

# 复旦大学核物理和离子束分析研究工作进展

(1982—1984)

杨福家 陆福全

原子核科学系核物理教研组

复旦大学

现代物理研究所低能核物理研究室

## (一) 核物理实验及理论研究

### 1. $\gamma$ 共振方法测定核能级特性

利用  $(p, \gamma)$  反应产生的 $\gamma$ 射线的Doppler位移可改变 $\gamma$ 能量, 测量了 $^{24}\text{Mg}$ 、 $^{28}\text{Si}$ 原子核的能级宽度 $\gamma$ , 相应也可确定激发态的寿命。

### 2. $(n, \gamma)$ 反应 $\gamma$ 谱测量

利用Ge (Li) 对NaCl样品的瞬发 $\gamma$ 谱进行测量。

### 3. 14MeV能区中子能量的精确标定

$^{28}\text{Si} (n, \alpha)$  反应的 $E_\alpha$ 可精确测定, 从而标定14MeV能区的中子能量。同时找到了 $E_n$ 与靶厚度关系不大的几何条件。

### 4. 核辐射探测器性能测试

对高能区Ge (Li) 探测器的效率进行刻度; 用望远镜对中子探测器的效率进行刻度; 制备了强 $p$ 本底下记录 $\alpha$ 的径迹探测器; 对国产BGO探测器的性能进行了测试。

### 5. 奇奇核的能带结构研究

测量了核反应产生的 $\gamma$ - $\gamma$ - $t$ 符合谱,  $\gamma$ 角分布, 脉冲时间谱, 得到了 $^{113, 120}\text{Sb}$ 和 $^{118}\text{I}$ 的能带结构, 并与Faessler的理论作了比较。

### 6. 核数据编评

a. 完成 $^{23}\text{Na}$ 和 $\text{Hf}$ 的中子截面、角分布和能谱数据的评价工作。对实验数据进行综合和拟合, 无实验区作理论计算。结果已归入核工业部数据库。

b. 20MeV以下能区 $n$ - $^3\text{He}$ ,  $n$ - $^4\text{He}$ 相移分析; 完成有效核力—Skyrme force的型式推导及理论解释。

### 7. 原子核半径的经验公式研究

考虑了弥散效应和形变效应后, 给出了一个参数较少的核电荷半径的计算公式; 在此基础上引进了非对称项, 用以解释偏离 $\beta$ 稳定线核素的半径规律。对332个核素的计算值与实验结果及其它理论进行了比较, 符合得较好。

### 8. $^9\text{Be}$ 超核基态结合能与 $\Lambda$ - $^4\text{He}$ 的相互作用势研究

应用Born-Oppenheimer方法严格求解 $\Lambda$ 的两中心势方程, 得到了与实验值符合得很好的 $^9\text{Be}$ 结合能。

同时利用定域的 $\Lambda$ - $\alpha$ 四高斯势确定了非定域 $\Lambda$ - $\alpha$ 可分势的各参量。

### 9. 四极形变和振动对 $\mu^-$ 子末态几率的影响

在考虑裂变系统的粘滞性以及断点处裂块的形变和振动的情况下计算了 $\mu^-$ 致 $^{238}\text{U}$ 裂变后

$\mu^-$ 子末态几率。结果表明比不计及粘性及裂块形变和振动结果增加2.5%。

#### 10. 考虑Pauli阻塞效应的 $\pi$ -核弹散研究

用多重散射理论构造了一个零级近似的 $\pi$ -核光学势, 并考虑Pauli原理对反冲核子的阻塞效应, 用这样的光学势计算了 $\pi$ -核(3,3)共振区的弹散截面(与高能所协作)。

#### 11. 用高能QCD研究核构成(与高能所协作)

### (二) 与核有关的原子物理、固体物理研究

#### 1. 固体化合物阻止本领的Bragg法则实验验证

测量了 $^4\text{He}$ 离子在0.3—2.0MeV之间对NaF和NaCl的阻止截面, 验证了Bragg相加法则的适用性。

#### 2. 研究蓝宝石外延生长硅层(异质外延的晶格生长情况)。

#### 3. 用离子束分析技术研究硅基体表面硅化钛薄膜生长情况。

#### 4. 轻元素的卢瑟福散射截面的精确测量。

#### 5. 用沟道效应研究束箔离子的极化机制

在用束箔光谱学方法产生 $^{15}\text{N}$ 、 $^{13}\text{C}$ 极化原子核束研究的基础上, 使用单晶Au箔作束箔光谱—沟道效应复合实验方法, 证实了离子极化是由于箔的表面作用引起的, 为国际上有争议的论题提出了新的实验证据。

6. 原子角动量存在取向和排列时, 对发光的光强使用张量来描述。给出Stokes参数的具体表达式。

#### 7. 运动氦离子能级在磁场中的Stark分裂(实验和理论)计算

离子或原子在磁场中通常发生Zeeman分裂。运动离子在磁场中由于受到Lorentz力, 等效于一强电场, 从而产生Stark效应。已完成 $^4\text{He}^+$ ( $n=4 \rightarrow n=3$ 跃迁的4686 Å)谱线分裂的理论计算。实验正在进行之中。

#### 8. 原子内壳层电离截面测量

使用自支衬靶及符合方法, 已完成Cu、Ni、Mn等元素的带电粒子引起的K层电离截面实验测量。

### (三) 核技术应用——离子束分析

离子束分析技术包括核反应微量元素分析(NRA)、背散射(RBS)和沟道效应(channeling)分析、质子激发X荧光分析(PIXE), 弹性反冲分析(ERD)以及将它们综合起来作微区扫描分析的质子微探针技术(PMP)或称质子显微镜(Proton Microscope)。离子束分析具有灵敏度高、多元素分析、可对样品作无损分析以及非真空分析等优点。它不仅是凝聚态物理研究领域中最灵敏、最有效的分析、研究手段之一, 而且在国民经济各个领域中得到越来越广泛的应用。我校目前已建立了NRA、RBS、channeling、PIXE及ERD的专用设备及配有PDP11/34的数据获取系统。同时也建立了质子微探针装置, 外束微区分析的空间分辨率达到 $5\mu$ 左右。

自1973年在美国召开了第一次离子束分析国际会议以来, 至今共举行过六次国际会议。我校连续二届受聘为国际离子束分析会议组织委员会委员。

近两年来, 我校主要在下述四个方面应用离子束分析技术进行研究:

#### 一、材料分析

1. 测量半导体材料硅注入砷及其它杂质后, 在不同退火条件的杂质深度分析和损失恢复情况。

- 2.测定Al基体上氧化铬薄膜的组分及厚度。
- 3.分析太阳能电池材料无定形硅中F、O等元素的含量和深度分布,研究它们和光电转换效率的关系。
- 4.用 $\alpha$ -H弹性反冲法作氢分析(掺氢无定型硅,靶中氘深度分布)。
- 5.对多种进口零部件材料(包括合金、玻璃半导体)作成份分析(外贸索赔、为仿制、试制提高数量、避免大量重复进口)。
- 6.新型计算机记忆元件磁泡的组分分析。
- 7.用 $^{27}\text{Al}(p,\gamma)^{28}\text{Si}$ 反应分析大规模集成电路铝-硅接触电极的厚度,为工艺提供帮助。
- 8.分析集成电路硅片表面氧含量,以检测清洗效果。
- 9.分析大规模集成电路掩膜材料氮化硅薄膜中的氢含量和掩膜腐蚀速度的关系,以控制生产工艺中的腐蚀速度。
- 10.石油化工用萃取剂效率和氢元素含量关系。金山石化总厂使用的日本和国产萃取剂,研究它的效率和氢含量关系,可为提高国产萃取剂的性能提供中间监察手段。
- 11.导电氧化膜(Al基体上氧化铬膜)的组分及厚度分析。(新型波导管表面涂层研究。)
- 12.用非真空质子微探针分析新型催化元件剖面的铂、镍、钨、铁等活性元素的分布。研究生产氮肥用的催化剂的催化机制、效率等。

## 二、医学

- 1.人体头发分析
  - a)用质子微探针研究孕妇生育前后、癌症病人手术前后的某些微量元素在头发中的急剧变化。
  - b)骨癌病人头发分析及与正常人比较。
- 2.血液分析
  - a)吸血虫及肝炎引起的肝硬化病人血液中微量元素在治疗前后的明显差异;治疗后向正常人靠近。
  - b)尿中毒病人血清与正常人比较。
- 3.人体组织中的微量元素分析
  - a)陕西大骨节病人骨骼微量元素分析,并与当地水质成份作比较。
  - b)心肌梗塞病人心肌的活组织分析(钾、镁等元素和正常人的比较)研究组织坏死及梗塞病因。
  - c)用质子显微镜测定龋齿内部铁、铜、锌、锶等元素的空间分布。

## 4.神农架“野人”毛发分析

对神农架“野人”出没地区所收集的毛发进行PMP分析。初步结果表明,该毛发的Fe/Zn比为正常人的54倍,为当地野兽(猩猩、长臂猿、熊)的8倍。

## 三、环境科学

### 1.上海地区大气气溶胶分析

研究市中心、工业区、郊区的空气污染情况,并与几乎没有工业沾污的西藏拉萨地区作了比较。

(下转123页)

(上接126页)

2.北京、天津、太原、贵阳地区的大气气溶胶分析，包括元素成份、颗粒直径、污染源等，并研究季节及日夜交替规律。

#### 四、珍贵文物分析

利用质子微探针测量古镜剖面十三种元素的分布及表面富集现象。

#### 五、其它

1.用 $\beta$ 射线传感器测量火箭级际分离姿态。

2.镓、碲化镉中注入质子，制作红光探测元件。

3.用离子注入方法研制激光二极管。现有九个研究所和工厂来实验室进行研制或小批量生产。