

# 反应堆上的热中子散射研究展望

赵志祥

新中国的核物理研究几乎从一张白纸起步,经历了几代科学家近半个世纪的奋斗,才发展成今天的规模和水平.在这一发展历程中,“一堆一器”的建成是一个里程碑事件.1958年在原子能研究所建成的重水反应堆和回旋加速器以及以后陆续建成的各类研究性反应堆及加速器(特别是13MV串列式静电加速器)为中国核物理事业的发展 and 辉煌创造了基本的条件.

展望21世纪,世界将进入知识经济的时代,作为国家创新体系的一个组成部分,中国的核物理研究将进入一个新的发展时期,核物理工作者将面临着与40年前不同的任务.40年前老的“一堆一器”为解决核武器研制及核电站的发展提供了技术条件,应该说当时的研究目标“科学上已经解决了,实际上已经存在”.今天的任务应该是创造新的技术条件,使我们能够与世界科技创新的潮流处于同步或准同步发展的地位,以适应下一世纪初国民经济发展的需要和新的国际环境下国际事业发展的需要,并在某些领域去争占世界前列地位.为此,中国原子能科学研究院提出了建设新的“一堆一器”,即建设中国先进研究堆(CARR)和北京串列加速器升级工程(串列升级工程)的设想.

CARR堆建成后,将开展相关的中子物理研究以及中子参数测定、中子活化分析、中子照相、核泵浦激光等方面的研究工作.

## 一、中子散射技术的特点及重要性

热中子散射技术奠基于50年代,近年来在工业发达国家受到了极大的重视并得到迅速的发展,1994年的诺贝尔物理奖授予了为开拓中子散射技术做出了重要贡献的两位科学家——美国的Shull教授和加拿大的Brockhouse教授,标志着中子散射的重要性已经得到国际学术界

的公认.展望下一世纪,人类将进入分子、原子尺度工程技术的时代,作为迎接这一时代的技术手段,中子散射技术可以在国内迫切要求解决各类科技项目中占有高达40%~50%的覆盖面,理应受到重视.

中子散射技术与同步辐射技术是互补的,二者的配合是衡量一个国家科技综合实力的重要标志之一.与X射线技术及同步辐射技术相比,中子散射技术的主要优点是:

中子具有同位素识别力,可以轻易辨认氢、碳、氧等轻元素,这对有机化合物和生物大分子研究特别有用;中子可以轻易辨认原子序数相邻的元素如铁、钴、镍等,这对合金和磁性材料研究是关键.

中子有磁矩,因而可以进行磁性散射研究,观察磁性材料在原子层次上的磁结构和磁相互作用.

中子有极强的穿透力,可观察样品的整体效应,可在高温高压等极端条件不受容器和装置的影响观察物质结构.

热中子引起的损伤小,因此中子散射是高度无损的,如对生物体的损害比X射线要小100倍.

目前,在国家的重视与支持下,我国的同步辐射事业发展很快,目前已经建有或正在建设北京同步辐射装置、合肥同步辐射装置和上海同步辐射装置.仅上海同步辐射装置的投资规模就在8亿人民币左右.而中子散射工作显得十分薄弱.应该抓住CARR建立这一有利时机,在CARR旁建设热中子散射实验研究基地,使之成为我国21世纪中子散射研究和应用的中心及人才培养的中心.

## 二、我国热中子散射研究的现状

从60年代开始,在原子能院重水堆旁就陆续建立了一些中子散射设备.80年代初,在钱

三强、章综院士的积极倡导下,与法国的合作进一步推动了我国中子散射工作的发展.在原子能院、中科院物理所及低温中心等单位的共同努力下,迄今在原子能院重水堆旁已建成了一个拥有六台谱仪的初具规模的热中子散射实验室.十多年来,这个实验室与国内20多个科研单位合作,在凝聚态物理和材料科学方面完成了200多项课题,取得了一批具有国际先进水平的成果.获国家自然科学三等奖和国家科技进步三等奖各一项,省部级奖共17项.受经费的限制,我们实验室的条件还不能与发达国家的先进的热中子散射实验室相比,但经过十多年的努力,我们的实验室已初具规模,形成了一些具有特点的前沿研究方向,成长起一支具有相当的研究水平和经验的科研队伍.

### 三、CARR上热中子散射实验研究基地建设的设想

CARR堆的高中子通量(见表1)为热中子散射研究提供了极为有利的条件.热中子散射实验研究基地建设结合CARR的建设同步进行.充分利用CARR提供的高通量、冷中子源和烫中子源、切向水平孔道等有利条件,瞄准世界先进水平和凝聚态物理、生物和生命科学、材料科学等方面的国际前沿课题及国防和国民经济建设需求,拟建立八台不同类型的中子散射谱仪,这八台谱仪的主要用途如下:

表1 世界现有及拟建的高通量堆比较

实验室	通量 $n/cm^2s$	备注
ORNL,美国	$1 \times 10^{15}$	
ILL,法国	$1 \times 10^{15}$	
Munich,德国	$8 \times 10^{14}$	2002年建成
CARR,中国	$8 \times 10^{14}$	2005年建成

高分辨中子粉末衍射谱仪:用于多晶材料的静态结构研究,包括晶体结构和磁结构、辨认较轻原子和近邻原子的占位和占位数、测定磁性原子的磁矩大小和方向.

中子小角散射谱仪:用于利用氘化技术研究生物大分子聚合物的成分,测定陶瓷材料的孔隙度,研究金属材料的沉积、空腔、相畴、磁畴、断裂、位错、密度波动等.

中子反射谱仪:用于研究界面方向上的材

料的组成和密度分布,如多层系统的界面结构、固体和液体的表面性质、固液界面、聚合物界面、生物膜、表面磁化等.

粉末衍射结构测量谱仪:测定多晶材料晶粒的取向方向(即织构).材料在生产制备过程中形成的织构与材料的宏观物理性能密切相关.

透源上的多用中子散射谱仪:用于高Q激发、液态、非晶态等材料的短程有序研究.

中子三轴谱仪:用于单晶样品的元激发,如声子、自旋波的色散关系研究.

中子四圆衍射谱仪:用于单晶样品的静态结构研究.

中子飞行时间谱仪:用于多晶样品的声子态密度(声子谱)测量.

热中子散射实验基地建成后将大大扩展现有研究能力(见表2),总体水平处于世界先进、亚洲领先的地位(见表3).实验室建成后将面向全国开放,欢迎国内外同行对这一建设工程贡献自己的经验和才智,欢迎国内外用户在CARR建设自己的中子散射实验终端设备.

表2 改建后设备的能力

谱仪名称	改建后的能力
四圆衍射仪	分辨率提高3倍;测量时间缩短5—10倍
三轴谱仪	可作动力学研究
飞行时间谱仪	动态范围由 $90^\circ$ 扩大到 $140^\circ$ ;谱收集时间缩短10—20倍;声子谱测量范围由80MeV扩大到120MeV
粉末衍射仪	分辨率提高1倍;数据收集时间缩短10倍;可开展应力测量
小角散射仪	可开展生物分子结构研究

表3 亚洲现有中子散射研究设备情况

国家	堆型号	功率	通量, $n/cm^2s$	设备台数
日本	JRR-3M	20MW	$2 \times 10^{14}$	22
印度	CIRUS	40MW	$2 \times 10^{14}$	
	Dhruva	100MW	$2.5 \times 10^{14}$	
印尼	RSG-GAS	30MW	$1.5 \times 10^{14}$	7
韩国	KAERI	32MW	$10^{14}$	7
中国	CARR	60MW	$8 \times 10^{14}$	8

中国原子能科学研究院是国内一个重要的综合性的核物理研究基地.这个研究基地是在约40年的发展历程中逐渐形成的,目前是由北京串列加速器核物理国家实验室、热中子散射实验室和国家核数据中心等构成.