



中国原子能科学研究院

年 报

(1998. 01~1998. 12)

原子能出版社

中国原子能科学研究院年报

(1998.01~1998.12)

原 子 能 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

中国原子能科学研究院年报: 1998.01~1998.12; 中文版/樊明武主编. —北京: 原子能出版社, 1999.10

ISBN 7-5022-2074-7

I. 中… II. 樊… III. 核技术-研究-中国-1998-年报 IV. TL-54

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 42197 号

内 容 简 介

本年报全面地介绍了中国原子能科学研究院 1998 年度(1 月 1 日至 12 月 31 日)在实验核物理、理论核物理、核数据与核技术应用、强激光、粒子加速器、核探测技术、反应堆科学与反应堆工程、核化学化工、放射性废物处理与处置、环境保护与辐射防护、同位素生产与应用以及计算机应用软件等方面研究工作的重要进展, 重大设备的维护改进、生产运行, 学术活动和国际学术交流, 以及在有关学术期刊上发表文章的情况等。

本年报可供从事有关原子能科学研究和应用工作的科技人员和高等院校师生参考。

关于本年报加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”的声明

为适应我国信息化建设需要, 扩大作者学术交流渠道, 本年报已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”。作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意将文章编入该数据库, 请在来稿时声明, 本刊将做适当处理。



原子能出版社, 1999

原子能出版社出版发行

责任编辑: 武玉妹

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

廊坊市光达胶印厂印刷 新华书店经销

开本: 787×1092 mm 1/16 印张 8.75 字数 230 千字

1999 年 10 月北京第 1 版 1999 年 10 月北京第 1 次印刷

印数: 1—600

定价: 20.00 元

前 言

中国原子能科学研究院坚持以科研生产为中心,以“科技领先、经济发展”两个地位为目标,努力按照重大科研工程和重要科研项目的计划进度,较好地完成了1998年全年科研生产任务。

1998年,全院承担的各类科研项目共255项,都取得了较好的进展或阶段性成果。获国家科技进步奖4项,其中:医用裂变 ^{99}Mo 的提取, $^{99}\text{Tc}^m$ 发生器和 $^{99}\text{Tc}^m$ 药盒的研制项目获国家科技进步一等奖;UNF程序系列及其理论基础,核衰变和核结构数据的测量、评价及其数据库建设,反应堆中子活化分析全面参量化研究分别获得国家科技进步三等奖。获部级科技进步奖41项,其中:二等奖11项,三等奖30项。

据国家科技部发布的我国1997年科技论文统计结果,在全国科研机构中,我院在国内期刊发表的论文数位列第6名,被《SCI》收录的论文数位列第18名,是前20名中唯一的工业部门研究单位。

1998年,接待来自32个国家和地区的外宾590人来院参观、讲学、工作和洽谈贸易,向20多个国家和地区派遣考察、参加国际学术会议及工作进修人员179人,与国外科研院所签定了6项科技合作协议,受国际原子能机构委托举办国际学术会议和培训班4次。

1998年,时逢我国第一座重水反应堆和第一台回旋加速器建成40周年,我院隆重举行了纪念学术报告会。

全院1998年科研生产方面的主要工作进展情况简述如下。

核能开发研究

中国先进研究堆(CARR) CARR可行性研究报告通过审查,并进入初步设计阶段。对堆芯方案和回路系统进行了优化设计。完成了质量保证大纲的编写、设计准则和通用技术条件的编写和审校。

核电通用技术 压水堆事故下低流量传热及流动特性实验研究、蒸汽发生器瘀渣化学清洗工程技术研究、优化水化学控制研究、压水堆核电厂严重事故模拟机与安全壳仿真系统开发与应用研究等新开课题取得较好成果。

高性能燃料组件 高性能组件设计技术研究、燃料元件堆内瞬态行为试验研究、燃料元件堆内考验试验技术研究、PWR高性能燃料组件包壳水侧腐蚀和水化学控制技术研究、压水堆MOX燃料研究等课题取得了阶段性成果。

乏燃料后处理 电化学对动力堆燃料 PuO_2 溶解研究、铀线工艺及铀的利用研究等 11 个课题进展良好。

高技术和基础研究

中国实验快堆(CEFR) CEFR 已进入施工图设计阶段,前期工程和预置设备的施工设计业已完成,1998 年 10 月 CEFR 主厂房基础开挖。草签了首炉核燃料合同。完成了意大利 PEC 堆设备采购和验收,并完成堆容器及堆内构件和旋塞两项大型设备的国内招标投标工作,签定了框架协议。建成一条日产 300 kg 核级钠的中规模钠净化回路,可向两条大型钠回路提供 15 t 核级钠。

准分子激光 高能、高功率 KrF 准分子激光研究已初步建成了角多路 KrF, MOPA 系统,其中绝大多数部件自行设计、加工,部件性能达到预期指标。

自由电子激光 自由电子激光 L 波段高亮度注入器研究有较大进展。聚束和加速段高压脉冲平顶改善工作业已完成,正在进行调试,准备出束。

实验核物理 (1)远离稳定线核的在束和衰变研究、高剥离态原子光谱测量取得新进展。(2)在 HI-13 串列加速器上成功地实现了放射性核素 ^{64}Cu 的加速,这不仅是国内第一次获得了加速的放射性核束,而且为今后离线产生和加速一系列放射性核束创造了技术条件,为离线放射性核束物理的实验研究奠定了基础。(3)利用新建成的带有精密平台的瞬态场-离子注入角分布谱仪精确测量了 ^{83}Y 和 ^{84}Zr 正宇称转晕带的 g 因子,观测到 g 因子随角动量变化的峰状结构。(4)与美国三角大学合作,在 HI-13 串列加速器上进行了 n-d 破裂反应的实验研究,用 25 MeV 中子引起 d 的破裂反应在空间星几何下进行了运动学完全的测量,以研究三核子力效应的可能性。(5) ^{36}Cl 测年法研究河北平原第四系地下水年龄、地球和天体古代温度测定、单粒子效应的实验模拟、ERD 技术材料深度谱分析、放射性废物固化玻璃辐照效应研究等取得了一定进展。(6)北京放射性核束装置在线、离线产生放射性核束及 100 MeV 回旋加速器预研方面取得进展。600 kV 纳秒脉冲中子发生器研制取得了实质性进展,已可进入运行阶段。

应用基础研究 核安全辐射防护技术研究、信息技术和计算机应用技术研究、放射性计量技术基础研究,科技信息、质量、计量、标准化等方面工作都取得了新的进展。

1998 年核物理基础和应用研究获得丰硕成果,在国内外刊物上发表研究论文 40 余篇。

核技术应用开发研究

1998 年我院民品结算产值为 1.76 亿元,比 1997 年增加 0.2 亿元,增长幅度为 13.8%。我院荣获第四届全国技术市场金桥奖。在全国第十一届发明博览会上,

我院的黄金成色仪、裂变钼-钨发生器及放免药盒分别获得金奖,火灾自动报警与消防自动控制系统获得银奖,前列腺增生治疗仪获得铜奖。

国家同位素工程技术研究发展中心通过国家验收正式成立。

阿尔及利亚工程 3 期初步设计完成并通过阿方验收。

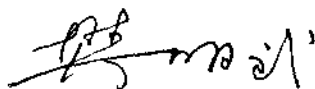
研究成功耐高温、高压的第二代 ^{131}Ba 石油测并微球。

此外,我院同美国合作共同开发的环保型水墨生产线基本建成,并已生产出合格的产品。

科研设施的运行和维护

1998 年游泳池式反应堆实现满功率安全运行 138 天,重水反应堆为恢复运行做准备工作,HI-13 串列加速器为物理实验供束 4200 小时,加速器上分压电阻实现了国产化,C-120 计算机开机 1800 小时,计算机网络全年运行,三废处理和环境常规监测等设施正常运行。

中国原子能科学研究院《年报》主编,院长 樊明武



一九九九年三月

目 录

核物理

1 实验核物理	(1)
1.1 离线 ^{64}Cu 放射性束产生和分析	(1)
1.2 ^{86}Zr 及稀土区三轴超形变带自旋值的评估	(3)
1.3 $^3\text{He}+^{209}\text{Bi}$ 近垒融合	(4)
1.4 $^6\text{Li}+^{209}\text{Bi}$ 近垒及垒下融合	(5)
1.5 $^{19}\text{F}+^{208}\text{Pb}$ “阈异常”和融合反应异常之间的联系	(5)
1.6 ^{84}Rb 的高自旋态研究	(6)
1.7 稳定核 ^{84}Sr 的高自旋态的研究	(8)
1.8 ^{87}Zr 的高自旋态谱学研究	(9)
1.9 ^{129}Ce 的高自旋态寿命测量	(11)
1.10 $^1\text{H}(^1\text{F},^4\text{He})^4\text{O}$ 反应实验方案的设计	(11)
1.11 质心系能量为8.6 MeV的 $^2\text{H}(^7\text{Be},^8\text{B})\text{n}$ 反应角分布测量	(12)
1.12 n-d 破裂反应的实验研究	(13)
1.13 $^{16}\text{O}+^{34}\text{Zr}$ 和 $^{16}\text{O}+^{116}\text{Sn}$ 的弹性散射角分布测量	(14)
2 理论核物理	(16)
2.1 200 AGeV S+Au 反应中光子产生的低横动量增强	(16)
2.2 158 AGeV/c Pb+Pb 碰撞中 J/Ψ 是否为反常压低	(16)
2.3 强子和弦级联模型中 J/Ψ 压低	(16)
2.4 ^{84}Zr 转动带 g -因子峰形结构的理论分析	(17)
2.5 奇奇核质子中子相互作用的增强及其机制	(18)
2.6 Garvey-Kelson 核质量关系与质子中子相互作用	(18)
2.7 $A\approx 150$ 区巨超形变核的形状及寿命	(19)
3 核数据编评和计算	(19)
3.1 ENDF/B-6.4 的热堆和快堆基准检验	(19)
3.2 $E_p<300$ MeV 质子在铅靶中核反应微观截面的理论计算	(20)
3.3 $^{69,71}\text{Ga}$ 全套中子核数据的计算	(20)
3.4 ^{151}Eu , $^{153\sim 155}\text{Eu}$ 全套中子数据的理论计算	(21)
4 放射性计量标准	(22)
4.1 反应堆回路泄漏率监测仪的研制	(22)
4.2 $^{19}\text{F}(\text{p},\alpha\gamma)^{16}\text{O}$ 反应 γ 射线产额曲线的测定	(22)
4.3 $^{19}\text{F}(\text{p},\alpha\gamma)^{16}\text{O}$ 反应在 $E_p=340.46$ keV 共振能点的实验研究	(23)

强激光与电物理

1 强 激 光	(25)
1.1 天光一号预放级电子束产生和引出	(25)
1.2 Marx 电压建立时间的抖动对电子束能量的影响	(26)
1.3 “天光”装置计算机测控系统软件的开发	(28)

1.4	高功率 KrF 准分子激光振-放(MOPA)系统研究进展	(29)
1.5	电子束泵浦 KrF 激光 MOPA 系统的同步控制	(29)
1.6	KrF 激光 MOPA 光学角多路系统的研制进展	(30)
1.7	高能量大直径 KrF 激光束波前畸变的测量	(31)
1.8	脉冲高电压测量的电容分压器	(31)
1.9	飞秒紫外超短脉冲激光器	(32)
2	电物理	(32)
2.1	1998 年 HI-13 串列加速器状况	(32)
2.2	ИЛУ-6М2 电子辐照加速器运行、应用和改进	(35)
2.3	直线加速器中几何因子随电荷束团密度分布的变化	(36)
2.4	周期性聚焦系统中束晕形成的模拟研究	(36)
2.5	强流负氢离子源及垂直注入系统的研制	(37)

反应堆工程

1	中国实验快堆(CEFR)	(38)
1.1	中国实验快堆“初步安全分析报告”事故分析	(38)
1.2	LMFBR 结构材料在高温钠中的自焊及质量迁移	(38)
1.3	CEFR 氦气泄漏分析程序	(40)
1.4	ESPRESSO 回路应力分析	(40)
1.5	OASIS 程序的开发与应用	(41)
1.6	中国实验快堆动态模拟系统的建立	(41)
1.7	中规模钠除钙净化装置的设计与建造	(41)
1.8	中国实验快堆钠工艺间地面保护层设计验证试验	(42)
2	中国先进研究堆(CARR)	(42)
2.1	中国先进研究堆(CARR)设计进展	(42)
2.2	中国先进研究堆(CARR)堆本体方案设计的优化	(43)
2.3	中国先进研究堆(CARR)流体系统设计	(43)
2.4	中国先进研究堆(CARR)主换热器选型	(44)
2.5	中国先进研究堆(CARR)供电系统设计进展	(45)
2.6	中国先进研究堆(CARR)仪控系统设计进展	(45)
3	反应堆物理和热工水力	(45)
3.1	非线性迭代节块方法研究及应用	(45)
3.2	加速器驱动模块式快中子反应堆	(46)
3.3	核电站停堆工况 PSA 研究	(46)
3.4	可视化的系统可靠性分析软件(VIRA)的开发	(47)
3.5	余热冷却器垂直位置变化对快堆热池热工水力特性的影响	(48)
3.6	模拟自由表面流动的 PC-BFC 法三维程序开发	(48)
4	反应堆燃料和材料	(49)
4.1	燃料元件堆内瞬态行为试验研究进展	(49)
4.2	PWR 燃料元件堆内考验试验技术研究	(50)
4.3	泰山核电厂燃料包壳疲劳分析	(50)
4.4	PC-300 核电厂反应堆压力容器钢辐照脆化效应	(50)

4.5 耐腐蚀铝包壳氧化工艺试验	(51)
4.6 防氚渗透材料研究进展	(52)
5 反应堆安全分析	(53)
5.1 核电厂停堆工况下事故及其处置研究	(53)
5.2 法国严重事故程序的应用	(53)
6 反应堆运行及维护	(54)
6.1 重水研究堆(HWRR)1998 年年度报告	(54)
6.2 游泳池式轻水反应堆(SPR)1998 年度运行报告	(55)
6.3 原型微堆 1998 年运行概况及动态	(56)
6.4 秦山核电厂 300 MWe 蒸汽发生器化学清洗工程验证	(57)
6.5 蒸汽发生器淤渣化学清洗工程技术研究	(57)
7 其 它	(58)
7.1 水中脱氚技术研究进展	(58)
7.2 单节热离子二极管温度场及伏安特性计算程序研制	(59)
7.3 核级离子交换树脂制备	(59)
7.4 溶液的高温电阻在线监测	(60)

放射化学、放射性废物处理与处置及核安全保障技术

1 放射化学	(61)
1.1 N,N-二乙基胺与 Pu(IV)氧化还原反应动力学研究	(61)
1.2 N,N-二乙基胺应用于 U-Np 和 U-Pu 分离的研究	(62)
1.3 胍衍生物还原 Np(VI)动力学及其在 Purex 流程中分离 U-Np 的研究	(62)
1.4 乙异羟肟酸与 Np(IV),Pu(IV)络合物稳定常数的测定	(62)
1.5 异羟肟酸型络合剂对 TBP 萃取铀的行为影响及其应用研究	(63)
1.6 CMP-TBP/煤油对 Am(III),Np(IV,V,VI)和 Pu(IV)萃取及反萃的研究	(63)
1.7 荧光分光光度法测定铀溶液中微量硼	(64)
1.8 废 30 %TBP-煤油中残留铀的分光光度分析	(65)
1.9 硫酸亚铁还原/重铬酸钾氧化电位滴定法精密测定小量铀	(65)
1.10 高灵敏无污染热电离质谱技术	(65)
1.11 电化学治疗肿瘤机理的初步探讨	(66)
2 放射性废物处理与处置	(67)
2.1 TBP-煤油热解燃烧冷台架试验研究	(67)
2.2 低水平放射性废水处理中 ⁹⁹ Tc 和其它放射性核素的测定	(67)
2.3 水力压裂设备化学去污技术研究	(68)
3 核安全保障技术	(69)
3.1 秦山核电站乏燃料组件的非破坏性测量	(69)
3.2 200 L 桶装超铀废物检测装置的研制	(69)
3.3 有源井型中子符合计数系统的应用研究	(70)
3.4 人员出入口核材料放射性监测技术研究	(70)
3.5 铀离心浓缩厂核材料衡算帐目管理软件的开发	(71)
3.6 核材料衡算物项比对评估程序	(71)

放射性同位素

1 高效液相色谱法研究 ECD 的稳定性	(72)
2 高效液相色谱法定量分析 MIBI	(72)
3 双波长分光光度法测定放射性 $^{111}\text{InCl}_3$ 溶液中微量钼	(73)
4 有载体及无载体 ^{90}Sr 的动物实验	(73)
5 烟支密度计 ^{90}Sr 源的研制	(73)
6 ^{241}Am 骨密度源新工艺的研究	(74)
7 应用 β 射线自显影技术检测 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 源箔均匀性	(74)
8 铜系元素电沉积及分子电镀机理的研究	(74)
9 SRPA-104 型前列腺增生治疗器	(75)
10 SRPA-203 型前列腺增生治疗器	(75)

计算机应用软件和网络

1 粉末衍射峰形拟合程序包 CPOWDER	(76)
2 模拟粉末衍射谱生成程序 MD	(77)
3 蒙特卡罗法自动谱分解程序 MCPROF	(77)
4 核孔膜带速自动调整装置的研制	(78)
5 PD-8 后台便携 PC&VXI 自动测试系统	(79)
6 热离子能量转换器堆内试验测控系统	(79)
7 PIPING 软件中数据库的开发和应用	(79)
8 中国原子能科学研究院网络改造	(80)

核技术应用

1 高分辨 ERD 分析	(81)
2 航天器单粒子效应模拟实验研究	(82)
3 中子衍射对 $\text{PrFe}_{10.5}\text{Mo}_{0.5}\text{C}_{0.4}$ 永磁合金的研究	(83)
4 冷中子小角散射谱仪的二维位置灵敏探测器的重新安装、测试	(84)
5 静电振动法制备核靶	(85)

辐射防护与环境保护

1 电离辐射与工业毒物监测	(86)
1.1 个人监测	(86)
1.2 流出物监测和环境监测	(89)
1.3 工作场所辐射防护监测	(95)
2 监测规定与监测技术	(97)
2.1 核电厂环境辐射监测规定	(97)
2.2 退役核设施固体材料解控水平和污染测量方法	(97)
2.3 连续监测气态流出物中 ^{14}C 的取样系统	(97)

2.4 金属材料中⁶³Ni的测定 (98)

2.5 核工业系统第三次个人剂量计比对 (98)

2.6 累积法测量土壤氧析出率的模拟计算 (99)

应用与开发

1 金属卤化物发光料丸研制新进展 (100)

2 水墨用仿 117 号美国乳液研究开发进展 (100)

3 水墨生产线建成并投入运行 (100)

4 高强度、强抗热震氧化锆管的研制 (101)

5 大点数火灾自动报警控制系统的研制 (101)

6 SIGMASYS 火灾安全系统的国产化改造工作进展 (102)

附录

1 1998 年中国原子能科学研究院国际交流情况 (103)

2 1998 年我院举办的学术报告会 (107)

3 1998 年我院获奖项目 (108)

4 1998 年我院在中文书刊上发表的科技论文和著译目录 (111)

5 1998 年我院在外文书刊上发表的科技论文和著译目录 (124)

核物理

1 实验核物理

1.1 离线 ^{64}Cu 放射性束产生和分析*

许谨诚 陈 泉 郭 刚 沈东军 程业浩 何 明 姜 山
武绍勇 秦久昌 姜永良 游曲波 柴世琴 崔新炜 魏蒙存
王有宝 柳卫平 田伟之 倪邦发 聂辉玲 杨丙凡 汪幼梅
帅玉玺 姜德熙 李金海 白希祥

离线放射性束的产生和应用是一项系统工程,它充分利用了中国原子能科学研究院的反应堆(重水研究堆,游泳池式轻水堆)、加速器(30 MeV 强流回旋加速器,串列加速器)、同位素技术、加速器质谱技术、中子活化分析技术和辐射剂量等多学科的优势。

作为第一个离线放射性束实验, ^{64}Cu 的样品易处理,做源较容易,并且辐射剂量较小,屏蔽容易安排,束流易得,调束有把握。1998年5月进行了模拟实验,用Cu样品中的 ^{64}Ni 束流,取得了微弱束流的调试经验和应用AMS(Accelerator mass spectrometer)的特征X射线分析技术的经验。

1998年10月进行了第一次 ^{64}Cu 放射性束实验,实验目的是检验整个计划是否正确,并对束流进行分析。

将电解铜样品320 mg(直径3.6 mm,高3.6 mm)装入铝罐内,置入游泳池式轻水反应堆,照射7 d,利用 $^{63}\text{Cu}(n,\gamma)^{64}\text{Cu}$ 反应产生 ^{64}Cu ,同年10月23日11:00出堆,在同位素所的热室中将样品装入靶锥内,拧在离子源的冷却靶杆上,推入特制的离子源铅屏蔽中。14:00测量 ^{64}Cu 源的活度为 5.55×10^{10} Bq。然后运至串列加速器实验室,测量剂量。

将离子源铅屏蔽体用吊车吊至离子源台架预先支好的架子上,放射源被推进强流离子源中,14:30抽真空,19:00真空度合格,启动强流源。串列加速器和加速器质谱仪已于两天前启动,并用 ^{63}Cu , ^{64}Ni , ^{65}Cu 束反复调节过多次。到强流源出束时,先调 ^{63}Cu 束,再根据以前由 ^{63}Cu 和 ^{65}Cu 得到的内插值,调至 $A=64$ 处,出 ^{64}Cu 束。束流能量80 MeV,电荷态 9^+ 。

束流经过串列加速器的分析磁铁后,其中含有 ^{63}Cu , ^{64}Cu , ^{64}Ni , ^{64}Zn 和 ^{65}Cu ,它们的磁刚度 $(mE)^{1/2}/q$ 相同。由于质量不同,相对于 ^{64}Cu 而言, ^{63}Cu 的能量比 ^{64}Cu 的高1.58%,而 ^{65}Cu 能量比 ^{64}Cu 的低1.58%。束流再经过AMS的静电分析器,调节静电分析器电场,质量数为63,64,65的束流便可以分开。用金硅面垒探测器可分别测量不同 A 的束流强度。但是 A 相同的 ^{64}Cu , ^{64}Ni , ^{64}Zn 则分不开(图1和图2)。让这些离子打在铍靶(2.0 mg/cm^2)上,这些离子中的一小部分将产生特征X射线。测量这些特征X射线强度,可以推算它们的流强(图3),所用探测器为Si(Li)。在 ^{64}Cu 源活度为 5.55×10^{10} Bq,衰变14h后,测得 ^{64}Cu 束流为 $4 \times 10^3/\text{s}$, ^{64}Ni 束流为 $7 \times 10^4/\text{s}$,由于 ^{64}Zn 在离子源处难以形成束流,测到的 ^{64}Zn 束流很小。因此 ^{64}Cu 束是混合

束流。 ^{64}Cu 束流的时间依赖关系示于图4。束流随时间衰减与 ^{64}Cu 的12.7 h半衰期一致。由于束流与加速器状态有关,实验值起伏较大。

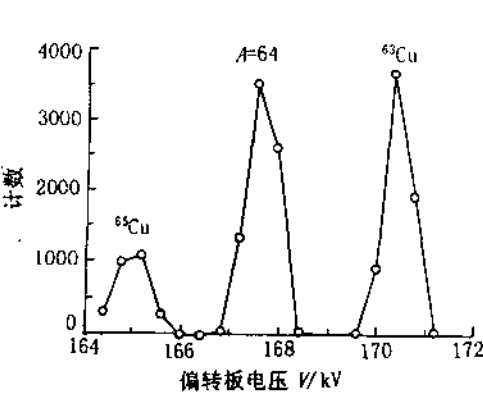


图1 在加速器分析磁铁置于 $A=64(^{64}\text{Ni})$ 时,电解铜样品的 AMS 分析

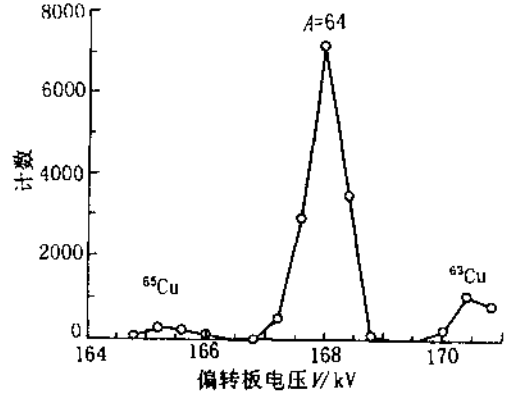


图2 ^{64}Cu 放射性铜样品的 AMS 分析

对外照射屏蔽设计进行了检验。监测点分布在整個串列加速器大厅,包括离子源台架、加速器的低能端和高能端、物点、象点,尤其在离子源台架附近有多个监测点。在实验前测量了本底,在实验过程中和实验后对外照射剂量进行了仔细测量。结果表明:人身的 γ 辐射剂量安全是有保证的。测量表面沾污情况,仅在离子源四极透镜入口处有微量 β 表面沾污,也在控制水平以下,符合国家标准 GB8703-88 辐射防护规定。没有发现对串列加速器的沾污。真空泵排出气体经缓冲罐进入稀硝酸罐,以防含有放射性的气体进入大厅。没有发现稀硝酸中有放射性。

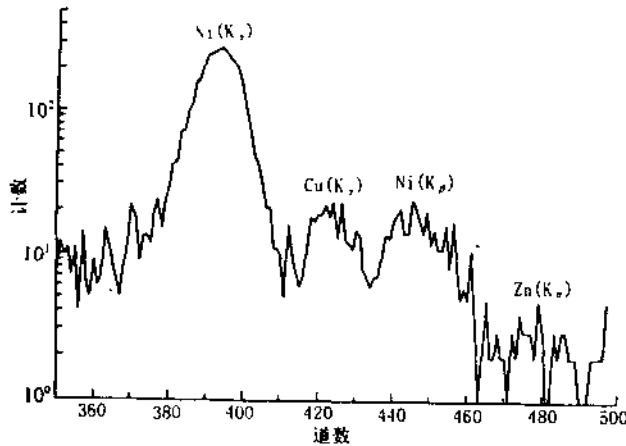


图3 $A=64$ 的束流与靶相互作用后,用 Si(Li)探测器测到的 ^{64}Ni 和 ^{64}Cu 的特征 X 射线

测量到 ^{64}Ni 激发态 2^+ 的库仑激发,但是 ^{64}Cu 的库仑激发没有看到,这可能是由于 ^{64}Cu 束流太小的缘故。

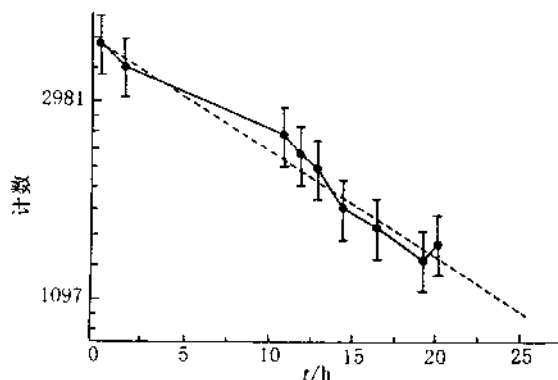


图 4 ^{64}Cu 束流与时间的关系

●——实验值；—— ^{64}Cu 的衰变规律

由上述测量得出如下结论：

- 1) 实验的物理原理没有问题,制源等各个环节工作顺利;
- 2) 离子源可以出 ^{64}Cu 束,加速器可以加速 ^{64}Cu 束;
- 3) AMS 提供了一个束流提纯和分析设备,特征 X 射线测量法可以用于离线放射性束上;
- 4) 人身剂量是安全的,加速器是安全的。

针对 ^{64}Cu 束流比较小,对实验需要作以下改进。

- 1) 需要对离子源的出束条件进行研究,争取获得较大的束流。

2) 控制样品热中子照射条件,以保证有大量的 ^{64}Cu 产生,又不使子体 ^{64}Ni 积累很多,以便改善束流成分。在堆内照射 2 个半衰期左右是合适的。若再增加照射时间, ^{64}Cu 趋向饱和,而 ^{64}Cu 与 ^{64}Ni 之比将显著变坏。

3) 开展对弱束流的测量研究,以利于束流的调整,最好能在弱束流条件下继续保持加速器的高压反馈环,以求束流的高稳定性。

- 4) 提高探测装置的效率,压低本底。

以上改进,尤其是 1), 2) 两项改进,能使 ^{64}Cu 束流达到 $10^5/\text{s}$ 以上。若 ^{64}Cu 的第一激发态 2_1^+ 的 $B(E2)$ 与 ^{64}Ni 的第一激发态 $B(E2)$ 相近的话,有把握测到它的 $B(E2)$ 值。

* 国家自然科学基金和核工业基金资助项目

1.2 ^{86}Zr 及稀土区三轴超形变带自旋值的评估

刘祖华 杨春祥

近年来,陆续发现 $^{163,165,167}\text{Lu}$, ^{171}Ta 的 $i_{13/2}$ 质子 $1/2[660]$ 带的三轴超形变带。此外, ^{173}Re 和 ^{175}Ir 的 $1/2[660]$ 带也可能是三轴超形变带。最近,美国华盛顿大学的 Sarantites 等人在 $A \sim 80$ 区的 ^{86}Zr 中找到四条超形变带,其中三条被指定为三轴超形变带。

Sarantites 等只给出 ^{86}Zr 的 SD1 带的 $I_0 = 21.7 \pm 1.5 \hbar$, 而无法由实验定出 SD2, SD4 带的

自旋值。 I_0 为转动带的最低能级的自旋。鉴于三轴超形变研究的重要性,我们利用 Becker 等人的角动量与转动频率的二参量公式对 ^{86}Zr 的 SD1,SD2 和 SD4 三条三轴超形变带作最小二乘法拟合。Becker 等人的二参量公式为:

$$\hbar(I + \frac{1}{2}) = 2\alpha\omega + \frac{4}{3}\beta\omega^3 \quad (1)$$

其中自旋 I 为 $I+1 \rightarrow I-1$ 跃迁的中点值。跃迁能量 E_γ 与转动频率的关系为 $E_\gamma = 2\hbar\omega$ 。 α, β 为二参量。在与实验数据的拟合中,调节参数 α, β 和 I_0 ,使均方根偏差

$$\sigma = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{(aE_{\gamma i} + \frac{1}{6}\beta E_{\gamma i}^3)_i - (I + \frac{1}{2})_i}{(I + \frac{1}{2})_i} \right|^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

最小。其中 n 为实验点数。由最佳拟合求得 ^{86}Zr 的 SD1,SD2 和 SD4 带的 I_0 分别为 21.65 $\hbar$, 16.72 $\hbar$ 和 17.85 $\hbar$ 。其中求得的 SD1 带的 I_0 值与实验指定值 (21.7 $\pm$ 1.5) $\hbar$ 非常一致。将上述求出的 I_0 归于其最靠近的整数值,得 ^{86}Zr 的 SD1,SD2 和 SD4 带的 I_0 分别为 22 $\hbar$, 17 $\hbar$ 和 18 $\hbar$ 。Sarantites 等认为 SD2 和 SD4 二条带可能为转称伙伴 (Signature partners)。我们的计算结果与他们的猜想相符。

对于 $^{163,165,167}\text{Lu}$ 的三轴超形变带,我们用吴崇式、曾瑾言的二参量转动谱公式作了拟合,吴-曾公式为:

$$E_\gamma(I) = a[\sqrt{1 + bI(I+1)} - \sqrt{1 + b(I-2)(I-1)}] \quad (3)$$

其中 a, b 是二参量。拟合使均方根偏差

$$\sigma = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{E_{\gamma}^{\text{cal}}(I_i) - E_{\gamma}^{\text{exp}}(I_i)}{E_{\gamma}^{\text{exp}}(I_i)} \right|^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

最小。由最优拟合得到的 $^{163,165}\text{Lu}$ 的三轴超形变带的 $I_0 = 25/2 \hbar$, ^{167}Lu 的 $I_0 = 29/2 \hbar$, 均与实验指定值一致。此外,我们还用以上二种方法对 ^{171}Ta 和 ^{173}Re 的 $1/2[660]$ 带进行了计算,求出的 I_0 值都为 $37/2 \hbar$, 均比实验上给出的 I_0 值高 2 $\hbar$ 。差异原因有待进一步考察和探讨。

1.3 $^9\text{Be} + ^{209}\text{Bi}$ 近垒融合

刘祖华 杨 峰 张焕乔 李志常 阮 明 郭继宇 林承健

晕核,如 ^{11}Be , ^{11}Li 的中子结合能比稳定核的约小一个数量级,在靶核的力场中极易破裂。破裂过程会影响近库仑位垒融合。理论上对晕核融合,特别是 $^{11}\text{Li} + ^{208}\text{Pb}$ 系统作了广泛的计算。不同的理论模型得出晕核破裂过程使近垒融合截面增强或阻禁两种相反的结论。为了解决理论上的争论,需要对晕核的近垒融合激发函数作高精度的测量。显然,最好的弹核应是 ^{11}Be , ^{11}Li , ^8B 。但由于其束流强度太弱,目前难以利用上述放射性核束进行高精度测量。因而我们考虑利用弱束缚核,如 ^6Li , ^9Be 等代替 ^{11}Be , ^{11}Li 等晕核来研究弹核破裂对近垒融合的影响。用 ^6Li , ^9Be 等弱束缚稳定核的好处在于其束流强度比放射性束高 10^4 到 10^5 倍,因而可用以进行高精度实验。

实验在中国原子能科学研究院串列加速器上进行。 ^9Be 束的能量范围为 $38 \text{ MeV} \leq E_{\text{lab}} \leq$

50 MeV, 步长 0.5 MeV。 ^{209}Bi 靶厚 $220\text{ }\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 蒸发在 $150\text{ }\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 的碳膜上。碳膜的厚度足以停止反应中产生的蒸发残余核。在 $\pm 29^\circ$, 距靶 130 mm 处放置两块直径为 3 mm 的半导体探测器, 测量弹性散射。距靶 50 mm 处, 两块直径为 12 mm 的半导体探测器分别置于 $\pm 160^\circ$, 探测从蒸发残余核发射的 α 粒子。此外, 为了分开 $E_\alpha=9.0\text{ MeV}$ 附近的几个 α 峰, 我们将 Q3D 磁谱仪置于 130° , 进行高角动量分辨测量。Q3D 磁谱仪的立体角为 10 msr 。实验中观察到了蒸发残余核 $^{214\sim 217}\text{Fr}$ 的 α 谱。实验数据正在处理之中。

1.4 $^6\text{Li}+^{209}\text{Bi}$ 近垒及垒下熔合

刘祖华 张焕乔 吴岳伟 李志常 杨 峰 郭继宇

F. Soramel¹, C. Signorini², 林承键, 阮 明

(1 Udine 大学物理系, 意大利; 2 Padova 大学物理系, 意大利)

弹核破裂对近库仑位垒两原子核熔合的影响受到广泛关注。这主要与松散结合的晕核特征有关。近来, 理论上存在晕核破裂使近库仑位垒熔合截面增强还是下降两种相反观点的争论。因而做高精度的实验测量以判断何种理论预言正确很有意义。在此背景下, 我们用自然界中最弱束缚稳定核 ^6Li ($S_\alpha=1.47\text{ MeV}$) 做熔合反应的实验研究。

用从中国原子能科学研究院串列加速器引出的 ^6Li 束流进行实验。 ^6Li 束的能量范围从 28 MeV 到 38 MeV, 步长 0.5 MeV。 ^{209}Bi 靶厚 $220\text{ }\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。熔合反应中形成的蒸发残余核停止在 $150\text{ }\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 的碳底衬中。距靶 50 mm 处, $+160^\circ$ 方向设置一直径 12 mm 金硅面垒半导体探测器, -160° 方向设置一套直径 12 mm 的 ΔE - E 半导体探测器望远镜, 探测从蒸发残余核发射的 α 粒子。 ΔE 金硅面垒探测器厚 $30\text{ }\mu\text{m}$, E 探测器厚 $100\text{ }\mu\text{m}$ 。用 ΔE - E 望远镜探测系统是为了进行粒子分辨, 以降低本底。距靶 130 mm, $\pm 20^\circ$ 处放置带孔径为 3 mm 光栏的金硅面垒探测器, 测量弹性散射, 用作截面归一。实验中观察到 $^{211\sim 214}\text{Ru}$, $^{211\sim 214}\text{At}$, ^{211}Po 等蒸发残余核发射的 α 粒子。其中 ^{212}Ru 的半衰期 $T_{1/2}=24\text{ min}$, ^{211}Ru 的 $T_{1/2}=14.6\text{ h}$, ^{211}At 的 $T_{1/2}=7.214\text{ h}$ 。对每一能点在线测量之后, 还进行了近一个小时的离线测量, 探测以上长半衰期发射核的 α 放射性。实验数据正在处理之中。

1.5 $^{19}\text{F}+^{208}\text{Pb}$ “阈异常”和熔合反应异常之间的联系

林承键 许谨诚 张焕乔 刘祖华 杨 峰

我们曾报道了 $^{19}\text{F}+^{208}\text{Pb}$ 体系在近垒和垒下能区熔合反应异常^[1]以及弹性散射“阈异常”(Threshold anomaly, TA)的现象, 它们之间的联系正是人们感兴趣的问题之一。基于以上实验, 我们进一步探讨了这种联系。TA 实际上是一种耦合道效应, 从弹性散射抽取的 TA 代表了所有其它反应道耦合到弹性道的效应。相应地, 若从熔合道抽取 TA, 则应代表所有其它反应道耦合到熔合道的效应。比较这两种方法抽取的 TA 将有助于我们对核反应机制以及耦合道效应的理解。目前这方面的工作还没有人做过。图 1 显示了从弹性道和熔合道抽取的光学势实、虚部在灵敏半径 $R_s=12.5\text{ fm}$ 处的情况, 都表现出 TA 的现象。图中黑点和圆圈分别表

示从弹性道和熔合道抽取的数据,实线和虚线是用TA线性公式分别拟合弹性和熔合数据得到的。可以看出,两者TA的情况大体上一致,主要区别发生在垒下能区:弹性的TA值比熔合的TA值略大,这反映了耦合到弹性道和熔合道的成分不同。

采用这种反常的TA光学势,在一维位垒穿透模型(BPM)下,计算的该体系熔合反应的激发函数和均方自旋分布都与实验结果符合良好(见图2)。简单的BPM计算与实验结果相差很大;若采用熔合道计算(如CCFUS),仅能拟合激发函数,而不能重现自旋分布。关于熔合裂变碎片各向异性的计算目前正在进行。

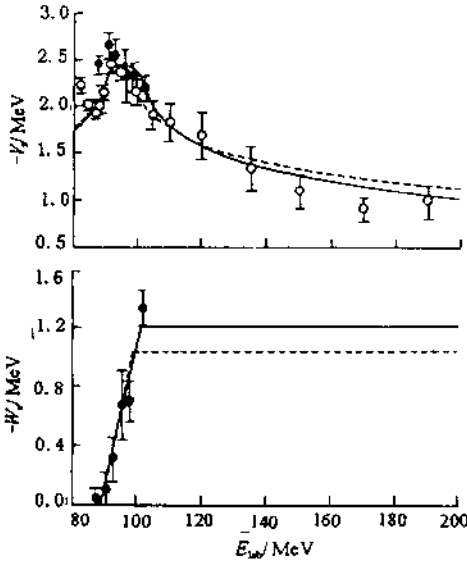


图1 $^{19}\text{F} + ^{208}\text{Pb}$ 的阈异常

●——弹性散射,○——熔合反应

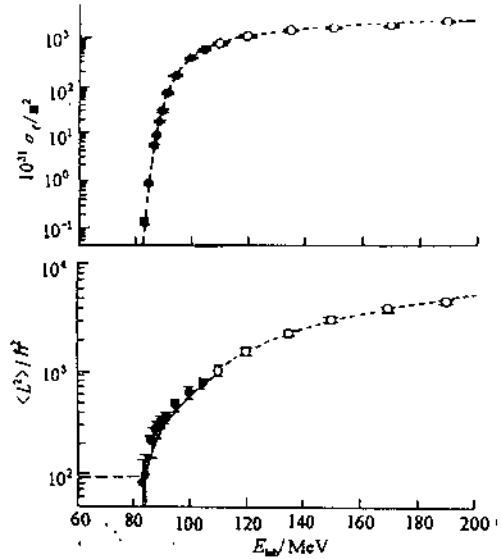


图2 激发函数和均方自旋分布

---——理论计算值,●——Z. H. Liu实验值;
○——B. B. Back实验值

1.6 ^{84}Rb 的高自旋态研究*

温书贤 韩广兵 刘祥安 吴晓光 李广生 袁观俊

翁培焜 杨春祥 马英君¹ 陆景斌¹

(1 吉林大学物理系,长春,130023)

^{84}Rb 的高自旋态通过 $^{70}\text{Zn}(^{18}\text{O}, \text{p}3\text{n})$ 反应布居,所用靶为滚压而成厚约 $400 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 的自支撑薄靶, ^{70}Zn 的同位素纯度为 99.3%,在实验中将两层靶叠起来用以增加反应产额。用 8 台 HPGe-BGO 谱仪及 1 台平面型高纯锗探测器,束流能量约为 75 MeV,测量了 γ - γ 符合,并从符合数据中提取 DCO 比值。符合事件以事件-事件方式记录在磁带上,共积累了大约 180×10^6 个符合事件。

经过分类反演符合数据,反复、仔细地分析及系统学比较,最后确认了 ^{84}Rb 的 40 个新能