的突出贡献,使他成为当今 fs 化学研究的奠基人,并在 1998 年获得了诺贝尔化学奖.诺贝尔奖评委会称光合作用是“地球上最重要的化学反应.”高等植物及细菌的光能捕获与光能传递是光合作用的重要一步.近 10 年来,人们利用 fs 激光已对光合作用的原始过程、视觉的超快响应、蛋白质以及 DNA 的有关过程进行了研究^[3].细菌视紫红质(简称菌紫质或 BR)是一种存在于嗜盐菌紫膜中的光敏蛋白,是到目前为止人们研究得最多、也最为了解的蛋白质之一,它在光信息存储和处理等方面有巨大的应用潜力.侯洵等人利用 fs 激光对菌紫质生物分子膜多波长信息读写系统进行了研究^[8,9].邢歧荣等报道了 fs 激光细胞操作与手术系统在细胞生物学领域取得的研究成果^[10].事实表明,fs 生物学必将揭示出更多的生物学奥秘.

半导体材料是一种导电性质介于金属与绝缘体之间的材料,其主要材料(如锗、硅及 GaAs 等)的光学性质在 20 世纪 50 年代已开始研究,半导体激光器在 60 年代就已制成,并在近年来又有很大进展.1983 年,美国 Hughes 研究所的 Jain 和 Lind 在市售的半导体微晶掺杂的光学滤波玻璃中发现了半导体纳

米材料具有大的三阶非线性光学效应和快速的时间响应,可望在超高速的光运算、全光开关和光通信等方面具有广阔的应用前景.从此,半导体纳米材料作为一种新的非线性光学材料引起了人们的极大关注,吸引了许多科学工作者积极投入到这一领域中来.人们已对 SnO₂,In₂O₃,Fe₂O₃,Bi₂O₃,C₆₀,CdS(Se),CdTe 及 GaAs 等的三阶非线性光学特性进行了研究^[2,11].1998 年,余保龙等人采用胶体化学的方法制得了粒径小于 15nm 的 PbS 纳米微粒,并用 Z-扫描方法研究了它的光学非线性特性^[12].1999 年,Mar-tucci 等利用溶胶-凝胶法制备了掺在 70SiO₂-30TiO₂ 基质中的 PbS 纳米颗粒,推算得的颗粒平均直径为 2.5—3.5nm. Hamanaka 等人研究了掺于 BaO-P₂O₅ 中的 Ag 纳米颗粒.2000 年,邹英华等研究了 TiO₂ 中掩埋有 Au 纳米颗粒薄膜的 fs 光响应^[3].干福熹、梁志坚等用 Z-扫描技术先后研究了 Bi₂O₃ 纳米复合材料和酞菁掺杂有机改性溶胶-凝胶材料的三阶非线性光学性质^[13,14].2001 年,顾玉宗等人又研究了酞菁掺杂有机改性溶胶-凝胶材料的自衍射及限幅特性^[15],并研究了三新戊氧基溴亚酞菁薄膜材料的三阶非线性光学特性^[16].此外,人们对具有量子限制效应的半导体量子阱材料的非线性光学特性的研究也取得了重大进展^[17].

光纤通信的神速发展并如此深刻地影响人类社会是当今科学技术的一个重大成就.光纤通信是利用光波为载波,以光纤为传导介质进行信息传输.光学孤子(soliton)是在长距离传输过程中保持形状不变的一种光波,是光纤通信中最理想的载波光束.为充分挖掘和利用光纤通信的波段范围,人们已在开拓高密度波分复用技术(DWDM).在 80 年代发现光孤子的基础上,近几年来科学家们已对时间孤子、空间孤子及时空孤子进行了大量的研究,并且光孤子通信的实验探索业已取得很大进展.90 年代初,Mo-l-lenauer 等在色散位移光纤(DSF)中,将信号以 2.4Gb/s 的速率传播了 5000km.1998 年底,瑞典 Chalmer 技术大学的科学家,采用商用的 DSF 光缆,将 40Gb/s 信息的载波孤子传输了 400km.1999 年,法国 Aleatel 公司成功地地将每个载有 10Gb/s 的 32 个光波在同一根光纤中传输了 6150km.后来,日本 NIT 公司也将载有 40Gb/s 的单频道孤子信息传输了 70000km^[3].2001 年,我国北方交通大学的简水生小组也在光纤通信的研究方面取得了令人可喜的成果^[18].曹文华等人提出一种利用非线性光纤环境开关特性将连续波同时转化为亮孤子和暗孤子的新方

法^[19]。文双春等报道了非线性自聚焦介质中光束的非傍轴传输^[20]。高以智等人用光电振荡器提取帧时钟实现了 $4 \times 10\text{Gb/s}$ 光时分复用(OTDM)信号 165km 传输^[21]。黄河振等介绍了钒酸钇(YVO_4)晶体及其在光纤通信中的应用^[22]。侯春风等研究了光折变介质中的空间孤子^[23]。戴新华等讨论了渐变型聚合物光纤折射率分布的表征方法^[24]等等。这些研究表明,在未来 10 年中,地球上的信息交流将会畅通无阻。

量子光学经历了 80 年代快速发展后,在压缩态的产生机制和实验方面,科学家们又做了大量的工作。理论工作着重于探索各种有效产生压缩态的方法,以寻求实现压缩态的最佳方案,而实验上则要得到有高的压缩度的光学压缩态。近年来,人们利用非线性光学技术获得了新的光学压缩态,并开展了压缩态光场在高精度原子光谱、低噪音光通信及高精度测量方面的应用研究,从中得到了亚自然线宽光谱,观察到了反束聚效应,并已进行了量子非破坏探测等^[3]。

受激拉曼散射(SRS)和受激布里渊散射(SBS)是两种最重要的散射过程,它的主要特征为:高的输出强度、好的方向性、高阶散射及相位共轭特性。由于激光器制作技术的提高,激光器的脉冲宽度覆盖了从 ns 至 fs 的广阔的范围,使得 SRS 效应在大量的气体、液体及固体材料中得到了详细的研究,并用于相干辐射的波长扩展。人们利用 SBS 的相位共轭特性,对高压气体或液体中的 SBS 效应进行了大量的研究,并可利用 SBS 池作为激光腔的一个反射镜而构成相位共轭腔,极大地改善了激光器输出的光束质量。Barana 等利用 XeCl 准分子激光器的输出在高压 H_2 池中得到了几阶斯托克斯 SRS 输出。Hoffmann 等采用由注入控制运转的 XeF(C \rightarrow A)激光器在高压 H_2 气及液 N_2 中产生 SRS,得到可在绿光至红光区域有极高效率的 SRS 输出。对 D_2 , CH_4 等高压气体的 SRS 输出已经可以得到更高的转换效率。利用 SBS 的相位共轭特性使氙灯泵浦染料激光器输出光束的方向性得到极大的改善,较之采用一般的反射镜可以提高 20 倍,达到衍射极限光束的 4 倍^[3, 25]。杜祥瑞报道了非线性相位共轭在激光工程中的应用^[26]。杨建良等对光纤 AM-CATV 外调制传输系统中附加相位调制法抑制 SBS 进行了详细的实验研究^[27]。郭震宁等用简并四波混频技术(DFWM)研究了 n_0 -Si:H 薄膜的三阶非线性光学性质,观察到了这种纳米薄膜材料的相位共轭信号^[28]。于欣等在 Nd:YAG 泵-放系统上采用 SBS 后向放大方法,补偿了放大

器造成的波前畸变,实现了双稳放大,从而改善了光束质量^[29]。张海燕等分别用波长为 514.5nm 和 632.8nm 激光测量了 CO_2 红外激光制备的单壁碳纳米管的一级和二级拉曼光谱^[30]。莫育俊等正在从事锂离子电池电解质-电极界面的表面增强拉曼散射(SERS)研究。

光信息存储是非线性光学的一个新的重要应用领域。随着社会各个领域信息量的急剧增加,原有的信息记录材料和记录方式已不能满足日益增长的信息存储的需要。激光光盘是继缩微技术和磁性存储介质之后所发展起来的一种崭新的信息存储系统。它是通过用激光束照射旋转的记录介质层来改变记录介质对光的反射和透射强度,从而进行二进制的信息记录。它的特点是:存储容量大、高清晰度和高保真图像、数字式信号读取方式、读出速度快、保存时间长、价格低廉等。1987 年, Eich 及其合作者阐述了某些液晶聚合物的可逆光信息存储特性,开创了在偶氮苯侧链液晶聚合物中可擦除光学存储的研究^[31]。1991 年, Gibbons 等采用在光照条件下取向发生变化的偶氮聚合材料,实现了可逆控制液晶分子的排列状态^[32]。叶成和朱道本介绍了聚合物非线性光学特性及其在集成电光和全光信息处理等光电子器件中的应用^[33]。1992 年, Natansohn 等人通过选择合适的照射样品,在液晶聚合物薄膜中实现了光学存储。1995 年, Ikeda 等利用偶氮苯液晶薄膜实现了图像存储。1996 年, Home 等报道了在低玻璃化转变温度的偶氮苯聚合物液晶薄膜中实现永久光学存储的可能性^[34]。1998 年,王长顺等人对偶氮苯侧链聚合物液晶薄膜的光致双折射和永久光学性存储进行了研究^[35]。并于 1999 年首次提出了一种实现图像从非相干到相干光学转换的新方法^[36]。最近,又利用所考察样品实现了图像存储及显示的 optical control,并在偶氮苯侧链聚合物中实现了偏振全息记录,获得了衍射效率高达 20% 的偏振全息图^[37]。2000 年,叶佩弦介绍了自己在有机聚合物非线性光学研究中的几个近期结果^[1]。2001 年,姚华文等又综述了作为光存储材料的有机光致聚合物材料研究的进展^[38]。目前,光信息存储正朝着“高密度、高速度、高质量和高集成”的方向发展。

3 结束语

非线性光学具有极大的科学技术价值。人们在研究各种非线性光学现象的基础上,已提供和发展

了许多实际可用的新方法和新技术,并为今后一些长远的技术应用打下了物理基础.非线性光学对其他学科也有很大影响,它促进了等离子体物理、声学和无线电物理学中对非线性波现象的研究,最近又利用非线性光学效应研究固体表面,把非线性光学和表面物理结合了起来^[39].非线性光学与凝聚态物理、有机化学、高分子材料以及生物物理学等学科相互结合,迅速发展了一门新的交叉学科领域,如有机和高分子光子学、飞秒化学、飞秒生物学等等.非线性光学正日益显示它极其丰富的内容和极为活跃的创新,展望未来,这朵光学学科中的奇葩,必将会有更多更新的成果奉献于自然科学之林,为21世纪的科技和相关产业的发展作出重大贡献.

致 谢 感谢莫育俊教授、余保龙教授、王长顺教授、郭立俊博士、陈国剑同志和各位编审老师为本文提供的资料及其他帮助.

参 考 文 献

[1] 叶佩弦,司金海.物理,2000,29(6):344[Ye P X, Si J H. Wuli (Physics) 2000, 29(6) 344(in Chinese)]

[2] 吴晓春,陈文驹.物理,1996,25(4):212[Wu X C, Chen W J. Wuli(Physics), 1996, 25(4) 212(in Chinese)]

[3] 钱世雄,王恭明.非线性光学——原理与进展.上海:复旦大学出版社,2001[Qian S X, Wang G M. Nonlinear Optics——Principles and Progress. Shanghai: Fudan University Press, 2001(in Chinese)]

[4] 姜雄伟,莫育俊,尹国盛等.中国激光,2001,28(7):603[Jiang X W, Mo Y J, Yin G S *et al.* Chinese Journal of Lasers, 2001, 28(7) 603(in Chinese)]

[5] 钟方川,覃岭,邓健等.中国激光,2001,28(7):612[Zhong F C, Tan L, Deng J *et al.* Chinese Journal of Lasers, 2001, 28(7) : 612(in Chinese)]

[6] 王淮生,付守利,郝迎东.光子学报,2002,31(2):152[Wang H S, Fu S L, Zheng Y D. Acta Photonica Sinica, 2002, 31(2) : 152(in Chinese)]

[7] 侯洵.河南大学学报(自然科学版),2002,32(1):1[Hou X. Journal of Henan University(Natural Science), 2002, 32(1) : 1(in Chinese)]

[8] 陈烽,侯洵,李宝芳等.中国激光,2001,28(2):176[Chen F, Hou X, Li B F *et al.* Chinese Journal of Lasers, 2001, 28(2) : 176(in Chinese)]

[9] 刘伟民,陈烽,侯洵等.光子学报,2002,31(2):1[Liu W M, Chen F, Hou X *et al.* Acta Photonica Sinica, 2002, 31(2) : 1(in Chinese)]

[10] 邢歧荣,毛方林,栗岩锋等.光电子·激光,2002,13(1):102[Xing Q R, Mao F L, Li Y F *et al.* Journal of Optoelectronics - Laser, 2002, 13(1) : 102(in Chinese)]

[11] 余保龙.半导体纳米材料的非线性光学性质.开封:河南大学出版社,1999[Yu B L. Nonlinear Optical Properties of Nanometer Semiconductor Materials. Kaifeng: Henan University Press, 1999(in Chinese)]

[12] Yu B L, Yin G S, Zhu C S *et al.* Optical Materials, 1998, 11: 17

[13] 梁志坚,顾玉宗,尹国盛等.光学学报,2000,20(3):414[Liang Z J, Gu Y Z, Yin G S *et al.* Acta Optica Sinica, 2000, 20(3) : 414(in Chinese)]

[14] 梁志坚,干福熹,尹国盛等.中国激光,2000,27(5):419[Liang Z J, Gan F X, Yin G S *et al.* Chinese Journal of Lasers, 2000, 27(5) : 419(in Chinese)]

[15] 顾玉宗,梁志坚,干福熹.光学学报,2001,21(9):105[Gu Y Z, Liang Z J, Gan F X. Acta Optica Sinica, 2001, 21(9) : 105(in Chinese)]

[16] 顾玉宗,干福熹,尹国盛等.光学学报,2002,22(2):144[Gu Y Z, Gan F X, Yin G S. *et al.* Acta Optica Sinica, 2002, 22(2) : 144(in Chinese)]

[17] 马建伟,陈正豪,杨国桢.物理,1997,26(6):327[Ma J W, Chen Z H, Yang G Z. Wuli(Physics), 1997, 26(6) : 327(in Chinese)]

[18] 延凤平,单英,简水生.中国激光,2001,28(10):913[Yan F P, Shan Y, Jian S S. Chinese Journal of Lasers, 2001, 28(10) : 913(in Chinese)]

[19] 曹文华,刘颂豪,郭旗.光学学报,2001,21(12):1649[Cao W H, Liu S H, Gou Q. Acta Optica Sinica, 2001, 21(12) : 1649(in Chinese)]

[20] 文双春,范滇元.中国激光,2001,28(12):1066[Wen S C, Fan D Y. Chinese Journal of Lasers, 2001, 28(12) : 1066(in Chinese)]

[21] 高以智,姜采云,姚敏玉等.光子学报,2002,31(1):30[Gao Y Z, Lou C Y, Yao M Y *et al.* Acta Photonica Sinica, 2002, 31(1) : 30(in Chinese)]

[22] 黄河振,李会士.光电子·激光,2002,13(2):212[Huang H Z, Li H S. Journal of Optoelectronics - Laser, 2002, 13(2) : 212(in Chinese)]

[23] 侯春风,李师群,李斌等.物理学进展,2001,21(2):237[Hou C F, Li S Q, Li B *et al.* Progress in Physics, 2001, 21(2) : 237(in Chinese)]

[24] 戴新华,艾希成,刘志敏等.科学通报,2002,47(2):113[Dai X H, Ai X C, Liu Z M *et al.* Chinese Science Bulletin, 2002, 47(2) : 113(in Chinese)]

[25] 薛奇.高分子结构研究中的光谱方法.北京:高等教育出版社,1995[Xue Q. The Spectrum Method in the Research of Macromolecule Structure. Beijing: Higher Education Press, 1995(in Chinese)]

[26] 杜祥瑞.物理,1997,26(6):323[Du X W. Wuli(Physics), 1997, 26(6) : 323(in Chinese)]

[27] 杨建良,郭照南,查开德.中国激光,2001,28(5):439[Yang J L, Guo Z N, Zha K D. Chinese Journal of Lasers, 2001, 28(5) : 439(in Chinese)]

[28] 郭震宇,郭亨群,王加贤等.中国激光,2001,28(5):435[Guo Z N, Guo H Q, Wang J X *et al.* Chinese Journal of Lasers, 2001, 28(5) : 435(in Chinese)]

[29] 于欣 鞠有伦 王月珠等. 中国激光, 2001, 28(8):685[Yu X, Ju Y L, Wang Y Z *et al.* Chinese Journal of Lasers 2001 28(8): 685 in Chinese]

[30] 张海燕, 陈可心, 朱燕娟等. 物理学报, 2002, 51(2):444 [Zhang H Y, Chen K X, Zhu Y J *et al.* Acta Physics Sinica, 2002 51(2):444 in Chinese]

[31] Eich M, Wendorff J. Opt. Soc. Am(B), 1990, 7(8):1428

[32] Gibbons W M, Shannon P J. Nature, 1991, 351:49

[33] 叶成 朱道本. 物理, 1991, 20(3):150[Ye C, Zhu D B. Wuli (Physics), 1991, 20(3):150 in Chinese]

[34] Home N C R, Ramanujam P S, Hvilsted S. Appl. Opt. 1996, 35: 4622

[35] 王长顺, 费浩生, 尹国盛等. 光子学报, 1998, 27(10):906

[Wang C S, Fei H S, Yin G S *et al.* Acta Photonica Sinica, 1998 27(10):906 in Chinese]

[36] Wang C. Fei H, Wei Z *et al.* Appl. Phys., 1999, B68:122

[37] 王长顺. 河南大学学报(自然科学版), 2001, 31(1):1 [Wang C S. Journal of Henan University (Natural Science), 2001, 31(1): 1 in Chinese]

[38] 姚华文, 陈仲裕, 干福熹等. 物理学进展, 2001, 21(4):459 [Yao H W, Chen Z Y, Gan F X *et al.* Progress in Physics, 2001, 21(4):459 in Chinese]

[39] 王仕 朱自强. 现代光学原理. 成都: 电子科技大学出版社, 1998 [Wang S F, Zhu Z Q. Principles of Modern Optics. Chengdu: University of Electronic Sciences and Technology Press, 1998 in Chinese]

·物理新闻·

B 工厂实验宣布 CP 破坏新结果

(New Results on CP Violation Announced by B-Factory Experiments)

在 2002 年 7 月举行的国际高能物理会议上, 两个 B 工厂(美国的 PEP II 和日本的 KEKB 对撞机) 实验组——BaBar 和 Belle 分别报道了它们在 B 介子系统中考察 CP 破坏效应的最新结果. 它们测量了表征 CP 破坏程度的参数 $\sin 2\beta$: BaBar 的结果为 $0.741 \pm 0.067 \pm 0.033$, Belle 则为 $0.719 \pm 0.074 \pm 0.025$. 两者之间符合得很好, 其所达到的精度已无可怀疑地将 CP 破坏效应确定了下来. 回想三年之前, B 介子中的 CP 破坏还只是一个合理的推断, 而今天 CP 破坏已被确认为粒子物理标准模型的基础. 但是, 实验结果检验标准模型获得的又一次成功并没有让粒子物理学家们感到高兴, 反倒觉得失望. 因为他们本来寄希望于从实验结果与标准模型的分歧中发现新物理的迹象.

根据宇宙演化的图像, 在大爆炸时应当产生出等量的物质与反物质, 随后彼此湮没, 最终仅有能量留存下来. 但是, 实际上存在着的物质世界是在这个初始宇宙遭遇中物质胜出反物质的确凿证据. 于是, 从实验上来弄清物质为何主宰宇宙的原因就成为高能物理研究的一项中心课题. BaBar 和 Belle 两个实验组的研究人员三年里分别采集了 8800 万和 8500 万个正反 B 介子成对事例, 通过细致分析实现了 CP 破坏效应的精确测量. 他们跟踪正反 B 介子极其短暂的生命过程(大约 10^{-12} s) 来观察两者之间可能出现的任何差异, 一旦发现差异, 也就指示物质与反物质之间存在着不对称性, 因而证明 CP 破坏. 他们在 2001 年夏天首次观察到了 B 介子中 CP 破坏的清晰证据. 现在发表的 $\sin 2\beta$ 数值以很高的显著性成为粒子物理学的一项基本常数.

但是, 业已确定的 CP 破坏程度还不足以说明宇宙间物质 - 反物质的不平衡现象. 在 CP 破坏之外想来还有某种因素导致多余的物质而形成恒星、行星以及生物. BaBar 和 Belle 实验提供了进一步考察更为稀有的过程和更加隐蔽的效应的机会. 继续这些研究最终有可能让我们深入到那些导致宇宙演变成为目前状态的过程中去.

(巨槩提供, 新闻来源于 2002 年国际高能物理大会报道)