

## 成果与应用

# 中国科学院 基础科学研究成果综述(续)<sup>\*</sup>

关键词 中国科学院, 基础科学研究, 成果

## 1 物理学

### 量子计算研究

武汉物理与数学研究所在国际上首次实现了 7 位的 D-J (Deutsch-Jozsa) 量子算法和精确受控相移门。此前, 国际上虽然实现了 7 位 Qubit 的“猫态”, 但不是算法, 实现的算法最多只有 5 位 Qubit。量子计算的理论研究也取得突破性进展, 该所提出的用魔角旋转固态磁共振方法作量子计算的理论构架已经完成, 为实验上实现较高量子位(10 位 Qubit 以上) 计算提供了一个坚实的理论基础。

### 多能级原子的电磁诱导透明(EIT)的实验研究

武汉物理与数学研究所在国际上率先进行了铷( $^{85}\text{Rb}$ ) 原子  $D_2$  线多能级原子的电磁诱导透明(EIT) 的实验研究, 在国际上首次观察到多个上能级间的相干现象。和  $D_2$  线比较,  $D_1$  线的上能级简单, 理论处理也容易, 国际上 EIT 实验研究多是在  $D_1$  线进行的, 对  $D_2$  线的 EIT 机理尚不清楚。该实验结果是理论上不曾预言的, 因而将推动 EIT 机理研究的发展。

### 电离层物理研究

武汉物理与数学研究所在电离层物理的研究上取得富有特色的成果。在电离层的中国地区特性与空间天气的研究中, 发现了风反射导致的若干重力波远距离传播模式; 利用综合探测手段, 在“点”上对低电离层的电场、风场、不均匀体特性等进行研究, 在“线”上对电子浓度剖面等参量进行探测, 在“面”上对 TEC 的时空分布及电离层的扰动传播参量进行研究, 从实验上揭示了我国电离层环境的地理特征; 并利用我国处于电离层远东异常与赤道交汇处这一地理特点, 观测研究我国独有的电离层结构与扰动的地域特性, 揭示了这种地域特性的物理成因, 进而解决了“电离层远东异常成因”这一长期遗留又受到普遍关注的重要科学难题; 还发现了赤道异常暴时南北对称性的季节变化新现象。

### 统一描述平衡与非平衡体系的格林函数理论研究

理论物理研究所对 60 年代的 Schwinger-Keldysh 格林函数进行了系统研究和发展, 创造性地将它发展成为研究相对论及非相对论系统、平衡与非平衡状态及其演化的一个非常有效的理论方法, 它还将用于临界动力学、非线性量子输运和无序系统等许多具体问题, 澄清一些重要的理论问题。

\* 收稿日期: 2002 年 5 月 20 日

## 超硬材料 $\beta\text{-C}_3\text{N}_4$ 的合成及性质研究

$\beta\text{-C}_3\text{N}_4$  的合成是人们根据理论预测合成新材料的首次尝试, 是一个探索性很强的题目。物理研究所承担的该项研究取得了一系列新的研究结果。在材料合成的同时, 进行了新的材料合成设备的研制, 研制成功我国第一台电子回旋共振微波等离子体化学气相沉积薄膜生长设备, 在 CN 和纳米管合成研究中均发挥了很大的作用。利用自行研制的设备, 制备出纳米晶态的 CN 膜, 给出了系统的实验结果, 并于 1998 年首次合成了由一维高聚合物 CN 纳米棒组成的纳米管, 这种纳米管的发射电流高达  $200\text{mA}/\text{cm}^2$ , 场发射阈值电压为  $0.8\text{V}/\mu\text{m}$  是当时国际报道的最好结果。采用偏压辅助热丝化学气相沉积方法生长了大面积高定向 BCN 纳米管, 均匀排列, 长度一致, 并在蓝光-紫光范围具有强的光荧光, 可通过化学成分调节发光光谱的峰位。

## 巨磁电阻材料和物理

物理研究所在巨磁电阻材料的制备和巨磁电阻现象的物理研究两方面取得了突出的成果。在材料制备方面, 发现了三种 Fe/Mo、NiFe/Mo、Fe/Ag 具有 GMR 效应的金属多层膜新材料, 得到国际同行的确认。在巨磁阻材料微结构分析和物理研究方面得到很多有意义的结果, 如高奈尔温度反铁磁材料对铁磁性材料产生的交换耦合作用; Fe/Cu(111) 和 Co/Cu(111) 中的界面电子态的存在; 利用 Hall 效应研究 GMR 多层膜; 氧化物 CMR 中的各种新效应和新机制: 动态 Jahn-Teller 效应、JT 极化子变程跃迁、小极化子跃迁、磁极化子导电、电子相分离、表面声子的作用、自旋玻璃态的证据等物理效应。发展了同步辐射光源 XRD 方法, 发现 NiFe/Mo 多层膜的 GMR 低下的原因是因为存在界面过渡层, 提高了对 GMR 多层膜性能与结构关系的认识。应用元素成像的 HRTEM 方法表征纳米多层膜同一柱晶内的元素分布。Fe/Mo、NiFe/Cu 等自旋阀的微结构分析达到国际前沿水平。制备的巨磁电阻多层膜已达到制备器件的初步要求, 为发展相关的高新技术提供了条件。

## 低温下凝聚态物质基态和元激发研究

物理研究所中国科学院极端条件物理重点实验室对该研究领域的几个关键问题做出了有特色的先进成果: (1) 在强关联电子系统研究方面, 通过对 CeNiSi 的系统研究, 首次在第二类强关联绝缘体母体上通过掺杂实现了非费米液体行为。通过对二维层状有机材料(BEDT-TTF) $2\text{X}$  的红外反射谱的研究, 对它由高温半导体行为到低温金属性的转变提出了新颖的解释。首次研究了量子临界铁磁体中的近藤问题, 分析了近藤屏蔽的存在条件和破缺机制, 给出了完全屏蔽的图像及其临界行为。(2) 在低维体系方面研究了电荷密度波(CDW) 材料和碳纳米管的低温物性, 证明 CDW 能隙在远高于相变温度时已出现, 对深入了解一维导体的相变过程提供了非常重要的实验证据。对碳纳米管的物性研究也得出了很有启发意义的结果。(3) 系统深入地研究了自旋梯子系统中的凝聚问题, 首次提出了具有明确物理意义的精确可解的自旋梯子模型并研究了它的量子相变问题的临界性质, 还得出系统的调制结构, 是很有意义的结果。

## 核磁共振成像原理与方法研究

武汉物理与数学研究所从原理与方法的角度, 开展提高磁共振(MRI) 成像速度和提高分辨率途径, 并建立相应系统的研究。在核自旋体系的非平衡过程及局域行为的核磁共振研究中, 创造性地提出了延迟时间回波魔角旋转可以得到固体高分辨谱, 发展了固体高分辨研究的新方法, 建立了高速旋转 MAS 条件下的交叉极化理论, 并提出用转动算符方法来描述核自旋系统运动的新理论等, 该研究成果在基本理论、方法和实验技术上对核磁共振(NMR) 学科的发展做出了重要贡献; 在核磁共振中辐射阻尼效应的研究方面, 创建了线性理论, 不仅对辐射阻尼效应作出合理解释, 而且导致一系列新的辐射阻尼效应的发现, 还发展了一些新实验方法; 采用先进技术研制的高性能 200MHz 固体和液体两用核磁共振谱仪, 对国内谱仪的升级和研制工

作有重要意义;实现了自编程的螺旋扫描成像技术,其时间分辨率优于 20ms,达到国际先进水平,结合功能磁共振成像(FMRI)和活体磁共振谱(MRS)开展了脑疾病和脑功能的动物模型研究,获得了一些有意义的结果。

### 人造“超原子”体系结构和物性的研究

固体物理研究所、物理研究所等单位承担的人造“超原子”体系结构和物性的研究,取得了许多有国际影响的首创性的研究成果:(1)发明了模板生长定向多层碳纳米管阵列的方法,制备出长度比当时国际上碳纳米管长度长 1—2 个数量级,达 2mm 的碳纳米管。研制出当时世界上最细的碳纳米管,管径已接近理论极限,得到国际上的公认。(2)成功地在碳纳米管网上组装了单磁畴纳米  $N_1$  球,并研究了该人造“超原子”体系的磁结构和磁学性质。(3)从理论上设计了高稳定性的  $Al_{12}C$  固体团簇,并得到了实验证实。首次从理论上给出了超原子体系果酱模型的适用范围,引起了国际上的重视。(4)成功地将有机物小分子(染料、葱等)组装到多孔硅的纳米孔洞中,发现该人造超原子体系的荧光带蓝移、峰位可调、发光带对称性改善等现象。(5)首次提出并研制成功聚合物与多孔硅的复合体系,制备出电致发光器件,获得了宽带(300—700nm)的场致发光。(6)首次利用原位化学沉积法实现了大体积百分数在气凝胶介孔内组装人造超原子,用该技术制备的  $ZnO/SiO_2$  气凝胶组装体系的荧光增强了 50 倍,论文在两年内被 *Science* 等国际著名刊物引用 12 次。(7)采用纳米有序洞模与催化剂诱导的 CVD 方法,成功地合成了 GaN 纳米丝,论文得到国际同行的重视和引用。(8)采用电沉积与高温氧化相结合的技术,实现了纳米氧化物一维人造超原子微列阵的构筑,论文得到 APL 审稿人的充分肯定。

### 高温超导物理的前沿问题

物理研究所、中国科学技术大学等单位承担的该项研究,在高温超导电子相和电子相分离、超导电性机制、高温超导及相关材料的异质结、磁通动力学理论和实验以及超导隧道结物理性质等五个方面开展了较系统深入的研究,在许多方面有新的突破和发展。在与机理相关的反铁磁向超导转变过程的研究中,在国际上首次观测到富 Cu 的  $La_2CuO_4$  化合物中的相分离及铁磁与超导共存的现象,为了解超导在反铁磁中形成的过程注入了新的信息。在 Bi 系超导体中,通过抑制调制和提高载流子浓度的方法,大大提高了相应体系的临界温度,发现了  $T_c=47K$  的 201 相,对了解高温超导体中超导电性与微观结构之间的唯象关系有重要意义。在应用基础研究方面,通过大量的结物理、薄膜和结的材料与工艺的研究,制备出了高性能的高温 and 低温 Josephson 结,为 Josephson 结型器件的实际应用奠定了基础,并成为推动国内的高温超导机理研究和器件应用的重要工作。

### 固体微腔物理

半导体研究所、物理研究所、理论物理研究所、长春光学精密机械与物理研究所完成的该项目,研究了在空间限域条件下固体微腔中电子体系与光强耦合相互作用引起的各种腔量子电动力学现象,探索了具有新原理、新结构的微腔光电子器件。在发展新的材料生长、加工技术以及测量技术方面做出了有创新性的工作。(1)成功地制备出采用量子点作有源介质的平面微腔,创造性地利用角分辨光谱探测实现了在线不同量子点的选择探测,并由此设计出可连续调谐的新型共振腔增强型光探测器;(2)首次研究了脉冲电压激发下电吸收的上升时间和衰减时间随光强变化关系,提出了改进的 GaAs 量子阱光折变器件模型并较好地解释了实验结果;(3)利用气源 MBE 方法生长制备了 InGaAs/InGaAsP 多量子阱结构,成功地研制出直径分别为 8 $\mu m$ 、4.5 $\mu m$  和 2 $\mu m$  的微碟形半导体微腔激光器,达到国际同类水平;(4)利用非局域介电张量和 Green 函数技术,提出了一个严格的平面微腔半经典理论,发表在国际一流刊物上并引起同行的关注,在微腔实验研究

中具有指导意义,反映了成果的先进性。

## 定向纳米碳管的制备结构和物性研究

物理研究所的研究人员研究发明了控制纳米碳管生长的取向和直径的方法。得到高密度、直径均匀的碳管阵列,从而解决了纳米碳管生长直径不同、杂乱取向、互相缠绕等问题,是国际上带有开拓性质的研究工作。该项研究首次获得了离散分布的超长碳纳米管阵列,使碳纳米管的长度达到 2mm 以上,并研制出当时世界最细的碳纳米管。该项研究工作先后在 *Nature*、*Science*、*PRL* 等杂志上发表,并被 *ISI* 评为经典引用奖。

## 半导体微结构的电子态和有关物理性质的理论研究

半导体研究所的研究人员在该领域取得了 4 个方面的创造性的成果。首先提出量子球空穴态的张量模型,已被国际半导体团簇研究者普遍采用,并成为半导体团簇研究的理论基础;首先提出一维量子波导理论,并用于研究一维波导网络,之后国际上用该理论开拓了大量的在理论上的两个方程研究一维波导网络的工作;首先提出在(11N)(N=1,2,3……)取向的衬底材料生长超晶格的有效质量,现在该领域已成为人们研究在(11N)取向衬底上外延生长超晶格和量子线、量子点的理论基础;首先用赝势方法研究了超晶格的  $\Gamma$ -X 混合效应,精确地定出 Ga/AlAs 短周期超晶格中的  $\Gamma$  和 X 能级及定义时的能量分裂以及  $\Gamma$ -X 共振隧穿几率,该结论被后人的实验证实。

## 低维 C<sub>60</sub>分子晶格体系取向序研究

(见本刊 2002 年第 3 期 185 页)

## 超高密度信息存储研究

物理研究所中国科学院真空物理重点实验室用扫描隧道显微术进行超高密度信息存储的研究,选择设计有特色的电荷转移有机功能分子体系 NBMN-PDA 作为信息存储的介质,在 1996 年将信息存储点的直径缩小到 1.3nm,比国外同期水平(约 10nm)提高近一个数量级,对应的信息容量比现有光盘高 100 万倍;1998 年获得了信息点大小分别为 0.7nm 和 0.8nm 的信息图案,仅为国外信息存储密度的几十分之一且非常稳定。1999 年,在一种新型有机复合薄膜上写入信息记录点图案“A”,在薄膜表面施加反向电压脉冲可以进行信息点的擦除。2000 年,在一种有机分子薄膜上成功地实现了写入和擦除最小点径为 0.6nm(为单个小分子的水平)的信息点阵,相应存储密度比国外 1998 年的结果又提高了一个数量级,是目前世界上信息存储密度最高的实验结果。该成果发表在 *Appl. Phys. Lett.* 和 *Phys. Rev. Lett.* 等杂志,并被美国物理学会选为近期在 *Phys. Rev.* 和 *Phys. Rev. Lett.* 上最值得一读的文章,称其为“奔向下一代的 CD”。

## 2 核物理及大科学与工程

### 利用北京谱仪在北京正负电子对撞机上的 2—5GeV 能区的 R 值测量

2—5GeV 能区的 R 值测量属  $\tau$  粲物理若干前沿课题研究中的重要课题之一。高能物理研究所利用北京谱仪(BES)上 2—5GeV 能区的 R 值测量平均精度达到 6.6%,比原有的 15%—20% 提高了 2—3 倍, BES 上 R 值测量在强子事例挑选、本底扣除、积分亮度计算、触发效率、探测效率及辐射修正计算等许多方面有所创新和改进。综合起来,使 R 值测量达到了以往国外实验从未达到的实验精度。BES 上 R 值测量的初步结果,在 2000 年 7 月的第 30 届国际高能物理大会(ICHEP2000)上报告后引起很大反响,国际高能物理界高度赞赏和重视北京谱仪 R 值测量的初步结果。各国学者称赞 BES 上的 R 值测量是一个“非常重要的实验,非常漂亮的结果。”



## 北京正负电子对撞机上的 $\psi(2S)$ 及其它夸克偶素实验研究

(见本刊 2002 年 3 期 193 页)

## 利用北京谱仪在北京正负电子对撞机上的 $J/\psi$ 衰变物理研究

高能物理研究所的这项研究,一方面在分析方法上以运动学为基础组织建立了螺旋度和矩分析方法,前者引用螺旋角度分布表达式,采用最大似然估计,利用最大似然比检验;后者引用矩表达式,采用最小二乘估计,利用显著性检验,进而确定衰变过程的极化参数和共振态的自旋宇称。另一方面,在选题上抓住国际上最关注的疑点。例如,  $f_0(980)$  到底是普通介子态还是分子态? BES 测出了  $f_0(980)$  的衰变宽度为 43MeV(通过双耦合拟合公式),同时又测出了反冲  $\Phi$  和反冲  $\Omega$  的  $f_0(980)$  的强衰变过程分支比的比近乎 2:1,这些重要信息与理论上预言它是分子态的假设相吻合,得到国际同行的赞誉;又如,  $f_j(1710)$  的旋宇称到底是  $0^+$  还是  $2^+$ ? BES 给出在  $f_j(1710)$  较宽共振的质量区域内是有结构的,  $0^+$  的成份位于高质量端,而  $2^+$  的成份位于低质量端,与后来的 ppbar 湮灭实验给出的结果一致。至于  $\xi(2230)$ , BES 在奇异衰变模式下重复了 MarkIII 观察到  $\xi(2230)$  的讯号,在非奇异衰变模式下也观察到  $\xi(2230)$  的讯号,并测出它的衰变宽度窄,呈现味对称性等,这些重要性质都能被胶球的解释所接受。然而,胶球的确认在国际上依然没有解决,仍困扰着我们的问题有:自旋宇称为  $0^+$  的标量胶球到底是  $f_0(1500)$  还是  $f_j(1710)$ ? 它们的混合机制到底如何理解?  $\xi(2230)$  自旋宇称为  $2^+$  是标量胶球吗? 历史赋予我们的任务显然是在 BEPCII 上去积极参与胶球的领先确认。

## 北京同步辐射装置上同步辐射多层膜反射率和装置及其物理研究

为推动国内软 X 光学技术及应用方面的发展,高能物理研究所在北京同步辐射装置 3B1 束线上建造了一套软 X 光反射率计装置。该装置由两台 Bragg 衍射构成双重二倍角复合机构,第一衍射仪由多层膜单色器和随动摇臂(样品台和探测器在其上)组成,第二衍射仪包括样品台和探测器。全套装置由柱面镜、狭缝、单色器、样品台、探测器、真空系统、数据获取及控制系统等组成。其特点是由软 X 光多层膜作为色散元件,集单色器与反射率计为一体,至今国内外未见同种类型装置发表,应属世界第一台超小型同步辐射反射率计装置。全套装置性能指标如下:工作范围 1—20nm,单色器角分辨率 0.00750,能量分辨率为 1.6%。可工作在波长扫描和角度扫描两种工作方式,可开展反射、衍射、透射方式的光学元件测量、软 X 光探测器灵敏度标定及生物辐照等方面的研究,是国内惟一的在此波长范围开展这方面研究工作的装置。已为全国 10 余家单位的 10 余个研究项目提供近 3 000 小时的使用机时,涉及国防、科研及农业等领域,尤其在软 X 射线探测器灵敏度标定工作中发挥了很大的作用。

## 羊八井宇宙线实验

高能物理研究所与日本合作于 1990 年在海拔 4 300 米的西藏羊八井建成了世界效率最高的宇宙线大气簇射观测专列,由 65 个闪烁探测器组成,覆盖面积 22 500 平方米。主要物理目标是探索超高能宇宙线  $\gamma$  射线源,研究天体超高能物理过程。在国际同类装置中,它的优势是独占一个能区(10TeV)。最高事例率(20—40Hz)。已经获得以下领先的物理成果:在国际上首次给出了几十个超新星遗迹及活动星系核的 10TeV  $\gamma$  射线发射限,已用于甄别某些脉冲星模型并可提供星系际红外背景密度的某些信息;第一次用 10TeV 宇宙线测量了太阳阴影,观测到日地空间磁场的扇面结构以及宇宙线日影与太阳活动变化的关联,展现了 10TeV 宇宙线日影研究太阳、空间及地球物理的背景;重新测定了初级宇宙线“膝”区能谱,被认为是最可靠的数据;给出了 10TeV  $\gamma$  射线暴存在的信号。1994—1996 年,对羊八井阵列进行了扩建,二期阵列由 297 个探测器组成并组入了 80 平方米乳胶室和 Burst 探测器。1997 年 3—6 月观测到来自河外星系 Mrk501 的 10TeV  $\gamma$  发射,这是

国际上用簇射阵列手段观测到的第一高能  $\gamma$  源。2000 年开始, 与意大利合作建设羊八井国际宇宙线观测站, 它具有宽视场、全日制、全天候、大规模等特点, 目前进展顺利。

## 黑客入侵防范软件

高能物理研究所研制的黑客入侵防范软件, 是针对目前我国网络发展中存在的“黑客”非法入侵设计的一套相对有效的防范软件, 其主体是以网络安全和系统安全的测试软件, 用于分析和指出有关网络的安全漏洞及被测系统的薄弱环节, 并给出相应的修补措施和安全建议。它包括网络安全测试、系统安全措施、Web 安全措施、安全监控、漏洞检测和漏洞修补六大功能模块, 它们既相互独立又相互联系。相互独立使之可以根据不同应用的需要, 构成不同的应用系统; 相互联系使软件成为一个有机的整体, 同时, 系统还提供统一的功能模块接口, 用户可自行添加新的安全防范措施。系统采用预警、监控、修复以及模拟测试等方法确保信息系统和网络的安全, 且对最常用的 Web 服务器的安全特别加以考虑, 不但对已知的多种常见系统和网络攻击方法有防范作用, 而且对使用与现有攻击原理相类似的攻击方法也有防范作用, 是目前国内自行研制开发的一套高性能的安全防范软件, 达到国际先进水平。

## 兰州重离子加速器放射性束流线及放射性束物理研究

20 世纪 80 年代中期以来, 放射性核束的产生和应用迅速发展, 在核物理中形成一个新的学科生长点——放射性束物理。为了不失时机地开展我国的放射性束物理研究, 近代物理研究所在预先研究的基础上, 仅用了 20 个月, 就高速度、高质量地于 1997 年 7 月建成了兰州放射性束流线(RIBLL)。RIBLL 由放射性束的产生、分离、鉴别系统, 核反应测量和数据获取系统组成, 全长 35 米。它的设计集中了国际上已有的 4 条中能重离子放射性束流线的优点, 首次采用了两段反对称的双消色差传输结构, 极大地提高了对放射性束的分辨能力, 是一台具有创新设计特色和 90 年代国际先进水平的放射性束物理研究装置, 为我国开展放射性束物理这一极其活跃的前沿领域的研究创造了先进的实验条件。1999 年获中国科学院科技进步奖一等奖。迄今, RIBLL 已稳定运行 7 000 小时, 为中、日等国放射性束物理实验研究提供了约 100 种放射性束流, 取得了一批重要成果。(1) 利用 RIBLL 很高的离子分辨能力和探测灵敏度, 观测到重要的质子滴线核 $^{19}\text{Na}$ 的束缚态, 并测得其半寿命为 200 毫微秒, 这是当前国际滴线核研究的一项重要成果。(2) 在 RIBLL 上鉴别并分离出中子滴线核 $^8\text{He}$ 、 $^{11}\text{Li}$  和  $^{14}\text{Be}$ , 这是国内首次获得的十分重要的中子皮核和中子晕核, 并完整地测量了 $^8\text{He}$  的碎裂反应产物 $^4\text{He}$ 、 $^6\text{He}$  和  $^3\text{He}$  的能谱; 还确认 $^{12}\text{N}$ 、 $^8\text{B}$ 、 $^{23}\text{Al}$  和  $^{27}\text{P}$  具有质子晕核的特性。(3) 利用 HIRFL 提供的每核子 69 兆电子伏的 $^{36}\text{Ar}$  轰击 $^9\text{Be}$  靶, 通过弹核碎裂反应, 在国际上首次成功地鉴别出质子滴线新核素 $^{25}\text{P}$ 。

## 重质量丰中子区和超铀缺中子区新核素合成和研究

在重质量丰中子新核素的合成和研究中, 近代物理研究所经系统的理论计算, 预言该区域存在新的  $\beta$  延迟中子先驱核岛; 通过实验先后首次成功地合成和研究了 $^{208, 209}\text{Hg}$ 、 $^{185, 186}\text{Hf}$ 、 $^{237, 238}\text{Th}$ 、 $^{239}\text{Pa}$  和  $^{175}\text{Er}$  8 种重质量丰中子新核素; 并从理论上对它们, 特别是对 $^{208}\text{Hg}$  进行了研究; 建立了 $^{175}\text{Er}$  的部分衰变纲图, 研究了其子体 $^{175}\text{Tm}$  的低位态能级。至此, 我国的重质量丰中子区新核素合成和研究在世界上居于明显的优势位置, 不但实现了我国在新核素合成领域零的突破, 而且在重质量丰中子区形成了自己的物理和技术特色。他们还利用高流强、大截面、多层靶、有效的反应产物传输技术、半衰期的选择性和高效的化学分离方法等手段, 合成和研究了国际上多年未果的超铀缺中子新核素 $^{235}\text{Am}$ 。获中国科学院自然科学奖一等奖和国家自然科学奖二等奖。

## 稀土区质子滴线附近新核素合成和新衰变纲图研究

近代物理研究所的研究人员巧妙地使用高灵敏度缓发质子- $\beta$  符合和氦喷嘴-带传输的独特技术, 将测量

灵敏度提高了 50 倍,从而在缺中子稀土区质子滴线附近新核素合成和研究中取得突破:仅两次实验就合成和鉴别了半寿命 1 秒以下的 8 种新核素 $^{121}\text{Ce}$ 、 $^{125}\text{Nd}$ 、 $^{128}\text{Pm}$ 、 $^{129}\text{Sm}$ 、 $^{135,137}\text{Gd}$ 、 $^{139}\text{Dy}$  和 $^{139}\text{Tb}$ ,测量了它们的半寿命和缓发质子谱( $^{139}\text{Tb}$  为  $\text{EC}+\beta^+$  衰变),建立了 $^{128}\text{Pr}$ 、 $^{130}\text{Pm}$  和 $^{138,139}\text{Gd}$  较完整的衰变纲图。此前,他们通过实验首次建立了 $^{153}\text{Er}$ 、 $^{157}\text{Yb}$ 、 $^{209}\text{Fr}$ 、 $^{129,130}\text{Ce}$  和 $^{120}\text{Ba}$  等 6 个短寿命核素的较完整的( $\text{EC}+\beta^+$ ) 衰变纲图;用多种原子核理论模型进行计算分析,获得了新的重要物理结果。近代物理研究所在该核区合成的新核素和建立的衰变纲图,无论在数量上还是质量上都处于国际前列。1998 年获中国科学院自然科学奖二等奖,并荣获 2000—2001 年度吴有训物理奖。

### 合成超重新核素 $^{259}\text{Db}$ 的合成及 $^{230}\text{Ac}\beta$ 缓发裂变的确证

(见本刊 2002 年第 2 期 108 页)。

### 高电荷态 ECR 离子源

1993 年,近代物理研究所自行研制成功我国第一台 10GHz 高电荷态 ECR 源,在国际上首次发现和成功应用了一种新的工作模式和新的磁约束场形,并率先试验成功冷阴极电子枪,主要指标达到或超过国际先进水平。1997 年又研制成功一台 14.5GHz 高电荷态 ECR 源,在国际上率先试验成功高磁场模式和大体积弧腔,使高电荷态重离子束流的强度大幅度提高,并成功产生了多种金属高电荷态离子束;在高电荷态离子产生机制方面做了一系列创新性的探索,主要指标达到或超过国际先进水平,获 2000 年度中国科学院科技进步奖一等奖。这两台 ECR 源投入使用,不但显著提高了兰州重离子加速器的束流指标,而且为开展高离化态重离子原子物理和表面物理研究提供了良好条件。正在研制一台性能更高的超导高电荷态 ECR 离子源。

### HT-7 超导托卡马克

等离子体研究所承担的该大科学工程项目今年初实现了在低杂波驱动下电子温度超过 500 万度、中心密度大于  $1.0 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ 、长达 20 秒可重复的高温等离子体放电;实现大于 10 秒、电子温度超过 1 000 万度、中心密度大于  $1.2 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$  的高参数等离子体放电。在离子伯恩斯波和低杂波协同作用下,实现放电脉冲长度大于 100 倍能量约束时间、电子温度 2 000 万度的高约束稳态运行;最高电子温度超过 3 000 万度。这些重大的综合实验结果领先于国际上同等规模装置,标志着 HT-7 超导托卡马克的研究已步入世界磁约束核聚变研究的前列,成为世界上为数不多的可进行高参数稳态条件下等离子体物理研究的实验装置。

目前 HT-7 是世界上第二个放电长度达到 1 000 倍能量约束时间、温度为 1 000 万度以上的实验装置,能对稳态先进运行模式展开深入的物理和相关工程技术研究。从总体宏观参数上比,已经超过体积大于 HT-7 3 倍的俄国 T-10 超导托卡马克。在稳态高约束运行长度上已居世界领先水平。

### HT-7U 大科学工程项目进展

等离子体研究所承担的该大科学工程项目进展顺利。建成了一批极具挑战性的最重要、最关键的加工和实验设施并已成功投入使用,建成 600 米 CICC 超导体生产线并成功生产出第一根 600 米质量达到要求的 CICC 哑缆导体;建成两台完全由计算机控制、可绕制高精度大型“D 型”线圈的数控绕线机并已完成一饼 1/4 纵场模拟线圈和一个超导中心螺管线圈的绕制;安装、验收完毕安徽省最大的、具有高精度加工能力的数控龙门铣并已开始 HT-7U 纵场线圈盒的加工;建成达到国内先进水平的 HT-7U 第一壁材料实验室及实验装置;与山西煤炭化学研究所合作成功研制出符合要求的第一壁材料并在 HT-7 超导托卡马克的先行实验中取得十分满意的结果。建成国内最大超导磁体实验设备并成功进行了冷屏降温实验。利用该实验系统现已完成 HT-7U 中心螺管超导模型磁体实验的全部安装工作,即将进行超导磁体性能测试实验;建成并调试成

功由电网直接供电、可连续运行的低混杂波 2MW 电源系统并即将用该系统在 HT-7 超导托卡马克上开展重要的电流驱动先行实验研究。

## 重离子核反应的集体效应和奇异核产生及其性质研究

(见本刊 2002 年第 2 期)

## 超灵敏小型回旋加速器质谱计

上海原子核研究所自行设计、建成的超灵敏小型回旋加速器质谱计(SMCAMS)装置是世界上第一台回旋型加速器质谱计,也是世界上第一台负重离子回旋加速器。它开辟了 AMS 技术的一个新方向,在国际科技竞争中保持了我国在回旋型加速器质谱计领域的领先地位,在总体和关键技术均为国际首创。所采用的高次倍频三角波形加速电压、设计的新颖加速结构和磁体结构、实现的不同粒子的快速交替加速和建立的精确测定 $^{14}\text{C}$ 的加速器质谱学方法,均为我国在该领域的技术、理论和方法上的成功尝试,使我国的回旋加速器质谱计研究水平居国际领先地位。SMCAMS 的优点是测量精度高、结构简洁、造价低、无污染等,已成功地测量了一批包括马王堆在内的考古样品和古代地质样品,其 1% 的测量精度和 25 个/秒的 $^{14}\text{C}$ 计数率表明 SMCAMS 已达到当前国际串列加速器质谱计日常测量的较好水平,完全满足了生命科学、环境科学、考古学、天文和地球诸学科的应用要求。获 2000 年度中国科学院科技进步奖一等奖。

## 临床规模的 $^{188}\text{W}$ - $^{188}\text{Re}$ 发生器的研制及其应用

$^{188}\text{Re}$  是一个十分适于治疗癌症的放射性核素,用  $^{188}\text{W}$ - $^{188}\text{Re}$  发生器产生的无载体的  $^{188}\text{Re}$  适宜于制备多种缓解骨转移疼痛和治疗肿瘤的药物。上海原子核研究所用自制的  $^{188}\text{W}$ - $^{188}\text{Re}$  发生器产生的  $^{188}\text{Re}$  成功地标记了自行合成的 HEDP, 标记率大于 95%。系统地研究了 HEDP、 $\text{SnCl}_2$  和 Vc 的量,溶液 pH 值、反应温度和反应时间对标记率的影响,确定了最佳标记条件。测定了标记化合物的稳定性、对小鼠的毒性和在小鼠体内的生物分布。动物实验的初步结果表明: $^{188}\text{Re}$ -HEDP 毒性小,在小鼠血液中清除很快,在骨组织中高度浓集,是一种很有希望的治疗药物。用发生器产生的  $^{188}\text{Re}$  还制备了一定颗粒大小分布的  $^{188}\text{Re}$  硫化锱混悬液。对凝聚法和分散法的优缺点进行了比较研究。系统地研究了  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  和  $\text{KReO}_4$  的摩尔比、反应时间、稳定剂的种类和量、超声时间等条件对产额的影响。从  $^{188}\text{W}$ - $^{188}\text{Re}$  发生器得到治疗核素  $^{188}\text{Re}$  具有方便、就地、价廉的特点。一个 $^1\text{Ci}$ 的  $^{188}\text{W}$ - $^{188}\text{Re}$  发生器,如果每天淋洗,在 8 个月的使用期限里可得到约 $^{50}\text{Ci}$ 的  $^{188}\text{Re}$ ,如果按每个病例使用约 30mCi 的量计算可用于 1 600 个病例。这个数目是相当可观的。 $^{188}\text{W}$ - $^{188}\text{Re}$  发生器无论从经济效益还是社会效益来讲都有极其广阔的应用前景。

## DNA 单分子操纵

纳米技术的重要目标之一是操纵单个原子、分子,构建具有特定功能的纳米器件、纳米结构。1989 年美国 IBM 科学家 Eigle D. 实现了操纵单个原子的愿望。接下来就是操纵分子,特别是 DNA 生物大分子。上海原子核研究所课题组基于近十年的努力,特别是自 1997 年承担院重大基础性研究项目和基金会重大交叉项目中获得的一系列进展,并与德方 Gao Haibin 和 Hartmann U. 合作,于 1999 年首次实现了单个 DNA 分子的纳米操纵。此后又进一步完善,建立起一整套的对单个 DNA 分子进行拉直、切割、折叠和推移的方法。国际纳米界前沿杂志 *Nano Letters* 的封面刊登了通过对单个 DNA 分子的纳米操纵构建的“DNA”三个字。每个字宽 200 纳米,高 300 纳米,又以 4 页篇幅图文并茂地报道了这项国际领先的 DNA 单分子纳米操纵技术,这也是纳米科技与分子生物学交叉的突破,具有重大的学术和应用价值。(待续)

(中国科学院基础科学局 提供)