



*The Chinese Texts Affiliated with Peking University Press*

北京大学物理学丛书 · 理论物理专辑

# 原子的激光冷却与陷俘

王义遒 编著



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS



*The Series of Advanced Physics of Peking University*

北京大学物理学丛书 理论物理专辑

# 原子的激光冷却与陷俘

王义遒 编著



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 图书在版编目(CIP)数据

原子的激光冷却与陷阱/王义道编著. —北京:北京大学出版社,  
2007. 11  
(北京大学物理学丛书)  
ISBN 978-7-301-12835-0

I. 原… II. 王… III. 原子物理学-高等学校-教材  
IV. O56

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 157603 号

书 名: 原子的激光冷却与陷阱

著作责任者: 王义道 编著

责任编辑: 孙 琰

标准书号: ISBN 978-7-301-12835-0/O · 0733

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62752021  
出版部 62754962

电子邮箱: [zpup@pup.pku.edu.cn](mailto:zpup@pup.pku.edu.cn)

印 刷 者: 北京大学印刷厂

经 销 者: 新华书店

850 毫米×1168 毫米 32 开本 20.375 印张 529 千字

2007 年 11 月第 1 版 2007 年 11 月第 1 次印刷

定 价: 40.00 元

---

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024 电子邮箱:[fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

## 前 言

物理学是自然科学的基础,是探讨物质结构和运动基本规律的前沿学科.几十年来,在生产技术发展的要求和推动下,人们对物理现象和物理学规律的探索研究不断取得新的突破.物理学的各分支学科有着突飞猛进的发展,丰富了人们对物质世界物理运动基本规律的认识和掌握,促进了许多和物理学紧密相关的交叉学科和技术学科的进步.物理学的发展是许多新兴学科、交叉学科和新技术学科产生、成长和发展的基础和前导.

为适应现代化建设的需要,为推动国内物理学的研究、提高物理教学水平,我们决定推出《北京大学物理学丛书》,请在物理学前沿进行科学研究和教学工作的著名物理学家和教授对现代物理学各分支领域的前沿发展做系统、全面的介绍,为广大物理学工作者和物理系的学生进一步开展物理学各分支领域的探索研究和学习,开展与物理学紧密相关的交叉学科和技术学科的研究和学习提供研究参考书、教学参考书和教材.

本丛书分两个层次.第一个层次是物理系本科生的基础课教材,这一教材系列,将几十年来几代教师,特别是在北京大学教师的教学实践和教学经验积累的基础上,力求深入浅出、删繁就简,以适于全国大多数院校的物理系使用.它既吸收以往经典的物理教材的精华,尽可

能系统地、完整地、准确地讲解有关的物理学基本知识、基本概念、基本规律、基本方法；同时又注入科技发展的新观点和方法，介绍物理学的现代发展，使学生不仅能掌握物理学的基础知识，还能了解本学科的前沿课题和研究动向，提高学生的科学素质。第二个层次是研究生教材、研究生教学参考书和专题学术著作。这一系列将集中于一些发展迅速、已有开拓性进展、国际上活跃的学科方向和专题，介绍该学科方向的基本内容，力求充分反映该学科方向国内外前沿最新进展和研究成果。学术专著首先着眼于物理学的各分支学科，然后再扩展到与物理学紧密相关的交叉学科。

愿这套丛书的出版既能使国内著名物理学家和教授有机会将他们的累累硕果奉献给广大读者，又能对物理的教学和科学研究起到促进和推动作用。

《北京大学物理学丛书》编辑委员会

1997年3月

## 理论物理专辑前言

彭桓武先生在他的专著《理论物理基础》(彭桓武、徐锡申著,北京大学出版社,1998年)序中对理论物理作了精辟的阐述:

随着人们通过多次观察和实验等科学实践,对物质世界中在一定条件下一定现象之出现,获得大量可靠的感性认识,得到数据和经验规律。然后经过反复综合整理改造,形成概念,并用判断和推理的方法给以合乎逻辑的描述或解释,这样达到某种理性认识。如能以此为据对新现象有所预见且为而后的科学实验所证实,则表明这理性认识正确可靠。对越来越多方面的物质现象得到的越来越普遍的正确可靠的理性认识,便构成发展中的理论物理。

理论物理的发源可以从伽利略和牛顿对地面上物体坠落和太空中行星绕日等现象的统一解释算起。这奠定了牛顿力学,并从此动力学观点流行。这种观点和方法,结合气体的物理实验和化学实验的多个经验规律,产生并逐渐澄清原子和分子的概念,阐明了热的分子运动本质;又结合由对电磁现象的观察和大量实验所总结的一系列经验规律,特别是法拉第有关磁力线和电力线的形象思维,帮助麦克斯韦形成电磁场的概念及其动力学理论。麦克斯韦不仅利用运动将电现象和磁现象联结起来,并且从理论上预见到电磁波动现象,光的现象归结为电磁波动的现象。这预见为此后的实验证实,并为无线电通讯奠定基础。法拉第电解定律表明分子原子内部有带有一定的基本电荷的电子。有鉴于此,洛伦兹对物质中的电磁现象,提出电子论,引入带有电子运动的分子和微观电磁场的概念,后者局部的多分子的统计平均即是麦克斯韦的宏观电磁场,这样解释了物质对光的折射率随光波长变化的色散现象。但对电子和其运动规律的较清楚的认识,则尚待从更多的近代物理实验

和与其伴随的 20 世纪才发现的相对论和量子论。在相对论和量子论这两个理论中,对时间和空间,以及粒子和波,概念上比以前有所深入,有些人称之为革命,实际上不过是随着认识到更深一层次,原来认为割裂的或对立的却被发现是统一的或同一的,而回过头来看,原来的认识,在一定范围内仍是对的,或可靠的到一定的近似程度而已。

理论物理是有用的。作为工程设计原理的早已成熟的那部分理论物理更不必谈。在开展理论、实验与工程技术相结合的工作时,理论工作先行一步常可以减少实验和工程的工作量。

为了促进我国的理论物理研究,国家自然科学基金委员会“理论物理专款”学术领导小组决定资助出版这套《北京大学物理学丛书·理论物理专辑》。希望从事理论物理研究的科学工作者介绍国际理论物理前沿和自己的研究工作,吸引更多的年轻人投入并献身于理论物理学的研究,为营造重视基础研究、安心基础研究的大环境,为发展我国理论物理学的研究及其在国际上占有一席之地做出贡献。有关申请出版资助的情况,请参阅国家自然科学基金委员会网站中有关“理论物理专款”的通告。本专辑的出版得到了北京大学出版社的大力支持,特此感谢。

国家自然科学基金委员会  
“理论物理专款”学术领导小组  
2005 年 10 月 20 日

## 序

激光冷却原子和玻色-爱因斯坦凝聚 (Bose-Einstein condensation, BEC) 的实现是近年来物理学的重大进展, 其重要意义首先在于物理常数的精确测定。这些精确测量大多利用光谱和波谱技术, 克服多普勒 (Doppler) 效应等与原子速度有关的因素显得特别重要, 原子的激光冷却就成为关键技术。现在利用激光冷却原子做成的铯原子喷泉频率标准, 其精度接近  $1 \times 10^{-15}$ 。以此为基础, 还可以定出长度 (单位: m)、约瑟夫森 (Josephson) 常数、里德伯 (Rydberg) 常数、精细结构常数等更精密、更准确的数值。

其次, 激光冷却原子还促进了一些新的学科和技术的发展, 如原子光学 (即把原子运动看做物质波的传播, 用激光对这种波动进行像光波那样的机械操作)、冷原子干涉仪、光镊 (optical tweezer)、光格点 (optical lattice)、利用光束的微细加工工艺等。正由于此, 1997, 2001, 2005 年度诺贝尔物理学奖分别授予了朱棣文 (S. Chu), C. Cohen-Tannoudji, W. D. Phillips (激光冷却和陷俘原子); E. A. Cornell, W. Ketterle 和 C. E. Wieman (BEC); R. J. Glauber, J. L. Hall, T. W. Hansch (量子光学基本原理和包括发明光梳在内的精密光谱学测量)。

本书系统地介绍了激光冷却原子和 BEC 的历史发展、主要实验和基本原理, 对于我国从事这一领域学习、研究的广大科技工作者和物理爱好者是非常及时和迫切需要的。记得两年前 (2004 年 7 月 18~30 日), 国家自然科学基金委员会“理论物理专款”学术领导小组在山西大学组织“玻色-爱因斯坦凝聚及相关问题”研究生暑期学校, 受到广大青年学者的欢迎, 参加者有 150~200 人左右。中国科学院上海光学精密机械研究所 (简称“上海光机所”) 王育竹



院士、北京大学王义道教授、中国科学院物理研究所刘伍明研究员、中国科学院半导体研究所李树深研究员、清华大学张卫平教授、美国佐治亚理工学院尤力教授等专家应邀作了讲座,另有众多的专题报告。通过那次活动,大家对国内在这方面开展的研究工作有了一个全面的了解,会上会下相互讨论、交流,收获很大。但由于时间较短(只有10天左右),有些问题不能全面展开。我也参加了那次活动,因为过去没有做过这方面的工作,虽然很感兴趣,但只能是一知半解。现在,本书的出版将为大家提供这个领域的必要的基础知识;而且作为一本很好的教材,可帮助有兴趣的年轻学子尽快入门。我自己读了以后也受益匪浅。

2003年,“理论物理专款”学术领导小组为推动我国理论物理研究的发展,筹划出版一套《现代物理前沿丛书》(现为《北京大学物理丛书·理论物理专辑》,简称《专辑》)。第一批出版计划就约请了王义道教授,他当时很痛快地答应了。经过三年的努力,他终于完成了这本专著。《专辑》的宗旨是帮助读者“拓宽物理学的基础,迅速进入物理学前沿研究,激发起他们学习和研究物理和其他自然科学的热情和兴趣”;在写作风格上,要求“深入浅出,图文并茂,文献丰富”,也就是“通俗”一些。这个要求给作者增加了不少负担和压力。后来我们和编辑商量,软化了对“通俗”的要求。但是王义道教授还是作了许多努力,使得本书保持了深入浅出、引人入胜的风格,具体体现在以下几个方面:

(1) 本书的写作从实验出发,着重从物理概念和图像出发去描述现象,解释机理,避免冗长的公式推导。例如原子束的激光减速(§4.2)、光学黏团及其实验(§5.1)、磁光阱(magneto-optic trap, MOT)的实现(7.3.2小节)和碱金属稀薄气体中实现BEC的实验综述(§11.2)等,都是按照事件的发展来详细描述实验的过程,由浅入深,由表及里,完全符合人的认知过程。

(2) 在广泛阅读文献的基础上,穿插了一些在科学发展过程中的珍闻逸事,使读者既了解了历史,又增加了阅读的兴趣。

(3) 王义道教授语言功底好,除了撰写科学论文外,还写过不少散文、随笔,文笔流畅,寓意深刻,语言诙谐,因此把这些枯燥的科学问题也写得很生动。

当然,专著的水平关键是作者本人的研究工作。王义道教授早年留学苏联,获得副博士学位;自 20 世纪 50 年代起执教于北京大学无线电电子学系,多年从事量子电子学研究;60 年代主持研制原子钟-光抽运铯气泡原子频标,为我国时间频率计量事业作出重要贡献。他曾发表科研论文 200 多篇,出版专著《量子频标原理》<sup>①</sup>,并先后担任北京大学教务长、常务副校长等职。在国际上实现 BEC 以后,我国上海光机所、北京大学和中国科学院武汉物理与数学研究所(简称“武汉物理与数学所”)先后实现了铷的 BEC。本书总结了作者和他所在的北京大学冷原子物理小组在这方面的研究成果,例如磁光阱参数的估算与测量(7.3.3 小节)、QUIC 阱(§ 9.4)、蒸发冷却的实验技术(§ 10.5)及北京大学小组的 BEC 实验(§ 11.3)等,充分反映了作者的学术水平。

此外,本书还说明了交叉学科的重要性。从书中可以看出,激光冷却原子和 BEC 这一领域同时涉及原子分子物理、激光物理、量子力学、量子场论、量子电子学、量子光学、波谱学等学科,这些知识在大学里任何一个专业都是学不全的,需要多种学科的交叉才能掌握和开展研究。本书的第二、三章为读者作了一些理论上的准备,弥补了一般教科书的缺陷。

夏建白

2006 年 7 月

于中国科学院半导体研究所

---

① 王义道. 量子频标原理. 北京:科学出版社,1986.

## 作者前言

原子的激光冷却与陷俘无疑是 20 世纪末物理学发展最为迅速、成果最为辉煌的一个领域。从 1997 年开始，每隔三年就得到一次与此相关的诺贝尔物理学奖(1997, 2001, 2005)就是明证。作为一种从外部操控原子运动的手段，它似乎只是“技术”，但是，它的工作原理却深深扎根于物理学的“高深学问”之中，其实现则密切依赖于激光与电子学巧妙的实验构思和精湛技艺；而其成果又进一步开拓了物理学研究的新方向，并将对整个科学技术的发展产生深远的影响。

原子的激光冷却与陷俘为原子分子物理学研究提供了一个极低温度的“安静”环境，它使原子运动几乎被“冻结”。这样，精密测量原子、分子的内部结构才有可能，原子之间相互作用以及形成分子的具体过程才得以凸现；而基本物理常数的准确测量以及它们是否随时间变化这样的基本问题，也才能昭然于物理学家的视野。激光冷却为物理测量提供了一种最精密、最准确的手段。建立在原子钟基础上的时间频率测量在当代一切测量中具有最高的精密度和准确度，而激光冷却原子方法又可使它们再提高一个数量级以上。诞生于激光冷却与陷俘原子家园的稀薄气体中的玻色-爱因斯坦凝聚(BEC)的实现，是物理实验上的一朵奇葩。它创造了一种崭新的物质状态——宏观简并量子态，并揭示了这种新物质状态的许多奇妙特性。现在，这类研究深入到了费米(Fermi)原子，使人们对费米子系统的结构、性质和量子统计效应等有了更深的了解。同时，由激光冷却和陷俘原子衍生或丰富起来的原子光学、光格点等新现象，又开拓了原子干涉仪、原子刻印等许多技术领域的新应用。总之，激光冷却与陷俘原子的成就不仅极大地深化和更新了人

们对许多物理学基础问题的认识,而且还拓宽了物理学的应用领域,并带来不可估量的前景。

尽管激光冷却与陷阱原子发展迅速,并已作出了杰出的贡献,但由于本领域的主要成就诞生于 20 世纪 80 年代,距今时间较短,而其结果与人们的日常生活相去甚远,因此,一般人对此知之甚少,即使是高等院校物理专业的学生,也不见得有更多的了解。因此,写一本较为全面的、浅近的专著,向有兴趣于物理学的大学学生对本领域相关知识作一个比较完整的介绍,特别是把其中一些人引进这一令人向往的领域,是非常必要的。我抱着对提高原子钟性能的期望,从 20 世纪 70 年代末即开始关注和跟踪这个领域,直到 90 年代才有幸开展这方面的课题研究,取得了一些实验成果。我热情欢迎有更多年轻学子加入本领域的研究行列,也非常希望有一本帮助他们入门的书。

这样,当 2003 年秋,夏建白院士为《专辑》向我约稿的时候,我并没有多少犹豫就承诺下来了。因为当时我已为《量子力学新进展(第三辑)》<sup>①</sup>完成了一篇题为《原子的激光冷却与囚禁和稀薄气体玻色-爱因斯坦凝聚的实现》的长篇综述文章,占了近一百页。限于篇幅,那篇文章有不少问题并没有写清楚,本书正好可以弥补这个缺陷。既然《专辑》要求大体上可为高等院校与物理相关专业的本科学生所读懂,我自信在脑子里对激光冷却与陷阱的基本概念有清晰的物理图像,不费太多力气就能满足这个要求。于是,我准备在评述的基础上,适当加以扩展,用尽量浅近的语言进行写作,以为这样就可完成任务,并计划在 2004 年底交稿。

其实,写这本书可以采用几种方案,例如,可以从激光冷却和陷阱原子的理论体系出发,理论与实验结合;也可以从历史发展的角度出发来写;等等。我为了节省时间和精力,驾轻就熟,还是依照

---

<sup>①</sup> 曾谨言,龙桂鲁,裴寿镛. 量子力学新进展:第三辑. 北京:清华大学出版社, 2003.

那篇评述文章的体例。不过,为了便于初学者阅读,开篇集中介绍一些与原子物理相关的电磁场知识(它们大都可可在大学物理学课程中找到,但有的却为一般教材所阙如)。然后比较深入地讨论改变原子运动状况的基本光作用力。随后,结合实验成果逐步介绍原子束的激光操控(减速、准直和沟道化),这里既是两种力的具体运用,也展示了激光冷却原子更细致的内容。再深入到光学黏团(optical molasses)、亚多普勒冷却,直到原子的光陷阱。读者在书中可以接触到五光十色的物理现象。之后是它们的实际应用。BEC无疑是激光冷却原子最光辉的应用成果,对此专门辟出三章(第九至十一章)来加以叙述(静磁阱、蒸发冷却、BEC与原子激射器),其中有的内容并非直接与激光冷却有关。由于这个领域本质上是实验科学,因此我试图比较仔细地讲述一些重要实验的具体细节,以便读者从中得到实验构思和技巧的启示,领悟创新的科学思维。

然而2004年春,我着手写作时,却发现写书很不容易。一是本领域的一些基本概念不是大学普通物理、甚至理论物理教材中都能找到的,很难把所有问题都从头交代清楚;二是为了使书写得生动,读来有趣,引人入胜,需要穿插一些珍闻逸事,除了个人偶得的一些以外,必须查找大量资料,而这比搜索一般科学文献更难;三是书中的每一句话都要有出处或着落,而脑子里储存的只是一些结论性的信息,并且往往不可靠,因此要重新阅读几百篇原始文献。至于日新月异的新信息和新成果,我是存心割爱了(少数问题除外),因为这是“无底洞”,是没有尽头的;更何况本书并不是一本介绍新进展的书。好在不久后编辑告知,对写作“通俗化”的要求放宽了,这节省了我大量工夫,但是进度还是极其缓慢(这里当然还因为我承担了不少难以推辞的工作和活动,不能集中时间和精力,连“三天打鱼,两天晒网”都做不到)。就这样写写停停,到2005年9月,才完成了大概一半。我着急了:“何时能交差?”在这种情况下,我请北京大学信息科学技术学院量子电子学研究所周小计副教授为本书第九至十一章撰写初稿。请他写的一个主要理由就是

他参与了我们实现铷原子 BEC 和原子激射器实验的全过程,不仅作了一些装置(如静磁阱)的理论设计,而且作了大量实验观测,有直接经验。他在我的评述文章的基础上,补充了一些基础知识与理论推导以及个别内容(如微磁阱),重点增加了北京大学冷原子物理小组实验过程的具体描述,从而形成草稿。我又进行了加工整理,完成定稿。

做了一辈子教师的我,深信一本教材也好,一本科学专著也好,不经过教学的磨练,不经过学生的检验与挑剔,是很难完美、不出错误的。可我当时已无学生可教(尽管部分内容在一些研究生班上曾讲授过)。为此,我又请周小计副教授对本书前六章的部分内容在他的“激光光谱学”课程中给学生讲授;同时,他又专门带着四位学生通读了前六章的初稿,发现了一些错误,提出了一些修改意见。这些都是我后来修改和全书通稿过程的依据。因此,本书是在周小计副教授诚挚的协助和合作下完成的,这里要向他表示衷心的感谢。

尽管如此,我还是对书稿不很满意:某些理论阐释的逻辑不够严明,推导不够详尽,难免使部分读者感到迷茫;而某些我认为是非常“精巧”的实验,由于相关的基础知识不足,读者可能难于领会其“巧妙所在”;为了叙述简洁,对实验过程不能作过多解释,因此要真正领会,就必须勤于思索。此外,有些内容连我自己读起来还要费一番心思,可见读者之不易。不过我想,读科学书籍,无论如何都不能像读小说那样轻松、愉快。这也算自我安慰吧!对于涉及实验技术的某些内容,我曾想以附录的形式加以概括介绍。但如篇幅太小,内容过于简单,则无济于事;而篇幅太大,又不允许,最后只好作罢。因此,读者要彻底读懂某些实验内容,不免要自己去寻找更多知识。

书中引文远不能说详尽,但主要的大概已经包括进去了,多数插图来自相应引文,就不作一一说明;个别从别处引来的,则特别加以注明。

在即将成书之际,我不禁想起半个世纪以来引领我进入这个迷人的研究领域、和我交流讨论、给我许多帮助的师友们,我十万分地感谢他们。1957年初冬,我有幸能拜当时在莫斯科大学物理系兼职的、分子振荡器的发明人之一 A. Prokhorov 为师,让我跨进了量子电子学的大门;1958年我奉命转学到列宁格勒大学物理研究所,在 F. Skripov 指导下从事核磁共振研究,使我对辐射场和原子集体相干相互作用这一量子电子学的核心问题有了深入的领会。改革开放以后,1983年下半年,我在巴黎得以聆听 Cohen-Tannoudji 在法兰西学院所作的关于激光冷却原子理论的系统讲授,并和他进行了一些深入的交谈;第二年,我又到美国科罗拉多大学与国家标准技术研究院(NIST)共建的联合实验天体物理研究所(JILA)向 Hall 小组学习激光冷却原子的实验技术,特别是激光稳频技术。2000年,我和陈徐宗、周小计一道到德国马克斯-普朗克(Max-Planck)量子光学研究所和慕尼黑大学的 Hänsch 小组访问,这成为我们开展 BEC 和原子激光器实验研究的前奏。除了 Skripov 外,Prokhorov, Cohen-Tannoudji, Hall 和 Hänsch 后来都获得了诺贝尔物理学奖。我想,要不是 Skripov 英年早逝(他于1961年我学成回国后不久去世,年仅40岁),他也有望获此殊荣的。他是世界上第一个从自由核感应衰减信号中获取核磁共振精细结构的,这开了高分辨傅里叶(Fourier)核磁共振谱的先河,该项成果后来取得了诺贝尔化学奖;此外,他还发明了射频量子振荡器。我还在法国巴黎第六大学国家科学研究中心赫兹波谱实验室的 B. Cagnac 门下作过精密激光谱研究,在巴黎天文台向 A. Clairon 学习过原子喷泉技术。后来在美国 Agilent 公司工作的朱森和法国里昂大学的俞进等也给了我很多帮助。在国内,有更多的良师益友,其中交流较多的有:上海光机所王育竹实验室,先后由 王天眷、吴钦义、叶朝辉和詹明生领导的武汉物理与数学所波谱学和原子分子物理实验室,中国科学院物理研究所李家明(现执教于上海交通大学)、杨国桢、吴令安和刘伍明,中国计量科学研究院

李天初小组,山西大学彭堃堉、谢常德实验室,华东师范大学王祖庚小组、马龙生小组、印建平和张卫平,中国科技大学郭光灿实验室,清华大学李师群小组和龙桂鲁,华中师范大学彭金生,等等。更有我所在的北京大学的师长和先后同事丁渝、郑乐民、冯义濂、董太乾、李守中、李慧心、施蕴陵、邹英华、王振刚、朱祟、傅济时、冯蕴深、王庆吉、汤俊雄、谢麟振、田昆玉、杨东海、刘淑琴、叶安培、陈景标、郭弘、张志刚,等等。没有他们的合作共事,我将一事无成。

最后,作者要感谢夏建白院士的推荐和信任,他还特地为本书写了精彩的序言。作者所在的、现由陈徐宗教授领导的北京大学冷原子物理小组在本书的写作过程中给我许多鼓励和支持,他们的出色工作是写作本书的动力。李天初研究员提供了一些资料,并审阅了 § 8.1, § 8.2;詹明生研究员提供了一些资料,并审阅了 § 8.3;印建平教授审阅了 § 8.4。北京大学信息科学技术学院量子电子学研究所段艳萍为本书制作了一些图片,北京大学出版社顾卫宇和孙琰编辑对书稿的校订做了很多工作。没有他们的帮助,这本书是不可能出版的。作者对他们致以诚挚的谢意。

王义道

2006年6月14日



## 《北京大学物理学丛书》 第二届编委会名单

主 任：高崇寿

副 主 任：(按姓氏笔画排,下同)

编 委：	刘寄星	陈晓林	周月梅	夏建白
	聂玉昕	阎守胜	黄 涛	
	冯世平	田光善	孙昌璞	孙 琰
	朱 星	朱邦芬	宋菲君	肖 佐
	邹振隆	林宗涵	欧阳钟灿	俞允强
	胡 岗	闻海虎	顾卫宇	韩汝珊
	解思深			