

原子分子物理学研究课题的分析

杨治虎

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 根据近期召开的几届国际加速器和原子分子物理专题会议内容和物理摘要(Physics Abstract),分析了原子分子物理学研究现状和发展趋势,归纳了目前研究的一些课题和今后的研究方向.

关键词 激发态结构, 超精细结构, 高电离态离子结构.

1 引言

国际原子物理会议(ICAP)从1986年开始,每两年举行一次,是国际原子分子物理界水平最高、最有权威的学术会议.每届会议的报告内容集中反映了本学科当时的最新进展和发展趋势,展示了原子分子物理学研究的热点课题.会议专集—Atomic Physics 是反映当今原子分子物理学发展的最好综述文献之一.物理摘要中的 Atomic and Molecular Physics 是反映当今国际物理学工作者从事原子分子物理研究课题的最好记载文献之一.本文根据这两种文献资料,提出了一些当今最活跃的前沿研究课题.

2 原子分子结构研究

原子分子结构是原子分子物理学的基本问题.描述原子分子结构的基本理论是现代量子理论,它的实验数据主要是由光谱实验和碰撞实验提供的.当前,原子分子结构研究仍然是原子分子物理学研究的主要内容,也是研究的传统课题.

由于光谱测量方法的发展和仪器分辨率的提高,尤其是激光技术和束箔光谱技术的出现,以及计算方法和技术的改进,原子分子结构问题的研究也愈加深入.也有可能是受控核聚变和天体物理的研究需要,发达国家已在离子加速器贮存环上开展了原子分子结

构的研究.当前研究存在于四个方面.

2.1 激发态结构

当前主要研究的方向是利用各种高分辨光谱技术测量出极为丰富的激发态光谱,获得主量子数更高的里德堡原子和分子;建立处理束缚态和连续态的统一理论.对于原子和分子激发态结构,除电子激发外,还有振动转动激发和解离.由于这类原子和分子的体系复杂,能级繁多,出现不同于低激发态的许多新特性和新现象(如电子关联和混沌等),这一研究近年来十分活跃,在双电子激发、行星原子及高激发态的关联衰变和发展“受激辐射泵浦(SER)”、光学双共振、微波-光学双共振等方面的研究已经取得了结果,并将继续发展.此外,还将开展与受控核聚变和天体物理有关的高电离态离子与电子、光子相互作用的研究.

2.2 原子分子团簇(clusters)结构的研究

团簇是由几个到几百个原子或分子组成的,介于单原子分子与凝聚态物质之间的新物质形态,目前对它了解甚少.有人称之为“物质第五态”.研究原子分子团簇的形成、结构的性质,可在原子分子物理学与凝聚态物理学之间架起一座桥梁,对于发展原子间力、分子间力或离子与原子(分子)间力的理论;对于材料科学、表面科学、催化反应动力学及环境科学等都有重要意义.作为一个新兴的研究领域,原子分子团簇研究在国外发展很

迅速. C_{60} 奇异特性的发现, 已成为研究 C_{60} 的原子分子特性的热点. 目前研究的主要方向是开展包括不稳定分子和自由基在内的非稳定原子分子团簇和固体物理性质以及化学性质(熔点、超导性、价带窄化、光电产额、光氏光学吸收, 远红外吸收等).

2.3 精细结构和超精细结构的研究

自由原子能级的超精细结构是由于原子中电子与核的电磁矩相互作用所引起的, 所以, 研究原子能级的精细结构和超精细结构可以获得原子核和原子的电子结构两方面的信息. 精确测定原子、离子激发光谱、跃迁频率、振子强度和其它物理量, 有助于提高里德堡常数、兰姆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. 目前, 研究方向主要是用微波波谱和各种高分辨光谱技术发现和精确测定由同位素效应以及高阶电动力学效应产生的能级超精细分裂.

2.4 高电离态离子结构的研究

高电离态离子出现在高温等离子系统中. 在聚变、X 射线激光和空间技术发展的强大推动下, 高离化状态研究蓬勃开展. 与高离化态有关的数据, 包括能级、与光子、电子、离子的碰撞激发和离化及双电子复合截面等, 这些数据在 X 射线激光、激光聚变及磁约束聚变研究中是不可缺少的基本数据, 目前研究的方向是为受控核聚变和 X 射线激光器的研究提供必要的的数据.

3 激光和束箔光谱学

激光和束箔光谱学是当今研究原子、分子物理的有力工具. 尤其是新激光和新激光技术的持续发展使原子分子物理学的研究达到了前所未有的高度. 目前的主要研究方向是借助于激光光谱和束箔光谱方法获得光谱数据, 揭示原子分子的特性, 研究受控核聚变中的原子分子物理过程.

3.1 激光光谱学

激光光谱具有常规光谱无法比拟的优

点. 激光具有很高的亮度和光谱分辨本领, 目前禁錮原子法估计可达 10^{14} . 其次表现在具有很高的时间分辨率. 原子分子物理学对近代科技的巨大推动, 无疑是 60 年代初激光的发现及由之而来的技术进步. 激光相干光的出现, 为光物理和原子分子物理注入了新的活力和新的研究内容. 由于激光的这些优点, 因而它可发展一系列奠基在非线性光学基础上的新的光谱探测方法. 目前研究的课题有:

(1) 高分辨与超高分辨光谱学. 方向是发展和探讨各种消除多普勒加宽的光谱法, 发展克服渡越时间加宽的技术以及克服二级多普勒加宽的禁錮原子光谱技术, 使光谱分辨达到或者超过自然线宽给出的极限.

(2) 超短脉冲的获得与超快过程光谱学. 方向是发展多种压缩激光脉冲宽度的方法, 以得到皮秒级的超短激光脉冲, 将超短脉冲技术与激光调谐技术相结合, 发展超快过程光谱学进行物质中或化学反应过程中各种超快过程的研究.

(3) 非线性光学的光谱学. 非线性激光光谱学可使谱线的多普勒宽度得以消除, 它比线性激光光谱学的分辨提高了 2~3 个量级, 从而揭示出掩盖于多普勒轮廓下的超精细结构. 它可实现多光子跃迁, 由禁戒跃迁的实现填补了原子分子能态及光谱数据的空白. 目前, 主要是继续发展各种类型的相干喇曼光谱; 扩展多频共振回波混频光谱和碰撞感生光谱的研究.

(4) 相干光波的扩充及量子频标的研究. 主要研究相干紫外、真空紫外与 X 射线激光产生的各种物理机制.

3.2 束箔光谱学

利用束箔相互作用, 在加速器上进行铀以下所有元素的类氢离子光谱学研究. 这种束箔光谱学方法为研究兰姆移位提供了前所未有的条件, 促进了用量子电动力学方法的理论研究. 由于束箔光谱学方法引发了一般原子分子物理学没有(或不显著)的一些新征象, 现在有关原子分子的一些激发态参数的

研究,大都采用这方法.

(1)束箔相互作用.发展特点是用双箔研究斜箔引起的原极化,以及原子极化向原子核的转移;用单晶金箔研究沟道效应对极化的影响,确认表面相互作用是否是产生极化的主要原因.

(2)激光束与离子束相互作用.用激光代替箔,也就是让激光与离子束发生相互作用.目前的研究方向之一是用激光离子束共振谱学测定特定的某些同位素的原数据,如Nd元素的同位素位移和Nd II的(23537)g/2能级的寿命,导出它的组合态混合,计算有关原子核的半径.

(3)高电荷态离子研究.处于高激发态的高电荷态离子研究是有十分特殊地位的.国际上已列为专门的研究领域,在理论研究中,要修正过去 $az \ll 1$ 的近似处理方法.它有与聚变能源有关的强大应用背景,而且它与天体物理的研究密切相关,目前研究的方向是研究高电荷态的激发能级参数,包括能级,谱线、振子强度和高电荷态离子与原子的碰撞复合截面等.

4 原子分子碰撞

原子、分子及离子与各种粒子(光子、正负电子和离子)碰撞在原子分子物理学研究中占有十分重要的地位.这些碰撞过程不仅

与原子结构、分子结构及其状态密切相关,而且普遍存在于天体、星际空间、地球的大气、等离子体及化学反应过程中.因此,对于原子分子碰撞过程的研究不仅为原子分子物理学的基本规律提供了丰富而深刻的认识,而且大大促进和推动了天体物理、大气物理、等离子物理、化学反应动力学以至凝聚态和材料科学的发展

目前,研究原子分子碰撞的主要课题有:

(1)电子被原子散射引起电子的自旋极化;(2)内壳层电子激发或双电子复合产生X射线激光;(3)电子碰撞电离(e, 2e过程),提供原子分子结构、电子动量谱、关联和波函数的信息;(4)重原子中电子(尤其是内层电子)运动的相对论效应对电子与原子碰撞的影响;(5)激发态原子分子碰撞,获得亚稳态或里德伯态的原子或分子的激发态参数;(6)光子、电子与处于激发态原子、分子离子的碰撞.

以上这些研究课题都与聚变、X射线、天体物理方面的研究密切相关,而且这些课题的研究数据有些还属于空白.

本文讨论的只是目前国际上开展原子分子物理学研究的部分热点课题和发展方向,通过讨论,作者希望将国内的原子分子物理研究工作推向一个新的高度,为振兴和发展原子物理研究作出贡献.

Analysis for Study of Subject in Atomic and Molecular Physics

Yang Zhihu

(Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract According to the abstracts of recent international conference on accelerator and atomic-molecular Physics, the author analyses the current of studying situation for the atomic-molecular Physics, futhermore points out its direction in the study of some atomic-molecular physics.

Key Words excitation state structure, super fine structrre, highly charged particle structure.