

90 年代物理学

——原子、分子和光学物理

一、原子、分子和光学物理的实质

原子、分子和光学物理(简称 AMO 物理学)旨在阐明物理学的基本规律,认识物质的结构及物质在原子和分子水平上的演变,认识光所有的表现形式以及发明新技术新设备等。AMO 物理学向其邻近学科如化学、天体物理、凝聚态物理、等离子体物理、表面科学、生物学、医学等提供了理论、实验方法及基本数据。AMO 物理学还促进了国家安全系统和核聚变、定向能源、材料研究等国家项目的发展。AMO 物理学的发展使激光以及光加工和激光同位素分离等先进技术成为可能,并且由此出现了新型工业如光纤通信和利用激光进行加工。这些发展将有助于国家保持其近期的工业竞争能力和军事力量。

二、对教育的作用

在美国,AMO 物理学对培养在校大学生及研究生起着十分重要的作用。以大学为基础的 AMO 物理学研究为学生今后在工业界、国家实验室和大学里从事基础和应用科学等方面的工作打下基础。每年约有 140 人获得 AMO 物理学博士学位。

三、对国家项目的贡献

AMO 物理学推动了国家能源项目的发展。从 AMO 物理学实验室取得的实验和理论数据对磁约束或惯性约束的核聚变研究很有用。频谱技术和激光散射是等离子体核聚变装置的重要诊断技术。惯性约束实验要使用粒子束设备或高功率激光器,这些设备的产生应是 AMO 物理学研究的结果。运用现代光学方法,可以研究发动机运转过程中的燃烧化学,从而提高飞机、轮船和机动车的效率。

AMO 物理学的基础研究还革新了军事技术的一些重要领域。原子钟和激光陀螺仪是现

代航海和全球定位系统中的关键仪器;光纤通信广泛应用在舰艇、坦克和飞机上。从 AMO 实验室取得的原子和分子过程中的数据对研究大气和气象极为重要,而后者影响到军事部署。激光用于区域性搜索、引导、光雷达以及其它许多方面;高功率激光器正用于新式反干扰和定向能源武器系统。

AMO 物理学研究还广泛用于国家的环境方面。AMO 物理学实验室的原子和分子数据对研究大气化学也极为重要。运用激光遥感方法和激光频谱技术可以监测到远距离的污染物。关于电离辐射对生物系统的影响也是基于 AMO 物理学数据及其理论研究才有了相当的认识。

四、原子、分子和光学物理基础研究的新进展

AMO 物理学包括了对原子和分子水平上的物质和光进行理论和实验研究的广阔领域。原子物理的几个新成果包括奇异原子的光谱学;通过对单个捕获的电子和正电子的超精密测量,对量子电动力学进行了新的检验;慢速高电荷离子的产生;预言和研究强核场中自发的电子-正电子系统的形成,以及第一次直接测量了双电子的复合。分子物理方面的新进展包括用于研究分子离子的一般方法的提出,分子团(孤立分子的小集团)的生成,超声分子束的表面散射,以及多原子分子的能量定域性的发现。光学方面的新进展包括第一次直接测量了一个光跃迁的频率,超精密光谱技术和原子、分子的超灵敏检测技术的发展,离子、原子的激光冷却,相干远紫外光的产生,光学双稳,以及各种新型激光器和非线性光学技术的发明。

五、研究的机遇

AMO 物理学正朝着广泛的研究领域迅速发展。这些领域包括原子和分子的结构及动力

学,光的控制和产生,检验物理学的基本规律等。从进行的 AMO 物理学的许多活动中,我们确定了一系列有希望获得迅速进展的课题。这些课题构成了本报告中详细阐述的“前沿研究项目”的基础。原子物理的前沿包括对物理学基本定律的检验,高精度技术的发展,以及对多电子问题和原子碰撞动力学的研究。分子物理的前沿课题主要是研究电子和原子核在分子场中的运动以及在分子碰撞过程中控制能量和粒子交换的可能性。光学物理的前沿包括对近红外至 X 射线区内的相干光源的研究和对光谱学的新方法及量子光学的研究。

本项目旨在发展基本的 AMO 物理学科,保证本学科能继续向其他学科提供重要的数据和新技术,并使 AMO 物理继续对国家关键性项目和工业作出贡献。本项目为培养在工业部门、政府实验室和大学里的专职科学家提供必不可少的研究环境。

六、研究的先决条件

在美国,AMO 物理主要是由从事不同课题的科学家小组共同发展起来的,有大学、国家实验室和工业实验室的 300 多个科学家小组。

正是由于有许多高水平的科学家小组,才使美国的 AMO 物理显示出它的巨大力量。但是,在经历了十年严格的筛选之后,现有的研究小组正面临缺乏资金和设备的威胁。为了确保能够抓住 AMO 物理中的科学机遇,美国首先要确保那些最优秀研究小组的生命力,同时为年轻的科学家进入 AMO 物理领域创造条件。

七、建 议

建议优先支持原子、分子和光学物理研究中的前沿课题。已确定了八个前沿课题,例如报告末尾所提出的一项四年规划。大约将有 140 个研究组从事前沿学科的研究工作。从前沿课题的范围,从每一课题中存在的多种科学机遇,从研究领域的大小以及从每一领域所需增加新的科学家人数来看,所估计的 140 个研究组并不算多。实现四年规划后,每个领域应

该达到一个新研究项目能够展开和旧的研究项目逐步淘汰的动态平衡水平。

以上是总的努力目标,并未规定每项研究的具体基金,研究组的具体数目及其大小,以及开始每项前沿课题研究的具体时间。

八、对前沿研究的资助

为使各 AMO 物理组按照“前沿研究项目”进行研究,增加经费是必要的。这些经费用于资助研究生、博士后及专职科学家;用于修复实验室,技术及专业服务部门的陈旧设施;用于购买设备及维修等。要给研究组充分的自主权,使他们能及时实施新的研究项目。为了新的研究项目得以实施,对基础 AMO 物理的资助标准(按 1984 年美元的价值算),在今后四年里每年应增加 700 万美元。

九、“前沿研究项目”所需设备

美国多数 AMO 物理实验室的仪器设备现已陈旧,因而使研究工作失去了一些重要的科学时机,形势严峻。要想保持研究势头,必须迅速提供新的仪器设备。

上述建议增加的经费,主要用于研究组定期更换和维修仪器。但是,仅重新装备原陈旧的实验室是不够的,还要装备前沿课题的 AMO 物理实验室。为此,必须进行一次性特别拨款。在今后四年中,每年应拨款 1100 万美元(按 1984 年美元的价值计算)用于设备。

十、理 论

与欧洲、日本和苏联相比,美国从事理论原子物理的队伍规模小并且非常分散。为了使这支队伍的水平提高到能指导和解释实验研究结果,迫切需要集中力量。我们建议各机构用行动接纳和支持这项计划,例如成立研究中心,组织工作讨论会或暑期学校供学生和活跃的理论家们不定期聚会。

(陆怀南译自“Physics Through the 1990s”: Atomic, Molecular and Optical Physics, 李理校)