

原子物理发展趋势展望

——近期国际原子物理会议浅析

朱熙文

(中国科学院武汉物理研究所 波谱与原子分子物理国家重点实验室)

[摘要] 根据近期召开的几届国际原子物理会议的会议内容和大会报告,分析了原子物理研究的国际发展趋势,提出了发展国内原子物理工作的建议。

国际原子物理会议(International Conference on Atomic Physics, ICAP)从1968年起每两年举行一次,是国际原子物理学界水平最高、最权威的学术会议,国际知名的原子物理学家,包括诺贝尔奖获得者大都与会。会议以邀请报告为主集中反映本学科的最新进展和发展动向。出版的邀请报告汇编——Atomic Physics 专集,是原子物理学的最好综述文献之一。从80年代中期开始,我国有少数科学家出席此一会议。我有机会参加了1990年在美国安阿伯召开的第12届和1992年在德国慕尼黑召开的第13届会议,根据在会上的所见所闻,结合考察美国、日本和德国一些实验室了解的情况,谈谈个人对原子物理发展的意见。

由于邀请报告占用了会议的大部分时间,展示的大字报主题与邀请报告基本一致,故从下表所列邀请报告的专题可见学科发展的主流。

第12届 ICAP 邀请报告专题

- 冷却与囚禁的原子、离子实验 10 篇
- 单原子激光器、腔 QED 及干涉效应 6 篇
- Casimir 效应及有关课题 2 篇
- 碰撞 5 篇
- 精确谱 4 篇
- 宇称和对称性研究 4 篇
- QED 检验 4 篇
- 原子结构、光谱及相互作用理论 7 篇
- 相关的基础课题 4 篇

第13届 ICAP 邀请报告专题

- QED、精密测量和对称性检验 7 篇
- 囚禁和冷却 6 篇
- 原子光学 2 篇
- 贮存离子研究 3 篇
- 量子非破坏性检测与腔 QED 4 篇
- 新的发展苗头 2 篇

本文于1992年12月22日收到。

电子关联 5篇

Rydberg 原子与混沌 5篇

强激光场中的原子 6篇

团簇及介观体系 3篇

作者还查阅了第10届(1986年)和第11届(1988年)会议的邀请报告,发现最近两届会议的热门主题,或者持续了相当一段时间,或者早已崭露头角,只有个别专题是近期才发展为研究热点的。上述专题,可基本归纳为以下几个发展方向。

1. 物理学基本定律和对称性检验,包括量子力学、量子电动力学(QED)、弱电统一模型、宇称及其他对称性在原子体系的深入检验。这些是属于难度很大并已持续了较长时间的原子物理基础研究。由于近年来发展了更精确的测量方法(如囚禁离子的频率测量),扩展到更广泛的研究体系,如高 Z 、高离化态原子的 Lamb 位移等,取得了新的进展。测得了非线性量子力学理论中非线性项的上限,原子电偶极矩和宇称不守恒的实验精度均有提高。

2. 原子、离子的囚禁与冷却。这是原子物理近十年来的研究前沿,已获得重大进展,现发展势头还在继续。发展新的冷却机理(如 Sisyphus cooling)和采用新的囚禁阱构型,预期可将原子温度从目前的 10^{-6} K 降至 10^{-9} K 量级,从而需要建立崭新的冷却原子描述方法(如藉助内部和外部运动交联态),开拓新的研究领域,展示广泛的应用前景,包括原子喷泉型和离子阱频标,原子干涉术和原子光学。

3. 原子精确谱和基本常数精密测量。精确测定原子跃迁频率(如熟知的氢原子 $1s-2s$ 跃迁频率)、原子质量和其他物理量,有助于提高 Rydberg 常数、Lamb 位移和同位素位移的精度,促使新的计量单位和基准的问世。近年来频率和质量的测量精度都在稳步提高,研究对象逐步扩大。

4. 腔量子电动力学。主要研究高 Q 腔内单个原子与少数单模光子相互作用导致的新特性和新课题,如自发辐射率修正,原子和辐射场频移,非经典光场和单原子激射器,以及相关的 Aharonov-Casher 相移、Casimir 效应等,是近年原子物理新兴的研究方向。最近在光子数的量子非破坏性测量、微型腔原子谱及腔内原子特性等方面取得了重要进展。

5. 原子高激发态,包括 Rydberg 态、自电离态以及双电子和多电子激发态。由于体系复杂、能级繁多,展现出不同于低激发态的许多新特性和新现象(如电子关联、混沌等等),要求发展新的理论工具和实验方法。这一方向的研究近年十分活跃,近期在双电子激发态、行星原子及高激发态的关联衰变等方面取得了新的结果,预期今后仍将持续发展。

6. 强外场(强电、磁场和激光场)中的原子特性。强外场使原子特性发生重大改变,引出新的现象和过程,由于具有重要的学科意义和应用前景,近年来一直受到重视。新的进展有:强磁场中的正能谱、混沌与规则运动、原子在强激光场中的稳定性、用超短脉冲激光研究阈上电离以及双光子激光器等。

7. 团簇和其他介观体系。团簇是由几个到几百个原子(或分子)组成的、介于单原子(或分子)与凝聚态物质间的新物质形态,目前对它所知甚少。由于 C_{60} 的奇异特性的被发现,此项研究现正成为热点。会上反映的进展有: C_{60} 的原子分子特性、选定尺度的中性团簇光谱及其他“人造原子”。

纵观上述发展,可以看出一个明显的趋势:由于原子物理学科的发展和社会需要的推动,

原子物理研究正向新的深度、广度和精度推进。主要表现为：由研究大量原子到研究单个原子，由原子基态、低激发态到复杂多样的体系和状态，由通常条件到极端条件，由原子内部结构与外部运动分别描述、原子状态与环境特性分别描述到统一描述，理论和实验精度逐步提高，与近邻学科不断形成新的边缘和交叉。

需要说明的是：国际原子物理会议的讨论主题，是从物理学基础研究的角度，评述原子物理整个学科的前沿、热点和重大发展。至于原子结构、光谱和碰撞等各领域研究的具体进展，则在激光光谱、量子电子学、电子与原子碰撞物理等有关国际学术会议讨论。

我国的原子物理的研究，曾长期是物理学研究中的薄弱环节。近十年来，在国家自然科学基金会和有关部门的积极倡导与大力支持下，这方面的工作有了长足的进展：多数研究方向已经启动，有些专题做出了能参与国际交流的工作，少数点上的工作受到了国际同行的重视与好评。总的说来，与国际水平差距较大，这从我国代表提交国际会议的论文报告的质量和数量可见一斑。根据学科发展趋势和我国国情，为将国内原子物理工作推向一个新的台阶，建议：

1. 选择若干有重要学科意义或应用前景、并有相当工作基础的专题或方向给予重点和稳定的支持（一般似不宜再提填补国内空白），形成有特色的研究基地，促使在不太长的时间内作出国际水平的工作。

2. 倡导和鼓励创造性和开创性的研究工作，采取切实措施促进优秀青年人才脱颖而出，建立一支精干的、结构合理的研究队伍。

3. 积极推动国际学术交流和合作研究，以提高国内的研究水平。时机成熟时，争取在国内召开有关的国际学术会议。

PROSPECTIVE TREND OF RESEARCHES IN ATOMIC PHYSICS

Zhu Xiwen

(Wuhan Institute of Physics, The Chinese Academy of Sciences)

Abstract

The world trend of researches in atomic physics is predicted and suggestions for developing atomic physics in China are presented from the analysis of the contents of and the invited talks at latest International Conferences on Atomic Physics.