

凝 聚 态 物 理

王 鼎 盛

夏 建 白

(中国科学院物理研究所)

(中国科学院半导体研究所)

一 凝聚态物理的对象和意义

凝聚态物理研究固体、液体、液晶、玻璃态和其他非晶态物质的性质,包括力学、热学、声学、光学、电学、磁学等性质。所研究的对象按照性质分类可以是金属、半导体、超导体、电介质、磁性物质等。凝聚态物理是固体物理向前发展把液体等包括进来的结果,它并不是简单地对这许多物质的各种性质的研究的总和,而是把物理学的基本原理(量子力学、统计力学等)应用到由大量的(10^{23})原子、分子以相当强的作用($\sim 0.1-10\text{eV}/\text{原子}$)结合而成的凝聚态物质。实验上也通过宏观现象和各种微观分析工具去研究组成这些物质的原子、分子的微观结构、运动状态及其相互作用,使人们对这许多物质的各种不同性质达到相当统一的、也是十分深刻的认识。凝聚态物理是物理学中内容最丰富,应用最广泛的一门分支学科。

二十世纪前,人们对凝聚态物质的研究只限于宏观性质的经验规律。本世纪初时,认识了原子结构,发现了X光衍射,尤其是建立了量子力学的原理,人们迅速地用这些实验和理论的工具,发展和建立了关于凝聚态物质的越来越完整的、定量的、深刻的认识。理论研究愈益深入,它对实践的指导作用就更加突出。早在1911年就发现的超导现象,1957年才正确地认识到它的原因在于电声子相互作用。根据这个认识,Josephson预言了(1962年)超导隧道结的反常性质。这个性质很快为实验证明,并已经得到广泛的应用。许多固体的电子结构已经可以相当准确地从物理基本原理直接加以计算。这些计算很好地说明了固体的结合、弹性、结构等性质,并已经用来解释声子谱、表面性质、杂质和缺陷的作用等问题。这些知识对于固态电子器件、固态激光器和许多其他固态材料都是十分必要的。以致在现代的材料科学研究中,用计算机化的理论方法预言材料的性质已经开始成为一个很重要的工具。

过去的四十多年间,凝聚态物理(主要是固体物理)取得了巨大的成就,包括建立从电子态和元激发出发揭示物质各种现象和性质的理论方法和从各种空间、能量和时间尺度去研究和认识物理现象的实验手段,以及由此而导致的一系列材料和器件的发展。从某种意义上说,这是一门已经相当成熟的学科,但是即使从基础物理研究的意义上看,它也还是处在不断的发展中,有着广泛的研究前沿。这一方面表现在人们用已有的凝聚态物理的概念和方法,去研究更复杂的对象或开发更新的对象。例如,近年来有机固体、高分子材料、乃至生物大分子构成的生物膜等都正成为愈来愈多的凝聚态物理学研究的主题。同时还发展了“原子级加工”的新技术,可以把不同物质的原子层按照一定的规格排列起来,创造出自然界所没有的新材料,这类超晶格(或称调制结构)材料表现出许多新的性质。另一方面也是因为在新的(往往是极端的)

* 我们在1983—1984年参加了彭桓武同志负责的物理专题组,为制订中国科学院1986—2000年规划,就我院的物理研究工作的状况与前途编写一份专题研究报告。这里发表的文章,是根据我们为报告所写的一份专题材料删节而成。这份专题材料经专题组全体同志和谢希德、冯端、徐叔瑭、管维炎、李荫远等同志审阅,特此表示感谢。——作者

条件下物质表现出新的物理现象和性质。超导和超流现象的发现,开辟了宏观量子现象的研究。高压、强场等也仍然是人们追求的领域。第三是因为不断更新的探测方法,使人们可以更准确地认识已知的现象和揭示新的现象。例如高真空技术和各种表面分析和电子谱技术的发展,把对表面和界面的研究提高到新的阶段。如果从基本物理原理的角度去看凝聚态物质,对这样由大量电子和核组成的多体系统,人们还没有找到足以令人十分满意的理论方法,这不但使许多纯粹理论物理学家仍然活跃在凝聚态物理的研究中,同时也正是在这个相当成熟的领域里仍然不断出现崭新的物理现象,吸引人们不停地探索和研究。

凝聚态物理研究发现的新的物理现象和效应为各种材料和器件奠定了基础,甚至开拓出新的技术和工业,导致了重要的技术革新和突破。在短短的二、三十年里,对社会生产和人类生活的各个方面都有广泛和深刻的影响。半导体晶体管的发明(1948年)就是一个典型的例子。这个发明给半导体技术的大发展奠定了基础,形成了新的固体电子技术。现在的大规模和超大规模集成技术(10^5 元件/ cm^2)把固体电子技术提到了崭新的高度,制造出体积小、速度快、价格低、可靠性高的计算机和其它固体器件,其意义并不亚于晶体管的发明。由于晶体光谱和晶体发光现象的研究,五十年代出现了红宝石激光器,为光电子学的发展开拓了一个新的技术领域。当然象这样的重大技术领域的开辟和形成,除了物理学的发现之外,还要求有其他学科的相应进展和工业技术为之提供充分的基础,往往因此要经过数十年的努力和积累。象在本世纪初就发现的超导现象,它的技术应用目前主要还限于在实验室里产生强磁场,但是人们已经在努力研究把它用到选矿、发电、输电、磁悬浮运输等工业技术上。

凝聚态物理研究,如果以投入这个领域的人力物力计算,往往是集中在与现有工业技术有关材料、器件等的提高和改进上。虽然凝聚态物理研究总的规模大,但每个课题要求的人力物力并不多,取得研究成果及产生经济效益的周期较短。例如与固体电子器件有关的晶体生长、杂质或缺陷对晶体性质影响的研究,关于光学晶体的研究,关于磁化机制的研究与稀土——过渡合金永磁体的发明等等。对于相当一部分工作已很难明确地划分究竟是属于物理学还是材料科学,是基础研究还是应用研究。以物理研究中各分支学科相比较,统计表明凝聚态物理是最受重视的一个分支(据估计约占《物理文摘》(Physics Abstracts)集录论文数的40%),其原因与凝聚态物理研究在技术上的作用有直接关系。表1所列为美国1970年用于物理基础研究的经费,不难看出凝聚态物理占据的地位(32%)和支持主要来源于工业部门这一背景。

表1 美国用于凝聚态物理研究的经费(1970年,单位百万美元)

领 域	政府支持	工业支持	总 计
凝聚态物理	56	80	136
全部物理学	269	155	424

(资料来源: "Physics in Perspective")

凝聚态物理与物理学的其它分支以及诸如材料科学、化学、生物乃至天文学等都有密切关系。与声学(传播与吸收,以至特高频超声与声子等)和光学(晶体光谱等等)有许多交叉的地方,与核物理和粒子物理(场论与多体理论)有许多联系,核物理方法(中子衍射、核磁共振, Mossbauer 效应, 离子束技术等)已经成为固体物理研究中不可缺少的工具。由于凝聚态物理能够从微观上深入研究原子分子间的相互作用,并由此认识其宏观性质,虽然它研究的对象通常比较单纯,例如完整的单晶体或只有简单杂质或缺陷的晶体,但它的概念和结果可以有助于

研究更复杂的对象,例如材料科学中的复合多相材料和陶瓷,化学中的吸附和高分子,生物学中的生物膜等。这些学科和分支之间的联系是越来越密切了,这种联系促进了彼此的发展,也促成新学科的诞生。

二 凝聚态物理的进展

(一) 实验研究技术的进展

材料(样品)制备技术在凝聚态物理研究中占有重要地位。单晶体生长已经是相当成熟的技术,对半导体、光学晶体等研究和技术应用起了重要作用。在晶体生长过程中,对晶核形成,传热传质机理,缺陷(位错)的作用和控制等有了较好的理论认识。新的技术,如象多元化合物单晶的生长,液相外延, MOCVD (金属有机化合物化学沉积), 离子束混合物, 分子束外延 (MBE) 等对于凝聚态物理研究和材料科学和技术都有着重要意义。用 MBE 制备的人工“超晶格”材料是最受人注意的研究对象之一。我院在晶体生长上基础较好,但对上述新技术刚开始进行工作。

结构研究(原子排列或显微结构)是凝聚态物理的基本实验手段。X 光衍射是最基本的最常用的方法,当前的发展是从事复杂的矿物晶体、有机(大)分子晶体、生命物质(核酸、蛋白质)晶体的结构分析。

物性测量在凝聚态物理研究中是传统的重要方面。这种测量在普通条件下并不困难,从原理上看可能只是大学普通物理实验课程的内容。但是作为一个科学研究的实验室,在现代的研究课题中必须要求足够的精度和配备宽广的研究条件,例如温度范围、高压条件、强磁场、强光源等。瞬变过程的研究对于物理学具有重要意义,电子学使时间分辨本领达到微秒以至毫微秒量级,而最新的激光技术使凝聚态物理的研究不难作到微微秒量级或更短(最近已获得 3×10^{-14} 秒的光脉冲)。

从五十年代以来,以许多波谱技术(共振技术)、电子谱技术和激光光谱技术为主,形成了凝聚态物理中研究微观(电子和各种元激发)运动的主要手段。应该说只有这样深入到电子和元激发层次的研究,才使凝聚态物理能够形成一门统一的学科,并以它的概念、思想和方法影响到其它学科。

在凝聚态物理的实验研究中,绝大部分还是在小型(价值不超过数万元)和中型(数十万元)设备上进行。不过近年来,一些巨型设备也开始用于凝聚态物理研究,而且获得了巨大的成功。几个突出的例子是;同步辐射加速器,它提供强度高、单色性好、波长可调的X光源;高通量中子堆用于中子衍射;超高压高分辨率电子显微镜和超强磁场设备等。此外在实验控制和数据采集与处理中,计算机的使用已经在凝聚态物理研究中普及,这不但大大提高了工作效率,而且使许多实验研究从不可能变成了可能,例如在精密控制的条件下生长高质量晶体等等。

(二) 理论认识的进展

关于凝聚态物质的理论认识大致可以概括为基态性质,元激发及其运动规律、缺陷及其影响和相变这样四个项目。

在六十年代初,F. Seitz 说过,要根据固体物理的基本理论直接计算出材料物性是二十一世纪的事情。但是由于理论方法和计算技术的进展,现在已经可以对纯元素晶体的结构、弹性,声子谱、磁矩、相变等给出很好的结果。在磁有序结构问题上,除了熟知的局域磁矩通过交

换作用引起有序排列之外,1960年以来,关于巡游电子的磁性问题用自旋密度涨落的理论获得了显著的进展。在宏观量子现象的研究中,七十年代初发现了极低温下 ^3He 超流态,大大地丰富了人们的认识。这些基态的性质,以及其他可能的状态(如 Wigner 点阵、自旋密度波、电荷密度波等等)的性质,它们是否可能共存和它们之间相互转变的问题,还一直是许多固体物理研究的重要课题。

凝聚态物理从本质上讲是一个多体问题,迄今为止,处理它的最有效的工具就是元激发(准粒子或集体激发)。凝聚态物理的相当大一部分内容就是这些元激发的性质和相互作用。现代的实验方法已经可以相当准确地测定许多元激发谱(或称能谱)。高密度的激发使得元激发之间的相互作用剧增,导致了各种复杂的状态和性质。此外超短光脉冲(微微秒技术)的应用使元激发弛豫机制的研究开辟了新的领域。孤子的研究是近年来非线性数学与物理结合的产物,这类新的元激发的研究对凝聚态物理必将有重要的影响。

关于缺陷(包括杂质、位错等)的性质和作用的研究是凝聚态物理研究的重要方面。尤其是在凝聚态物理与材料科学发生联系,或者用于任何实际的物质系统时,这部分内容的重要性是不言而喻的。1977年 Toulouse 等提出了缺陷分类的拓扑学理论,不但对晶体缺陷给予统一分类,同时还预测了复杂有序介质(如液晶, ^3He 超流体等)中的缺陷类型。在半导体物理中掺杂一直是很重要的问题,目前关于深能级杂质的性质和高掺杂半导体中的电子行为仍然是大量研究的对象。位错理论对于晶体强度等提供了很好的理论解释,当前研究的工作之一是希望把这类理论进一步深入到电子(键结合)和元激发的层次。在许多涉及真实材料的应用研究中,缺陷问题是最丰富、最重要的部分。

与凝聚态物质的结构、状态等问题密切有关的是相变和相变动力学问题。从热力学规律唯象地研究已有很长历史。近二十年来在连续相变领域中取得了巨大的突破, K. G. Wilson 等利用重正化群方法成功地处理了临界现象。不过对于一阶相变研究迄今尚无实质性进展。关于位移型的结构相变,六十年代之前已经全面地建立了软模理论,把这类结构相变与晶格振动联系起来,包括强烈涨落现象和输运过程的相变及其动力学研究估计会是今后的一个活跃领域。

凝聚态物理的各种概念和方法(不但实验方法,还包括理论方法)深化发展的一个重要方面是对于一些复杂系统应用。电子结构和元激发的研究被应用到分子的量子化学和反应动力学,高分子材料的结构与电磁性质,也被应用到生命物质中的能量传递和转化过程以及酶的作用机理。几个近于传统物理,但已经比三维晶态固体复杂的对象是表面现象、低维(一维或二维)系统和非晶态固体等。关于这几项研究下面还会仔细叙述。

六十年代以来,和物理学的其他分支学科一样,在凝聚态物理研究中计算物理方法用得越来越多,作用也越来越大,值得特别注意。其中一类研究是关于真实或接近真实的系统的电子能带(能级)结构计算,无论在半导体、金属或表面物理等研究中都给出大量很有意义的结果。另一类是从原子间相互作用的模型出发去模拟系统的结构、分布的统计和动力学性质。

(三) 近年研究工作比较活跃的几个课题

半导体物理的发展已经经历了一段较长的时间。确实,半导体物理的一些基本原理已经建立起来了。但是,由于半导体是一种具有重大应用价值的材料,半导体物理的发展具有来自科学发展本身和技术进步要求的两重动力,技术的发展给半导体物理提出了一系列新的课题,例如低维系统、无序系统、强非线性效应等等。技术上的突破,例如:分子束外延,高分辨力的

掩膜技术,超短脉冲能谱技术等都为进行最基本、最精细的实验提供了可能性。因此半导体物理目前仍处于非常具有生命力的时期。关于异质结,超晶格和量子霍尔效应的研究和发展是目前最引人注意的。由于分子束外延技术的发展,使得可能有控制地生长几个原子层或几十个原子层,从而制造出周期可以人为控制的超晶格半导体,作成有效能隙和载流子浓度等可以随意改变的材料。在垂直于材料表面的方向上出现了量子效应,预计利用这些效应可以制成各种高效能的光电器件。

量子霍尔效应是在 MOSFET (金属—氧化物—半导体场效应晶体管)中观察到的一种量子效应,这效应可被利用来精确测量精细结构常数和作为电阻标准。

半导体中的杂质能级对半导体器件的性能有着最直接和最重要的影响,对半导体中浅杂质能级的行为已经了解得比较清楚,但是对深杂质能级的认识才刚刚开始。

非晶态和无序系统物理自从七十年代开始取得了爆炸性的发展,丰富的物理现象吸引了许多理论和实验物理学家,作为材料或器件应用的潜力吸引着许多材料科学家和工业发展研究。重点研究的材料包括急冷技术形成的金属玻璃,无定型半导体或玻璃半导体,以及无序的磁(自旋)系统。引起广泛研究的课题是多方面的;例如结构的决定与描写对于拓扑无序的材料是个很复杂的问题;结构弛豫以及它对性能的影响;无序对于相变(玻璃相变、磁转变、超导出现以及渗流转变)的影响;由无序引起的元激发的局域化,例如对于半导体迁移率边和带隙的影响,或对于振动模式与电子态的影响;以及无序系统中低频激发模的多样性与不稳定性研究等等。所有这些问题都多少超出了传统的固体物理的范围,可以预料这方面的研究还会继续迅速发展。其中的部分材料,为非晶态软磁材料和非晶态半导体太阳能转换材料是最有应用前景的对象。另一类是亚稳态材料,严格地讲它不属于非晶态和无序系统,但某些情况下很相象,在超导材料和硬磁性材料研究中有重要地位。

表面与界面物理是六十年代末和七十年代初以来兴起的另一领域。超高空技术(压力小于 10^{-10} 毫米汞柱)为清洁表面制备和可重复地研究物理现象提供了基础,关于表面结构的分析,无论从实验上(俄歇谱和低能电子衍射)还是理论上都已经比较成熟,简单的结构变化(弛豫和再构,吸附等),已经可以较好地决定,但对复杂的结构实际上还很困难,如著名的 Si 表面 7×7 再构至今还未弄清。各种光谱和电子谱技术,以及理论计算的密切配合对于表面电子态的研究提供了有力的手段。

新型材料的物理研究一直是凝聚态物理的一个重要部分。由于材料科学和化学的发展,最近几年出现了一些新型材料,这些材料不仅具有广阔的应用前景,而且揭示了一些新的物理现象,例如:层状化合物;石墨夹层化合物,有机半导体;有机导体和超导体;利用高压下非晶合金的结构变态,合成 A15 型结构的 Nb_3Si ; 高压下超导性的变化以及超导和铁磁性的互相影响等也是重要的研究题目。

三 我院的凝聚态物理研究

我院的凝聚态物理研究有较长历史,如晶体学、磁学、发光学等方面的研究可以回溯到中国科学院的前身——原中央研究院和北平研究院时期。近三十年来,无论就涉及的领域,拥有的力量和取得的成果上都有了很大的发展。研究工作分布在好几个学部所属的研究所中。从工作性质上看,数理学部所属的研究所比较侧重基础研究和应用研究,其他学部(技术科学部、

化学部等)以材料科学有关的应用研究和开发工作为主。

数理学部所属的研究单位中有三个单位主要从事凝聚态物理研究,它们是长春物理所(发光学研究),合肥固体物理所(固体力学性质研究),和北京物理所。其他研究所也有一些研究室(组)从事这一领域的工作,如低温技术实验中心,武汉物理所,新疆物理所等。从事凝聚态物理研究的研究人员总数(1982 年)约为 700 人左右,高级研究人员大约 70 人,研究经费大约为七百万元/年。对于全国在凝聚态物理研究上的总规模,没有准确的统计,粗略的估计是上述数字的一倍左右。与美国相比,这样一支队伍的人数是很少的。按 1970 年资料,美国从事凝聚态物理的总人数为 7,000 多人,其中拥有博士学位的达 4,000 人。至于经费上的对比则差距更大,美国在 1970 年用于凝聚态物理研究的经费已经达到一亿三千六百万美元。数理学部重点支持的凝聚态物理研究项目,主要是集中在中期有较重要应用价值的材料基础上。而且由于当前获得的人力物力支持的限制,进行的研究项目只集中在少数几项上,在整个凝聚态物理研究中只占一些个别点。如果再分析一下各个项目的工作面(研究工作的系统性)和历年发表论文所反映的创造能力,以及所拥有的人力物力条件,应该说能够起到的主要作用仍然是在监视这些可能的新技术的发展,以便在时机成熟的时候尽早引进,加以利用。在发展新技术的研究过程中争取领先,这固然是所有研究人员的愿望,在部分项目中也可能做到,但还不是设立研究项目的主要目的。真正以这个标准全面衡量这些项目的成败,也还只能是将来努力的目标。

从数理学部所属研究所的有关成果看,这些研究仍然主要集中在晶体学、磁学和发光学等方面,低温、高压等学科自五十年代末期开始建立,成果主要在技术设备方面。从研究的对象分类看,大部分研究以材料的工艺和性能为主(约占 50% 左右),然后是元器件的研制(约占 15%),这些材料大都是工业技术中的重要材料,例如水晶、激光晶体、压电晶体等等,它们的制成或任何一项成果所导致的性能改进都可能产生不小的经济效益。但是也应该看到这些材料研究几乎全部是根据国外已有的成熟的材料系列进行的,并不是通过我们的研究创造出来的新材料。部分成果属于设备技术一类(约占 27%),其中的一半左右是当时国内不能得到的物理实验本身所需的装置,也有一部分是技术推广性质的成果。在一些比较新的领域,这种现象更加突出,例如低温研究中首先是低温实验技术的研究和推广,然后才能反过来保证低温物理研究的发展。按成果数量而论基础研究不到 8%。这是因为这部分研究的成绩主要通过人才培养和论文发表,而不是通过材料设备等实物的鉴定会反映出来。

考察我国的主要杂志,可以得到一些基础研究方面的印象,凝聚态物理的研究论文主要出现在中国物理学会主办的全国性综合物理杂志《物理学报》上。除此之外,在《半导体学报》、《低温物理学报》等刊物上也可以看到。表 2 大体上反映出凝聚态物理研究论文占总数的 58%,而实验研究中的凝聚态物理论文数达 75%,占有显然重要的地位。凝聚态物理研究中的实验性研究在论文数量上超过理论研究。这个趋势在科学院各所提供的研究论文中更加明

表 2 《物理学报》1982 年研究论文统计(单位:篇)

项 目	凝聚态物理 (括弧中作者属科学院)	其他物理	总 计
理论	29(18)	38	67
实验	40(29)	13	53
总计	69(47)	51	120

显,这是因为科学院的研究单位能够较好地提供现代实验研究所需的人力组织和技术支持。

自1977年制订1978—1985年物理学发展规划以来,在“初步建立一支从事凝聚态物理基础理论研究队伍,提高技术人员的研究水平,建设一批现代化的凝聚态物理实验室”方面我院确已取得了一定成绩,在当时制订的五个重点研究项目上尤为明显;在表面物理研究方面,在III—V族化合物半导体氧化膜界面,贮氢材料的表面物化过程,表面结构与电子态理论等方面均已展开工作,掌握了UPS,XPS等电子谱研究技术;在能谱与激发态研究方面,激光光谱,拉曼光谱等也已经在我院几个所建立起来,包括微微秒级瞬态激发的研究技术以及理论方面关于声子跃迁过程,辐射与固体的作用,电子态理论计算等已经有了显著的发展;在结构与相变研究方面,我院在结构分析、相图测定等方面有了自己的积累,对物理研究和材料探索已经开始发挥推动作用;非晶态物理的研究,无论在半导体非晶材料中,如关于卤族原子对带边和光学性质影响的研究,还是非晶磁性材料中关于稀土化合物的研究,均有一定的规模;高临界温度超导材料探索也是当时拟订的重点研究项目之一,从参数上看作作出了与国际最高水平(23.2K)相当的 Nb_3Ge 材料,更重要的是还促进了超导材料性能,亚稳态物理研究等方面的进展。半导体物理的基础研究这几年在我院有较大的进展,包括用光谱技术作的深能级杂质研究,硅中氧施主,硅的氢致缺陷和红外窄禁带半导体研究等。

当然这些方面的生长也是刚开始,规模还很小。经过努力,我院可能在(也已经有)少数问题上作出出色的成绩,而且应该作出这样的成绩。但是在整个凝聚态物理这样广阔的学科范围中,把我们的水平从在不多的重点上进行,以引进先进科技成果为主的研究,提高到全面处于科学研究的前沿,为探索自然规律,创造和发现先进的科学技术作出重要的贡献,还需要投入更强的力量和进行持久的努力。

四 对于发展我院凝聚态物理研究的建议

鉴于凝聚态物理研究在新的工业革命和技术进步中的巨大作用,对于材料、信息和能源的研究和应用的重大影响,尤其是我国还处在经济技术比较薄弱而又急待发展的情况,我们认为我院应把凝聚态物理研究作为重点基础研究安排。从现有的人力物力看,通过适当的调整使我院的凝聚态物理研究力量在现在的水平上增加一倍左右是完全可能的。今后随着科学事业的发展,这一领域的工作,至今在一段相当长的时间内在我院还应该进一步加强。

(一) 研究项目的选择

基础研究项目应该注意的主要是两类,一类是学术上比较新,预计其成果会产生重要影响的项目(如半导体晶格,表面电子性质,强光与物质相互作用等),另一类是那些虽然已经有了比较长期的应用和开发研究的历史,其他部门也有了相当的力量,但科学院还应该注意向基础研究方向发展的项目(如晶体生长、过渡和稀土合金与化合物性质等)。

应用研究项目应能提供比较广泛和系统的可供材料和器件设计参考的规律性知识,而不要局限于个别材料或器件的开发上。因为国内其它部门也在这些项目的开发研究上工作,并已经有了相当好的基础。

开发研究只限于我院基础较好,经济价值很大的项目。即使如此也应该从组织管理上作好安排,解决与生产部门的联系。

凝聚态理论在我院的物理研究中是一个相对薄弱的环节,应该注意加强。一部分工作与

上述各研究项目有比较密切的关系,尤其是其中的基础研究项目,应该有足够的理论研究力量支持。另一些理论工作,尤其是一些比较新的,或者理论研究独立性较强的课题,也应该重视,例如当前比较活跃的低维现象、相变或电子结构的理论研究、晶格动力学等。从一些成功的研究所看,在高级研究人员中应有 10%—20% 的人从事理论研究。这对于协调地发展是必须的。我院的研究单位中,过去一、二十年来由于各种更迭,凝聚态理论研究队伍十分不能满足提高研究水平这一要求,应该稳步地加强。

还包括有一部分是属于建立、掌握和发展凝聚态物理研究方法的项目,例如中子衍射、结构分析等。由于它们是凝聚态研究的基础,又可能需要比较大型的设备,或者与大型的设备相联系,必须由全院统一安排。

(二) 实验室建设

在凝聚态物理研究中,绝大部分人经常使用仍然是一些相当常规的中小型设备,例如 X 光分析和物性测量装置。当然一些大型的设备、很极端的条件等等对于许多问题的研究也具有决定性的意义,不可忽视。从我院当前的情况来看,缺乏后一类条件。由于这类项目耗资巨大或必须依附于一个大型装置,建议作为全国性实验室建立。

另一类实验室建设已经比较受到各单位重视,即国外已经比较成熟,而国内尚属空白或开始阶段的项目,如分子束外延、光射线技术、表面分析结构、X 光扩展吸收边精细机构(EXAFS)、微微秒光谱、光电子谱等等。这些技术在凝聚态物理研究中的作用和前途已经肯定无疑,国外也基本上有了比较定型的成套设备可供选购,价格大体上也在百万元左右,是应该而且可以引进的。我们建议在今后十年或更长的时间里,建成一批这类实验室。投资的先后按该学科是否有足够的研究技术领导力量可以发挥其作用而定。事实证明培养这样的人的时间通常比设备选购所花的时间更长,另一个应该注意的问题是这一类设备比起我院的投资能力也不算很小,同样的实验室是否需要建立两个以上应该根据其使用的频度和效果仔细衡量。

还应该充分重视另一类凝聚态物理研究实验室建设问题,即对于一些常规的,甚至是经典的实验研究手段的更新和发展,使之适应现代研究工作的需要。例如即使在我国低温条件最好的北京物理研究所,除了专门从事低温物理和超导研究的室可以大约每周进行一至二次液氮实验之外,其他实验室很少具备低温实验条件。又如在最经典的磁性测量等项目上,过去往往只建立了针对个别材料的物性测试,缺乏对于各种材料的基本性能进行全面研究的设备,更难以谈到温度范围或者比较强的磁场等条件。在北京以外的地区,这种情况就更严重一些,例如许多地方都还不具备生产液氮的条件(这不但影响凝聚态物理,也影响其他学科)。这种情况是与研究工作的需要根本不能适应的,使实验设备只限于作一些实用性能的估计,而根本无法进行比较系统的深入的应用研究,更不用说是在基础研究上有所发现了。这类设备属于很基础的工具,使用频度很高,有关的每个所都应该分别配置,甚至不限于物理研究所,如其他材料研究所等都可能需要,因此需要的套数较多。其中绝大部分,我院已经具备了基本生产条件,我们建议组织力量,除关键部分依靠进口或国际合作外,以自己的力量为主实现这类实验室的更新和发展。如果能够每年投资一、二百万元,在十年或更多一点的时间里,就可使数十个这类实验室得到补充和更新,比较全面地达到目前国外这类实验中比较先进的水平,包括测试项目的配套的程度、研究条件的范围,工作效率的技术保证(如计算机或自动控制的水平)等。

(三) 科技队伍

目前我院从事凝聚态物理研究的科技人员总数约 700 人,其中高级研究人员约 70 人,进行着大约 100 个课题的研究。当前的主要任务之一是提高这支队伍的水平,培养下一代的人材充实这支队伍。我们建议平均每年应吸引和安排 25—30 名物理学博士和 10—15 名其他有关学科的博士或硕士到我院凝聚态物理研究单位。这个数目是指扣除了退休和相互交流之后净增长数。使 2,000 年我院的凝聚态物理研究队伍中博士学位的人员增至 800 人左右,其中给予高级研究技术职位的人达到 250 人左右,领导约 300 个课题的研究工作。到 2000 年时,凝聚态物理的研究队伍将保持在占全部物理学的 25—30% 左右(见表 3)。

凝聚态物理研究队伍增加的约 1,000 人中,大部分应该由新建的研究所安排到新的研究方向上。另一部分将用于加强已有的研究所和在其他偏重技术科学的研究所内充实或建相应的材料物理研究室,例如半导体所、上海技术物理所、上海冶金所等。

表 3 对我院凝聚态物理研究科技队伍的估计(单位:人)

年代及分类统计 人员	1985 年		2000 年		平均年增长	
	全部物理	凝聚态	全部物理	凝聚态	全部物理	凝聚态
科技人员	4,266	~700	~6,500	1700	170	60
博士(物理+其他学科)			1,800	800	70	30
高级研究与技术人员	250	70	820	250	30	10