

[编者按]2006 年对于求索中发展的中国来说,是一个值得永久记忆的年份。创新型国家战略目标的确立,使我们在政通人和,经济高速发展的环境中,开始在更深层面上进行居安思危、直面现实的思考。《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020 年)》确定到 2020 年:全社会研究开发投入占 GDP 比重提高到 2.5%以上;科技进步贡献率达到 60%以上;对外技术依存度降低到 30%以下;本国人发明专利年度授权量进入世界前 5 位;国际科学论文被引用数进入世界前 5 位。作为中国光学与多学科融合的主流学术期刊,本刊将尝试不定期地刊发国际光学及光学交叉领域部分分支学科的发展态势及中国的贡献度,从而使科学工作者有一个量的判断,多一种观察视角。既然是尝试,总有其不完善之处,请读者多提宝贵意见,欢迎专家学者撰文争鸣。

文章编号 1004-924X(2007)05-0684-015

## 量子光学与量子信息领域中的中国

白雨虹<sup>1,2</sup>, 杨秀彬<sup>2,3</sup>, 严寒<sup>2</sup>

(1. 大连理工大学 管理学院, 辽宁 大连 116024; 2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘要:**为了解世界量子光学与量子信息的发展态势,认识中国在国际量子光学与量子信息领域中的地位,针对量子光学与量子信息领域的主要学科,按照美国光学学会(OSA)数据库量子光学与量子信息的 13 个分类,检索了 SCI 数据库 1991 年至 2006 年的数据。用文献计量学、科学计量学和情报分析方法研究国际量子光学与量子信息领域各学科的发展速度,比较各主要国家量子光学与量子信息论文的数量,从而使中国量子光学与量子信息领域的科学家有一个量的判断,多一些思维空间,多一种观察视角。结论认为,量子光学与量子信息是 21 世纪最具生命力的新兴学科之一,中国在理论和实验两方面都做出了一些重要的具有创新性的贡献,论文被引频次的世界贡献率呈增长态势。

**关键词:**量子光学;量子信息;文献计量学;科学计量学

**中图分类号:**O431.2 **文献标识码:**A

## China in quantum optics and quantum information

BAI Yu-hong<sup>1,2</sup>, YANG Xiu-bin<sup>2,3</sup>, YAN Han<sup>2</sup>

(1. *School of Management, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;*  
2. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*  
3. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

**Abstract:** In order to investigate the development of quantum optics and quantum information all over the world and to evaluate China's present status in the field, the data from the SCI database (1991~2006) was indexed based on 13 subjects categorized by Optical Society of America(OSA). The methods from literature metrology, scientific metrology and information analysis were used to measure the

收稿日期:2006-11-22;修订日期:2007-03-18.

基金项目:中国科学院公费留学计划“高级研究学者”资助项目(No. 2005-157)

development speed of these disciplines and to compare the number of research papers of those leading countries. Therefore, scientists in China can have a quantitative judgment, a multi-dimensional thinking and more angles of observation. The conclusion is that the field of quantum optics and quantum information is one of the most viable new sciences in the 21st century. China has made some important innovative contributions in both theory and practice, which has been illustrated by the increasing tendency in research paper citation.

**Key words:** quantum optics; quantum information; bibliometrics; science metrology

## 1 引言

2005年,量子光学之父,美国哈佛大学的路易·格劳伯(Roy J Glauber)、美国国家标准和技术研究所(NIST)的约翰·霍尔(John L Hall)和德国马克斯-普朗克量子光学研究所(MPQ)的提阿多·汉斯(Theodor W Hansch)共同获得年度诺贝尔物理学奖<sup>[1]</sup>,这是诺贝尔奖8年内第3次把“量子光学与冷物质物理”(1997年的激光冷却和囚禁原子、2001年的玻色-爱因斯坦凝聚)这一物理学最活跃的研究领域推到公众面前<sup>[2]</sup>。近10年来,诺贝尔物理学奖对属光学或与光学紧密相关领域的数次关注和聚焦,使历史悠久的光学再次变得生机勃勃,从而充分说明了光学这一研究领域对科学技术发展的重要意义。

《国家中长期科学和技术发展规划纲要》确定的11个国民经济和社会发展的重点领域,与光电子学科密切相关的“量子光学”被列为优先发展的学科之一,这起源于这些年来量子光学在各领域内的重大影响和新突破。现代量子光学已形成非常系统的一个分支,而且还在蓬勃发展中,同时,将其基本理论与操纵单量子的独特实验方法应用于信息处理,又开拓出实用性极强的量子信息新领域,它将会对未来的信息社会产生非常重大的影响,量子光学与量子信息已成为21世纪最具生命力的学科之一。正由于此,这两门学科不仅吸引着世界众多理论与实验物理学家为之努力,使之得以日新月异地迅猛发展,而且“量子隐型传态”、“量子通讯”、“量子计算机”这些像神话故事一样的全新概念和技术潜力与优势,也引起各国金融界、工业界及政府部门的广泛关注,谁把握了先机,谁就有机会加强国家的经济竞争力。2007年1月31日日本科研人员宣布,他们已开发出运算速度为每秒14亿次的单磁通量子电路

微处理器,其计算能力比目前同类微处理器提高了1000倍,也是世界最大的单磁通量子电路微处理器。这一成果为研发下一代超级计算机奠定了基础<sup>[3]</sup>。

当前,量子光学与量子信息学科正处于取得重大突破的前夜,许多问题尚待探索,是极具挑战性的前沿科学研究领域。中国科学家对于量子光学与量子信息领域的重要研究方向已经具备一定的国际竞争力<sup>[4]</sup>,本文将用文献计量学和科学计量学方法分析目前已经具有论文数量基础的一些重要研究方向,为中国科学家更密切地关注国际同行的研究进展提供定量的比较数据。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据

由于量子光学涉及的传统学科领域比较广泛,科学、系统地获取量子光学领域的论文数据是本项目的关键问题之一。本文依据美国光学学会OSA数据库对量子光学的分类,通过对SCI数据库检索得到论文数据,并基于这个数据集展开分析。

### 2.2 指标释义

#### • 被引频次

被引频次是衡量研究成果被同行关注程度的重要指标。有学者将被引频次比作同行评议的投票。由于科学研究始终是处在失败与成功并存的状态,不管是正面引用,还是批评性地引用,都属于科学探索范围。本文所统计的被引频次是通过SCI检索获得的,指论文自发表之日起直至数据检索之时,该论文被引用的全部次数。

#### • 篇均被引频次

篇均被引频次是一个相对数指标,在论文数量既定的条件下,引文数量越大篇均被引频次就越大,反之就越小。因此,该指标可以消除国家科

研规模大小的差别,更强调科学研究的质量。本文中的篇均被引频次计算公式如下:

$$\text{篇均被引频次} = \frac{\text{年被引频次总数}}{\text{年论文总数}};$$

#### • 世界 TOP10% 论文

世界 TOP10% 论文是一个定标性指标。通过数据统计,得到每年被引频次最多的前 10% 的论文,该数据集中最低的被引频次即为世界 TOP10% 引文基准。用该基准属区统计各国引文基准的论文,就可以得到各国属于世界 TOP10% 的论文数量。由此可以测度每个国家对世界范围内比较重要的科学研究所做出的贡献。

#### • 平均量定基发展速度

在经济计量学中,定基发展速度是一种描述社会经济现象发展程度的相对指标,是两个不同时期发展水平的对比值。根据所得到的文献数据以及所要研究对象的特点,设计的平均量定基发展速度的具体计算公式如下:

设  $x_i$  为  $i$  年的数据量,  $i=1, 2, \dots, n$ ,

$$\text{则平均量定基发展速度 } v = \frac{x_i}{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)/n}$$

### 2.3 量子光学 1991~2006 年论文基本数据

这里将研究的问题集中到国际量子光学的基本数据上。量子光学作为一个与传统学科纵横交

错,与传统技术相互渗透的研究领域,经历着任何一个新学科发展所必然经历的各个阶段。根据目前的发展速度,量子光学还远未进入规模相对稳定的成熟阶段。

表 1 1991~2006 年量子光学论文数,被引频次与篇均引文  
Tab.1 Number of research papers, times of citation and average citation per paper on quantum optics in 1991~2006

年代	论文数	被引频次	篇均引文
1991	1 722	1 710	0.993
1992	1 869	6 357	3.4
1993	1 964	10 054	5.12
1994	2 076	14 708	7.08
1995	2 079	18 998	9.14
1996	2 360	23 822	10.1
1997	2 728	27 237	9.98
1998	2 854	31 514	11.04
1999	2 868	35 022	12.2
2000	3 243	41 743	12.87
2001	3 382	45 669	13.5
2002	3 632	53 433	14.7
2003	3 813	61 221	16.06
2004	4 129	66 172	16.03
2005	4 286	84 173	19.64
2006	4 796	92 053	19.2
合计	47 801	613 886	12.84

表 2 1991~2006 年量子光学主要学科分支的基本数据

Tab.2 Basic data of main disciplines in quantum optics from 1991 to 2006

研究领域		论文数	被引频次	篇均引文
Coherent optical effects	相干光学效应	2 437	37 252	15.29
Strong-field processes	强场过程	6 499	80 862	12.44
Squeezed states	压缩态	2 613	35 181	13.46
Fluctuations, relaxations, noise	量子涨落, 弛豫, 和噪声	7 650	93 594	12.23
Laser theory	激光器的全量子理论	2 579	33 986	13.18
Multiphoton processes	多光子过程	1 553	23 342	15.03
Pulse propagation and solitons	脉冲传播和孤子	5 972	85 102	14.25
Photon statistics	光子统计	4 515	69 627	15.42
Quantum detectors	量子探测器	3 166	32 079	10.13
Quantum electrodynamics	量子电动力学	3 056	32 210	10.54
Quantum optics	量子光学	3 971	52 450	13.21
Superradiance, superfluorescence	超辐射, 超荧光	733	6 473	8.83
Instabilities and chaos	非稳态和混沌	30 28	34 226	11.3

表 1 的数据表明,量子光学论文数从 1991 年到 2006 年变化较大,虽然 94、95 年稍微少一些,但总体呈稳定上升趋势。表 2 列出了量子光学领

域中 13 个学科分支的基本数据,从中我们看到量子光学各领域发展的不平衡。

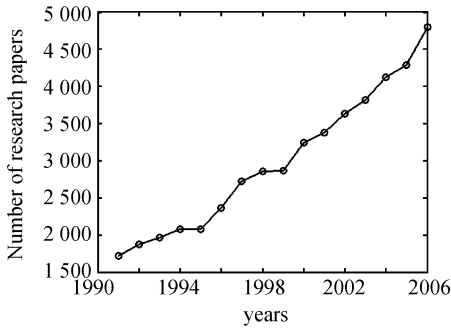


图 1 1991~2006 年量子光学论文数量的时间序列分布

Fig. 1 Distribution of research papers on quantum optics in 1991~2006

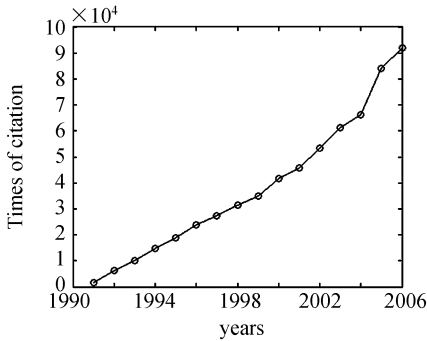


图 2 1991~2006 年量子光学论文被引频次的时间序列分布

Fig. 2 Distribution of citation of research papers on quantum optics in 1991~2006

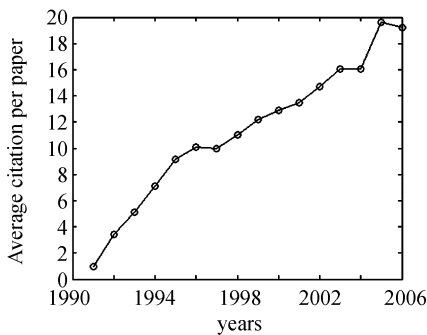


图 3 1991~2006 年量子光学论文篇均引文的时间序列分布

Fig. 3 Distribution of average citation per paper on quantum optics in 1991~2006

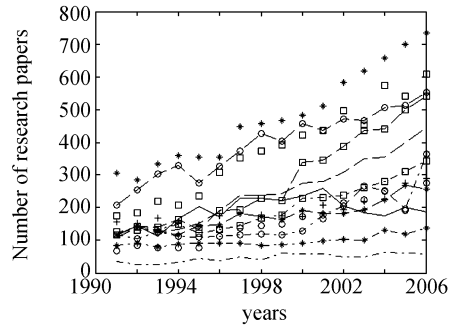


图 4 1991~2006 年量子光学十三个学科分支论文数量的时间序列分布

Fig. 4 Distribution of research paper in 13 disciplines on quantum optics from 1991 to 2006

各学科分支对应的表示图形

Coherent optical effects—'o'

Strong-field processes—'—o'

Squeezed states—'—, o'

Fluctuations, relaxations, and noise—' \* '

Laser theory—'— \* '

Multiphoton processes—'—, \* '

Photon statistics—'□'

Pulse propagation and solitons—'—□'

Quantum detectors—'—, □'

Quantum electrodynamics—'+'

Quantum optics—'—'

Superradiance, superfluorescence—'—,.'

Instabilities and chaos—折线

图 1~3 从不同角度展现了论文数,论文被引频次及论文篇均引文数的时间序列分布。从绝对被引频次的数量来看,2000~2006 年间发表的论文是目前量子光学科学研究的主要传承基础。但是从几幅图中看到,早期的论文仍然在目前的量子光学研究中发挥着重要作用。图 4 展示了量子光学 13 个学科分支 1991~2006 年论文数量的时间序列分布,其中,脉冲传播和孤子是诸多领域中发展较快,规模较大的一个领域。相比之下,超辐射,超荧光,研究起步较晚,发展速度并不快,结合图 4 的时间序列分布,还可以看到量子光学各分支领域不仅规模有大有小,而且时间有先有后。对具体各分支的分析可见后面叙述。

### 3 量子光学论文发展速度分析

早在 1900 年和 1905 年,普朗克和爱因斯坦

就提出了光量子假说,并成功解释了黑体辐射谱分布与光电效应,确定了光具有波粒二象性的基本物理思想。然而,长期以来由于经典电磁辐射理论能完满地解释绝大多数物理光学实验现象,光的量子理论并未得到系统发展。直到 20 世纪 70 年代以后,随着激光与光电子技术的进步,一系列用经典理论无法解释的非经典光学效应逐步被实验观测到,才形成了以量子化光场为基础的量子光学学科领域。自上世纪 90 年代起,量子光学迅速与其他领域结合,并成为热点研究方向,在地域上也波及到地球的各个角落。研究量子光学的发展速度,可以从一个侧面解析当代新兴学科的发展规律。

### 3.1 论文量的增长斜率

事物的发展速度可以用数量增长曲线的斜率来计算,斜率越大,表明事物发展的速度越快。此外,任何事物的发展都不会是均速的,事物发展的

速度取决于其内外部条件,条件的变化会导致事物发展速度的变化。第 2 节的基本数据表明,量子光学自 1991 年以来呈现出良好的发展潜力,这里,我们从量子光学论文的数量增长曲线斜率来观察各个研究领域在不同阶段的发展情况。

首先,将量子光学研究领域的论文分为四个时间段,即:1991~1994 年,1995~1998 年,1999~2002 年,2003~2006 年,分别计算各个学科分支四个时间段内的论文增长曲线的斜率(见表 3)。表 3 中 13 个量子光学学科分支的论文数量增长曲线斜率可以归纳成三种态势:一是持续增长态势;二是“V”字型增长,但总趋势呈现增长态势;三是持续下降态势。

由于各时间段的时间尺度是一致的,所以同一时间段的斜率越大,表明该时间段内该领域的论文数量越大,发展规模也越大。为了解析各学科分支在同一数量级水平上的发展势头,本文还

表 3 论文量增长斜率  
Tab. 3 Slop of research paper growth

研究领域		斜率	斜率	斜率	斜率	相对变化率	相对变化率	相对变化率	相对变化率
		91-94	95-98	99-02	03-06	91-94	95-98	99-02	03-06
Coherent optical effects	相干光学效应	3.67	22.27	21.67	8.67	1	6.06	5.9	2.36
Strong-field processes	强场过程	40.67	50.33	23	29.33	1	1.23	0.57	0.72
Squeezed states	压缩态	1.33	3.33	29.33	32.67	1	2.5	22.1	24.56
Fluctuations, relaxations, and noise	量子涨落,弛豫,和噪声	17.67	34.67	39	39.33	1	1.96	2.2	2.23
Laser theory	激光器的全量子理论	1	9	6.33	21.67	1	9	6.33	21.67
Multiphoton processes	多光子过程	1.33	2	5.67	12.67	1	1.5	4.26	9.53
Photon statistics	光子统计	16	32	55	34.67	1	2	1.72	2.17
Pulse propagation and solitons	脉冲传播和孤子	10.67	46.67	34.67	52.67	1	4.37	3.25	4.94
Quantum detectors	量子探测器	7.33	15.33	20.67	27	1	2.1	2.82	3.68
Quantum electrodynamics	量子电动力学	1.67	10	6.67	23.67	1	5.98	4	14.2
Quantum optics	量子光学	8.33	19.33	21.67	32	1	2.32	2.6	3.84
Superradiance, superfluorescence	超辐射,超荧光	0.67	0.3	3.67	3.67	1	0.45	5.47	5.47
Instabilities and chaos	非稳态和混沌	16	8.67	5.3	1.33	1	0.54	0.33	0.083

进一步计算了各学科分支论文数量增长斜率的相对变化率。需要说明的是,表中显示的斜率相对变化率数值只是表示各领域相对其第一时间段的斜率变化率,如果该学科分支的初始数据量较少,斜率的相对变化率可能会显示出较高的数值。因此,需要结合表 3 中的斜率绝对值来综合分析其发展趋势。

从斜率的相对变化率来看,压缩态、激光器的全量子理论和量子电动力学是近年来发展较为强

劲的重要研究领域。

### 3.2 增长速率

任何新生事物的成长与发展都会经历一个在数量上快速增长的阶段,而这种增长往往表现为非线性增长,表 5 是 13 个学科论文数量的时间序列分布。从增长速率(见表 4)可以看出量子光学各学科分支的相对数量和发展步伐,增长率 2.0 的研究领域中,相干光学效应,光子统计和量子光学是目前的优势领域,稳定增长。

表 4 量子光学各个学科分支的论文增长率比较

Tab. 4 Comparison of the rate of research paper growth at different research disciplines on quantum optics

学科分支		1991~1998	1999~2006	增长率
Coherent optical effects	相干光学效应	711	1 726	2.43
Strong-field processes	强场过程	2 491	4 008	1.61
Squeezed states	压缩态	912	1 701	1.87
Fluctuations, relaxations, and noise	量子涨落,弛豫,和噪声	2 896	4 754	1.64
Laser theory	激光器的全量子理论	1 148	1 431	1.25
Multiphoton processes	多光子过程	695	858	1.23
Photon statistics	光子统计	1 306	3 209	2.46
Pulse propagation and solitons	脉冲传播和孤子	2 048	3 924	1.92
Quantum detectors	量子探测器	1 102	2 064	1.87
Quantum electrodynamics	量子电动力学	1 302	1 754	1.35
Quantum optics	量子光学	1 318	2 653	2.01
Superradiance, superfluorescence	超辐射,超荧光	281	452	1.61
Instabilities and chaos	非稳态和混沌	1 366	1 662	1.22

表 5 1991-2006 年量子光学 13 个学科分支论文数量的时间序列分布

Tab. 5 Distribution of research papers in 13 disciplines on quantum optics from 1991 to 2006

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Coherent optical effects	66	82	75	77	76	131	136	144	148	172	165	213	223	248	207	274
Strong-field processes	206	254	302	328	275	326	374	426	403	458	436	472	466	506	513	554
Squeezed states	116	104	126	112	109	111	115	119	116	127	176	204	266	252	196	364
Fluctuations, relaxations, noise	305	284	334	358	354	354	449	458	466	482	510	583	618	658	701	736
Laser theory	116	144	128	116	145	146	181	172	163	191	182	182	192	224	267	257
Multiphoton processes	84	90	79	88	90	89	91	84	85	89	98	102	100	129	119	138
Pulse propagation and solitons	174	183	219	206	234	307	351	374	392	423	436	496	452	574	541	610
Photon statistics	115	142	140	163	133	191	193	229	221	337	346	386	437	441	500	541
Quantum detectors	126	130	132	148	121	133	145	167	176	227	230	238	261	279	311	342
Quantum electrodynamics	156	151	167	151	146	174	181	176	174	171	208	194	218	226	274	289
Quantum optics	108	137	126	133	150	189	237	238	243	275	279	308	350	354	398	446
Superradiance, superfluorescence	34	25	24	32	44	36	47	39	60	57	58	49	47	63	60	58
Instabilities and chaos	116	143	112	164	202	173	228	228	221	234	258	205	183	175	199	187

### 3.3 平均量定基发展速度

平均量定基发展速度是将量子光学各学科分支历年的论文数量与年平均论文数量比较得到的用以测度领域发展速度的指标,但这个指标表示的是这一领域相对于自身均值的发展速度,是一个相对值。又由于该值是归一值,因此,该值可以对各学科分支的发展速度加以比较。要注意的是,该值不能表征各学科分支的发展规模。

表 6 1991-2006 年量子光学 13 个学科分支论文平均量定基发展速度

Tab. 6 Average rate of research paper growth in 13 disciplines on quantum optics from 1991 to 2006

	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006
Coherent optical effects	1.09	1.03	1.55	1.46	1.55	1.72	1.775	1.8
Strong-field processes	1.1	1.2	1.16	1.37	1.37	1.33	1.36	1.41
Squeezed states	0.94	0.97	0.98	1.04	1.09	1.59	1.72	2.23
Fluctuations, relaxations, and noise	0.96	1.11	1.07	1.26	1.26	1.41	1.48	1.54
Laser theory	0.89	0.92	1.1	1.19	1.27	1.17	1.37	1.53
Multiphoton processes	0.96	1.03	1.03	0.97	1.02	1.14	1.19	1.43
Photon statistics	1.02	1.05	1.39	1.46	1.47	1.56	1.66	1.69
Pulse propagation and solitons	0.89	1.16	1.29	1.40	1.8	1.78	1.78	1.92
Quantum detectors	1.02	1.1	1.01	1.21	1.5	1.48	1.55	1.73
Quantum electrodynamics	0.98	0.97	1.1	1.08	1.04	1.13	1.26	1.51
Quantum optics	1.11	1.06	1.34	1.44	1.49	1.52	1.58	1.8
Superradiance, superfluorescence	0.84	1.11	1.11	1.11	1.43	1.16	1.33	1.38
Instabilities and chaos	0.89	1.22	1.14	1.33	1.29	1.08	0.93	1.06

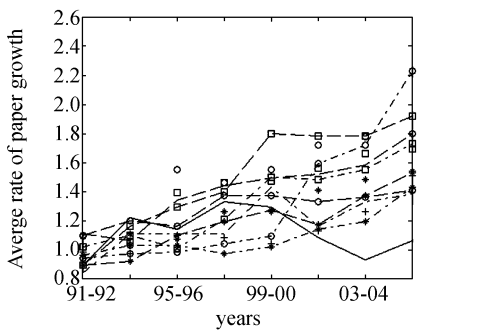


图 5 量子光学各学科分支的发展速度比较

Fig. 5 Comparison of developing speed at different research disciplines on quantum optics

各学科分支对应的表示图形

- Coherent optical effects—○
- Strong-field processes———○
- Squeezed states—·, ○
- Fluctuations, relaxations, and noise—\*'
- Laser theory———\*'

根据平均量定基发展速度定义,将 1991-2006 年量子光学十三个学科分支论文数量代入公式  $v = \frac{x_i}{(\sum_{i=1}^n x_i)/n}$  ( $x_i$  为  $i$  年的数据量,  $i=1, 2, \dots, n$ ), 得出平均量定基发展速度  $v$ , 见表 6, 对各学科分支发展速度的比较如图 5。

- Multiphoton processes—·, \*'
- Photon statistics—□
- Pulse propagation and solitons———□
- Quantum detectors—·, □
- Quantum electrodynamics—+'
- Quantum optics———'
- Superradiance, superfluorescence—·, '
- Instabilities and chaos—折线

## 4 主要国家量子光学论文数比较

这里所谓的主要国家是指按一定的指标遴选出来的世界前十名国家。

### 4.1 单向指标 TOP10 国总体水平比较

本文用论文数为指标,考察 1991-2006 年论文总量的 TOP10 国,这是从历史发展的角度看问题。从表 7 中可以看到,美、德、日、中、俄、英均入围 TOP10 国。美国稳坐世界头把交椅,但是,

随着其他国家力量的增强,美国对世界量子光学的相对贡献有所削弱,其他国家与美国的差距也在逐渐缩小。与其他国家相比,中国在该领域有着较好的表现。

表 7 1991-2006 年单项指标最高的 TOP10 国家

Tab.7 TOP 10 countries with higher impact power

国别(TOP 10)	论文	论文占世界份额	被引频次
美国	14 245	29.8%	278 774(1)
德国	7 365	15.4%	118 005(2)
日本	4 303	9%	45 285(5)
俄国	3 846	8.1%	31 610(6)
英国	3 252	6.8%	49 493 (4)
法国	3 169	6.6%	51 939 (3)
中国	2 886	6%	14 720 (10)
意大利	2 657	5.6%	27 632 (7)
加拿大	1 651	3.45%	18 927 (8)
澳大利亚	1 224	2.56%	16 581 (9)

4.2 TOP10 国历年论文与引文比较

以下按 1991~2006 年论文数遴选出 TOP10 国(美国、德国、日本、俄国、英国、法国、中国、意大利、加拿大、澳大利亚)。由表 7 比较 10 国的论文数与被引频次,美国不论是论文数还是被引频次均据第一位,它仍然以遥遥领先的姿态在引领世界量子光学的走向。法国与意大利虽然论文数偏低,但其被引频次却排名在第 3 位、第 7 位,实力不可小视。中国在量子光学领域论文数上也取得

表 8 量子光学各学科分支的 TOP 10 国及其论文数量与被引频次

Tab.8 TOP 10 countries at different disciplines on quantum optics fields (ranked by research papers and their citation times)

学科分支	国别	论文数	被引频次	学科分支	国别	论文数	被引频次
Coherent optical effects (相干光学效应)	美国	757	17 549	Fluctuations, relaxations, and noise (量子涨落,弛豫,和噪声)	美国	2 477	45 197
	德国	462	9 130		德国	1 011	14 344
	日本	228	2 096		日本	755	6 870
	俄国	184	2 097		意大利	551	5 696
	意大利	154	1 734		法国	545	7 156
	英国	149	4 008		英国	473	6 100
	法国	144	2 025		中国	422	2 162
	中国	122	625		俄国	403	3 276
	加拿大	95	944		澳大利亚	290	2 982
	澳大利亚	91	1 561		瑞士	241	3 754
Laser theory (激光器的全量子理论)	美国	800	16 419	Multiphoton processes (多光子过程)	美国	521	10 988
	德国	479	6 760		德国	240	4 675
	俄国	209	1 839		日本	114	1 501
	中国	208	1 132		英国	113	1 491
	法国	191	2 772		中国	113	457
	日本	189	1 857		俄国	108	576

了骄人的成绩,排第 6 位,但其被引频次却在 TOP 10 国中排名最低,不可不令人深思,因此国家中长期科技发展规划中提出到 2020 年国际科学论文被引用数进入世界前 5 位是有的放矢的。图 6 给出 TOP 10 国对量子光学的总体贡献,其中 TOP 10 国占据全部的 93%,其他国家只占 7%,中国占 6%。

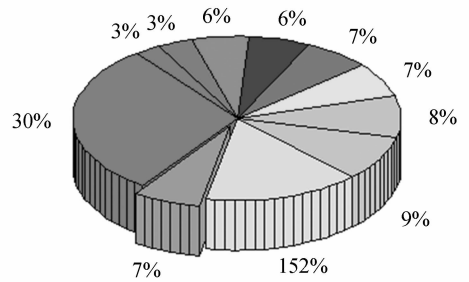


图 6 TOP10 国的份额图

Fig. 6 Shares taken by TOP10 countries

4.3 量子光学各学科分支的国家优势比较

数据显示,美国作为超级科技大国在量子光学领域中的霸主地位无可撼动,而其他一些国家,由于国力所限,不可能做到在量子光学的所有领域齐头并进。有所为有所不为依然是各国选择量子光学优先发展重点的原则。这里,就 13 个量子光学领域对 TOP 10 国进行领域优势的比较。



(续表 8)

学科分支	国别	论文数	被引频次	学科分支	国别	论文数	被引频次		
Photon statistics (光子统计)	英国	171	2 581	Pulse propagation and solitons (脉冲传播和孤子)	法国	101	1 486		
	加拿大	97	1 962		加拿大	75	1 680		
	意大利	76	857		意大利	53	427		
	荷兰	68	1 222		瑞士	52	915		
	美国	1 366	32 398		美国	1 889	39 608		
	德国	576	10 754		德国	1 147	18 035		
	日本	386	4 827		日本	800	8 155		
	俄国	346	3 117		俄国	465	3 201		
	英国	331	6 525		法国	392	7 476		
	中国	313	2 025		英国	353	4 996		
	法国	296	6 867		中国	276	1 041		
	意大利	294	2 498		加拿大	225	3 638		
	Quantum detectors (量子探测器)	瑞士	176		4 032	以色列	177	3 319	
奥地利		133	6 012	意大利	165	1 790			
美国		1 249	16 480	美国	823	13 642			
德国		398	5 677	德国	458	6 330			
日本		298	2 628	俄国	293	2 411			
英国		254	3 215	英国	286	3 277			
意大利		250	3 085	法国	199	2 993			
加拿大		217	2 946	日本	192	2 040			
俄国		214	2 259	意大利	175	1 225			
法国		209	3 246	中国	162	849			
瑞士		169	2 700	巴西	140	772			
中国		144	1 023	加拿大	137	1 966			
Quantum optics (量子光学)		美国	999	23 056	Squeezed states (压缩态)	美国	343	10 452	
	德国	635	12 149	中国		249	1 236		
	英国	321	4 571	德国		202	4 070		
	法国	278	5 752	俄国		146	1 448		
	俄国	261	2 251	日本		130	1 944		
	中国	258	1 348	印度		112	882		
	意大利	247	3 621	意大利		112	1 409		
	日本	241	2 507	英国		105	2 223		
	澳大利亚	188	2 529	澳大利亚		95	1 560		
	巴西	116	721	巴西		94	704		
	Strong-field processes (强场过程)	美国	1 988	37 052		Superradiance, superfluorescence (超辐射, 超荧光)	俄国	242	972
		德国	1 195	18 348			美国	159	2 811
		俄国	753	5 745			德国	68	574
日本		655	8 435	日本	68		783		
法国		528	6 741	意大利	52		476		
英国		448	7 641	中国	43		117		
中国		428	2 053	加拿大	30		549		
意大利		285	2 757	苏格兰	30		337		
加拿大		255	3 510	英格兰	29		181		
波兰		188	1 860	法国	28		181		
Instabilities and chaos (非稳态和浑沌)		美国	874	13 122					
		德国	494	7 159					
		法国	248	4 244					
	意大利	243	2 057						
	日本	227	1 642						
	俄国	222	2 438						
	英国	219	2 446						
	印度	153	1 057						
	中国	148	652						
	以色列	145	2 086						

表8的数据表明,美国在总体贡献上表现出了“引领”雄姿,其他国家与美国存在着较大的差距,美国在13个学科分支中有12个排在第一。在论文数量及对应被引频次TOP10国家可以分为三个梯队,美国为第一梯队,德国、俄国为第二梯队,英国、中国、日本、法国为第三梯队。从比较中可以看到各个国家在量子光学领域的科研实力,从中发现本国在对应领域的科研水平可提高性,最终做到提高自我,彰显优势。

## 5 量子光学领域的科研机构与作者的分析

科研机构的实力是国家科研实力构成的条

件。量子光学作为一个跨学科的新兴领域,各国竞争的焦点之一在于科研机构层面上对学科布局所做出的快速调整与整合。

### 5.1 国际范围内机构论文比较

在论文TOP50机构中(见表9),美国,德国,日本国三家平分秋色,但美国总体实力强劲。他们三家包揽了54%的位置。西班牙,澳大利亚,加拿大,以色列等国也纷纷出现在论文TOP50机构。在论文TOP50机构中,呈现出美国机构群集的局面,中国机构在TOP50机构表中有良好的表现,但将中国机构与世界强势机构相比,影响力还不够广泛。

表9 量子光学发表论文数的国际前50家机构

Tab.9 TOP 50 countries and affiliations in research papers on quantum optics from 1991 to 2006

机构名称	国别	论文数量	被引频次	篇均引文
1 RUSSIAN ACAD SCI	俄罗斯科学院	2 626	6 959	2.65
2 CHINESE ACAD SCI	中国科学院	2 555	8 861	3.39
3 UNIV TOKYO	东京大学	1 362	7 736	5.68
4 CNRS	法国国家科研中心	1 151	6 848	5.95
5 IST NAZL FIS NUCL	国家原子能机构	1 053	5 567	5.29
6 MIT	麻省理工	959	11 619	12.12
7 UNIV CAMBRIDGE	剑桥大学	923	6 721	7.28
8 UNIV CALIF SANTA BARBARA	加州大学圣达巴拉分校	842	8 558	10.16
9 MOSCOW MV LOMONOSOV STATE UNIV	莫斯科国立大学	827	8 538	10.88
10 CALTECH	加利福尼亚理工学院	785	8 538	10.88
11 UNIV CALIF BERKELEY	加利福尼亚伯克利分校	783	9 952	12.71
12 UNIV OXFORD	牛津大学	762	5 795	7.6
13 UNIV SCI & TECHNOL CHINA	中国科学技术大学	747	3 333	4.46
14 POLISH ACAD SCI	波兰科学学院	641	2 160	3.37
15 TOHOKU UNIV	东北大学	641	3 307	5.16
16 OSAKA UNIV	大阪大学	633	3 183	5.03
17 LOS ALAMOS NATL LAB	洛斯阿拉莫斯国家实验室	599	4 642	7.75
18 UNIV ILLINOIS	伊利诺斯州立大学	595	4 319	7.26
19 KYOTO UNIV	京都大学	589	3 857	6.55
20 UNIV PARIS	巴黎大学	589	3 056	5.19
21 CNR	意大利国家研究院	569	2 458	4.32
22 PRINCETON UNIV	普林斯顿大学	550	4 867	8.85
23 TOKYO INST TECHNOL	东京科学学院	541	2 618	4.84
24 UNIV TEXAS	德克萨斯大学	539	3 913	7.26
25 UNIV TORONTO	多伦多大学	516	7 064	13.69
26 HARVARD UNIV	哈佛大学	506	3 587	7.09
27 INFN	国家材料物理研究院	499	7 000	14.03

(续表 9)

机构名称	国别	论文数量	被引频次	篇均引文
28 STANFORD UNIV	美国	490	3 410	6.96
29 MAX PLANCK INST QUANTUM OPT	德国	489	3 256	6.66
30 TECH UNIV MUNICH	德国	448	3 037	6.78
31 UNIV LONDON IMPERIAL COLL SCI TECHNOL & MED	英国	446	4 085	9.16
32 UNIV MARYLAND	美国	437	4 348	9.95
33 UNIV MICHIGAN	美国	435	3 023	6.95
34 CSIC	西班牙	431	2 426	5.63
35 TSING HUA UNIV	中国	426	1 721	4.04
36 UNIV WURZBURG	德国	407	2 490	6.12
37 UNIV SAO PAULO	美国	404	1 547	3.83
38 UNIV KARLSRUHE	德国	398	4 628	11.63
39 UNIV MUNICH	德国	396	1 603	4.05
40 NATL TAIWAN UNIV	中国	379	1 534	4.05
41 UNIV ROMA LA SAPIENZA	意大利	370	2 434	6.58
42 UNIV QUEENSLAND	澳大利亚	364	2 653	7.29
43 WEIZMANN INST SCI	以色列	359	3 087	8.60
44 NANJING UNIV	中国	354	849	2.4
45 NATL RES COUNCIL CANADA	加拿大	352	2 650	7.53
46 UNIV FLORIDA	美国	345	2 579	7.53
47 NATL ACAD SCI UKRAINE	乌克兰	340	571	1.68
48 USN	美国	339	4 420	13.04
49 HOKKAIDO UNIV	日本	336	1 239	3.69
50 ACAD SCI CZECH REPUBL	捷克斯洛伐克	329	1 770	5.38

入围世界论文前 50 名的中国机构是:中国科学院,中国科学技术大学,清华大学,南京大学,中国台湾国立大学。从中国机构来看,中国科学院是我国量子光学研究的主力军。与美、德、英相

比,中国从事量子光学研究的机构总量不算多,机构层面研究力量的布局具有明显的集中度。

图 7 为世界量子光学论文数 TOP50 机构的各国分布,美国 16,日本 6,德国 5,中国 5,英国 3,意大利 3,俄国 2,法国 2,加拿大 2,澳大利亚 1,乌克兰 1,捷克斯洛伐克 1,西班牙 1,以色列 1,波兰 1。

## 5.2 对国际范围内量子光学论文作者的分析

入围在论文 TOP20 作者中,美国总体实力仍然强劲,中国作者在表 10 显示其论文数量表现突出。但表 11 显示中国作者论文被引频次差强人意,第一次出现在 12 位上,且是与他人合作。综合分析显示,中国作者论文数多,被引频次少,折射出了中国在此领域的科研急需扩大国际影响。表 12 是量子光学领域发表论文数较多的中国作者。

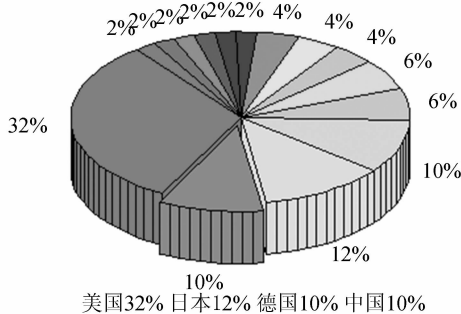


图 7 世界量子光学论文数 TOP50 机构的国家分布  
Fig. 7 Countries of TOP50 affiliations on research papers of quantum optics

表 10 1991-2006 年量子光学领域世界论文前 20 名的作者

Tab.10 TOP 20 authors in research papers on quantum optics from 1991 to 2006

排序	作者	机构	论文数	排序	作者	机构	论文数
1	FORCHEL A	Univ Wurzburg	151	11	WANG Z G	Chinese Acad Sci	92
2	BIMBERG D	Tech Univ Berlin	135	12	ARAKAWA Y	Univ Tokyo	90
3	RITCHIE DA	Univ Cambridge	126	13	ZHANG J	Univ Calif Berkeley	89
4	WANG J	Huazhong Normal Univ	122	14	WEGSCHEIDER W	OSRAM Opto Semicond GmbH	88
5	ZHANG Y	Tsing Hua Univ	120	15	FAN H Y	China Univ Sci & Technol	86
6	GUO G C	China Univ Sci & Technol	107	16	GOSSARD A C	Univ Calif Berkeley	75
7	PFEIFFER L N	Bell Labs	104	17	LEE S	Korea Univ	75
8	USTINOV V M	AMER Inst Physics	97	18	PEETERS F M	Univ Antwerp	72
9	WEST K W	Lucent Technol Inc, Bell Labs	95	19	PLOOG K H	Paul Drude Inst Festkorperelektron	68
10	HOPKINSON M	Univ Sheffield	92	20	KIM J S	Hanyang Univ	68

表 11 按单篇论文被引频次入围的 1991-2006 年世界量子光学领域前 25 名的作者

Tab.11 TOP 25 authors in quantum optics field from 1991 to 2006(ranked by citation times of their research papers)

作者	机构	篇名	期刊	被引频次
GAMMAITONI L				
1 HANGGI P JUNG P	Univ Perugia	Stochastic resonance	Rev Mod Phys 1998, 70 (1): 223-287 JAN	1 430
2 EBBESEN T W LEZEC H J GHAEMI H F	NEC Res Inst	Extraordinary optical transmission through sub-wavelength hole arrays	Nature,1998, 391 (6668): 667-669	815
3 HAU LV HARRIS S E DUTTON Z	Rowland Inst Sci Inc	Light speed reduction to 17 metres per second in an ultracold atomic gas	Nature,1999, 397 (6720): 594-598	782
4 KNILL E LAFLAMME R MILBURN G J	Univ Calif Los Alamos Natl Lab	A scheme for efficient quantum computation with linear optics	Nature,2001, 409 (6816): 46-52	656
5 DALIBARD J CASTIN Y MOLMER K	Ecole Norm Super, Spect Hertzienne Lab	Wave-function approach to dissipative processes in quantum optics	Phys Rev Lett,1992, 68 (5): 580-583	584
6 BRUS L	AT&T Bell Labs, Murray Hill	Quantum crystallites and nonlinear optics	Appl Phys A; Mater Sci & Process,1991, 53 (6): 465-474	550
7 YABLONOVITCH E	Univ Calif Los Angeles	Photonic band-gap structures	J Opt Soc Am B-Opt Phys, 1993,10 (2): 283-295	492

(续表 11)

作者	机构	篇名	期刊	被引频次
8 BERGMANN K THEUER H SHORE B W	Univ Kaiserslautern	Coherent population transfer among quantum states of atoms and molecules	Rev Mod Phys,1998,70 (3): 1003-1025	459
9 MOERNER W E ORRIT M	Stanford Univ	Illuminating single molecules in condensed matter	Science, 1999, 283 (5408): 1670	362
10 LIN S Y FLEMING J G HETHERINGTON D L	Sandia Natl Labs	A three-dimensional photonic crystal operating at infrared wavelengths	Nature, 1998, 394 (6690): 251-253	351
11 ADAMS C S SIGEL M MLYNEK J	Univ Konstanz	Atom optics	Phys Rep: Rev Section Phys Lett,1994,240 (3): 143-210	311
12 OU Z Y PEREIRA S F KIMBLE H J PENG K C(China)	Orman Bridge Lab Phys 1233, Pasadena, CA 91125 USA; Shanxi Univ(China)	Realization of the Einstein-podolsky-rosen paradox for continuous-variables	Phys Rev Lett, 1992, 68 (25): 3663-3666	307
13 MOLMER K CASTIN Y DALIBARD J	Aarhus Univ	Monte-carlo wave-function method in quantum optics	J Opt Soc Am B-Opt Phys, 1993,10 (3): 524-538	301
14 SCULLY M O ENGLERT B G WALTHER H	Univ New Mexico	Quantum optical tests of complementarity	Nature, 1991, 351 (6322): 111-116	292
15 GLAUBER R J LEWENSTEIN M	Harvard Univ	Quantum optics of dielectric media	Phys Rev A, 1991, 43 (1): 467-491	292
16 SIMON R	Vienna Tech Univ	Peres-Horodecki separability criterion for continuous variable systems	Phys Rev Lett,200,84 (12): 2726-2729	291
17 BALTUSKA A UEDEM T UIBERACKER M	Inst Math Sci	Attosecond control of electronic processes by intense light fields	Nature, 2003, 421 (6923): 611-615	290
18 TRINDADE T OBRIEN P PICKETT N L	Univ Aveiro	Nanocrystalline semiconductors; Synthesis, properties, and perspectives	Chem Mater,2001,13 (11): 3843-3858	258
19 PLENIO M B KNIGHT P L	Univ London Imperial Coll Sci Technol & Med	The quantum-jump approach to dissipative dynamics in quantum optics	Rev Mod Phys,1998,70 (1): 101-144	253
20 DENG L HAGLEY E W WEN J	Natl Inst Stand & Technol, Atom Phys Div	Four-wave mixing with matter waves	Nature, 1999, 398 (6724): 218-220	250
21 BLOCK I Hansch T W EsSSLINGER T	Univ Munich, Sect Phys	Atom laser with a CW output coupler	Phys Rev Lett, 1999, 82 (15): 3008-3011	243

(续表 11)

作者	机构	篇名	期刊	被引频次
22 WINELAND D J BOLLINGER J J ITANO WM	Natl Inst Stand & Technol	Squeezed atomic states and projection noise in spectroscopy	Phys Rev A, 1994, 50 (1): 67-88	236
23 STEANE A	Univ Oxford, Clarendon Lab, Dept Atom & Laser Phys	Multiple-particle interference and quantum error correction	Proc Roy Soc Lond A-Math Phys Eng Sci, 1996, 452 (1954): 2551-2577	228
24 DUAN LM LUKIN M D CIRAC JI	Innsbruck Univ, Inst Theoret Phys	Long-distance quantum communication with atomic ensembles and linear optics	Nature, 2001, 414 (6862): 413-418	223
25 JOHN S WANG J	Univ Toronto Dept Phys	Quantum optics of localized light in a photonic band-gap	Phys Rev B, 1991, 43 (16): 12772-12789	221

表 12 量子光学领域中的中国前 10 名作者

Tab. 12 TOP 10 authors from China in quantum optics field

排序	作者	机构	论文数	被引频次	篇均引文
1	GUO G C	Univ Sci & Technol China	107	734	6.27
2	WANG X H	Chinese Acad Sci, Inst Phys	50	206	4.12
3	FAN H Y	Univ Sci & Technol China	47	148	3.15
4	YANG Z Y	Chinese Acad Sci	44	232	5.28
5	YANG W	Chinese Acad Sci, Inst Semicond,	43	594	13.81
6	PENG K C	Shanxi Univ	38	509	13.39
7	GU B Y	Chinese Acad Sci, Inst Phys	32	136	4.25
8	WU Y	Huazhong Univ Sci & Technol	30	315	10.5
9	LU H L	Shanghai Jiao Tong Univ	23	23	1.00
10	PAN J W	Univ Sci & Technol China	23	360	15.65

## 6 结 论

量子光学与量子信息学科为我们开辟了认识和利用自然的新途径。建筑在量子物理基本原理之上的量子信息学科,将在本世纪引起一场新的信息革命。以上的数据和分析表明,随着中国科学张开双臂拥抱世界,随着持续不断地投入和追赶,中国量子光学研究在思考和摸索中走到了重要突破的前夜。2005 年诺贝尔物理学奖获得者之一德国马克斯-普朗克量子光学研究所(MPQ)的提阿多·汉斯在颁奖仪式上对媒体说,在德国科学家也能很好地从事科学研究。这句话

不仅让政治家感到欣慰,也让曾经受到伤害的德国得到安慰,终于有一个从美国学成后又回到德国的科学家拿到了诺贝尔奖<sup>[6]</sup>。中国科学技术大学微尺度物质科学国家实验室潘建伟<sup>[7-14]</sup>和他的同事杨涛、陆朝阳等,最近通过实验,成功制备出国际上纠缠光子数最多的薛定谔猫态和可以直接用于量子计算的簇态,刷新了光子纠缠和量子计算领域的两项世界纪录<sup>[15]</sup>,该项研究成果以封面标题的形式发表在最新一期《自然》杂志的子刊《自然·物理》上。审稿人评价其是“光学量子计算领域至今最先进的实验工作”和“一个出色的成就,为量子计算、量子纠缠和量子力学基本问题的研究铺平了道路”。从表 12 也可见到,潘建伟小

组的论文数量在中国不是最多的,但篇均引文数却排在第一,从文献计量学的角度说明他们的工作得到国际科学家的广泛关注,在中国境内科学家也能很好地从事科学研究,从国外学成归来的中国科学家与中国本土科学家精诚合作,在继量子光学优势领域论文数量保持领先之后,一个辉

煌的,集中反映量子光学特定领域研究成果的时期将会到来。

本文所提出的看法,从一个新的角度探讨了量子光学发展过程的一个侧面,我们在这方面展开更加深入的分析 and 讨论。

#### 参考文献:

- [1] [http://nobelprize.org/physics/laureates/2005\[Z\]](http://nobelprize.org/physics/laureates/2005[Z]).
- [2] 李师群. 现代量子光学的发端和物理学精密测量的新巅峰:2005 年诺贝尔物理学奖成果介绍[J]. 科技导报,2005,(12):12-15.  
LI SH Y. Beginning of modern quantum optics and new highlight of physical precision measurements: Introduction to achievements of Nobel prize for physics for 2005[J]. *Sci. Technol. Rev.*,2005,(12):12-15. (in Chinese)
- [3] 陈超. 运算能力最强的单磁通量子微处理器问世[N]. 科技日报,2007-02-02.  
CHEN CH. A single magnetic flux quantum processor with optimal operational ability[N]. *Science and Technology Daily*,2007-02-02. (in Chinese)
- [4] 彭堃堦. 量子光学与量子信息[J]. 中国基础科学,2000,(4):19-24.  
PENG K X. Quantum optics and quantum information[J]. *China Basic Science*,2000,(4):19-24. (in Chinese)
- [5] 金碧辉,等. 世界科学中的中国[R]. 科技部基础研究司,2004.  
JIN B H, *et al.*. *China in world science*[R]. Fundamental Research Company of the Ministry of Science and Technology,2004. (in Chinese)
- [6] 倪永华. 和光打交道的人:德国诺贝尔物理奖获得者特奥多尔亨施[J]. 发明与创新,2006,(1):18.  
NI Y H. A person in contact with light: Theodor W Haensch, gainer of Nobel Prize for physics in 2005[J]. *Invention and Innovation*,2006,(1):18. (in Chinese)
- [7] CHEN S A, CHEN Y A, STRASSEL T, *et al.*. Deterministic and storable single-photon source based on a quantum memory[J]. *Phys. Rev. Lett.*,2006,9717 (17): 3004-3004.
- [8] YANG T, ZHANG Q, ZHANG J, *et al.*. All-versus-nothing violation of local realism by two-photon, four-dimensional entanglement[J]. *Phys. Rev. Lett.*,2005,9524 (24): 406-406.
- [9] GASPARONI S, PAN J W, WALTHER P, *et al.*. Realization of a photonic controlled-NOT gate sufficient for quantum computation[J]. *Phys. Rev. Lett.*,2004,9302 (2): 504-504.
- [10] WALTHER P, PAN J W, ASPELMEYER M, *et al.*. De Broglie wavelength of a non-local four-photon state[J]. *Nature*,2004,429 (6988): 158-161.
- [11] SANAKA K, JENNEWEIN T, PAN J W, *et al.*. Experimental nonlinear sign shift for linear optics quantum computation[J]. *Phys. Rev. Lett.*,2004,9201 (1): 7902-7902.
- [12] PAN J W, GASPARONI S, URSIN R, *et al.*. Experimental entanglement purification of arbitrary unknown states [J]. *Nature*,2003,423 (6938): 417-422.
- [13] CHEN Z B, PAN J W, ZHANG Y D, *et al.*. All-versus-nothing violation of local realism for two entangled photons[J]. *Phys. Rev. Lett.*,2003,9016 (16): 408-408.
- [14] PAN J W, DANIELL M, GASPARONI S, *et al.*. Experimental demonstration of four-photon entanglement and high-fidelity teleportation[J]. *Phys. Rev. Lett.*,2001,86 (20): 4435-4438.
- [15] 齐芳. 我科学家刷新光子纠缠和量子计算两项世界纪录[N]. 光明日报,2007-02-09.  
QI F. China scientists break two kinds of world records in photon entanglement and quantum computation[N]. *Guang Ming Daily*,2007-02-09. (in Chinese)

作者简介:白雨虹,女(1964—),吉林长春人,大连理工大学管理学院博士研究生,主要研究方向为光学信息传播学、光学信息经济学。E-mail: baiyh@ciomp. ac. cn

(本栏目编辑 严寒)