

一个薄膜窗气体靶室系统

静电加速器带电粒子核反应组

本文详细报道了一个核反应实验用的气体靶室系统。隔离气体用的束流入射封窗是厚约40—80 微克/厘米²的碳膜。出射粒子是在90°固定角度进行测量的。实验证明,对于入射能量为200千电子伏以上的能区,这个靶室系统的工作情况是良好的。把U形油气压计与一个测高仪结合起来使用,可使气压测量的精度达到0.005毫米汞柱。气体靶的气压可达6毫米汞柱以上。文中还讨论了一些有关气体靶核反应实验的问题。

一、引言

在测量 ${}^3\text{He}(d, p){}^4\text{He}$ 反应截面的工作中^[1],使用的靶物质为 ${}^3\text{He}$ 气体。气体靶室系统一般有流动气体靶方法和薄膜窗气体靶方法两种。根据实验的要求和条件,我们设计了一个在90°固定角测量用的薄膜窗气体靶室系统。实验表明,这一气体靶室系统制作简单,工作也很方便和有效。我们利用这一气体靶室系统曾测量了 ${}^3\text{He}(d, p){}^4\text{He}$ 反应的激发函数和绝对截面,另外对几种气体的(d, p)和(d, α)反应进行了探索。

二、气体靶室结构

我们所制作的气体靶室系统是在原有的一个可转动核反应靶室^[2]的中间增加一个气囊和一些附加设备做成的,其结构见图1。它可分为气体靶室系统和玻璃充气系统两部分。

气囊是一个内径为40毫米的不锈钢圆筒。在气囊的正对束流准直器的方向上开有一个圆孔,用碳膜作为密封窗。碳膜密封窗的制作方法是:先将碳膜漂浮在水面上,用涂有培爱夫胶的框架从水中将碳膜捞取;待干后将框架通过橡皮O圈密封于该孔上。在相对束流为90°的两个对称的方向上各开一个圆孔,其中一个用薄的Mylar膜或更薄的VYNS有机膜作为封窗,它可以让反应产物穿过并进入探测器。在另一个90°方向的窗孔中可以方便地封入一个热敏电阻温度计,用以测量实验过程中反应气体的温度。在气囊的0°方向上装有用以测量束流的法拉第筒,它和固定在靶室外壁的一个圆筒的弹簧管接触。在实验过程中,向弹簧管吹以压缩空气进行冷却,以免束流打在法拉第筒的底部时发热,引起反应气体温度的变化。法拉第筒和气囊一起是和靶室的所有其它部分电绝缘的,以使用气囊和法拉第筒一起整体地收集束流。在气囊顶部是一个活门,用原来的靶杆改装成为此活门的启动杆。提起启动杆,可以将气囊及充气系统和靶室的其它部分联通,在充入反应气体前,先将其抽空,然后将此杆压紧活门,使气囊与靶室系统其它部分隔离,以便维持以后充入的反应气体的气压。

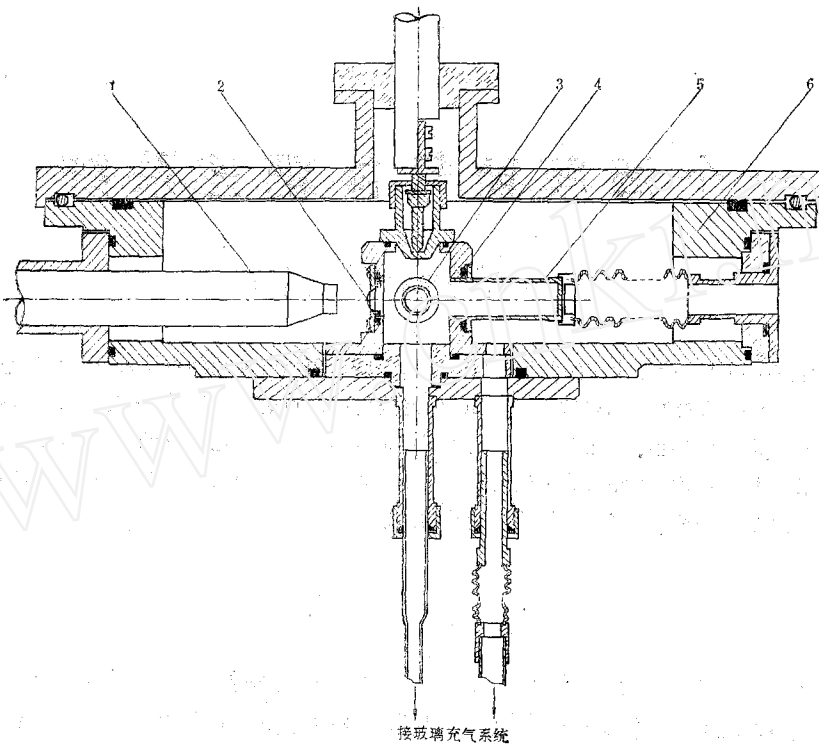
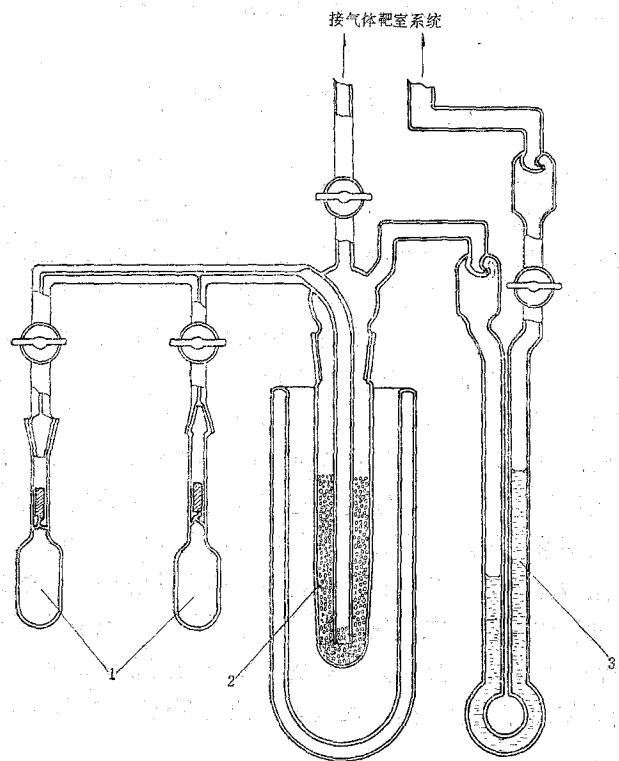


图 1 (a) 气体靶室系统
 1——束流准直器；2——薄碳膜窗；3——90°出射粒子窗；4——气囊；5——法拉第筒；
 6——转动靶室。



(b) 玻璃充气系统
 1——³He 气体贮存瓶；2——活性炭冷阱；3——U 型油气压计。

气体靶室系统的下部与玻璃充气系统相联。玻璃充气系统包括反应气体贮存瓶，一个冷阱及一个U型油气压计。此系统的一端与气囊相联，另一端开口于靶室中。靶室系统真空一般保持在 10^{-5} 毫米汞柱左右。在需要时冷阱可装入约10克左右的活性炭。在实验过程中它还可以置于液体氮冷却剂中冷却，以便进一步纯化通过冷阱进入气囊的反应气体，同时去掉实验过程中气囊内的缓慢放气。是否需用活性炭或冷却剂要看所研究的气体物质而定，例如在测量 ${}^3\text{He}(d, p){}^4\text{He}$ 反应时就使用了。

用以测量反应气体气压的U型油气压计是以DC-703高真空扩散泵油作为工作液的。工作液的密度经测定为 $1.1101 - 0.0084 t(^{\circ}\text{C})$ (克/厘米³)，其中 t 是实验时的温度。油柱高度差是用精度为0.02毫米的测高仪测量的，气压测量总精度可达0.005毫米汞柱。

装置中有两个探测器系统。一个是装在靶室的 90° 的管道中的锂漂移型(或金硅面垒型)半导体探测器；装在气囊的有机膜窗前的10毫米 \times 10毫米的方孔和半导体探测器前的直径为10毫米的光栏组成探测器的粒子限制系统，该系统确定了靶的反应体积及探测器的立体角。另一个半导体探测器固定在可转动的靶室上盖上，它的角度是可以变化的。在探测器前有一组可改变厚度的吸收片，用来辅助分辨粒子。

为了有效地收集束流，必须对碳膜窗上打出的次级电子进行有效的抑制。由于位于气囊表面的碳膜上飞出的次级电子不像没有碳膜时束流打在法拉第筒底部时飞出的次级电子那样易于抑制，我们制做了一个足够大的负压环，将它置于束流准直器和气囊之间，并呈凹型包围气囊，距气囊约3毫米。这样既可以压回准直器上打出来的次级电子，也可以有效地抑制住从碳膜上打出来的次级电子。实验表明，在300伏的负压下，有碳膜和无碳膜两种情况收集的束流是一致的。

三、实验结果

实验结果表明，选用薄的自支承碳膜作为隔离反应气体的束流入射窗是适宜的。因为它们可以做得很薄。我们实验中所使用的碳膜厚度一般在40—80微克/厘米²左右，同时因为碳的原子序数较其它可作窗膜的材料低，因此可以减少束流在膜中的能量损耗和减少束流经过膜后的散开。实验中使用的碳膜，首先在显微镜下挑选，然后在靶室系统上作耐压和检漏试验。实验表明这样挑选的优良的碳膜，在直径为10毫米，厚度在40—80微克/厘米²时，可耐压80毫米油柱，并在0.5微安束流轰击下，4—5小时内无明显变坏。有一些碳膜还可以耐压更高。

碳膜厚度是通过测量离子束在碳膜中的能量损失来确定的。在束流不经过碳膜窗和经过碳膜窗两种不同的情况下， ${}^{27}\text{Al}(p, \gamma){}^{28}\text{Si}$ 共振反应(共振能量 $E_{\gamma}=991.82$ 千电子伏)激发函数上共振能量的移动量即为该碳膜的能量损失(见图2)。从图2可见，反应气体中所引起的能量损失是可以忽略的，但经过碳膜后，离子束能量有了明显的展宽，这正是薄膜窗气体靶方法的共同缺点。我们在实验中所使用的碳膜窗厚度，在共振能量为992千电子伏时，一般为8—15千电子伏，从能量射程关系曲线可以查得它相应的质量厚度为40—80微克/厘米²。在做 ${}^3\text{He}(d, p){}^4\text{He}$ 反应的激发函数时，氦离子束在不同能量上的能量损失就可以通过能量射程关系曲线来换算得到。

实验中；对于U型油气压计中的工作液的预先去气是必不可少的步骤。此外，对于某

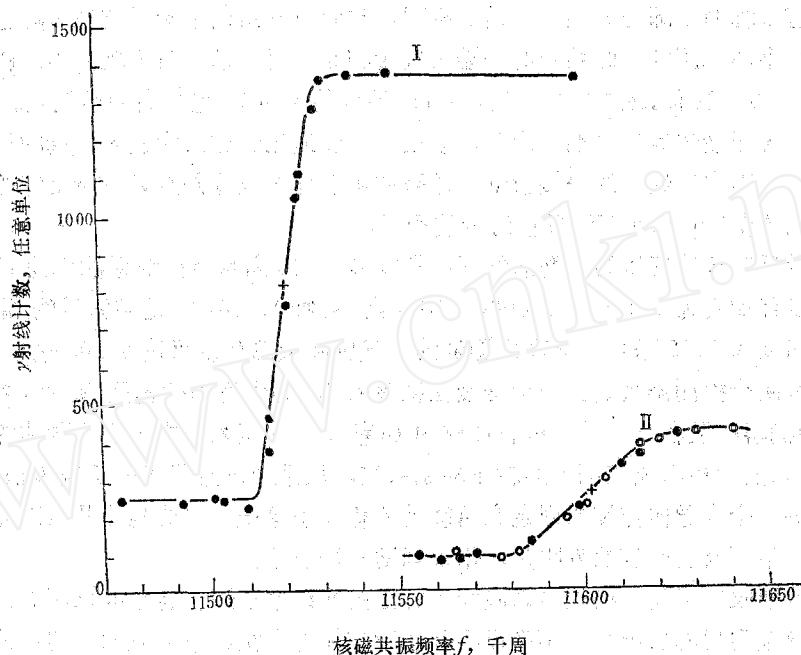


图 2 利用 $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$ 的 992 千电子伏共振反应测量膜窗厚度刻度曲线
 I——无碳膜窗的刻度曲线；II——有碳膜窗的刻度曲线；○——碳膜窗加 15 毫米汞柱
 气压 ^3He 气体的刻度曲线；+—— $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$ 的 992 千电子伏共振能量位置。

些气体靶物质，如氢和氦，为了使活性炭有效的工作，实验前对活性炭必须充分地去气。去气的方法是用管型电炉缓慢加热，加至 340°C ，然后保持此温度 20 至 30 分钟，从热偶真空计上可以看出，在开始时真空明显地下降，然后缓慢上升，直到实验所要求的真空，即可停止去气。

对气囊充气过程，是在对靶室系统、气囊、充气系统抽空并加热去气完成后，关掉反应气体贮存瓶上端的活塞，并用磁铁打开贮存瓶的密封小尖，然后压紧气囊顶部活门，再缓慢地打开贮存瓶上端的活塞，充入需要量的反应气体。实验中所使用的气压一般在 30 毫米油柱至 70 毫米油柱范围内。

实验表明，系统中主要是气囊常常有微量放气，经核反应方法鉴定，释放出来的气体的反应能谱和空气作靶时的反应能谱是一致的，因此，我们认为它主要是由气囊中的一些死角、金属、橡皮 O 圈及真空油等吸附的空气在真空条件下逐渐释放造成的。这种放气在真空度愈高，抽真空时间愈长时明显减少。对于若干反应气体可使用活性炭冷阱加以解决，例如 ^3He 气体。实验表明该反应的质子产额 N_p 和相同时间内入射粒子的总电荷量 Q 之比 N_p/Q 与气压（即油柱高度差）成很好的线性关系，当充入大量的空气（估计在 100 毫米油柱以上）时，活性炭冷阱能立即将空气吸附掉，使 ^3He 气体的压力保持不变。

实验表明，当使用 ^3He 和氦作为气体靶时，使用活性炭及液体氮冷阱可以很好地纯化它们。但有些气体由于本身可被活性炭、液体氮冷阱所吸附，因此不能再使用冷阱，对于这类气体的杂质干扰必须采用其它的特殊的方法予以解决。

为了减少由于碳膜微漏和冷阱中液体氮的量的变化引起的系统各处温度和气压的缓慢变化所带来的气压测量的误差，每个测量点的相应的气压值总是取该点测量前、后的气压

测量值的平均值。

对于这一靶室系统的几何条件, 90°固定角测量的微分截面公式可表示为

$$\sigma = Y/N \frac{mN_0}{V_0} \frac{P}{P_0} \frac{T_0}{T_0+t} \frac{\rho_{oil}(t)}{\rho_{Hg}} \frac{\pi r^2 W}{DR}$$

式中 Y 为反应产物的产额; N 为相同时间内入射到靶上的入射粒子数; N_0 为阿佛加德罗常数; m 为一个气体分子所包含的原子数; V_0 为 1 克分子气体 0°C 时的标准体积; P_0 和 P 分别为以毫米汞柱为单位的标准气压及以毫米油柱为单位的 $t^\circ\text{C}$ 时的反应气体的实际气压; T_0 和 t 分别为标准温度 273°K 和反应气体的实际温度; $\rho_{oil}(t)$ 和 ρ_{Hg} 分别为在 $t^\circ\text{C}$ 时 U 型油气压计工作液的密度和 0°C 时水银的密度; r, W, D, R 分别表示探测器前面的光栏半径、气囊 90° 窗前面的方形光栏的宽度、两个光栏之间的距离和探测半径。

利用这一装置我们测量了 $^3\text{He}(d, p)^4\text{He}$ 反应在 90° 处, $E_d=220-1000$ 千电子伏范围内的激发函数和共振峰 ($E_d=420$ 千电子伏) 上的微分截面的绝对值。

此外, 我们还测量了空气、一氧化碳、氖气和氩气等多种气体物质的 (d, p), (d, α) 反应能谱。这儿给出一个反应产物出射窗为 20 微米 Mylar 膜的空气靶的典型能谱 (见图 3)。

实验说明, 利用此装置在静电加速器能区, 即高于 200 千电子伏, 作某些气体靶物质反应的测量工作是有效的。我们实验中所使用的碳膜作为隔离气体的束流入射窗比起类似工作^[3-7]的要更薄一些。因此对入射粒子能量及膜中能量损失的测量可带来较小的误差, 同时由于这种膜材料的原子序数较小, 因而可以减少由于多次散射引起的离子束的散开。对于更低能量范围, 如氖核能量低于 200 千电子伏时, 则由于入射粒子在膜中的能量损失误差太大就不太适用了。

此装置设计的目的在于测量固定角 90° 的激发函数微分截面绝对值, 因此它不能用来

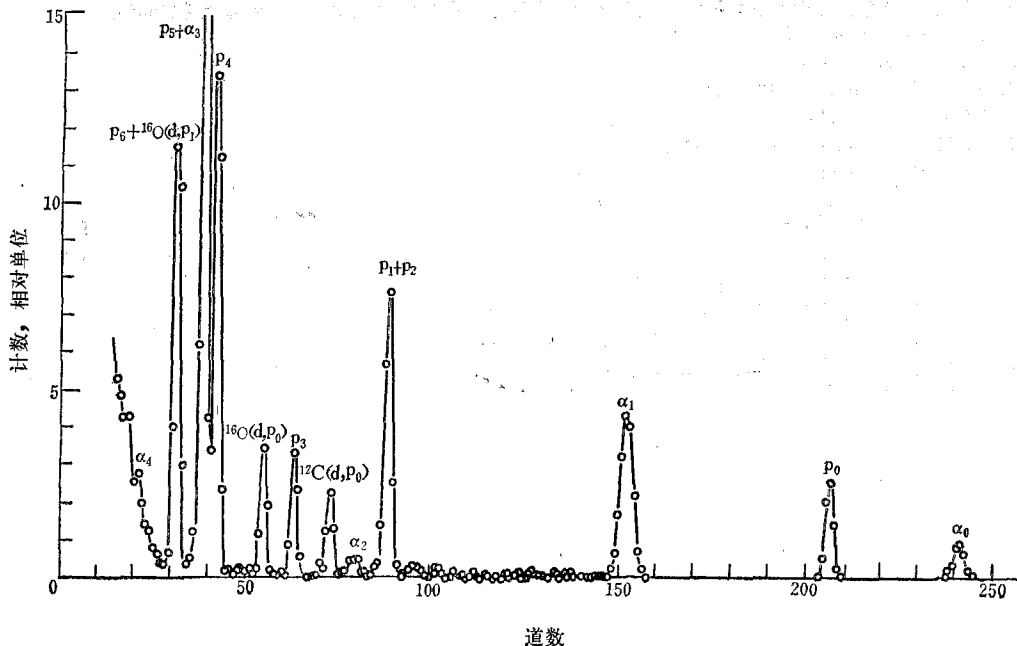


图 3 空气和氖的反应能谱(粒子出射窗约为 20 微米的 Mylar 膜)
未标明靶核的反应群均为 $^{14}\text{N}(d, x)$ 反应; $E_d=0.8$ 兆电子伏, $\theta_L=90^\circ$ 。

测量气体靶物质反应的角分布。为了测量角分布，只需将气体反应室，即气囊加以改进。改进的方法主要是将气囊的一侧的 90° 出射粒子窗的开口改成在水平面内，围绕气囊从小角区到大角区的一个长条形开口，并封以薄膜(如 Mylar 膜)。用可转动的探测器作为探测系统，将另一个 90° 窗作为角分布测量的监督器，并将其它部分作相应的改进就可以实现角分布的测量了，但还必须作相应的计算才能得到实际的角分布。

参 考 文 献

- [1] 静电加速器带电粒子核反应组, 原子能科学技术, 本期, 229(1977).
- [2] 姜承烈等, 物理学报, 23, 362(1974).
- [3] J. L. Yarnell et al., *Phys. Rev.*, 80, 292(1953).
- [4] G. Freier et al., *ibid.*, 93, 825(1954).
- [5] W. R. Arnold et al., *ibid.*, 93, 423(1954).
- [6] T. W. Bonner et al., *ibid.*, 88, 473(1952).

(上接 259 页)

$\pm 0.36\%$ (可信度 66%), 钷为 $\pm 0.5\%$ (可信度 66%)。若酸度改变时, 可用该酸度下相应的克分子吸光系数进行计算。如有其它不使价态改变的离子存在, 也可用校正的克分子吸光系数进行计算。由于分光光度计没有恒温设备, 根据一些文献报道^[5,17], 温度会引起测量误差, 因此, 在测量分析溶液时, 同时用分光光度计测量标准溶液进行校正, 可减小分析方法的误差。

参 考 文 献

- [1] R. E. Connick et al., The Transuranium elements, NNS, Division IV, Vol.14 B, paper 4.20, N. Y.(1949).
- [2] C. F. Metz, *Anal. Chem.*, 29, 1748(1957).
- [3] 祝寿焜, 分光光度法分析硝酸体系中 Pu 的混合价态及某些体系中 Pu 浓度的研究, 内部资料(1965).
- [4] H. Schmieder et al., KFK-1306(1970).
- [5] D. W. Colvin, DP-461(1960).
- [6] G. M. Allison, AECL-1371(1961).
- [7] C. A. Colvin, RL-SA-33(1965).
- [8] G. R. Hall, AERE-C/R-712(1957).
- [9] K. Buijs et al., *Anal. Chim. Acta*, 43, 409(1968).
- [10] K. Buijs et al., *Anal. Chim. Acta*, 66, 304(1973).
- [11] M. N. Myers, HW-44744(1956).
- [12] Mc Kay H. A. C. et al., AERE-R-4381(1963).
- [13] 亚钛-氨基磺酸-重铬酸钾直接容量法测定铀, 内部资料(1967).
- [14] 汪尔康等, 肼作为保护剂汞阴极电解法制备四价铀, 内部资料(1963).
- [15] 胡怀忠, 林漳基, 原子能科学技术资料选编, 第三辑, 第 88 页.
- [16] 范明娥等, 微量钷的络合反滴定, 内部资料(1972).
- [17] Б. Г. Пожарский и др., *Ж.Неорг. Хим.*, 9, 279(1964).