

核物理研究新进展

姜承烈

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

摘要 本文介绍了国际核物理研究的趋势,核物理研究的前沿已从传统核物理转向亚核自由度变得重要的领域.讨论了在核结构、核反应、相对论性重离子碰撞、亚核自由度、放射性核束和核天体物理学等领域所获得的最新成果.

关键词 传统核物理,亚核自由度,相对论性重离子碰撞,放射性核束,核天体物理学.

1 核物理研究的发展趋势

核物理研究已有六十年历史,起初只能用 α 或更轻的炮弹产生核反应,50年代末有了重离子炮弹,1974年 Bevalac 上引出了 2.1GeV/u 的 ^{12}C 束,1986年 SPS 和 AGS 上又分别引出了 200GeV/u 和 14GeV/u 的 ^{16}O 束.这些都标志了新研究前沿的开创.

核现象可以大致分为四个层次:集体行为、在核场中的核子、介子自由度和夸克—胶子结构.前两者可以归为传统核物理研究领域,而在后两现象中,亚核自由度起着重要甚至决定性的作用.

随着研究的不断深入和技术条件的改进,60年代开始核物理研究的前沿从轻粒子核反应移到了重离子核物理.现在,传统核物理研究虽还有大量有意义的问题需要给予深入细微的研究,但从全局上来讲,它已经不是核物理研究的主攻方向了.一些原来由粒子物理研究的东西,现在结合核现象,构成了核物理研究的新前沿(不是粒子物理而是核物理.可以引用两方面的内容来说明上述情况.

1989年,美国核科学顾问委员会受能源部和国家科学基金会的委托,撰写了一个美国核科学发展的长期规划:核、核子和夸克—90年代的核科学.其中列出了今后十年中四个最激动人心的研究方向:(1)核媒质中

的夸克自由度和强相互作用理论(包括介子自由度), (2)高温、高密度和夸克—胶子等离子体的核态方程, (3)极限情况(温度、角动量和中子质子比)下的核结构, (4)以核媒质精确研究强、弱—电相互作用的基本方面.并列出了九个前沿课题: (1)核内的核子, (2)核媒质中的强子, (3)核和核子中的夸克, (4)核中的味物理, (5)极端条件下的核, (6)核碰撞的动力学和热力学, (7)核物质的禁闭相和非禁闭相, (8)基本相互作用的精确检验, (9)核物理和宇宙.从这里可以看出,传统核物理研究的比重已经不大了.国际上核物理界有三个最重要的系列性学术会议(它们都是每三年召开一次):国际核物理大会,核—核碰撞国际会议和粒子与核国际会议.从这些会议的特邀报告内容上,也清楚地反映了核物理研究前沿变化的趋势.

当前国际上三个最瞩目的方向: (1)RHIC 方向,以相对论重离子碰撞去寻找夸克—胶子等离子体, (2)CEBAF 方向,用连续、强流、高能(GeV)电子束与核相互作用,以展现核和核子的夸克结构, (3)KAON 方向,用强流高能质子,和用它产生的各种次级粒子(例如 π , μ , n , ν 特别是 κ)与核相互作用,进行精确测量和寻找稀少衰变,来精确研究强和弱—电相互作用的基本方面.

在传统核物理方面,除了目前的研究内容外,下述三个方面值得注意: (1)中能重离子

物理的精确测量, (2)用放射性核束去扩展传统核物理研究的范围, (3)核物理和宇宙学及天文学的结合, 发展成核天体物理学.

2 核物理研究的新进展

2.1 核结构方面

1986 年, 发现了超形变(SD)核¹⁵²Dy. 自 1975 年理论上预言在 $Z \sim 64, N \sim 64$ 附近可能存在长短轴之比为 2:1 的超形变核后, 花了十年功夫才找到的. 目前, 在 $A \sim 130, 150, 190$ 三个区域已经找到了四十多个超形变带. 基本上弄清了其组态和在 SD 带里各能级上的布居情况. 找到 SD 带的规律(对 $A \sim 150$ 区域)是存在一个角动量为 $54\hbar$ 的窗, 而反应后剩余核必需是冷却的(见图 1). 角动量超过 $64\hbar$ 将产生裂变, 低于 $54\hbar$, 例如 $50\hbar$ 处, SD 带与 yrast 带之间能级间隔虽只有 0.6MeV , 但在 SD 带附近正常态的能级密度已如此之高, 难以有几率布居到 SD 带了. 因此, 对入射道只有一个窄窗的区域才是有效的. 复合系统经过放出几个中

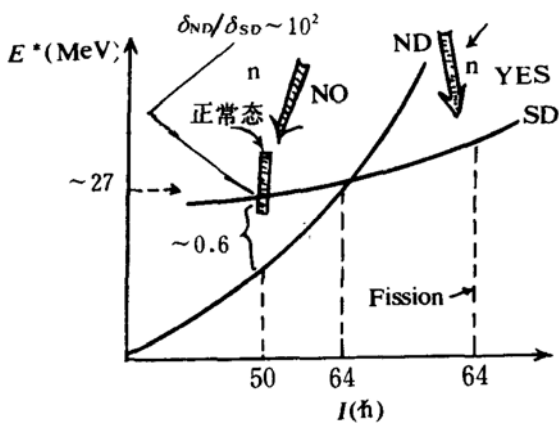


图 1 在 $A \sim 150$ 区, 可以找到超形变带的一个窗口

子后进入这个“yes”区域才有可能观察到 SD 带. 在 $A \sim 150$ 区, 对于 10 个核已看到了 19 个 SD 带.

巨共振研究的一个有兴趣的方面, 就是研究巨偶极共振的宽度 Γ 随着核激发能或角动量的升高是如何变化的. J.Kasagi 等用多种能量的 ³²S 轰击 ¹⁰⁰Mo, 得到的结果是: $\Gamma = 4.8 + 0.035E_{ex} + 1.6 \times 10^{-8}E_{ex}^4$, ($A \sim 130 - 136, E_{ex} > 100\text{MeV}$) 即随着激发能 E_{ex} 的增加, Γ 很快增加. 但是, J.Gaadhoje 对 Sn 核的 GDR 宽度的系统研究却得到了不同的结论, 看到了随 E_{ex} 的增加, Γ 出现饱和现象, 并认为这实际上是反映了一个 spin 的饱和现象. 但是这种巨共振的贡献, 在 γ 谱中是处于其他二个高能和低能成份之间, 把它分析出来是与处理方法关系紧密的. 也许上述关于 Γ 变化结论的差异是由于数据处理方法不同而造成的. S.DiToro 用理论计算, 可以得到 Γ 随 E_{ex} 升高而增大, 到一定的 E_{ex} , 巨共振贡献就会埋没于“本底”中而不易被观察到了. 存在一个 E_{ex} 限值, 在这个值以上, 不再看到巨共振.

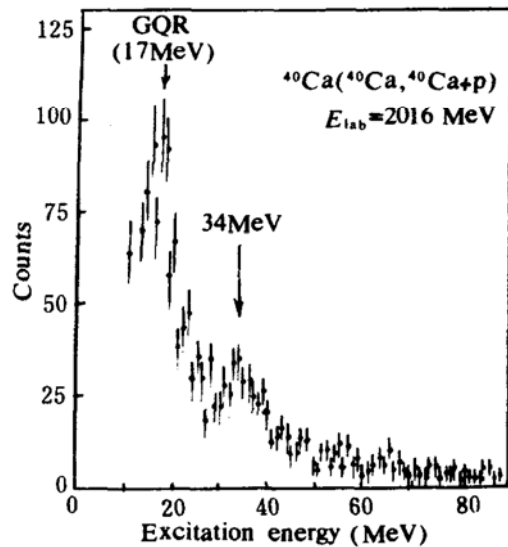


图 2 ⁴⁰Ca(⁴⁰Ca, ⁴⁰Ca+p)激发能谱, 34MeV处的峰是双光子四极激发的好候选者

现在, 人们已开始研究双光子巨共振态.

这种态的布居几率极低. 95MeV/u 的 $^{208}\text{Pb}(\text{Ar}, \text{Ar}')$ 反应与 22MeV/u 的 $^{208}\text{Pb} (^{17}\text{O}, ^{17}\text{O}')$ 反应比较, 单光子 GDR 激发峰要强 250 倍, 而连续本底仅增加四倍. 或许有机会用 Ar 束, 采用磁谱仪测 Ar' , BaF_2 测 γ , 用符合的办法找到双光子 GDR. Y. Blumenfeld 以 $^{40}\text{Ca} + ^{40}\text{Ca}$, 测量 180° 发射 γ 并与 $^{40}\text{Ca}'$ 符合来研究此问题. 他认为测得的激发谱上, 17MeV 处的峰是单光子的 GQR, 而 34MeV 处的峰很可能是对应于双光子 GQR 激发(图 2).

2.2 核反应机制方面

随着国际上多台重离子加速器相继投入运行, 中能重离子核反应研究无疑是传统核物理研究中最热闹的研究领域. 这方面内容大致有: (1) 远离 β 稳定线核素及超重核素的寻找及这些核特性的研究, (2) 核动力学研究, 特别是多重碎裂、中心碰撞、阈下粒子产生和高密度物质中的强子等, (3) 集体激发, 包括双光子激发和巨共振研究等, (4) 原子物理现象— e^+e^- 对的产生.

当核激发能处于 $E_{\text{ex}}/u < 1\text{MeV}$ 时, 主要的衰变方式为轻粒子蒸发(和裂变). 当总激发能大于结合能时, 可以预期会出现完全的气化现象, 在两个极限之间, 期望主要是发射中间质量碎片, 这就要测量每一个事件中发射的全部 $Z > 3$ 碎片才能仔细研究这类现象. 这是目前中能核-核碰撞的一个中心课题. GSI 在 $E/u = 600\text{MeV}$ 测量了 ^{197}Au 轰击 C、Al 和 Cu 靶的情况. 由于用了反运动学的优点, 他们在前角区测量了全部 $Z > 2$ 的碎片. 测得的平均多重性 $\langle M_{\text{IMF}} \rangle$ 对 Z_{bound} 的结果见图 3. 对三种不同靶的结果变化不大, 都是极大值在 3.5, 而 $Z_{\text{bound}} \sim 35$. 一方面说明中间质量碎片的最大产生几率是发生在有一半炮弹电荷是分布在复杂集团中; 另一方面也说明 $\langle M_{\text{IMF}} \rangle$ 和 Z_{bound} 间存在一个普遍的关系, 可能反映出表征 decaying projectile spectator 的那些初始量之间有强的关联.

另一个瞩目的中能核-核碰撞的课题是集流体的研究. 二核相碰时在相互作用带里有粒子发射出来. 可以讨论沿反应平面的平均横向动量 $\langle P^x/A \rangle$, 也可以讨论沿 y 方向的平均横向动量. GANIL 研究了能量为 25–85MeV/u 的 Ar 轰击 ^{27}Al 和 ^{58}Ni 的 $\langle P^x/A \rangle$. 看到在入射能低时, 因为平均场吸引相互作用, 出现 orbiting 现象, $\langle P^x/A \rangle$ 是负的; 而入射能量高时, 由于二体相互作用的排斥效应(压缩系数大), $\langle P^x/A \rangle$ 为正; 在 40~80MeV/u 区域, 二种相互作用竞争, 结果平均流约近于零; 而这个能量是与碰撞参数有关的. 现可以用理论计算来解释上述结果.

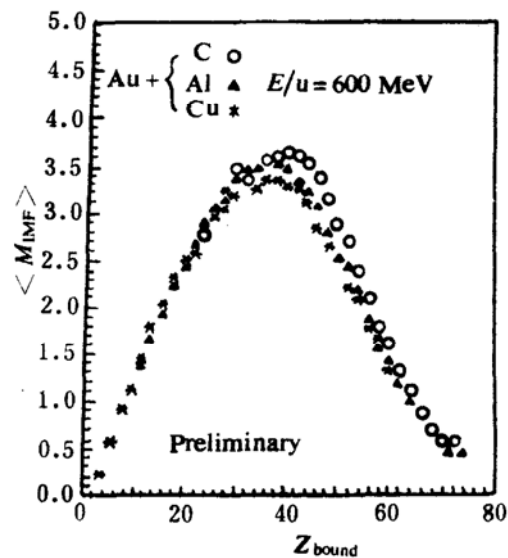


图3 $\langle M_{\text{IMF}} \rangle$ 和 Z_{bound} 的关联(都是对于 $3 < Z < 30$ 的碎片)

低能重离子反应研究的热点之一是垒下融合反应. 现已清楚, 垒下融合反应增强现象的原因在于碰撞过程中, 其它多种运动自由度介入使有效位垒大大降低的缘故. 但目前还存在一些难点. 对中重核区, 例如 $^{64}\text{Ni} + ^{92}\text{Zr}$, ^{96}Zr , ^{100}Mo 等体系, 即使计算中已计及了其它已知的各自由度的耦合效应,

理论截面在垒下仍比实验低得多; 特别是, 平均角动量 $\langle l \rangle$ 值在垒下区理论总比实验小得多(不只是中重核区). A.M.Stefanini 提出, 用推广的 Wong 模型:

$$\sigma_{\text{fus}}(E) = \frac{R_b^2 \hbar \omega_1}{2E} \cdot \ln \left\{ 1 + \exp \left[\frac{2\pi}{\hbar \omega_1} (E - V_b) \right] + \exp \left[\frac{2\pi}{\hbar \omega_2} (E - V_b) \right]^2 \right\}$$

并调整 R_b 、 V_b 、 ω_1 和 ω_2 四个参数就可很好地拟合中重核区的激发函数, 而且如果假

定融合反应激发函数本身就可唯一确定自旋的分布情况, 而用公式

$$\sigma_l(E) = \frac{\pi}{K^2} (2l+1) \cdot \left[E' \frac{d\sigma}{dE} \Big|_{E=E'} + \sigma(E') \right]$$

$$E' = E - \frac{l(l+1)\hbar^2}{2\mu R_b^2}$$

去算 σ_l , 这样得到的角动量分布就能和实验值一致了, 见图 4. 这种处理办法, 以增加一个参数来拟合实验是否正确还需进一步加以研究.

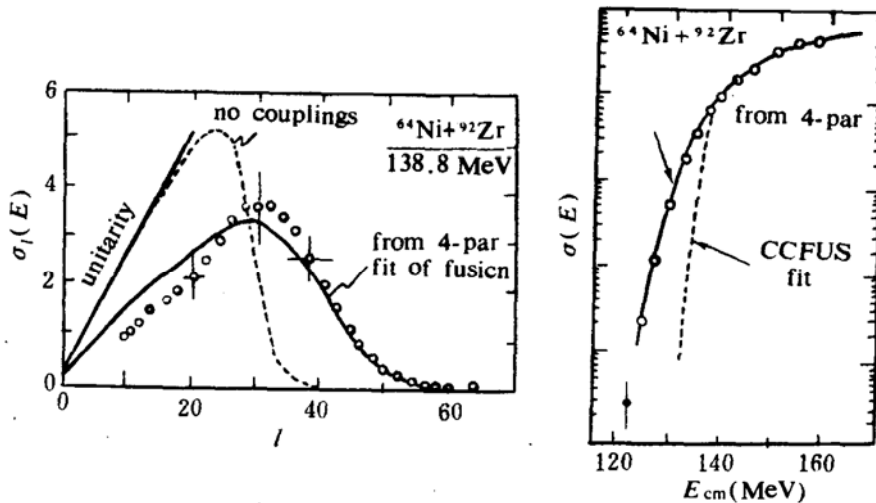


图 4 右激发函数, 左 $\delta_l(E)$ 的分布

2.3 相对论核-核碰撞

这方面的中心议题是寻找 QGP(夸克-胶子等离子体)存在的证据. 到目前为止, 已有实验结果给出形成了 QGP 的“必需”的证据. 理论上预言, 如果有 QGP, 某些现象必然出现, 现在这些必然的现象都观察到了. 而且也没有看到一个否定 QGP 已在实验中形成的证据. 但是, 还没有一个证据是“充分”的.

因为这些单个的“证据”还可由其它“原因”而导致. 于是, 对每一个证据就不能说肯定已出现了 QGP. 理论上认为如果非禁闭状态的夸克物质确实存在, 而且可以在 CERN-SPS 的 A-A 碰撞中形成, 那么在中心碰撞区域必需出现: (1) 足够高的能量密度, (2) “火球”温度足够高, (3) 末态奇异粒子数出现加强, (4) J/ψ 粒子则会出现压

制, (5)同时应当看到直接光子产额的增强.

在 200GeV/u 的 ^{32}S 轰击各种靶的实验里,上述现象已被观察到了,对于那些重靶情况,总横能分布遍及到了 E_T^{max} 的 65%;这样算得的能量密度已达 $\varepsilon \sim 3.5\text{GeV}/\text{fm}^3$,满足理论上预言 QGP 存在的条件;理论上预言,在温度高达 160MeV 时,强子物质已不能存在.用上述能量密度估算的温度,认为火球温度已超过这个限制了.而在 AGS 上更低能量的实验里,虽然入射能量仅为 14.5GeV/u,用测量到的发射粒子谱推算中心区温度,在 A-A 情况下,对 π^+ , \bar{P} 等为 150MeV,而对 P, K^+ 等已为 160MeV;由于 Pauli 不相容原理,理论预言 QGP 下要导致某些奇异粒子如 $K, \Lambda, \bar{\Lambda}, \Phi$ 等得到加强.在 CERN 的实验中,已观察到比起 P-P 碰撞来, A-A 碰撞下, Λ/π 有 2.5 倍的增强;类似的讨论有 J/ψ 粒子的压低,在 CERN 的实验中,看到 O+U 和 S+U 情况比起 P-U 情况 $N_{J/\psi}/N_c$ 下降一个 0.5 因子;由于 QGP 的温度高,热黑体辐射增加,由 $q\bar{q} \rightarrow \gamma$ 等过程会直接产生,也应当看到其加强. CERN 的实验也测到了直接光子的加强.总之目前搞实验的人认为:在一个有限体积、短时间的系统里,至少作为涨落的 rare limit,相变是已经产生了.

已经发展了好多理论模型,企图去解释已有的相对论核-核碰撞实验现象.但到目前为止,还没有一个模型可以解释诸多的实验事实.

美国在 BNL 建造的相对论重离子对撞机(RHIC),预计 1997 年出束.欧洲共同体正计划用 LHC(大强子对撞机)加速 Pb,并希望在 2000 年出束.这些机器投入运行后,将对这方面的研究有极大的推动.

2.4 关于亚核自由度

这方面有二个最为突出的问题.

核子在核内是否肿胀?从分析 $^{40}\text{Ca}(e,e')$ $^{40}\text{Ca}^*$ 实验的数据来看,有人认为是 ^{40}Ca 内核子是肿胀了,其半径增加了 15%,也有人认为是增加了 4%.另外也有人认为这是

由于核结构效应才导致了以上现象.因之肿胀现象到现在为止还没有得出明确的结论.

质子的自旋为 1/2,它是从哪里来的?如果质子由夸克组成,那么质子的自旋应来源于夸克的自旋.现有的理论计算表明(包括分析实验结果),由夸克来的自旋为 0.114 ± 0.09 ,大大地小于质子自旋.究竟问题在哪里,是实验问题还是理论问题,尚不清楚.目前关于质子自旋从哪里来,有三种提法,即内部运动的轨道角动量,从胶子来和从夸克海来.

一个核子由三个夸克组成.当两个核子的间距为几个 fm 时,核子-核子相互作用的图象很清楚.当二个核子间距为 0.5fm 时,一般处理是把六个夸克反对称化.有人提出,此时已无法正确定义核子的中心,上述的做法未必正确.

2.5 放射性核束物理实验

放射性核束的第一代装置建在 LBL(B42 和 B44)和 GANIL(LISE).目前在一些实验室相继建成了第二代装置,如 RIKEN(RIPS), MSU(A1200), GSI(FRS) 和 SATORN 等. GANIL 的 LISE 增加了一系列二极和四极磁铁,以及二节 Wien 滤波器,并使飞行距离加长达 43 米,改建成了 LISE3.总的来讲第二代装置使(1)放射性核束的流强比过去增加了 100 倍以上,例如 GANIL,在用 ECR 源的情况下, ^{11}Li 束强 $4 \times 10^7/\text{s}$, ^{14}Be , $\sim 10^7/\text{s}$, 而 ^{72}Zn 可达 $10^{10}/\text{s}$. 不仅可测全截面,还可以进行弹性、非弹性发射和转移反应等较仔细的研究,(2)放射性核束的种类大大增加,例如 ^{43}Cr 就是才有的,(3)开始有了极化的放射性束.因为 REKEN 的 RIPS 中有一个摇摆器,可使束流方向先偏转 $0 \sim 15^\circ$,得到的放射性核束可以不是零度出射的,就可能从炮弹碎裂过程里获得极化放射性束,他们现已获 ^{12}B , ^{12}N , ^{13}B , ^{13}O 和 ^{14}B 等极化束.例如 ^{13}B 束,强度为 $10^4/\text{s}$,极化度为 $3\% \sim 10\%$,后者与出射的动量有关.

放射性核束可大大扩展传统核物理研究的范围. 在 MSU 申请束流的课题中有一半以上是要求使用放射性束设备 A-1200 的. 目前这方面开展得较多的课题有: (1) 寻找新核素、新衰变方式, 研究奇异核素的衰变特性和性质, (2) 研究中子晕核, (3) 研究炮弹碎裂机制, 以及次级粒子引起的反应的机制, (4) 研究自旋—极化的机制, (5) 核天体物理所需的一些特殊核反应.

现有放射性核束绝大部分是由炮弹碎裂反应来的, 能散大, 流强及其他性能都不理想. 现在普遍认为, 急需填充 KeV/u~20MeV/u 能区的空缺. 这一些问题都只有依赖放射性核束的加速技术才能得以解决. 这无疑是今后一个极为重要的发展方向.

2.6 核天体物理学有关的核反应研究

核物理学与宇宙学以及天文学相结合, 形成了一门新兴科学, 核天体物理学. 这几年它发展甚速. 标准的大爆炸理论不能说明银河系里比 ${}^7\text{Li}$ 更重元素的丰度. 更大的困难在于, 在该模型里, 宇宙是开放的. 非均匀密度模型较好地解决了这些困难, 为了进一步检验和发展非均匀密度模型, 就需要好些过去从来没有(并且不可能)测量的核反应截面和核衰变性质数据. 由于实验技术的发展特别是放射性核束的使用, 使某些测量现在成为可能. 例如 ${}^{44}\text{S}$, ${}^{45}\text{Cl}$ 等核的 β 衰变特性将决定 $Z=20$ 附近那些核在当初元素合成过程中的情况. 即 β 衰变和俘获反应(n, γ)的竞争要决定元素合成过程的走向. 现在可以用炮弹碎裂反应研究这些核了.

${}^{13}\text{N}(p, \gamma){}^{14}\text{O}(1^-)$ 反应是元素合成过程中, 热 CNO 链上的一个关键点. ${}^{14}\text{O}(1^-)$ 是 $E_{\text{CM}}=0.547\text{MeV}$, $l_p=0$ 的一个共振态. 过去已知 $\Gamma_p=38.1\pm 1.8\text{KeV}$. 但 Γ_γ 呢. 从非直接测量, 例如 ${}^{12}\text{C}({}^3\text{He}, n){}^{14}\text{O}$, $\text{H}({}^{14}\text{N}, {}^{14}\text{O})n$ 等, 得到 $\Gamma_\gamma=2.7\pm 1.3\cdots 7.6\pm 3.8\text{eV}$, 分散极大, 理论上预言则为 $(1.2\sim 4.1)\text{eV}$. 现在用放射性束 ${}^{13}\text{N}$, 直接以 ${}^1\text{H}({}^{13}\text{N}, \gamma){}^{14}\text{O}(1^-)$ 测量, 得

到了 $\Gamma_\gamma=3.8\pm 1.2\text{eV}$.

要解释好比 ${}^{12}\text{C}$ 更重的核的丰度, ${}^8\text{Li}(\alpha, n){}^{11}\text{B}$ 反应是个十分重要的反应道. 过去只能用 $n+{}^{11}\text{B}\rightarrow{}^8\text{Li}+\alpha$ 反应测逆截面. 但是靶只能是基态, 而所需的 ${}^8\text{Li}(\alpha, n)$ 反应截面, ${}^{11}\text{B}$ 可处于激发态. 前不久也实现了以放射性核束 ${}^8\text{Li}$ 轰击含 He 的探测器 MUSIC, 用直接观察 ${}^8\text{Li}$ 和 ${}^{11}\text{B}$ 径迹的办法测量了 ${}^8\text{Li}(\alpha, n)$ 反应的激发函数. 结果说明, 包括所有 ${}^{11}\text{B}$ 态的结果比只包括 ${}^{11}\text{B}$ 基态的截面要差 5 倍, 这个变化会对理论计算有很大影响.

A. Coc 等人最近测量了 ${}^3\text{H}({}^7\text{Li}, n){}^9\text{Be}$ 反应截面, 测量能区为 $E_{\text{CM}}=0.185\sim 0.9\text{MeV}$. 因为其反应率 $\langle\sigma v\rangle$ 对检验模型有重要意义. 结果发现实验值比过去所有的模型计算中用的估算值小了 10~14 倍.

以上一些例子都说明, 要弄清楚核天体物理学的一些问题, 很多核反应必需仔细的测量. 目前国际上有不少核物理学家转向从事这方面工作.

2.7 其它

日本政府于 1983 年制定了一个用重离子束医治癌症的十年战略计划—HIMAC. 投资 3.1 亿美金. 由四大工业公司: 三菱、东芝、日立和佳友, 负责在千叶县兴建. 由于重离子束 dE/dx Bragg 曲线的特性, 能耗主要集中于射程的末端, 加上多次散射小, 对于杀伤局部癌组织而少危害正常组织特别有利. 他们的计划是 PIG(ECR)-RFQ-ALVAREZ-SYNCHROTRON, 能量为 600MeV/u . 一共有二个加束环, 同时引出水平和垂直二束重离子, 可分别或联合(相交)使用, 以利医疗安排. 到 1993 年建成时, 准备每年作 2 万人次的医疗处理(白天), 而晚上作研究用. 这是一项大的计划. 类似的较小设备在美国已经建成并投入使用. 在 LBL 的 Bevalac 上现有相当一部分束流时间用来研究有关医治癌症问题, 利用放射性核束予照射定位就是很重要的一个方面.

Recent Progress in Nuclear Physics

Jiang Chenglie

(Institute of Atomic Energy of China, Beijing 102413)

Abstract It is presented the trend of the nuclear physics research in the world, the frontier of nuclear physics research has been moved from the traditional nuclear physics to the field in which the subnuclear freedoms become very important. New research results obtained in the fields of nuclear structures, nuclear reactions, relativistic heavy ion collisions, subnuclear freedoms, radioactive nuclear beams and nuclear astrophysics are discussed.

Key Words traditional nuclear physics, subnuclear freedom, relativistic heavy ion collisions, radioactive nuclear beams, nuclear astrophysics.

(上接第 64 页)

在、含量、分布、相关性、协同效应和拮抗效应等阶段,而进入了研究元素赋存状态这一新的发展时期。不少外国学者纷纷指出:“如果我们能清晰地揭示体系中元素的赋存状态,那末一个崭新的科学世界将呈现在我们面前”。本实验室拟用中子活化、质子激发 X 荧光分析等方法,研究稀土元素、铂族元素、生物必需元素和有毒元素在环境、生命或地质体系中的赋存状态,探索关于生命起源、地球演化以及环境保护等重大基础问题。

(3) 新型核分析方法研究

主要集中于超高真空离子束、分子活化和同步辐射 X 荧光分析等。目前,超高真空系统已初步建成,真空度达 4×10^{-8} Pa。不久可望进行 keV 到 MeV 能级的离子散射、电子俄歇、低能电子衍射等实验。近期将开展表面台阶面分析、分子表面散射、气体或低能离子束与表面相互作用和表面高温氧化初始过程等方面的研究。

3 实验室基本设备

(1) 4MV 输电链式静电加速器及相应的靶室系统和探测系统。(2) 扫描质子微探针(空间分辨 $2\mu\text{m}$, 流强 50PA, 扫描范围 $500 \times 500\mu\text{m}^2$, 焦距 450mm)。(3) 2.8MV 静电加速器及相应的靶室系统和探测系统。(4) 扫描隧道显微镜(横向空间分辨率 1A, 垂直空间分辨率 0.1A)。(5) 中子活化 γ 谱测量室(5 台 HPGE 或 Ge[Li]探测器, 3 套微机多道, 两套自动换样器)。(6) 穆斯堡尔谱仪 4 台。(7) 正电子寿命谱仪 3 台, 正电子湮灭时间选择能谱仪 1 台。(8) 积分微分扰动角关联谱仪 1 台。(9) 加速器质谱计 1 台(能量 6MV, 可测 ^{10}Be 、 ^{14}C 和 ^{26}Al , 正在建设中)。(10) 全反

射 X 荧光分析谱仪 1 台。(11) 各种型号和性能的计算机(Micro VAX II 等)。(12) 各种实验室通用设备(超净室、超微量天平、低温灰化装置、冷冻干燥装置等)。

4 客座研究人员申请办法

愿来本实验室工作的国内外科学家及青年学者,可向本实验室索取课题申请书,填写一式四份,于每年一月底前报出(重要课题可随时报送)。经实验室学术委员会评审批准后,申请人就被聘为本实验室的客座研究人员,并由本实验室提供相应的科研经费、工作和生活条件,从事所报课题的研究工作。

本实验室特别鼓励和支持学术上活跃的青年学者,每年拨出一定比例的经费,资助由青年学者提出的优秀课题。

申请书可向下列两地之一索取:

201800 上海 800-204 信箱

中国科学院上海原子核研究所

中国科学院核分析技术开放研究实验室办公室

电话:(021) 9530998 转 91

电报挂号: 8009

图文传真:(8621) 9528021

100080 北京 2732 信箱

中国科学院高能物理研究所

中国科学院核分析技术开放研究实验室办公室

电话:(01) 2563339 转 114

电报挂号: 4585

电传: 22082 IHEP CN

图文传真:(861) 8213374

(中科院上海原子核所 杨福家供稿)