

· 成果简介 ·

高能物理、同步辐射和核技术领域的重大项目综述

李会红 蒲 钊 汲培文

(国家自然科学基金委员会数学物理科学部, 北京 100085)

[关键词] 高能物理, 同步辐射, 核技术, 科学基金, 重大项目

高能物理, 也称粒子物理, 是研究物质的最小组成单元构成及其相互作用规律的最前沿基础学科^[1]。同步辐射是速度接近光速的带电粒子在作曲线运动时沿切线方向发出的电磁辐射, 也叫同步光, 具有高强度、宽波谱、高准直性、脉冲性、偏振性等优点, 为生命科学、凝聚态物理、材料科学、化学、资源环境及微电子等交叉学科提供重要的技术手段和实验平台^[2]。核技术是基于核物理、辐射物理、放射化学、辐射化学等知识, 依托大型核装置如加速器、反应堆、辐射探测装置等发展起来的综合性现代技术学科。以上三方向是亚原子物理领域(物理 II 学科)的重要基础研究和科学技术发展方向。

围绕国家自然科学基金重大项目确立的“面向国家经济建设、社会可持续发展和科技发展的重大

需求, 选择具有战略意义的关键科学问题, 汇集创新力量, 开展多学科综合研究和学科交叉研究, 充分发挥导向和带动作用, 进一步提升我国基础研究源头创新能力”定位^[3], 国家自然科学基金委员会数理科学部会同化学科学部和生命科学部, 于 2004 年同时组织实施了 3 项重大项目: “正负电子对撞物理的系统研究(项目批准号 10491300)”、“与人类健康相关的蛋白质结构和医学成像的同步辐射研究(项目批准号 10490190 与生命科学交叉)”和“核技术在分子水平上研究典型环境污染物的毒理(项目批准号 10490180 与化学科学交叉)”。目前上述 3 个项目已顺利通过专家组结题验收。表 1 列出这批重大项目的的基本情况信息。

表 1 3 个重大项目的的基本情况

批准号	项目名称	承担单位	子课题数 (个)	经费 (万元)	研究期限
10491300	正负电子对撞物理的系统研究	中国科学院高能物理研究所、清华大学、中国科学院理论物理研究所、中国科学技术大学、华中师范大学、中国科学院研究生院、北京大学、山东大学(共 8 个)	6	500	2004.08—2008.07
10490190	与人类健康相关的蛋白质结构和医学成像的同步辐射研究	中国科学院高能物理研究所、中国科学院生物物理研究所、中国科学技术大学、清华大学、中日友好医院、复旦大学(共 6 个)	5	800	2004.07—2008.06
10490180	核技术在分子水平上研究典型环境污染物的毒理	中国科学院高能物理研究所、北京大学、中国科学院上海应用物理研究所、中国原子能科学研究院、复旦大学、上海市环境监测中心、贵州省环境科学研究设计院(共 7 个)	5	800	2004.07—2008.06

本文拟对上述 3 个重大科学基金项目的立项、研究进展及成果做如下综述。

1 正负电子对撞物理的系统研究

 粒子物理中的一个重要研究领域, 研究对象是由夸克的正反夸克对组成的强子、由夸克和其他轻夸克组成的轻子和重子。强子

的产生和衰变介于微扰和非微扰 QCD(量子色动力学)之间, 因此是研究和深入认识 QCD 的重要手段。北京正负电子对撞机(BEPC)/北京谱仪(BES)是当时世界上惟一工作在 τ 能区的正负电子对撞机和实验装置。自从 1989 年实现正负电子对撞后, 性能良好, 已积累了大量的 J/ψ 、 $\psi(2S)$ 、 τ 、 D_s 和不同能量点的 R 值扫描实验数据。通过在 BES 上开

本文于 2009 年 5 月 27 日收到。

展聚物理的实验研究工作,可以为粒子物理理论的标准模型及其 QCD 理论的检验提供更多的实验事实,推动强子谱研究的进展和各种唯象模型的改进与完善。

该领域是属于国际前沿的基础科学问题研究,曾得到过“八五”、“九五”的自然科学基金重大项目的连续支持,取得了一批重要的研究成果,如 τ 轻子质量的精密测量、2-5 GeV 能区 R 值测量获得了国家自然科学奖二等奖。BEPC/BES 在 τ 聚物理实验中取得的成绩及其对国际高能物理发展的巨大影响引起了国际高能物理界对 τ 聚物理的极大兴趣,美国和俄罗斯也计划将其装置的能区提升到 τ 聚能区,面对激烈的国际竞争,中国也将对 BEPC/BES 进行重大改造和升级,在这关键时刻该领域得到本重大项目的继续立项。

四年来,项目组利用 BESII 获取的数据,在 J/ψ , $\psi(2S)$ 和 $\psi(3770)$ 的衰变和 R 值的精确测量等方面取得了一批国际关注的重要物理结果:观测到了 $J/\psi \rightarrow \gamma p \bar{p}$ 中的近域增强结构等新的物理现象;以高统计量证实了 σ 和 κ 粒子的存在;进行了新共振态[如 $X(1835)$ 、 $X(1810)$ 等]和重子激发态[如 $N(2050)$ 等]的寻找和测量;对 $\psi(2S)$ 和 J/ψ 衰变分支比比值和“ ρ - π puzzle”进行了系统的实验研究;首次测量到了 $\psi(3770) \rightarrow J/\psi \pi \pi$ 等非 $D\bar{D}$ 衰变。项目组还结合 BESII 物理实验做出了有意义的理论研究成果,同时参与 BESIII 工程的建设 and 物理的准备工作。

该项目共发表 SCI 论文约 200 篇,在国际学术会议上作报告百次,包括在国际高能物理大会、轻子光子会议等大型国际会议上作大会邀请报告。培养博士生 50 名,硕士生 25 名,博士后 25 名。

本项目的实施,加强了国内高能物理领域实验和理论的密切合作,也为 BESIII 的物理研究打下了坚实的基础;培养了一批本领域优秀的年轻科研人员,形成了结构合理的研究梯队,同时在校初步建立了一支 BES 物理研究队伍;为保持中国在聚物理研究领域的国际领先地位做出了贡献。BEPC/BES 已成为我国高能物理在国际上占有一席之地的标志。通过科学基金重大项目在“八五”、“九五”和“十五”的连续实施,BES 物理的进一步深入研究得到了国家科技部“973”项目的支持。

2 与人类健康相关的蛋白质结构和医学成像的同步辐射研究

同步辐射光源以其特有的性质,被广泛应用于

生命科学、凝聚态物理和环境科学等领域,成为能同时用于基础科学研究、应用研究和高新技术产品开发的一种先进光源。蛋白质分子的三维结构对于基础研究和医药产业的开发都有重要的意义。85% 的蛋白质晶体结构测定将在同步辐射装置上完成,以同步辐射光源为依托的一些研究方法已经成为研究生物大分子结构和功能以及医学应用的重要手段。活体结构和功能成像技术对医学诊断及治疗水平的提高具有重要的意义。常规的医学成像技术空间分辨率只能达到毫米和亚毫米数量级,用同步辐射 X 射线的强穿透性、较好的时间和空间相干性,对生物进行相位衬度成像,可获得微米的空间分辨率,不仅可以对软组织及细胞内部结构进行观察,而且适合于活体和整体的观察。

20 世纪 90 年代初我国在北京和合肥相继建成中等能量和较低能量的同步辐射装置。北京同步辐射装置(BSRF)是对社会开放的大型公用科学设施,于 1991 年投入使用,在专用模式时电子能量为 2.2 GeV,建有多条光束线。合肥光源是我国第一台专用同步辐射光源,电子能量为 800 MeV。在这两个装置上,我国已经培养了一批富有经验的中青年科学家,也建成了多个实验站,但与国外的同步辐射装置和应用同步辐射进行生物大分子结构分析及医学应用的水平相比,差距还是不小的。

通过重大项目的支持,项目组取得了如下的研究成果:

在 BSRF 装置上建成了我国第一个包括蛋白质晶体学、吸收谱学和小角散射等多种技术的研究平台,开发了生物体系吸收谱学分析软件 MXAN,达到同类线站国际水平,为我国结构生物学研究提供了坚实的支撑。在合肥同步光源上,针对波长较长、光强较低的情况,研究了用多波长、单波长反常散射解决晶体学中的相位问题,并用毛细管聚焦提高样品上的光通量密度,建成了生物大分子实验研究平台。

在同步辐射硬 X 射线相位衬度成像方法学研究方面,提出了简便的三维成像数据采集方法,推导出折射率和折射率导数的重建算法公式,并推广用于光栅干涉成像法,实现了生物样品高衬度、小剂量的快速成像。应用相衬成像技术开展古生物胚胎化石的研究,找到了含极叶胚胎在前寒武纪就已存在的重要证据。

在 BSRF 装置上解出了 55 个蛋白质的晶体结构,测定了与人类健康和疾病密切相关的蛋白质三

维结构,结合生物化学和分子生物学研究结果探讨其生物功能机理,为阐明若干疾病的发病机理和相关药物设计提供结构生物学基础。在合肥同步辐射平台上研究了含硫、含过渡元素和充氩等蛋白样品,得到了样品的辐射损伤对衍射数据以及反常散射信号的影响。在医学成像应用方面,用同步辐射相衬显微成像对疾病早期诊断的可行性进行了研究。

项目组共发表 SCI 论文 103 篇, EI 论文 3 篇。培养博士生 39 名,硕士生 22 名,博士后 4 名。该项目是属于大科学装置上的科学应用,有着其自身的规律,就是遵从装置、方法与应用之间深刻的内在关联(IMA);设备的建立是开展研究和应用的前提和手段,实验及分析方法的研发为研究提供了方法,最终的目的是为了开展科学的应用研究。通过该重大项目的实施,有些需要进行深入研究或向应用发展的问题得到了中国科学院项目的支持。

3 核技术在分子水平上研究典型环境污染物的毒理

核技术分析具有灵敏度高、准确度高、微区和微量以及非破坏性分析等优点,它可区分外来(外源性)污染物和体内本身存在的(内源性)物质,因此在研究环境污染物的体内吸收、分布、代谢、排泄以及毒理机制方面往往可以起到独特的作用。核分析技术往往依赖加速器和反应堆等重大装备,我国近年来为建造这些核科学装置已投入了巨额经费,为发展和建立先进核分析技术提供了重要的科学平台。

该项目用核技术在分子水平上重点研究我国典型环境污染物(有机物、重金属、大气细颗粒物和纳米材料等)的毒理作用机制和科学的、定量的危险性评价,发展相关领域的先进核技术。经过四年的努力,取得的主要成果如下:

在国际上率先开展了多种纳米材料在动物体内的吸收、分布、代谢和毒性的研究。研究了纳米材料毒理学中的若干效应,建立了一套研究纳米材料安全性的新技术,在纳米科技领域得到国际同行的肯定。

在分子水平上揭示了重金属汞对生物体(包括人)的毒理和金属汞对脑功能的影响,发现了硒-汞拮抗效应,提出了用硒干预提高汞暴露人群健康水平的方法并进行了人群对照研究,取得了初步成效。

第一次从动物实验上证实了稀土元素能进入脑部并作用于中枢神经系统;研究发现大气颗粒物中

金属元素可在动物的部分器官和细胞中迁移和蓄积,其损伤作用与粒径、浓度和化学种态有关;研究了无铅汽油添加剂甲基叔丁基醚在环境低剂量水平的基因毒性和蛋白质毒性,以及它们与 DNA 加合的反应机制。

在核技术应用方面,建立了用于加速器质谱测量的气体位置灵敏探测器和充气磁谱仪结合飞行时间粒子鉴别技术,实现了对中重核素的高灵敏测量,其中对⁷⁹Se(硒)的测量灵敏度达到 10^{-12} ,为国际最好水平;建立了用于密度分布和微结构研究的扫描透射显微术。

项目组率先开展并积极推动纳米毒理学研究在我国的发展,为我国基础科学和交叉学科领域培育了新的学科——纳米毒理学,并出版了国际上第一本纳米毒理学专著,为我国培养了一支能在国际上进行平等对话与合作的高水平专业队伍,在国际上产生了较大影响。

项目在取得科学研究进展的同时,还向政府部门提交了环境政策建议报告。项目组向原国家环保总局提出了一份关于无铅汽油添加剂甲基叔丁基醚的对策,得到了原国家环保总局的肯定。项目组根据对大气颗粒物中铅的研究结果,向上海市市长提出了三点建议,引起了上海市有关领导的重视,责成上海市环保局局长派专人来听取研究人员意见,研究处理办法。项目组在贵州汞污染地区对长期汞暴露人群进行富硒酵母干预,已取得初步良好结果。研究表明,长期汞暴露人群通过服用富硒酵母,可以促进体内汞的排出,提高其机体抗氧化能力,修复汞暴露带来的肾损伤及 DNA 氧化损伤,从而提高长期汞暴露人群的健康水平。该项研究工作得到了地方政府与人民的欢迎和支持。

该项目执行期内发表 SCI 论文 160 余篇。项目组成员被选为相关国际学术组织或刊物的委员或顾问,并在国际上获奖;培养博士生 52 名,硕士生 42 名,博士后 10 名。随着该重大项目研究的不断深入,后续研究工作得到了国家科技部、中国科学院和欧共体项目的支持。

4 小结

通过四年的重大项目支持和项目组全体成员的努力,3 个项目全面完成了研究内容和预期目标。项目主持人认真履行职责,每年至少召集一次学术交流,会同学术领导小组成员和国家自然科学基金委员会有关科学部的项目主任及时沟通进展、成

果以及问题,很好地促进了各课题间的交流。

每个重大项目的实施和完成体现了其鲜明的特点:

(1) 高能物理重大项目是属于科学发展中具有战略意义,密切依靠我国的大装置,我国具有优势,取得具有国际先进水平的前沿性基础研究成果。通过对该项目的连续支持,使中国保持了在聚物理研究领域的国际领先地位,BEPC/BES 成为我国高能物理在国际上占有一席之地的标志。该领域的研究具有厚积薄发的特性,所以国家对其持续性的支持是非常重要的。

(2) 同步辐射重大项目是属于国家经济发展亟待解决的重大科学问题,对开拓发展高新技术产业具有重大应用前景的基础研究。通过对该项目的支持,极大地促进了学科交叉研究,成功地建成了生物大分子实验研究平台,测定了与人类健康和疾病密切相关的蛋白质三维结构,用同步辐射相衬显微成像对疾病早期诊断进行了可行性研究。该领域的研

究具有重大的应用前景和社会需求,希望今后能向产业方向推一推,促进高科技产业能积极投入参与研发工作。

(3) 核技术重大项目是属于围绕国家可持续发展战略目标,为国家宏观决策提供依据的重要基础性研究。通过对该项目的支持,很好地促进了学科交叉研究,率先开展并积极推动纳米毒理学研究在我国的发展。在取得科学研究进展的同时,还向政府部门提交了环境政策建议报告。项目组在贵州汞污染地区对长期汞暴露人群进行富硒酵母干预,已取得初步良好结果,得到了地方政府与人民的欢迎和支持。

参 考 文 献

- [1] 郑志鹏,朱永生.北京谱仪正负电子物理.南宁:广西科学技术出版社,1998.
- [2] <http://www.ihep.ac.cn/bsrf/chinese/bsrf/introduction.htm>.
- [3] 国家自然科学基金委员会.2009 年度国家自然科学基金项目指南.

OVERVIEW ON MAJOR PROGRAMS OF HIGH ENERGY PHYSICS, SYNCHROTRON RADIATION AND NUCLEAR TECHNOLOGY

Li Huihong Pu Men Ji Peiwen

(Department of Mathematical and Physical Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085)

Key words high energy physics, synchrotron radiation, nuclear technology, science foundation, major program

· 资料 · 信息 ·

四部门联合召开“10 000 个科学难题”征集活动新闻发布会

2009 年 7 月 15 日上午,教育部、科学技术部、中国科学院、国家自然科学基金委员会在科技部联合召开“10 000 个科学难题”征集活动新闻发布会。科技部副部长刘燕华、教育部部长助理林蕙青、中国科学院副院长李静海、国家自然科学基金委员会副主任孙家广、“10 000 个科学难题”征集活动发起人教育部原副部长赵沁平等领导以及难题征集数理化三科编委会主任出席新闻发布会,并分别作重要讲话。

“10 000 个科学难题”征集活动于 2007 年由教育部、科学技术部、中国科学院、国家自然科学基金委员会四部门联合开展,是我国首次面向全社会在基础科学研究领域进行的大规模征集活动。活动开

展两年来,全国教育科技界 200 多个单位、1852 位撰稿人、40 位院士以及近 4000 人次的科学家和组织工作者参与了此项工作。

《10 000 个科学难题》系列丛书《数学卷》、《物理学卷》、《化学卷》现已正式出版,目前天文学、地球科学、基础生物学三个学科领域的难题征集工作业已启动,系列丛书《天文学卷》、《地球科学卷》和《基础生物学卷》将于 2010 年上半年出版。按计划,2010 年后还将相继启动农学、医学和工程技术中的科学问题的难题征集工作。

(计划局 供稿)