

·学科进展与展望·

# 我国原子与分子物理学科现状及对面临问题的思考

倪培根 张守著 汲培文

(国家自然科学基金委员会数理科学部,北京 100085)

**[摘要]** 本文通过对国内原子与分子物理学科主要研究单位的研究方向、研究队伍等情况的调研,从原子与分子物理学科特点、发展及现状进行分析,提出了该学科研究所面临的问题,并针对这些问题阐述了可采取的措施。

**[关键词]** 原子与分子物理,研究现状,调研

原子与分子物理学是一门基础学科,在物理学中占有重要的地位,对人类认识微观物质世界及其运动规律起着重要作用。原子与分子物理也是一门渗透面广的学科,在促进科技进步和经济发展、加强国防、保障人们健康等方面起着不可忽视的作用。目前国际上原子与分子物理学正处于新的发展阶段,我国的原子分子物理的发展面临着机遇与挑战并存的局面,推动我国原子分子物理的发展成为摆在科学家和科研管理部门面前的一个重要任务。本文在对原子与分子物理学科研究领域调研的基础上,从原子与分子物理学科的特点、发展及研究现状的分析出发,提出了我国原子与分子物理学科研究所面临的问题,阐述了关于解决这些问题的方法及原子与分子物理学科今后应关注的重点研究领域。

## 1 原子与分子物理学科的重要性及特点

原子与分子物理学是研究原子分子结构、性质、相互作用、运动规律及周围环境对其影响的一门科学。原子与分子是物质结构的两个基本层次,原子与分子物理学是物质科学的组成部分。原子与分子物理的发展,对电子学和电子产业、光电子学和激光产业等新兴学科和现代产业的诞生和发展起到了重要作用。近几年来,随着科学技术的发展,新的技术不断涌现,新仪器设备相继诞生,使人们认识微观物质世界的能力得到空前的提高。随着激光冷却技术的发展,对原子、离子、分子的囚禁与冷却的实现,使玻色-爱因斯坦凝聚(BEC),单原子、离子的操控,

高精度原子频标、原子激光及量子信息等方面的研究成为原子分子物理学科研究中的重要研究领域。原子力显微镜、扫描隧道显微镜的发明使人们的空间分辨水平提高到原子量级,将人们带入了奇妙的原子分子水平的物质世界。随着超短激光技术的发展,实现了高精度时间分辨,可以进行分子内部原子甚至电子运动的相关性研究,许多以前观测不到的现象现在已经进入人们的视野。另外,原子与分子物理学还在化学、材料、信息、环境和生命等学科中扮演重要角色。在原子与分子的层次上研究物质的性质、化学反应过程、新材料的制备及表征、量子信息技术、生命活动已成为研究热点领域。化学、材料、信息、光学等科学领域对具有原子与分子物理研究基础背景的人才需求加大,原子与分子物理学科在自身发展的同时还在一定程度上担负着为其他科学领域培养人才的重担。

原子与分子物理学科是一门基础学科,是许多科学领域的基础,它具有如下显著特点:(1)基础性、交叉性强,应用范围和渗透面广,涉及化学、材料、信息、生命、环境、天文等科学领域;(2)与国家重大需求结合紧密,在核能、保密通讯、频标等方面有重要用途;(3)与先进的仪器设备密切相关,相关仪器设备的突破及有关技术的发展都会给原子分子物理学科的发展带来巨大推动力,如:激光冷却技术、高性能计算机的发展、同步辐射光源的建立、大型加速器及冷却存储环等设备的发展。当今原子与分子物理学科的研究正在经历一个新的发展阶段。

本文于2005年3月7日收到。

我国的原子与分子研究具有以下特点:(1)起步较早,但长期处于比较薄弱的状态,发展缓慢,在国际上有影响的工作较少;(2)理论研究偏多,实验研究较少,实验基础较差,实验仪器设备相对落后。原子与分子物理研究所需的许多设备及仪器显著依赖于研究者自己改造或搭建。在有些国家的申请代码中,原子与分子物理学科中有专门资助原子与分子实验设备和仪器研制的代码,我们国家这方面还需加强;(3)研究领域较分散,研究队伍略显薄弱。由于国内研究条件较差,资金短缺,从国外引进人才的难度较大,国内培养的许多学生转向其他研究领域,造成人才流失;(4)国家整体在此学科投入较少,科研经费主要靠国家自然科学基金支持。

## 2 原子与分子物理学科在我国的发展<sup>[1-4]</sup>

国内开展了许多原子与分子物理学的相关研究工作,如:电子与原子分子散射理论、多通道量子亏损理论、高精度计算及超精细结构研究、激光等离子体理论研究等。最初原子与分子物理的研究在理论方面开展工作较多,随着研究经验的积累和仪器设备的建立,科研工作者开始研究高激发高离化态、内壳层电子激发态、原子频标、原子分子在强电、磁场或强激光场中的行为、电子与原子分子碰撞、原子分子的电离解离和有关光谱实验、囚禁离子特性和光谱、原子与分子的冷却、玻色-爱因斯坦凝聚、原子分子团簇、原子分子与固体表面碰撞以及聚变等离子体等方面的研究。同时还积极开展与其他研究领域的交叉。随着国际上原子与分子物理研究进入高速发展阶段,国内原子与分子物理研究也进入一个新的发展阶段。

## 3 原子与分子物理学的研究现状

### 3.1 国际原子与分子物理学研究状况<sup>[5,6]</sup>

目前国际上原子与分子物理学正处于高速发展时期。由于高性能计算机、激光技术、同步辐射及X射线、离子加速器、真空技术、束技术和检测技术等的发展为原子分子物理学的深入研究提供了有力的研究工具。当今世界围绕着能源、材料、环境、信息、生命以及国家安全等方面的竞争日趋激烈,需要大量新数据新概念新构思,而原子与分子物理学作为一门基础性学科,其作用也日益突出。目前国际上主要的研究领域有以下几个方面:(1)离子、原子、分子的囚禁、冷却、操控及在相关条件下的相互作用、精密测量和应用,如光谱的高精度测量、玻色-爱因

斯坦凝聚体的性质及其应用、原子激光、原子频标、物质波探测等;(2)量子信息,包括量子通讯、量子计算、量子密码等;(3)极端条件下的原子分子物理研究,主要包括在外加强电场、强磁场、高温、超冷、高压等条件下的原子分子结构、性质及其动力学行为的研究;(4)基于特殊外界环境下的原子、分子与团簇的结构与碰撞动力学研究。如:超快、超短(如亚飞秒,阿秒)激光与原子分子的相互作用等;(5)高离化态原子的碰撞及其与电子、光子等的相互作用。(6)与生命、化学、材料、信息、环境方面的交叉,从原子分子结构、状态及其相互作用角度进行相关的研究。

### 3.2 国内原子与分子物理学研究现状

国内原子与分子物理学研究起步较早,但是发展速度相对缓慢。有包括国家重点实验室和部门开放实验室在内的50多个研究团体。拥有原子与分子物理国家重点学科的高等院校有吉林大学、四川大学和清华大学。中国科学院武汉物理与数学研究所的波谱与原子分子物理国家重点实验室是该领域的国家级重点实验室。根据不完全统计目前我国从事原子分子物理研究工作的具有高级职称和具有博士学位的中级职称人员约有500人,并且拥有了一些重要的实验设备,如各类激光器及光谱探测设备、高性能计算机工作站、离子阱、交叉束装置、电子能谱仪、低能加速器、电子束离子阱(EBIT)装置等。另外,合肥同步辐射装置的升级、兰州重离子加速器的建成及未来上海同步辐射装置也将为原子分子物理学研究提供极为有效的新的实验手段,开拓诱人的新前景。

此外,中国科学院兰州近代物理研究所主要是结合高能重离子加速器在重离子碰撞方面开展原子与分子物理的研究。复旦大学利用即将建好的电子束离子阱(EBIT)开展高温稠密等离子体方面的理论和实验研究,同时还有部分人开展冷原子、量子信息存储、电子与离子碰撞方面的研究。北京计算数学与应用物理研究所主要开展的工作有:光子同电子、离子相互作用过程,高温高密度等离子体物理,热稠密环境下的原子离子结构等。大连化学物理研究所主要在分子科学领域主要开展一些分子反应动力学、激光选键选态化学动力学方面的研究等。国防科技大学在原子与分子结构及碰撞,高温、强场、稠密对原子与分子性质的影响等方面开展研究。北京大学和上海光机所在原子激光冷却方面开展研究。山东大学主要开展分子反应动力学及光与原子分子相互作

用的研究。

## 4 国内原子与分子物理学研究的特色、面临的问题及对问题的一些认识

### 4.1 特色

吉林大学原子与分子物理研究所长期从事原子与分子物理的研究,历史较长,具有较好的基础。该研究所具有一批相关实验研究设备,如包括飞秒激光器在内的多种激光器、质谱能谱仪、高时间分辨 CCD、IBM 高性能大规模科学计算服务器、微波红外谱仪等,在超快激光与原子分子相互作用及中等能量电子碰撞等方面做出较好工作。武汉物理与数学研究所具有较好实验条件和设备,能发挥自身优势,注重物理与数学、化学的交叉,基础研究和应用结合较紧密。如在原子频标、核磁共振、激光雷达、原子滤波器的研究方面具有较强的应用背景。该单位的波谱与原子分子物理实验室是国内唯一一个原子分子物理学学科的国家重点实验室,具有一支年轻的科研队伍。清华大学物理系原子分子物理领域多年来开展单原子检测并注重应用,如与生命科学交叉进行大分子探测和分子雷达方面的研究工作,另外在电子动量谱等方面开展了一些研究。北京大学和上海光机所原子分子物理领域的科研人员在原子激光冷却方面开展了大量研究,在我国实现了玻色-爱因斯坦凝聚(BEC)。四川大学在稠密状态下原子分子相互作用方面做出了较好的工作。中国科技大学在国家自然科学基金重点项目较高强度的资助下,在电子动量谱仪方面取得较好成果。兰州近代物理研究所依托大装置,利用重离子加速器,可望能在重离子碰撞方面做出优秀成果。复旦大学利用即将建成的 EBIT 装置,将在高温稠密等离子体物理涉及的原子数据方面开展相关研究。山东师范大学和西北师范大学在原子分子团簇、原子结构与碰撞、激光场中原子分子行为等研究领域开展了相关研究工作。

### 4.2 存在问题

国内原子与分子物理学研究领域的发展还面临着许多问题,主要表现为:

(1)科研队伍老龄化。随着原子分子物理领域内的老一辈科研人员退休,研究队伍老龄化的趋势日益显现出来。该领域中青年骨干人员不足,人才出现断层。出现的原因主要有:国家对原子与分子物理学研究投入不足;原子与分子物理研究规模较小;原子与分子物理研究硕士点培养的部分硕士生考取博士时选择了其他专业;原子与分子物理研

究领域引进海外高级人才困难,自己培养的一些人才流失到其他研究领域。为了缓解这一状况,对该领域的科学基金资助应更注重对青年人才的支持和培养,提高青年科学基金的资助率。

(2)仪器设备相对落后。国外原子与分子物理研究的发展非常迅速,这部分得益于他们拥有先进的仪器设备。原子与分子物理研究除了依托于一些大的研究平台以外,还要自己改造和研制一些仪器设备。虽然国家自然科学基金委员会设立了科学仪器研究专项,但规模小,而原子分子物理研究的仪器设备研制投入大、周期长、技术要求高,与国际上相比,我国在这方面的研究基础相对薄弱。自然科学基金委如能联系其他部门一起共同给予特别支持,或许会改善目前状况。

(3)研究内容不够集中。目前国内研究创新性内容较少,重复性、跟踪性研究内容较多。研究队伍较为分散,共有约 500 人的研究队伍(包括高级职称和具有博士学位中级职称人数),分布在大约 50 个研究单位,有些单位只有少数几个人,研究内容较分散。

(4)资金投入不足。原子与分子物理学作为基础性很强的学科,其基础研究除了国家自然科学基金资助外,其他部门支持较少。研究队伍不断萎缩,人才流失较为严重,而资金投入不足制约了原子与分子物理研究领域的发展。

(5)合作交流略显不足。原子与分子物理研究领域与其他研究领域相比,国际合作交流和国内交流合作较少,这也影响了人才的培养、引进及学术交流。积极支持交流与合作,发挥其桥梁、纽带作用,应当会极大地促进原子与分子物理学研究领域的发展。

上面存在的几个问题如果不能得到妥善解决,将会制约原子与分子物理研究的发展。通过调研和对问题的仔细分析,作者认为要妥善解决上述存在的问题,应注意从以下几个方面着手:加大资助投入是基础,稳定和吸引优秀人才是关键,重视研究仪器的改造和研制是动力,合作交流是纽带,研究应本着有限目标、突出重点的原则进行。

数理科学部连续两年对原子与分子物理研究领域给予了一定扶持,科研人员感觉到国家自然科学基金委员会对该领域非常重视和关注,提高了科研人员的研究热情,起到了较好效果。但是,原子与分子物理研究的发展和提高是一个长期的、持久的、艰难的过程,需要较长期给予扶持,适当给予一定的倾

斜,提高原子与分子物理学科项目的资助率。同时,对原子与分子物理研究选取一两个重点单位或方向给予扶持,有效缓解目前研究内容较为分散的局面。相信经过几年的发展,会吸引更多的人才,提升我国原子与分子物理研究水平,提高国际竞争力。

## 5 原子与分子物理学应关注的研究领域

基于学科调研和专家对“十一五”优先发展领域的建议,今后原子与分子物理研究的发展应关注以下研究领域:(1)原子分子物理学中的高精度测量和相关计算,如原子分子高分辨激发态结构与性质的研究;(2)原子分子团簇结构及碰撞动力学;(3)特殊外界条件下(包括:温度、压强、电磁场等)和特殊状态下(冷原子、离子、分子,高离化态等)的原子分子结构状态和动力学过程及其应用的研究;如原子分子的相干量子态的制备、操纵和测量,原子激光等;(4)超强、超快、超短激光与原子分子的相互作用;(5)量子纠缠和量子信息(包括:量子通信、量子计算、量子密码等)中的原子分子物理问题研究;(6)原子分子物理领域的新技术的发展和设备的研制。

在研究中,还应注重发挥原子与分子物理基础性强的学科优势,注重交叉,在交叉中开拓新的研究领域,例如:(1)与生物交叉:在单分子水平上研究大分子体系,复杂体系、生命体系的结构及相互作用,研究药物与细胞、抗原与抗体等的相互作用等;(2)与信息交叉:如在量子频标,量子计算、量子信息等

方面的研究;(3)与材料交叉:借助当前计算能力的大大提高,从单个原子分子及其相互作用出发研究材料的性质,如强关联系统,进而设计新材料;实验上采取“自下而上”的路线开展相关的纳米科学技术研究等;(4)与化学交叉:如利用超短脉冲激光对化学反应过进行时间分辨研究和激光诱导化学反应的研究。

文中的见解及想法是通过调研和分析形成的,希望本文中提到的问题能引起我国原子分子物理领域的专家学者的兴趣,大家一起出谋划策,推动我国原子分子物理的发展。

致谢 感谢有关单位和专家对本次调研提供的帮助、支持和有益的建议与意见。

## 参 考 文 献

- [1] 勾清泉. 我国原子与分子物理的发展. 物理, 1989, 18, 593—599.
- [2] 梅刚华. 原子分子物理若干前沿及其进展概述. 物理, 1995, 4, 193—197.
- [3] 王治文. 吉林大学原子与分子物理研究所科研进展概况. 原子与分子物理学报, 1999, 16, 136—141.
- [4] 邹宇, 钟志萍, 李家明. 我国原子分子物理研究的一些新进展. 物理, 1999, 28, 541—547.
- [5] 赵凯华等译. 物理 2000—进入新千年的物理学. 北京: 北京大学出版社, 2000 年第一版, 85—93.
- [6] Rainer Scharf. Physics-Physics research: topics, significance and prospects. Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V. (DPG). 2002, 45—66.

## STATUS AND CHALLENGE OF ATOMIC AND MOLECULAR PHYSICS IN CHINA

Ni Peigen    Zhang Shouzhu    Ji Peiwen

(Department of Mathematical and Physical Sciences, NSFC, Beijing 100085)

**Abstract** The status of research focus and personnel of major domestic institutes in atomic and molecular physics were investigated. The characteristics, development and challenges in this subject were analyzed. Suggestion on possible measures has been presented.

**Key words** atomic and molecular physics, status, investigation