

中国科学院物理学和核科学四十年

钱三强 马大猷*

(数学学部)

物理学和核科学都是研究物质世界中各种物理现象、规律及其应用的科学。客观世界中的物质存在着诸如原子分子、凝聚态、原子核和基本粒子等不同层次的结构,由此便有着不同层次的物理问题。原子分子层次和凝聚态层次中的物理问题属于物理学(包括理论物理、凝聚态物理、基础光学、原子分子物理、波谱学和声学等分支)的研究范围,原子核层次和基本粒子层次中的物理问题属于核科学(包括粒子物理如原子核物理理论、原子核物理、粒子物理、受控热核反应与高温等离子体物理、核技术及其应用等分支)的研究范围。

我院物理学研究的发展始于1949年以前的中央研究院物理研究所、北平研究院物理学研究所和原子学研究所。当时,中国只有少数科研人员在光谱学、晶体学、磁学和金属物理学等几个领域内开展研究工作。

中国科学院成立后不久,将中央研究院物理研究所、北平研究院物理学研究所和原子学研究所合并、调整,组建成以核物理、粒子物理为主要研究方向的设于北京的近代物理研究所和以固体物理、光谱学为主要研究方向的应用物理研究所(即目前物理研究所的前身)。应用物理研究所建立初期,先后由严济慈、施汝为任所长,陆学善任副所长、代所长。全所分设光谱学、磁学、晶体学和电学4个研究组。1951年该所又增设了低温研究组,这就是中国科学院凝聚态物理研究机构的雏形。1956年我国制定12年科学技术发展远景规划以后,该所有了很大的发展。经过近40年的努力,我院凝聚态物理研究已有相当规模的发展;在研究机构方面,已有一个综合性的物理研究所(即物理研究所)和5个专业性物理研究所(即半导体研究所,长春物理研究所,上海技术物理研究所,固体物理研究所和新疆物理研究所);在学科内容方面,已发展成为包括13个分支的大学科。

以统计物理、凝聚态物理和原子分子理论为研究领域的理论物理研究。1959年在物理研究所内组建了固体理论研究室和磁学理论研究组,稍后相继在半导体研究所、金属研究所、福建物质结构研究所、武汉物理研究所和长春物理研究所等单位各自建立了与本所研究方向相应的理论物理研究室。1978年又组建了一个专门以理论物理为研究方向的理论物理研究所。30多年来,我院已经形成了一支较强的理论物理研究队伍,并完成了大量的研究工作。

我院的基础光学研究,是新中国建立初期在北平研究院物理研究所的传统光学基础上,在赵广增、张志三领导下发展起来的。60年代初期激光现象发现以后,以它的相干性和非线性为特征的激光光谱学、非线性光学、全息学的研究接替了传统的光谱学研究。物理研究所、大连

* 钱三强系学部委员,中国科学院特邀顾问;马大猷系学部委员,数学学部副主任

参加本文工作的还有(以姓氏笔划为序):

叶佩弦 叶铭汉 李小源 关定华 朱洪元 陈通 陆坤权 张家骅 汪雪瑛 张道中 郑厚植 胡序胜 唐廷友 章综 黄兴章 梁敬魁 詹文山 葛培文 霍裕平 魏宝文

化学物理研究所和上海光学精密机械研究所等单位都开展了这方面的研究工作。

原子分子物理的研究是我院物理学科中发展较晚的一个分支。50 年代,彭桓武关于双粒子键问题的理论研究是此领域的早期工作。70 年代以来,物理研究所和武汉物理研究所等单位的工作都取得了较好的新成果。

我院的波谱学研究始于 50 年代后期。此后,尤其 70 年代以来,分别在福建物质结构研究所、物理研究所、大连化学物理研究所、化学研究所、上海有机化学研究所、成都有机化学研究所和武汉物理研究所开展了相应领域的核磁共振研究工作;同时,分别在福建物质结构研究所、上海光学精密机械研究所、物理研究所、地球化学研究所、生物物理研究所和长春物理研究所开展了相应领域的顺磁共振研究工作。核电四极矩共振和量子时标频标研究则集中在武汉物理研究所,该所自 60 年代起已经成为我院波谱学研究比较集中的单位。

中国声学研究开始于 50 年代初期长春光学精密机械研究所的超声应用研究。不久,在马大猷主持下,在物理研究所内筹建了声学研究室。1956 年制订 12 年科学技术发展远景规划以后,正式成立声学研究室,属电子学研究所领导。1964 年,正式组建了中国科学院声学研究所,全面、系统地开展了声学研究工作。在“文化大革命”中,声学所被拆散,到 1979 年方重建,由汪德昭任所长。声学研究主要集中在水声学、超声学和空气声学三个方面,研究工作以声学所为主体,同时包括武汉物理研究所、心理研究所、上海生理研究所、海洋研究所、上海硅酸盐研究所、物理研究所和上海细胞生物研究所等单位也开展了相应的研究。30 多年来,中国科学院的声学研究取得了很大成就,受到国内外的较大重视,并培养了一批科研人才,为国民经济和国防建设事业的发展做出了显著贡献。在这一发展过程中,声学研究所已经建设成为分支学科门类齐全、科研人才多、学术水平高、仪器设备先进的中国声学研究的中心。

我国原子核科学的研究,尽管在 1948 年北平研究院筹建了原子学研究所,但在 1949 年以前基本上是靠分散的、个人的努力。中国科学院成立后,1950 年组建了设于北京的近代物理研究所,吴有训兼任所长、钱三强任副所长,1951 年由钱三强任所长,1952 年由王淦昌、彭桓武任副所长。1952 年,该所易名为物理研究所,后又改名为原子能研究所。

50 年代,我国核科学研究经历了艰苦创业和大发展阶段。1955 年 1 月 15 日,中共中央在毛泽东主持下作出了发展中国核科学技术研究和核工业的战略决策,同年 7 月中共中央指定陈云、聂荣臻、薄一波组成 3 人领导小组,次年 11 月国务院成立第三机械工业部后易名为第二机械工业部,并于 1962 年组织了以周恩来为主任的中共中央 15 人专门委员会,负责组织中国原子能事业的建设和发展工作。根据我国核科学技术发展的需要,中国科学院于 1956 年成立了以李四光为主任委员的原子核科学委员会和以吴有训为主任委员的原子核科学委员会同位素应用委员会。1955 年夏,国务院组建了国家建委建筑技术局,负责新的核科学基地的建设,选定北京远郊区坨里作为建设反应堆和回旋加速器的地址。1956 年制定的 12 年科学技术发展远景规划中,规划了我国核科学技术发展的蓝图。同年 9 月,正在兴建中的坨里实验基地与物理研究所合并组建为一个原子核科学研究中心,其名称仍为物理研究所,由第二机械工业部和中国科学院双重领导,以二机部为主。在重点建设物理研究所的同时,根据周恩来总理的指示,中国科学院于 1957 年派杨澄中等去兰州筹建物理研究室(目前设于兰州的近代物理研究所的前身)。1958 年 7 月 1 日,重水反应堆、回旋加速器等设备正式建成,物理研究所也易名为原子能研究所。副所长增加了赵忠尧、力一等。至此,中国第一个综合性的原子核科学技术

基地已初步成型,1959年,原子能研究所设有22个研究技术单位。我院在兰州和上海分别设立了原子核科研机构,并在中国科技大学设立了原子能方面的专业和系。与此同时,原子能研究所还努力促进了探测器的国产化,培训了同位素应用人才。从国外学成归来和新中国建立以后培养的科技人才形成了一支门类比较齐全、老中青结合的科技队伍。核科学的科研和教学工作在全国也有了相应的布局,出现了人才济济、兴旺发达的大发展形势。

1960年,苏联政府撕毁协议,中共中央决定自力更生发展中国的原子能事业,我国的核科学研究转入全面支持原子能工业的阶段。中国科学院原子能研究所作为我国第一个综合性的核科学技术的基地,充分发挥了多学科、综合性的优势,承担了繁重的科技攻关和培训干部的任务,选派并推荐了成批优秀科技干部直接参加原子能工业,如王淦昌、彭桓武、朱光亚、邓稼先、周光召、于敏、胡仁宇等。此外,中国科学院还调动了二十几个研究所的精锐力量,在计算机、金属材料、分析化学、核燃料生产及后处理、光学仪器、铀矿资源、原子弹爆炸试验有关的地质、气象、放射本底等方面承担攻关任务,并作出了显著成绩。

继两弹试验成功和卫星上天,核潜艇下水,我国的核科学进入了新的发展时期。根据我国国情,中国科学院对核科学和核技术研究事业的发展也作了相应的部署。在全面支持原子能工业的同时,根据中共中央关于“调整、巩固、充实、提高”的方针,1962年将核科学和核技术研究工作集中于北京的原子能研究所、兰州的近代物理研究所和上海原子核研究所。为了建立中国自己的高能物理实验研究基地,进一步加强受控热核反应和高温等离子体物理的研究,又于1973年组建了高能物理研究所,1978年组建了合肥等离子体物理研究所。上海原子核研究所、高能物理研究所、近代物理研究所、原子能研究所和中国科技大学等单位,都分别开展了核技术应用研究。在工作内容方面也作了适当部署:核物理方面,建造一台6米分离扇型重离子加速器,以重离子核物理为重点,同时开展重离子束应用研究;粒子物理方面,建造一台 $2 \times 2.2\text{GeV}$ 的正负电子对撞机,开展粲粒子和 τ 轻子物理研究,在西藏甘巴拉山上5500米处建设高山乳胶室进行宇宙线观测研究,并研制高空科学气球,开展高能天体物理研究;受控热核反应和高温等离子体物理方面,建造中小型托卡马克实验装置并开展相应的研究工作;核技术应用方面,利用几台加速器与实验性反应堆和已掌握的核分析技术开展应用研究,不断开拓新的应用领域。经过调整、充实,中国科学院进一步改善了核科学和核技术研究方面的布局,使之逐步进入了全面、高速发展的新阶段。80年代以来,上述各方面都有较大发展,设备更新换代。北京正负电子对撞机、兰州重离子加速器、合肥国家同步辐射实验室、北京质子直线加速器、合肥等离子体装置等大型实验装置陆续建成,研究工作活跃,成绩显著,大大缩短了与国际先进水平之间的差距。

概而言之,新中国建立以来,我院物理学和核科学、核技术领域的研究事业已获长足的发展,人才和研究机构快速增加,布局日趋合理,研究手段逐步趋于现代化,研究领域迅速扩充,取得了许多重大的乃至国际先进水平的科技成果。

下面,我们从理论物理、凝聚态物理、基础光学、原子分子物理、波谱学、声学、原子核物理、粒子物理、受控热核反应与高温等离子体物理、核技术及其应用等10个方面,简介我院40年来研究工作的发展概况和主要成就。

理论物理研究

1949年以前,中国只有少数理论物理工作者,其中一部分人曾在外国有过出色的贡献。但

在当时的社会历史条件下,无法形成国内的研究队伍。新中国成立前后,这些老一辈的理论物理学家陆续回国。在这些前辈的培养和影响下,一批青年骨干成长起来。我院在这方面的研究力量,完全是在新中国成立后,由少数老一辈理论物理学家辛勤培育出来的。

中国科学院在 50 年代的理论物理研究力量主要集中于当时设于北京的近代物理研究所,开展的是对国防建设有直接关系的原子核物理理论以及基本场论和粒子物理理论的研究工作。1956 年我国作为成员国参加位于苏联杜布纳的联合原子核研究所,并选派科技人员到该所工作。在此期间,粒子物理理论研究方面,周光召和国际上同行同时为部份赝矢流守恒定律(PCAC)奠定了基础,为此后流代数、对称性自发破缺和弱作用基本理论的发展起了促进作用。周光召还首先引进了螺旋振幅(Helicity Amplitude),并应用于研究光子、质子和氘核散射的色散关系。50 年代后期,设于北京的近代物理研究所、设于兰州的近代物理研究所和上海原子核研究所逐步发展成为各有侧重的原子能研究所。理论物理中的统计物理和凝聚态理论研究也在这期间开始起步。1959 年起,先后在物理研究所、半导体研究所、金属研究所、福建物质结构研究所、武汉物理研究所、长春物理研究所等单位开展了统计物理、多体问题、固体能谱、超导和磁性理论、半导体、金属、离子晶体、非线性光学晶体等各种材料的理论研究。

1961 年至 1966 年间,彭桓武、邓稼先、周光召、于敏、黄祖洽等一批理论物理工作者转向解决在被封锁情况下的中国国防建设的有关问题,承担了核武器研制和核工业建设的有关理论研究和计算任务,并做出了重要贡献。这一时期,在粒子物理理论研究方面,从 1956 年夏到 1966 年春,朱洪元、胡宁、何祚庥、戴元本等原子能研究所、数学研究所、中国科技大学近代物理系和北京大学物理系的科研人员提出并系统地研究了强子结构的层子模型,取得了重要成绩,与国际上同时开辟了粒子物理理论中强子结构的研究领域。在原子核理论基础研究方面,原子能研究所于敏及其领导的原子核理论研究组对原子核结构的微观理论进行了研究,提出了轻原子核中多粒子关联的相干结构及相干对涨落理论。在统计物理及凝聚态理论方面,开展了对含顺磁介质的超导体、高分子半导体及普通半导体能级结构及输运过程、磁学理论等方面的研究。

“文化大革命”的 10 年使我国理论物理的发展蒙受了重大损失。只是在 1972 年至 1975 年间由于周恩来总理多次指示要加强基础研究的影响和推动以及中国科学院理论物理工作者的努力,才进行了一些工作。

“文化大革命”以后,中国的理论物理研究工作出现了新的局面。新中国建立以来的科学实践,使更多的人认识到了理论物理研究的重要性,中国科学院于 1978 年在北京建立了专门以理论物理为研究方向的理论物理研究所。理论物理工作者积极参与国际交流和竞争,在各个领域努力探索和研究,取得了许多研究成果、学术上呈现出空前活跃的形势。这个时期开展工作的主要领域有:规范场论、弱和电磁相互作用统一理论、量子色动力学及格黑点规范理论、大统一及超大统一理论、引力理论及超引力、量子场论的大范围性质、共形场论、弦及超弦理论、强子结构模型、粲粒子及重味粒子物理、夸克和轻子的复合模型、粒子唯象理论、可积模型和散射理论等数学物理问题,几乎涉及粒子物理理论的全部领域。由于这一阶段的工作多属探索性质,对这些工作的评价,还有待实验及理论工作的进一步开展。这一时期理论研究工作特点,是开辟了新的研究方向:中高能核物理和重离子物理。此外,还在核力的夸克模型理论、多重产生的唯象分析、双 β 衰变、少体问题及高自旋问题等方面开展了研究。在

统计物理和凝聚态理论方面,黄昆等在 50 年代初建立并被许多人加以发展的晶格弛豫和多声子跃迁理论更趋统一和完善,并被成功地用以处理了聚乙烯链中孤子对的产生和极化子问题。此外,在强耦合超导体、相变和临界现象理论、统计模型、闭路格林函数、非平衡统计、磁学理论、准一维离子导体、晶体非线性光学效应的离子集理论、无序、低维和亚微观系统的量子现象和输运问题、非平衡系统中的混沌现象等领域开展了系统的研究。这一时期,还在原子分子物理理论、数学物理及计算物理领域开展了工作。

还有一些工作在本文的相应分支学科中介绍,此处从略。

凝聚态物理研究

1949 年以前,中国凝聚态物理研究的基础十分薄弱。当时只有北平研究院和中央研究院的两个物理研究所在金属与合金的结构分析、力学性质和磁性研究方面开展了少量工作。通过 40 年的努力,中国科学院的凝聚态物理研究有了很大发展。科技人员已达 2000 多人,科研条件大为改善,表面物理、内耗与固体缺陷、磁学、激发态物理等现代化开放实验室陆续建立起来,研究内容已发展到凝聚态物理的各个领域,研究成果丰硕。

建国初期我院最早从事晶体学研究的有陆学善、吴乾章、刘益焕等。从 50 年代开始,就陆续有一批先进水平的研究工作问世。物理研究所研制了精密型德拜-谢乐照相机,通过修正偏心与吸收流移常数的方法,使晶体点阵常数测量的精度达 50 万分之一,属于当时世界先进水平。利用 x 射线粉末衍射研究 Al-Cu-Ni 三元系合金,发现 τ 相存在 8 种以 CsCl 型为基本结构单位,形成 10—17 层不同结构类型的超结构。这一结果被国外收入专著,作为典型例子引用。物理研究所、化学研究所、上海硅酸盐研究所、金属研究所、上海冶金研究所等单位,在金属合金、无机盐体系方面开展了大量 x 射线衍射研究工作,为发展新材料提供了十分有价值的依据。其中一个很好的例子是福建物质结构研究所和物理研究所对紫外倍频新材料偏硼酸钡的研究。依据 x 射线衍射结果,判定具有倍频效应的是偏硼酸钡的低温相,从研究它与其他硼酸盐或氧化物的相图中,确定了生长偏硼酸钡低温相的组分和条件,并获得成功。

在单晶结构分析方面,60 年代末以后的几年中,物理研究所、生物物理研究所和北京大学等单位合作,对胰岛素单晶结构的分析达到 $1.8 \text{ \AA}$ 分辨率。直接法的研究方面,物理研究所提出了将直接法和间接法相结合的原理,建立了一套有效的处理多解问题和超结构的方法,其主要内容被引述于国外出版的直接法专著之中。将直接法用于蛋白质晶体结构分析取得了国际最佳试验结果。

电子显微术和电子衍射的研究方面,钱临照是此领域的开拓者,50 年代初,钱临照等即在物理研究所装备了中国第一台电子显微镜并率先开展金属晶体等电镜观察研究。后来,物理研究所用点阵象技术直接观察了晶体的结构和缺陷,建立了模拟计算技术。该所提出赝弱相位物体近似的象衬理论,并首次从高分辨电子显微镜上观察到轻原子 Li。用会聚束电子衍射方法研究晶体对称和缺陷,提出了实现大角度会聚束电子衍射的新方法。金属所、物理所和北京电镜实验室在准晶研究中有独创性的贡献,郭可信、叶恒强等先后发现 10 次、8 次和 12 次对称的新准晶相,并在一系列合金中找到 20 多种准晶,占世界已知准晶的一半以上。

近年来我国建立了中子散射三轴谱仪和四圆衍射仪,开展了一系列的散射和衍射研究工作。用中子非弹性散射研究晶体的旋声性,观察到在某些旋声晶体中,左旋和右旋的圆偏振声子可能具有不同寿命的现象。

物理研究所建立了实验室扩展 X 射线谱 (EXAFS) 方法, 系统研究了实验因素对 EXAFS 的影响和修正办法, 提出了研究混合相和混合配位态的分析方法, 有的结果被摘引在国外 X 射线谱专著之中。

从 50 年代开始, 物理研究所、半导体研究所、上海硅酸盐研究所、福建物质结构研究所、上海光学精密机械研究所、安徽光学精密机械研究所等单位, 成功地研制了一大批人工晶体, 对我国的电子技术、半导体技术、激光技术等的发展起了重要作用。福建物质结构研究所探索研制成功的偏硼酸钡、三硼酸锂晶体, 具有优异的非线性光学性能, 是国际瞩目的成果。上海硅酸盐研究所用改进的坩埚下降法生长的锆酸铋大单晶, 是重要的闪烁晶体, 质量居国际领先地位。物理研究所研制成功的光析变晶体钛酸钡, 在光位相共轭和光束耦合放大等方面有重要应用。

对 α 磷酸锂晶体的研究, 发现在静电场下, 中子和 X 射线衍射增强并有各向异性、光衍射增强以及介电行为改变等现象。李荫远等对这种准一维离子导体进行了多方面理论研究, 成功地解释了观察到的现象。

物理研究所、上海冶金研究所、中国科技大学等单位, 对硅中缺陷开展了系统的研究。用 X 射线照相方法等弄清了硅中氢致缺陷的本质, 证实在高温下析出压力很高的氢泡使硅单晶产生一系列棱柱型位错, 形成“雪花”状位错环。

内耗研究固体中内部变化的性质, 可提供固体缺陷的组态及其相互作用情况, 葛庭燧等在此领域作出了重要贡献。首先发现了表现反常振幅效应的内峰, 提出了位错弯结气团模型。通过总结铁、铜、铝、镍等金属及镍碳、铝铜和铝镁合金在范性形变过程中的内耗实验, 提出了低频内耗的位错动力学模型。

新中国建立后近代磁学研究在施汝为、潘孝硕的领导下, 结合国民经济和国防建设需要, 获得了迅速发展。物理研究所、上海冶金研究所、金属研究所等对永磁材料、软磁材料、磁记录 and 存储材料、非晶态磁性材料等进行了大量研究工作。

永磁材料研究中, 最为突出的是 Nd-Fe-B 永磁材料。80 年代初, 国际上发现第三代永磁材料不久, 物理研究所王震西等研制成功了成本低、性能良好的 Nd-Fe-B 永磁合金。已大批量生产, 出口到美国、日本和西欧国家。

电子计算机磁存储材料, 首先由物理研究所和计算技术研究所合作研究, Mg-Mn 系矩磁铁氧体显著改善了常温存储磁芯的性能。随后研制了 Li-Mn-R (R 为稀土元素) 系存储磁芯, 可在 -50°C — $+100^{\circ}\text{C}$ 范围正常工作, 在 60 年代的国产计算机上得到广泛应用。

磁光存储材料方面, 物理研究所新发现的锰铋铝硅膜的克尔旋转角高达 2.04° , 这一数值为目前光盘中试用的非晶存储材料的 5 倍, 也比长期来探明的具有最大克尔旋转角的铂铋锑材料大近一倍, 有重要应用前途。

对磁泡的长期研究中, 首先发现了普通硬磁泡畴壁中布洛赫线链在某临界温度下解体 and 消失, 给出了超高密度布洛赫线存储器的工作温度上限, 提出了改善温度稳定性这个重要问题。

物理研究所在微磁学理论研究中推广应用分歧理论微扰法, 求出了 Brown 方程的最小分歧点和相应的分歧解, 得到严格临界尺寸下限的估计和形核场是 Brown 方程的最大分歧点的结论, 并给出了形核场近旁的反磁化行为以及连续和不连续形核的判据。

半导体物理研究方面。近年来,黄昆等研究了多声子复合理论中绝热近似是否失效和无辐射跃迁的绝热近似以及静态耦合理论,澄清了无辐射跃迁理论发展中的一些带根本性的疑难问题,论证了 Condon 近似包含的微扰处理上的错误。证明了在一定范围内,绝热近似和静态耦合理论的完全等价性,对无辐射跃迁几率的计算有指导意义。同时,又把多声子跃迁理论中单频模型推广为多频模型,提出了声子统计分布,从一个新的方面发展了多声子理论。

70 年代初期,国际上表面物理研究兴起。1975 年开始,我院各有关单位相互协作,制造了我国第一台分子束外延设备和多种表面分析装置。物理研究所和半导体研究所利用分子束外延技术,成功地生长了 GaAs/GaAlAs、InGaAs/GaAs、GaAs/Si 等异质结量子阱超晶格材料,并制成高电子迁移率场效应晶体管。

半导体研究所系统地进行了超晶格电子态理论方面的研究工作。发展了计算空穴子带的理论方法,提出了超晶格二维激子四分量旋量的新物理模型和有关理论,创立了正确描述超晶格中弗洛里希相互作用的新微观模型,澄清了超晶格声子谱理论中多年混淆不清的问题。

发光是物体将吸收的能量转化为光辐射的过程,有广泛应用。中国科学院的发光研究在徐叙瑄的领导下始于 50 年代初,先后研制成功日光灯用荧光粉、光致发光材料、彩色发光材料、紫外发光材料和阴极发光材料。长春物理研究所研究了稀土与基质的相互作用,提高了发光效率;又用稀土发光中心提高了国产彩色电视之基色粉的亮度和效率。用电致发光材料做成的光电双控晶体管,与发光单元相配合,制成了有存储功能的显示屏。在 70 年代制作的 26 万象元 800×800 平方毫米的发光屏,已用于军事指挥系统。1984 年制成 2.4×3.0 米² 的电致发光显示屏,成功地用于人民大会堂的会务显示。上海冶金研究所、半导体研究所等单位研制的发光二极管已被应用于光通讯、夜视、测距和电视传递实验,有些已经推广,大批量生产。

长春物理研究所和安徽光学精密机械研究所等单位将发光科学与医学、生物学、化学等有关的前沿课题联系起来开展研究,取得了一些成果。他们利用血卟啉与癌变组织的亲和特性,用荧光分析手段对癌变组织进行定位、治疗和有关药物的研究,已取得可观成果。长春物理研究所以光谱特性为依据进行光合作用的研究,得出了提高光效是固氮和植物能量来源的关键的结果,已应用于我国三江平原的大豆增产,获得明显的经济效益。长春物理研究所利用该所研制的金属有机化学汽相沉积设备(MOCVD)开展薄层材料的研究,获得了高质量的材料,并在具有陡峭界面的 InSe/ZnS 超晶格和 ZnSe/Al₂O₃ 无腔结构中首次分别观察到 P 型和光学非线性。

低温物理揭示物质在低温下的特殊行为、物理机制,超导研究是其重要领域。

物理研究所洪朝生等于 50 年代率先在国内建成氢和氮液化系统,为低温物理实验提供了必要条件。随后,活塞膨胀机型氮液化器研制成功,使液氮得以在我国普及使用。60 年代初,应用绝热去磁方法获得 10mk 的低温。后又制成稀释致冷机,达到 35 mk 温度,扩展了 1K 以下的低温研究和低温高压的研究。

物理研究所在超导体方面进行了长期的研究工作。1986 年,高临界温度超导体取得重大突破。物理研究所赵忠贤等在钡(铋)镧铜氧系统中获得 40K 零电阻超导体,并观察到 70K 的超导迹象,对国内外超导研究有很大推动。1987 年 2 月,又独立地在钇钡铜氧体系中发现了零电阻为 78.2K 的超导样品,这是当时世界上最高的超导临界温度,并首先公布了材料的组成。后来又陆续制成了无稀土铋锶钙铜氧和铈钡钙铜氧超导体,零电阻温度达 120K。同时,

对这些材料的结构、组成、超导电性等进行了系统研究。1989年初,中国科技大学发现了转变温度在 132K 以上的掺铋的铋系超导体,是当时超导体转变温度的最高记录。物理研究所研制的超导薄膜,在液氮温区临界电流密度已达 10^6 A/cm^2 以上。

高压物理研究物质在超高压下的状态、结构、物性及其变化规律。物理研究所、地质研究所、上海硅酸盐研究所等单位,从 60 年代初开始先后建立了高温高压装置,70 年代,又制成 5000 吨级大型高温高压装置,对我国高压物理实验研究的发展起了重要作用。他们利用这些装置,研制成功超硬材料人造金刚石以及立方氮化硼。以后,又掌握了直接由石墨转变为多晶金刚石的技术和烧结的方法。这些都在工业上得到应用。

固体离子学主要研究快离子导体的输运和应用。物理研究所与中国科技大学合作研制成功目前室温下离子电导率最高的快离子导体 $\text{Rb}_4\text{Cu}_6\text{I}_7\text{Cl}_{13}$, 并制成原理型电池。

基础光学研究

激光出现后光学的面貌为之一新,基础光学研究甚为活跃,成为当代科学技术的重要基础之一。我院在这一领域也不断取得许多有意义的成果。

在非线性光学方面,1964 年我院有关单位从理论上分析了介质可以从强激光束中同时吸收两个频率为 ω_0 的光子而产生频率为 $2\omega_0 - \omega_r$ 的散射光束,并在介质中出现能量为 ω_r 的元激发。这就是后来由实验证实的超喇曼散射。1977 年起,开展了一系列有关四波混频的研究并取得成果,包括:液晶的简并四波混频和弛豫过程的研究;瞬态四波混频及光子四波的理论;相位共轭光学的研究;有机染料溶液的相位共轭等。70 年代后期,开始了液晶光学双稳研究,并于 1982 年观察到混沌现象,以后又对从锁频、准周期运动、锁相而走向混沌的规律作了深入的研究。在激光光谱领域,研究了 CO_2 的高分辨率吸收光谱,开展了相干反斯托克斯喇曼及近共振光散射的研究。结合激光同位素分离,成功地研究了铀原子的光电流光谱。激光光声光谱在化学研究上也有了广泛的应用。由于激光光谱领域的 Nd:YAG 激光泵浦染料激光系统,也已研制成功。在光学信息处理方面,提出了利用全息透镜实现一般光学变换的可能性,从理论上给出了所需全息透镜系统的光学设计,并在实验上进行了验证。在非相干光学信息处理、全息术及记录介质的研究方面也有了进展。在量子光学、光场的力学效应及激光冷却原子的研究方面也取得了重要进展。

原子分子物理研究

在物理学的这一古老而重要的分支上,虽然我国的研究基础是薄弱的,但近 10 余年来我院的研究工作日趋活跃。

80 年代以来,利用多通道量子亏损理论提出了计算电子与类锂离子的碰撞激发截面的方法,论述了碰撞与能谱的关系,研究了双电子复合逆过程。对离化原子的 $K\alpha$ 射线组的位移研究证明,这种位移与离化度及原子序数有关,并可估计出各种离化态原子的 $K\alpha$ 射线组位移的数量级。利用自洽场理论计算了 L、M、N 内壳层电子束缚能的变化并说明了稀土元素的“变价现象”。镁蒸汽激发态能量转移过程的实验研究也有相当的进展。

对分子束反应动态学与分子传能的研究是激光化学的一个重要领域,1980 年以来我院取得了一系列的成果。在强红外激光光场作用下,多原子分子的多光子离解问题的研究,从 70 年代开始在理论及实验方面都相当活跃。如 TEA、 CO_2 、激光对 BeI_3 及 SiH_4 的多光子离解研究,弄清了离解机制等。

用激光光谱技术对原子分子结构的研究已普遍开展。用激光磁共振技术在 $6.2\mu\text{m}$ 波段对 NO_2 分子进行定量测定,用黄光谱测量了电子—原子碰撞激发能的转移速率,建立了相应的理论模型等。建立了射频无极放电光电流探测技术,并进行了纯钽泡的射频光电流光谱的测定。

波谱学研究

在微波和射频波谱学研究方面,在王天眷的开拓下有较好的基础。70年代以来利用核磁共振方法研究了粒子波函数相位的变化规律、高价钼化物的合成机理、 KLiSO_4 晶体的相变等。通过对锗酸铋铯等快离子导体的核磁共振谱研究,提供了有关多相导电机理的实验证据。深入开展了固体高分辨核磁共振研究。利用核磁共振研究了有机结构测定、化学反应过程、金属有机化合物和高聚物的结构,并对多核核磁共振和弛豫机理有不同程度的研究。利用 ^1H 、 ^{13}C 和 ^{31}P 的核磁共振研究了胰岛素结构和它的活性,并对核酸及其与组蛋白的相互作用进行了分析。

在电子自旋共振研究方面,测定了溶液中催化剂、 γ 射线辐照后的自由基,一些钼铁硫化合物,钠硼玻璃中的 Fe^{3+} 离子以及氟玻璃、磷玻璃、氟磷玻璃中的过渡金属离子(如 Cr^{3+} 、 Mo^{3+} 、 Co^{2+} 、 Ni^{2+}) ,某些固体发光材料及叶绿素等大分子的顺磁共振谱,从而对它们的结构及性能有了深入的了解。

时间是物理学的基本量,从60年代初开始研制自激型量子时间频率标准,于1972年制成氢原子激射器。60年代后期又开始进行铷气泡型频标及激射型频标的研制,得到了很好的频率稳定性,与国外比较性能是优良的。

1988年成立中国科学院武汉波谱公司、主要生产核磁共振波谱仪,我国波谱仪器的生产走上了一条新路。

声学研究

我院的声学研究30多年来取得了很大成就,为国民经济和国防建设做出了显著成绩。

声学研究所的水声研究是在汪德昭领导下开展的。在中国近海区进行了多次综合及专项水声物理实验,取得了大量数据并总结出规律,在理论上有不少创造性成果。如射线简正波理论、海底三参数模型、海底反射特性与浅海声场关系,远距离混响和小掠角海底散射系数,平滑平均场理论,过滤简正波,射线简正波转换理论,内波与声场起伏、沉积层声遥感与识别、水下声道反转点会聚区、低频海水声吸收、声场数值预报、非线性声学等。研究结果受到国内外重视,“浅海声场”项目获国家自然科学二等奖。声学研究所进行了大量信号处理理论、方法和设备的研究,包括自适应技术、高分辨力谱估计和阵处理、脉冲压缩等。声学研究所还研制了多种水下发射接收换能器,压电陶瓷,复合压电材料,吸声、反声、透声、去耦材料,并发展了换能器和基阵理论。他们研制出的多种先进海洋水声设备,得到使用单位的好评,如浅地层剖面仪、深地层剖面仪、侧扫声呐、渔用声呐、靠岸声呐、定位引导声呐、图象声呐、水下声定位测速系统。水下音响设备在世界发展博览会上获尤里卡金奖。该所首次测量分析了我国珍稀动物白暨豚的声呐信号;海洋研究所录制了海洋鱼类噪声的唱片,分析了江豚的声呐信号,研制了应答释放系统和浅地层剖面仪。南海海洋研究所进行了海底沉积物声学特性的研究。

声学研究所的超声学研究是应崇福领导建立的。在检测超声压电换能器的瞬态研究中提出了新的机理。用光弹法的声场显示装置可直接观察超声在固体中缺陷的衍射并进行了理论

分析。这些工作受到国内外的重视。还对粗晶等特殊材料的探伤做了研究,研制了智能探伤设备。在医学超声方面研制了超声诊断仪和超声导盲器等。声学研究所 60 年代研究了超声空化现象及其物理效应的作用机理。对簧片哨的机理及其应用进行了较长期的研究,应用于油掺水、油煤混合燃料等方面,大量节约燃油,取得了较大经济效果。该所研制的半穿孔结构宽频带夹心压电换能器获国家科技进步二等奖。声学研究所开展了表面波理论、声表面波在沟槽反射栅的散射等理论研究,并研制了一系列高性能的声表面波器件。为了发展高频超声,该所研制了生长铌酸锂等单晶的设备,可直接拉出管状和螺旋状单晶,此为国内首创。他们还建立了可选频的远红外激光器,用以激发高频声子进行热声子实验。

超声研究方面,武汉物理研究所研制了连续波扫描和脉冲波线阵声全息系统,并开展了电子计算机全息快速重建的研究。进行了超声生物效应的研究,并研制出多普勒超声诊断仪、医用超声功率计等设备。此外还对军用、民用的特殊材料、工件内部缺陷探测进行了大量研究工作,研制了微型超声探头。武汉物理研究所和上海有机化学研究所研制了多种压电薄膜换能器。上海有机化学研究所等单位研制了驻极体材料和驻极体传声器,有较大的经济效果。细胞生物研究所进行了液面全息的研究,得到如胎儿和各种材料内部结构的图象。

声学研究所的空气声学研究是马大猷领导开展的。在 1956 年至 1961 年建造的声学实验室是中国第一个完整的空气声学实验室,包括混响室、隔声室、消声室和首创的卦限消声室。1967 年又建成高声强实验室,1985 年建成大面积的半消声室。国际上象这样完备的声场实验基地还少见。在建筑声学方面,除承担和提供咨询大量音质设计工作外,还研究提出了微穿孔板吸声结构,此乃国内外首创;并进行了简正波方向分布、噪声控制、微穿孔板吸声、声源在室内的声功率、脉冲球面波反射等理论研究,开始有源振动噪声控制研究。60 年代中期声学研究所首先在国内开展了环境噪声的工作,对中国各城市噪声控制起了重要作用。对喷注噪声的产生和抑制的系统研究获国家自然科学三等奖。并在湍流噪声的理论和实验研究方面作出了重要贡献。在语言通信研究方面,60 年代初期就完成了汉语语音统计和元音识别系统,并继续对汉语的分析和语言知觉做了大量工作,还进行了普通话的清晰度试验和可懂度理论的研究。汉语高自然度数字声码器的研制成功获国家发明创造二等奖,该所研制的实时语音识别系统在法国“技术与竞争”国际博览会上获大奖。在电声研究方面,研制了标准电容和驻极体电容传声器与 2 千、1 万声瓦气流场声器,并有产品销售到国外,以此为基础建立了航空航天结构声疲劳试验和动物试验,正开展高声强非线性声场研究。在音乐声学方面,对古编钟、磬和一些民族乐器做了声学研究。在大气声学和次声学方面,研制了次声探测系统并建立了次声观测站,对核爆炸、火山爆发、地震、台风和火箭发射等的次声波进行了观测研究。同时还进行了大气中次声波传播的理论和实验研究。

心理研究所和上海生理研究所在听觉接收阈、听力、听觉损伤、耳声阻抗及鼓膜声顺图、噪声对听觉的影响等方面,做了大量有益的研究。

原子核物理研究

40 年来,我院的原子核物理研究由建院初期设于北京的近代物理所发展成为各有侧重的三个综合性核研究所(原子能研究所、兰州近代物理研究所、上海原子核研究所),在核反应、重离子核反应、光核反应、中子物理、裂变物理、核谱学、核数据测量与编评等方面不同程度地进行了比较深入的研究,为我国核工业和核武器研制提供了大量高精度的核数据。在核物理研

究基础上发展起来的核应用技术,在环境科学、材料科学、地质科学、生命科学、原子分子物理及其他科技部门和国民经济的各个领域几乎都有重要应用。

加速器方面,自1955年在赵忠尧指导下建成第一台大气型700KV 静电加速器以来,研制并引进了各类加速器(包括各类静电加速器、电子直线加速器、回旋加速器、高压倍加器、质子直线加速器等)近20台。70年代前后,将原有的几台回旋加速器分别改造成等时性可变能量回旋加速器或重离子加速器,同时上海原子核研究所开始研制一台 $2\times 6\text{MV}$ 的串列静电加速器,原子能研究所引进一台 $2\times 13\text{MV}$ 的串列静电加速器。国家批准兰州近代物理研究所建造一台分离扇型重离子加速器在杨澄中、魏宝文、张恩厚领导下,该加速器已于1988年12月12日建成,并引出碳离子束,它配有8条束线、8个实验终端。上海原子核研究所和原子能研究所的两台串列加速器亦已投入使用。这些成果为核物理研究提供了先进设备。

核反应方面50和60年代着重研究 (p,γ) 、 (p,α) 、 (d,p) 、 (d,t) 、 (d,n) 等轻核反应,为适应核工业发展需要,又开展了中子物理研究,建立了各种中子源及快中子能谱测量方法,系统地研究了氘-Li反应、氘-Be反应、 $n\text{-Be}$ 反应等,为两弹研制提供了系统数据。

为适应核能事业的进一步发展,系统地开展了核数据的编评与测量,建立了中国的核数据库(CENDL-1)。

关于核反应机制的研究、初期侧重轻核反应、裂变参数、中子激发函数、少体问题等方面。改善实验设备后又开展了中间共振、预平衡发射、准自由散射、大角反常散射、三核子转移反应、在束 γ 谱学和核裂变动力学研究。70年代,在重离子反应的Be转移反应、轻系统中深部非弹性机制等方面做出了成绩。

核结构、核谱学的裂变物理方面建立了一系列 β 谱仪、在束 γ 谱仪并开展了研究。

核探测技术是核科学的先行,40年来,根据物理实验需要研制了核乳胶、各种半导体探测器、气体探测器、多丝室、漂移室、发展了毫微秒脉冲技术,在粒子探测器和核电子仪器方面有很大进展。

粒子物理研究

40年来,我国高能物理实验研究主要集中在高能物理研究所及其前身(设于北京的近代物理研究所,后易名为原子能研究所)。1950年开始宇宙线研究,在云南落雪山海拔3180米及3220米处先后建立宇宙线高山实验站。在两个站,建造了三组云室,其中的大云室组是当时世界上规模最大的云室组之一。利用上述设备开展了多方面的宇宙线物理研究工作。1977年开始在西藏甘巴拉山海拔5500米处建立了世界上最高的高山乳胶室,现有规模可与世界上三个著名的乳胶室相比。参加合作的单位国内有5个、国外有6个。1977年高能物理研究所倡议发展高空气球以开展宇宙线天体物理研究,在高能物理所、大气物理所等5个单位协作下,现已建成万立方米级高空科学气球系统,气球最大体积30万 m^3 ,最高升空38km。

1956年我国作为成员国参加位于苏联杜布纳的联合原子核研究所,至1965年间派出百余名科技人员到该所进行加速器及高能物理实验工作,最突出的是王淦昌小组发现了反西格马负超子 $\bar{\Sigma}^-$,此项工作获1982年国家自然科学一等奖。1965年,我国退出了联合研究所。

1956年我国决定建造一台2GeV电子同步加速器以开展高能物理实验,方案几经改变,始终未能实现。1972年张文裕等18名科学家联名给周总理写信,要求建立高能物理实验基地。周总理复信指出:“这件事不能再延迟了”,使我国高能物理的研究走上认真建立研究基地的

道路,加速器方案几经波折,直到1982年通过深入论证,听取国内外同行意见,国家决定建造一台 $2 \times 2.2 \text{ GeV}$ 正负电子对撞机,起名北京正负电子对撞机(简称 BEPC)。建造目的一是开展高能物理实验,二是利用同步辐射开展凝聚态物理、化学、生物、医学、微电子学等方面的研究和应用。同时,希望通过 BEPC 的建成促进我国高技术的发展。

经过4年奋战,先后在叶铭汉、谢家麟、方守贤领导下,1988年10月 BEPC 实现正负电子对撞、北京谱仪测出宇宙线径迹,1989年4月同步辐射光通过一条光束线,1988年底,亮度在能量为 $2 \times 1.6 \text{ GeV}$ 时达到 $2 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$,是这一能量下国际上最高水平。

BEPC 的建成使我国具备了进行高能物理和同步辐射实验的必要手段。中国科技大学负责建造的合肥8亿电子伏特同步辐射加速器,在包忠谋等领导下,于1989年初完成总装,开始提供同步辐射。这些实验手段的建立,使我国有可能在世界这些领域占据一席之地, BEPC 注入器所用的加速管已复制出口美国、巴西。

在粒子探测器和核电子学方面,40年来也有很大发展,北京谱仪是由多种探测器组合而成,它的电子学读出系统有两万多道,都是我国自行设计、制造的。北京谱仪的水平居国际同类型之首,标志着我国粒子探测器和核电子学的先进水平。

受控热核反应与高温等离子体物理研究

核聚变是宇宙星体的主要能源,而受控热核聚变则被认为是最终解决人类能源的主要途径。核聚变只能在上亿度高温的等离子体中进行和产生,加热和控制高温等离子体始终是实现受控核聚变的关键。中国科学院60年代以来在磁约束及惯性约束两方面开展研究工作。

1969年物理研究所建成了10万焦耳级角向收缩装置,较全面地测量了等离子体的各种参数。1974年,物理研究所与电工研究所合作建成了百万焦耳级托克马克 CT-6,并很快调出平衡稳定的等离子体,使我国进入了磁约束核聚变研究领域。1986年物理所与电子学所合作,进行电子回旋共振加热实验研究,并在非共振吸收研究中取得有意义的结果。

1978年建立了专门从事核聚变研究的合肥等离子体物理研究所,当时主要工作是为亿焦耳级托克马克8号装置的设计和建造作准备,尽管由于国民经济调整未能建造,8号装置的基本构思现在看来仍是有意義的,建造了空芯变压器托克马克 HT-6,利用不同螺旋度的弱螺旋场 ($1 = 2/n = 1$, $1 = 3/n = 1$) 作为外界扰动,在 HT-6 上观察托克马克等离子体各种行为的变化,得到以下结果:(1)在低频磁流体扰动不同模式间存在很强耦合,形成整体结构新的模式,这种模式对不同共振面附近小的磁场扰动都很敏感,(2)能量约束过程不仅在中心,而且在等离子体边上都与磁流体扰动强烈耦合,(3)在小装置上,没有很强的加热功率也可以利用弱螺场改善能量约束。1989年又建成近千万焦耳托克马克 HT-6M,这个装置配有多种加热系统。此外,还进行了聚变-裂变混合堆的概念设计工作。

上海光学精密机械研究所于1965年开始激光核聚变研究,1973年建成 10^{10} W 的单路钕玻璃激光系统,辐照平面靶得到 10^3 次中子产额。1976年建成6路总功率达 10^{11} W 的激光系统,辐照厚壁玻璃球壳,得到近100的中心体压缩,并进行大量高强度多束激光加热与压缩实验,又在6路装置上开展激光与等离子体相互作用、激光等离子体X射线发射谱的研究。1987年建成总功率为 10^{13} W 的2路玻璃激光系统,开展了吸收、加热、压缩等方面的实验研究。

20多年来,中国科学院核聚变的研究总的说来是成功的,由于发挥了综合力量,虽然起步晚、经费少、建设和研究仍取得显著成效,初步取得在国际上的发言权,实践证明,只要战略和

方向合适,在中国开展核聚变的研究是可能的。

核技术及其应用研究

核技术应用的面很广,除上海原子核研究所在张家骅等领导下以核技术应用为主要方向外,我院其它与核科学研究有关的研究所也进行一些核技术应用研究,各方面成果综述如下:

1. 辐射物理、辐射化学及工艺方面,较突出的有:系统研究了 DNA 及其组分的辐射损伤机理和辐射保护与敏化效应机理;辐射交联聚乙烯和多种热收缩材料的研究,已投入工业化生产;辐射接枝技术用于聚乙烯-丙烯酸电池隔膜及离子交换膜的批量生产;多种化学和物理剂量计的研究与投入应用;利用粒子加速器对各种电子学元器件及材料进行辐照损伤试验;离子注入技术广泛用于材料(半导体、磁性材料、金属、玻璃等)研究。

2. 用于分析检测的多项核技术手段基本上都已建立,有的已接近国际水平,其中:中子活化(尤其是反应堆中子活化)分析大量应用于地质与环境样品分析;带电粒子活化分析用于半导体材料、高纯材料中痕量元素的测定;粒子激发 X 射线分析用于环境、生物医学、考古等样品的分析;沟道背散射分析用于材料科学;正电子湮没技术已成为多种材料(特别是金属及合金)物理性质的研究手段;穆斯堡尔谱学分析普遍用于钢铁、磁性材料、催化剂等材料的组成、结构分析;扰动角关联方法用于生命科学研究;核径迹分析在固体径迹探测器及其在地质、环境、宇宙线等方面的应用中取得进展。

3. 放射性同位素标记化合物、放射性同位素和放射性药物的研制:建立多种方法,制备了 ^{14}C , ^{35}S , ^{32}P , ^{131}I , ^3H 等核素标记的属于甾体激素类、氨基酸类、核苷酸类、糖类、中草药、农药等的标记化合物,质量指标接近或达到国外同类产品水平,生产了一批生物医学或分析应用急需的缺中子同位素,主要有 ^{24}Na , ^{67}Ga , ^{111}In , ^{42}K , ^{74}As , ^{57}Co , ^{109}Cd , ^{22}Na 等,结束了以前此类核素全部依赖进口的局面。用反应堆、特别是加速器生产了多种放射性药物。

4. 核能技术:在核燃料基础研究方面,除在 60 年代开展铀、镭、钋、氢的化学和提取工艺研究外,还进行了铀-钚循环中所用萃取剂、从核燃料废水中分离裂变稀土元素等研究,以及对钍-铀 233 循环体系的研究,还配合国产核电站的建设,建立了铀水栅临界实验装置并进行了多项物理与工艺试验。

5. 还研制了各类小加速器、 ^{60}Co 辐照装置及多种射线应用仪器仪表。

40 年来,我院物理学、核科学与核技术领域研究事业,已获得长足的发展,取得了许多重大的乃至国际先进水平的科技成果,并为我国的经济建设做出了重要贡献。在 21 世纪即将来临的今天,我院物理学、核科学与核技术领域的科技工作者,在以往取得的巨大科学成就的基础上,在改革开放总方针的指引下,正满怀信心地攀登新的科学高峰,加速缩小与国际先进水平之间的差距,为取得更大的科学成就,为进一步支援国家的现代化建设,继续阔步前进。