

# 单能中子源和低能加速器

郭恩九

在一个相当长的时期内,用带电粒子加速器作为中子源起了很大的作用。近几年来,由于原子反应堆的建立和应用,加速器逐渐退居次要的地位。但是,原子反应堆不能产生单能中子,特别是不能产生高能量的单能中子。因此,用带电粒子加速器做为中子源来研究不同能量的中子与各种物质的相互作用,仍然是非常重要的。这不仅对原子反应堆的设计提供有用的数据,而且对原子核性质和结构的研究有着极其重大的意义。

用做中子源的带电粒子加速器,必须具有一系列的特点。总结起来,不外乎有以下两方面:一是属于加速器本身性能方面的;一是属于其附属设备和安装加速器的实验室方面的。下面将围绕这两方面,从我们用加速器做为中子源的过程中所碰到的一些问题出发,作一个简要的阐述。

## 带电粒子加速器和产生中子的核反应

与原子反应堆比较起来,加速器用作中子源的主要优点,在于它能产生各种不同能量的高能单色中子,因而对加速器的类型和产生中子的核反应的选择有如下要求:首先是在一个相当大的能量范围内能产生单色中子;其次是产生的中子强度要大;第三是中子的能量可以任意改变。这些就与加速器的性能(如粒子的能量、强度及稳定性等)、核反应的截面及其他特性等都有关系。所有这些要求,用一种类型的加速器和一个核反应是不能达到的。因此要根据实验的需要和目的去挑选。

就现有的一些带电粒子加速器来看,它们都能做为单能或近乎单能的中子源。由于加速器的能量能够在一定的范围内变化,中子的能量也就可以改变,因此都能用来研究各种不同能量的中子与原子核的相互作用。

静电加速器可把粒子的能量加速到2—6兆电子伏,目前用串联加速器可把粒子加速到10—12兆电子伏<sup>[1]</sup>。由于能量的均匀性,加速电压的控制、稳定和测量都能达到相当高的精确度,因此能得到单色化的粒子束。采用薄靶,就能得到单色化得很好的中子束,加之粒子的能量可以连续变化,也就可以改变中子的能量。所有这些,使得静电加速器成为一个相当理想的中子源。只是束流较小,继续增加中子强度受到了限制。用静电加速器做为中子源的另一优点是,采用(p,n)反应时,可以获得低能量(1—500千电子伏)的单色化中子。因而它得到了广泛的应用。

高压倍加器一般可以把粒子加速到1—2兆电子伏,与静电加速器比较起来,由于它的粒子流大,对于使用厚靶产生强度大的单能中子更为有利。而较低能量的高压倍加器(500千电子伏以下),采用D(d,n)He<sup>3</sup>及T(d,n)He<sup>4</sup>反应来产生中子,用得更为普遍<sup>[2]</sup>。

回旋加速器、同步回旋加速器、直线加速器等是目前能把带电粒子加速到5—10兆电子伏以上的装置。因而也就是产生高能中子的主要来源,这里只是顺便提一下,不去仔细讨论它。

利用上面所述的加速器和以下的这些核反应,选择合适的靶子,就可以产生0—20兆电子伏范围内的单能中子:

1—500千电子伏

$\text{Li}^7(p,n)\text{Be}^7$	$Q = -1.645$ 兆电子伏
$\text{Sc}^{45}(p,n)\text{Ti}^{45}$	$Q = -2.8$ 兆电子伏
$\text{V}^{51}(p,n)\text{Cr}^{51}$	$Q = -1.50$ 兆电子伏
0.3—20 兆电子伏	
$\text{H}^3(p,n)\text{He}^3$	$Q = -0.764$ 兆电子伏
$\text{H}^2(d,n)\text{He}^3$	$Q = 3.28$ 兆电子伏
$\text{H}^3(d,n)\text{He}^4$	$Q = 17.6$ 兆电子伏
$\text{C}^{12}(d,n)\text{N}^{13}$	$Q = -0.26$ 兆电子伏
$\text{N}^{14}(d,n)\text{O}^{15}$	$Q = 5.1$ 兆电子伏

关于这些反应的性能,都已经研究得很好了,而且应用得很广泛(可查阅参考文献[3])。

### 安装加速器的实验室

随着实验技术的改进和发展,数据准确性的提高,做为中子源的加速器;为了便于用来进行某些中子物理的研究工作(如快中子截面的测量,中子谱仪的建造等),在实验室的设计上须要考虑到:

1. 尽量减少从试验室四周来的散射中子。所以目前兴建的加速器多半是装置在一个大的屋子里,中子源与四周的距离一般均在3米以上,以减少从墙壁、天花板等地来的散射中子。混凝土地板能散射大量的中子束,因此,有些实验室目前采用铁或铝做金属地板,以减低散射中子的影响。

2. 为了进行某些实验,如建立中子飞跃时间谱仪等,实验室内要有足够大的空间;用重元素来建立中子慢化谱仪时,在局部地方应能承受较重的负荷。

3. 在加速器的主体和靶室之间必须要用混凝土墙来防护加速管产生的X射线。同时为了保证工作人员的安全,把中子流降低到允许范围内,控制台与中子靶的距离应大于10米,在其间要用大于70厘米厚的混凝土墙屏蔽起来。

4. 在靶室和加速管之间,一般都装备有能量分析器,而这就成为了一个次级中子源,因而靶的位置和能量分析器之间的距离常常在7—10米左右。

### 粒子的能量控制和聚焦

用高压倍加器做为中子源时,一般多采用低能粒子轰击厚靶产生中子,因而对能量的控制和稳定要求不高。但是用静电加速器作中子源时,为了获得单能中子,则粒子能量的控制、稳定和精确测量就很重要了。

一般为了获得单能量、单成份的粒子束,总是采用静电分析器和磁分析器。前面已经谈到,为了避免次级中子源的产生,能量分析器和靶的位置之间距离要很大,这就得用一个强聚焦透镜(静电交变梯度透镜),以便能在靶上得到截面较小的离子束。

为了保持高压的稳定度,一般采用以从分析器来的讯号控制可变的放电电流的办法,而采用在加速管内产生电子束来控制高压稳定的办法则更为迅速可靠。这些技术,近年来在许多实验室中都已很好地加以研究了,有系统的经验可供参考<sup>[4]</sup>。

### 离子源

**强流** 用加速器通过某种核反应产生中子,再利用这些中子来进行研究工作。特别是对一些次级反应的研究,如散射、极化,以及中子所引起的其他核反应等,往往显得强度不够,因

此除了选择截面大的核反应和产量高的靶子之外,增大离子流的强度,也是一个直接可行的办法。尤其是用高压倍加器来产生中子时,把离子流提高到几十毫安的数量级是有可能的。当然,这对高压部分的输出功率也就有相应的要求。

**高原子-分子比** 这从增加中子产量、减少本底和有效地利用靶流等方面来看都是很需要的,一般利用氩和氙来产生中子,如果分子离子多,则因氙分子离子的能量每个核只有一半,能量低核反应截面也就小;同时也使能量均匀度大为减低。原子-分子比高,不仅可使能量均匀、产量大,而且可使由于分子束(特别是氙分子)产生本底和次级中子源的机会也大大减少。为了满足这一要求,可以使用高频离子源<sup>[1]</sup>。因为它可以给出很高的(90%以上)原子-分子比,同时寿命长,气体消耗量少,能供给的离子流也大,而且进一步加大离子流的可能性有很大希望。

**脉冲离子源** 利用脉冲离子源:(1)可建立中子飞跃时间能谱仪;(2)可以减少本底。因为离子流平均值不变而改为脉冲,短时的电流可达安培的数量级。只在此时计数器才工作,因而可把本底减少几个数量级。

近几年来,广泛采用加速器产生的中子,来建立飞跃时间能谱仪。也可用它来研究不同能量中子和各种物质的相互作用,包括散射、核反应、裂变等。这就要求加速器产生脉冲式的离子流,一般是在离子源上装置一套调束设备而得到的。

## 靶 子

为了获得产量高、寿命长、 $\gamma$ 本底少的中子源,对靶子需要考虑:

1. 靶底要挑选那种在所使用能量的粒子轰击下产生 $\gamma$ 射线很少的物质,一般常用钽、金等;
2. 有些产生中子的反应,同时也产生相当强的 $\gamma$ 射线,如为实验所不允许时,则应选用其他合适的反应;
3. 靶子要能在强度大的离子流轰击下而不致被蒸发;
4. 要避免靶子的沾染,这主要是由于真空系统中的油分子打在靶上,被离子流轰击而分解形成碳层,它不但显著地降低中子产量,而且在其他方面也造成许多困难。

为了达到上述要求,除了适当选择靶子物(气体、固体、半流体等)和增加一些附属设备(如冷阱、加热设备等)外,一般还使用旋转靶<sup>[2]</sup>。旋转靶能承受较大的功率,随着加速器束流的增加,这一方面的技术还得进一步的改进和发展。

用加速器做为中子源有着许多优点和方便之处,过去起了很大的作用,现在仍然是一个重要的方法,今后在这一方面还应该继续提高和发展。从开展中子物理的研究来看,我们希望中子源的强度越大越好。这可以从两方面着手,一是增加离子流的强度;另一是改进靶子技术,以达到提高中子产量的目的。

最后,关于实验室的设计和整体布置问题,这从进行研究工作、减少本底和防护等各方面来看都是相当重要的。实验室设计的不好,将会给工作带来许多困难和麻烦。

## 参 考 文 献

- [1] Bromley, et al: *Can. J. Phys.*, 37, 1514. 1959.
- [2] Mitra: *Indian J. Phys.*, 33, 149. 1959.  
Bromaer Ehlers & Eukel: *Nucleonics*, 17, No. 1, 94. 1959.  
Peck & Eubank: *Rev. Sci. Instr.*, 26, 444, 1955.
- [3] Hanson, Taschek & Williams: *Rev. Mod. Phys.*, 21, 635. 1949.
- [4] Воробьев: Сверхвысокие Электрические Напряжения.
- [5] Moak, Reese & Good: *Nucleonics*, 9, No. 3, 18. 1951.
- [6] Maglic: *Atomics*, 5, 85—90. 1954.