

高能物理研究所核技术应用部

研究工作进展

李 士

(中国科学院高能物理研究所)

一、概 况

中国科学院高能物理研究所核技术应用部成立于1983年,现有人员近200人,助研、工程师以上专业科技人员107人,其中研究员3人,副研究员38人。

核技术应用部下设四个研究室,即核物理研究室、核化学研究室、自由电子激光研究室和引力物理研究室。高能所核技术应用部的主要任务是进行低能核物理、核化学与核技术的应用研究工作,此外,还开展了引力物理和自由电子激光高技术项目。目前应用部的研究工作已深入到工业、农业、国防、环保、地学、生物医学、化学、磁学和固体物理、考古学等各个领域,并取得了一批实验成果。八九年应用部承担国家自然科学基金资助课题十七项、国家“七五”攻关课题五个、“863”高技术跟踪课题1个,此外,还承担了院重大课题和所内课题若干个,全年发表论文近百篇。下面简要介绍应用部近年来总体研究情况。

二、目前的研究工作和进展

1. 质子静电加速器及其应用

应用部核物理室的质子静电加速器是在赵忠尧先生指导下,于1958年建造的。该加速器能量为2.88MeV,能量稳定度为0.1%,束流种类为P, α 。该器从1959年投入运转以来,运转总机时已超过三万小时。目前在

该器上进行的工作有质子激发x射线分析、背散射、核反应和沟道分析等。

(1) 质子激发x射线分析(PIXE)

应用部核物理室于1979年底建立了这种方法,并开展了在环境科学、生物医学、材料科学等方面的应用研究工作。如测试并分析了半导体材料、氟化钡晶体材料中某些杂质元素的含量;分析了磁泡薄膜中的元素组分;测量了北京、天津和广州地区的大气飘尘的组成和表征。在生物医学方面完成了骨折家兔血液微量元素代谢过程研究。结果表明在骨折愈合过程中元素P、S、K、Ni、Cu、Zn等的含量变化明显,而元素Ca含量保持在同一水平,说明家兔机体不缺Ca,这对西医常规采用钙片治疗骨折方法提出异议,而对中医传统采用的矿物“自然铜”治疗提供了依据。对食管癌和胃癌癌前病变与微量元素关系的初步研究结果发现,在病灶组织和正常组织之间比较,元素Fe、Cu、Zn、Ca、Mn和Cr的含量均有显著的差异,病灶组织的Cu/Zn比远高于正常组织。

(2) 背散射(RBS)与沟道效应(channeling)分析

应用部核物理室从1975年开始这项研究工作,主要开展半导体以及其它固体材料表面性质的研究,包括元素、组分、厚度、深度分布等。对金属材料的改性问题曾进行了铁中注入氮的工作。

例如,他们利用 ^4He 离子束前角反冲方法对不同工艺参数条件下用等离子体化学气相淀积方法制备的红外探测器钝化膜

(SiO_2/TiSb) 中氢的含量与分布进行分析, 获得在工艺条件为 rf, 功率密度为 $0.14\text{W}/\text{cm}^2$, 淀积温度为 200°C 、淀积时间为 50 分钟时, 生长的钝化膜可以基本满足器件的要求。

(3) 核反应分析 (NRA)

用 $^{14}\text{N}(\text{P}, \alpha\gamma)^{12}\text{C}$ 核反应分析研究了急性肾衰竭对大鼠肝脏及肌肉组织中蛋白代谢过程的影响。实验分别选用了健康和因注射 HgCl_2 引发急性肾衰竭的大鼠, 给它们注入同样剂量的用稳定同位素 ^{14}N 标记的甘氨酸化合物后, 在不同时刻采样, 而后利用核反应法测定样品中 ^{14}N 浓度随时间的变化速率。此外, 利用 $^{19}\text{F}(\text{P}, \alpha\gamma)^{18}\text{O}$ 反应分析了牙齿中氟的含量。

2 x 射线荧光分析 (XRF)

核物理室 x 荧光分析研究小组在我国较早建立了能量色散 x 荧光分析实验室, 并在环境、地质、合金、石油工业、考古等方面开展研究工作。在能量色散 x 荧光分析方法学方面建立了用同位素源及 x 光管激发条件下的多种定量分析方法。如用离子交换膜预浓集法进行水中微量元素分析, 采用基本参数法和经验系数法校正基体效应对合金、古汉与隋唐铜镜、商代铜钟等考古样品表面成份分析和环境土壤中微量元素的分析, 解决了多元合金的无标样分析问题。此外, 还研究了用蒙特卡罗模拟 x 荧光过程进行定量 x 射线分析, 用 MgO 吸收油样然后热分解的制样方法分析不同种类油中的微量元素等问题。

最近核物理室 x 荧光分析研究小组设计研制了我国第一台全反射 x 射线荧光分析装置, 并测定了六种元素在全反射条件下的检测下限, 均达到了 ng 级。

3. 穆斯堡尔谱学研究

核物理室穆斯堡尔谱学研究小组是我国第一家开展这方面研究工作的单位。该组于 1973 年制造了我国第一台穆斯堡尔谱仪并开始了应用研究工作。该组的任务方向是开展

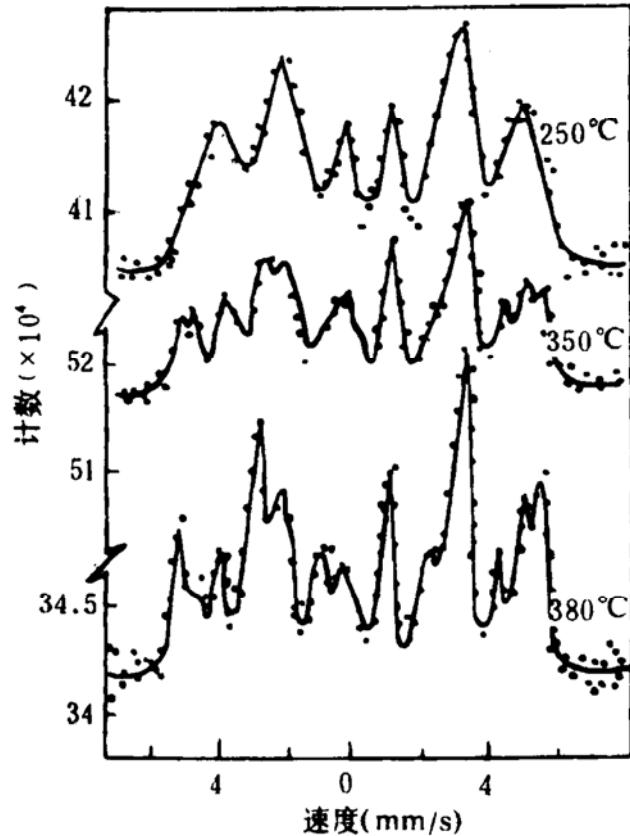


图 1

穆斯堡尔谱学方法学和表面界面物理等方面的研究工作。目前该组正在建立高真空喷镀设备, 主要目的是用该设备制备铁基的以其它金属为间隔的多层薄膜, 利用穆斯堡尔谱学技术研究表面和界面的磁相互作用行为。此外, 近年来该组还开展了非晶合金、磁粉、高温超导材料、陨石和考古样品等方面的工作。例如他们对非晶态合金的结构弛豫和晶化进行了研究, 认为 $\text{Fe}_{50}\text{P}_{20}$ 非晶合金的晶化是一个缓慢的过程, 是从外表面逐步向内部晶化的, 非晶态从亚稳态向稳定态转化要经过非晶 I、非晶 II、初始晶化、晶化、亚稳相和稳定相六个过程。图 1 为 $\text{Fe}_{50}\text{P}_{20}$ 非晶合金在 250°C 、 350°C 和 380°C 退火温度下的样品在室温下测量的内转换电子的穆斯堡尔谱。

4 正电子湮没谱学

应用部核化学室是国内最早建立 (1978 年) 正电子湮没实验设备的单位, 并开展了一些正电子在材料中湮没寿命谱及利用锗探测器作一些湮没辐射多普勒谱的测量实验。1981 年该组将正电子湮没寿命谱仪和高纯锗

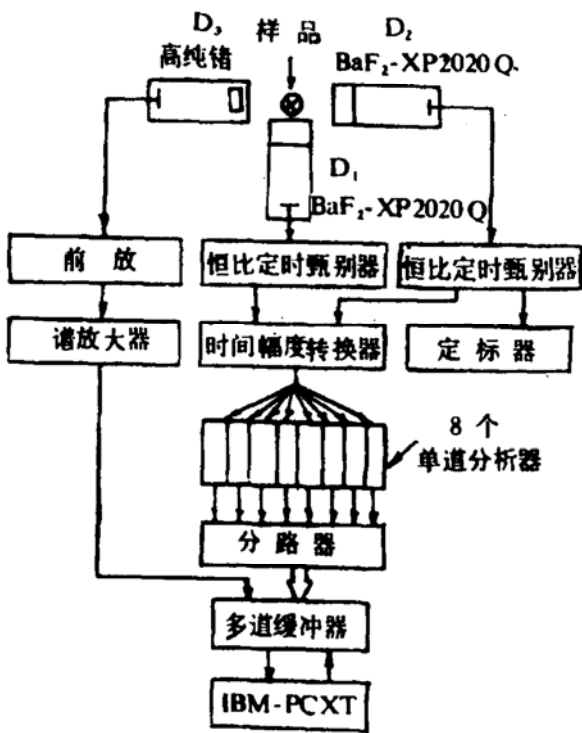


图 2

γ 谱仪组装在一起, 成为一个具有选择寿命测多普勒谱的联合谱仪系统。最近在国家自然科学基金的支持下, 采用磁猝灭技术和新型的 BaF_2 核辐射探测技术, 将联合谱仪发展为在国际上具有特色的正电子湮没时间选择能谱仪。图 2 给出了一个具有 8 时间道的正电子湮没时间选择能谱仪的电子学框图, 该装置在磁场下的时间分辨率为 0.6ns, 能量分辨率为 1.09 keV。利用时间选择能谱仪研究了正态电子偶素在气凝硅胶中的慢化过程, 发现衰变率与前人的 (QED) 计算值不符。此外该组利用正电子湮没技术还研究了形状记忆合金、有机导体、单晶硅、压电材料、聚四氟乙烯、激光晶体等材料。

该组下一步的工作是不断提高时间选择能谱仪的时间分辨、能量分辨和运行效率。研究课题集中在电子偶素的基础研究, 发展正电子和电子偶素的探针技术。

5. 核径迹技术及应用

应用部核化学室 1973 年建立了固体核径迹探测器课题组。该组曾测定了 1976 年我国第三次回收的人造地球卫星舱内质子通

量。在沉积盆地热历史研究方面已建立了基于磷灰石裂变径迹参数测量的热历史分析模式, 并应用于临清拗陷的油气资源评价, 并得到石油地质界的重视和好评。

为了满足国内需要, 该组还开展了核孔滤膜制备及应用工作, 目前已生产出 0.2—12 μ 孔径的聚碳酸酯核孔滤膜, 并已应用于超纯试剂的除尘净化、研制药物缓释膜等方面, 已取得了一定的经济效益和社会效益。

6. 中子活化分析

应用部核化学室近年来利用中子活化分析技术研究了水、岩石、大气、宇宙、生物和土壤中的微量元素丰度特征, 并已应用到环境科学、大气化学、宇宙化学及生命科学等多个领域, 并得到一定的经济效益。研究的内容包括以下几方面:

(1) 水和土壤微量元素背景值的研究

测定了水和土壤中元素和稀土元素的含量, 获得了长江主要支流的水背景值。研究了稀土元素在土壤中的分布特征及相关性。

(2) 大气微量元素化学的研究

利用分级采样器结合多元素中子活化分析研究了西太平洋地区近海层气溶胶物理化学特征, 结果表明利用这种手段能够鉴别它们的可能来源及输送过程。

(3) 宇宙圈的微量元素丰度特征的研究

利用放射化学和中子活化分析方法研究了若干地质界线发现铀异常。利用新建立的化学溶解流程, 发现铀的赋存状态与陨石中铀分布类似, 这一结果有利于地外撞击说。

(4) 岩石圈的微量元素研究

测定了地质样品中稀土元素, 研究了稀土元素在岩石圈中的迁移规律。

(5) 生物圈的微量元素研究

研究了若干疾病, 如老年性白内障、缺铁性贫血等与人体中微量元素含量的关系, 对研究这些疾病的病因及治疗有参考价值。鉴于稀土元素能使农作物增产, 目前正在进行 (下转 32 页)

Hounsfield 研究的第一台 CT 可以说就是一台核医学设备,因为他用的射线源是由同位素产生的,探测系统为碘化钠晶体、光电倍增管。由于同位素产生的射线源光子束流强度受到限制,后改为 X 射线源,但闪烁探测技术至今仍在 X 线 CT 中广为使用。

发射型计算机断层与透射型计算机断层有许多相同之处。它们所用射线源的本质是相同的,均为光子流;探测射线的方法相同,都用闪烁探测法;实现断层的原理和技术相同,都用图像重建和滤波反投影(FBP)。但 TCT 和 ECT 也有许多不同处,最本质的区别是射线的入射方式不同。TCT 的入射方式为 x 线从体外穿透人体,根据人体组织、

脏器和病变的物理密度差异来达到诊断的目的;ECT 则是把放射性核素注入人体内,通过组织的吸收后发射出 γ 射线,根据正常及病变组织浓聚放射性的多少来诊断疾病。两者是相辅相成,互为补充。

核医学不仅在技术上与核物理、核电子学及核探测技术有紧密联系,而且在组织形式上有固定结合。从 1983 年起,中华核医学会与核电子学、核探测技术学会联合举办了三届核医学电子学学术会议,并成立了跨两个学会的核医学物理专题组。许多从事核物理、核电子学、核探测技术的大学、工厂、研究所与医院有了密切的合作。今后我们还将更加紧密的增强这种结合,把核医学的水平提高到一个新阶段。

(上接 27 页)

痕量稀土元素对动物体内的分布积累、代谢、生育的影响。

7. 引力物理

应用部引力物理研究室近年来主要进行引力波探测、引力常数 G 的观测、地球引力场中光速各向同性检验、引力反平方定律的实验检验等。例如,为了验证周培源教授提出的必须在谐和条件下来解 Einstein 场方程的解的观点。该室开展了研究地球引力场中垂直光速和水平光速是否相同的光速各性检验实验。目前该实验已取得 10^{-8} 的垂直光速和水平光速实验的精度。作为实验的一个主要技术准备,发展了一种激光双频锁定微振幅测定方法,可以在一般实验室条件下测量 10^{-12}cm 的微振动。

8. 自由电子激光

应用部自由电子激光室自 1988 年开始正式承担国家“863”高技术项目—北京自由电子激光装置(BFELP)研制任务。

BFELP 是一台中红外自由光子激光器,

它利用电子直线加速器产生的高流强、低发射度和宽脉冲的优良电子束,通过高增益光腔中的扭摆磁场,以获得高强度的、波长连续可调的相干光辐射。此种辐射可广泛应用于科学研究和工业中,如在凝聚态物理、材料科学、光化学、激光医学等领域有广泛的应用前景。

目前应用部自由电子激光室正在建造一台能量为 17—37MeV(激光波长为 5—25 μm),宏脉冲宽度为 4 μs 的高亮度加速器,同时进行了扭摆磁铁及光腔的研制。预期在今年进行自发辐射试验,1991 年进行激光振荡器实验,为下步开展其它关键激光技术创造坚实的条件。

本文在成文过程中刘亚文、王世成、张天保、钟世才同志提供了一些材料,在此一并表示感谢。