

ECR源在回旋加速器上的运行

叶美玲 许士元

ECR源是目前国际上重离子加速器领域中具有发展前景的新型离子源⁽¹⁾。经过长期的研究试验,不断地得到完善,目前已投入回旋加速器上进行。这是ECR源实用性的飞跃。

这里介绍美国劳伦斯实验室(LBL)的88吋回旋加速器上首次使用ECR源所提供的较高电荷态的重离子进行加速,系统提供了物理实验的束流运行情况⁽²⁾。

一、概况

LBL的ECR源及其新的注入系统首次在88吋回旋加速器上调试运行,供给了核物理及其应用研究可靠的、稳定的重离子束流。加速了质量范围由Ne到Xe的离子;能量范围从3到27Mev/A;从离子源到引出回旋加速器的束流传输效率达14%。固体物质镁等束流成功地提供了实验工作,对各种离子,在加速电压为10KV时,测得束流的发射度;低电荷态时为 $100\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$;高电荷态时为 $20\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$,各为其总束流的50%以上。

LBL的ECR源在1984年就开始了试验性的运行。具有改善了的束流光学系统及最佳真空度的一个轴向注入系统于1984年8月完成的。同年10月进行了引入到88吋回旋加速器上实验,1985年1月,在回旋加速器上进行调试运行。离子源及注入系统的设计和初期离子源工作情况见发表了的报告中描述⁽³⁾。下面主要介绍首次实验及离子源和注入系统的最近发展。

这些结果会在核合成的计算中产生什么样的影响,然而,上面的结果和讨论更加增强了Mathew所说的在闭壳层近邻的核上还需要

二、系统首次运行及性能简述

自1985年1月调整运行以来,ECR源、注入系统及回旋加速器中心区域工作是稳定可靠的。1月份后,回旋加速器60%的运行时间是采用ECR源。核物理小组已是使用ECR源的热心用户。ECR源及其注入系统运行需要约100KW功率。某些情况下ECR源允许有比内部PIG源较高的电荷态离子加速,这导致较低的回旋加速器的主磁场和低的功

表1 加速的束流

离子种类	回旋加速器的能量 (Mev)	离子源的离子流 ($\epsilon\mu\text{A}$)	回旋加速器引出的束流 ($\epsilon\mu\text{A}$)	传输效率 (%)
14N^{4+}	135	80	6	8
14N^{5+}	180	63	9	14
16O^{5+}	135	46	4	9
16O^{6+}	315	15	1.1	7
16O^{7+}	429	8	0.2	3
18O^{4+}	117	87	5.5	6
20Ne^{6+}	160	23	2	9
20Ne^{7+}	340	8	0.15	2
22Ne^{5+}	157	29	3	10
24Mg^{7+}	192	20	2	10
28Si^{6+}	180	30	2	7
32S^{9+}	350	20	1.2	6
40Ar^{9+}	175	50	2.4	5
40Ar^{12+}	504	6	0.3	5
86Kr^{14+}	301	2.5	0.1	4
129Xe^{21+}	451	0.8	0.03	4

做进一步的实验工作。

(李业祥译自《PHYSICAL REVIEW LETTERS》 Vol. 56 No 15 1986)

率消耗,通过几天的长期运行,有很好地可靠性,只要偶然调整一下离子源就能正常工作。

通过回旋加速器得到的束流列于表1。回旋加速器外部束流包含了在束流截止器及水平准直器上的总束流,靶上的束流是表1总束流的(5~50)%,它与传输系统的准直性有关。能量范围由3.5Mev/A的 ^{86}Kr 和 ^{129}Xe 升到27Mev/A的 ^{16}O 。除了 $^{40}\text{Ar}^{8+}$ 、 $^{86}\text{Kr}^{14+}$ 和 $^{129}\text{Xe}^{21+}$ 使用三次谐波加速外,其他都用一次谐波。总的传输效率为14%,对于低能和中能束流经过细致调整后(10—14)%。在较高能量429Mev的 O^{7+} ,其传输效率降为3%。在(5~6) Mev/A处于三次谐波之端的高能量传输效率也较低,它的原因是由于中心区的轴向聚焦减弱及轨道

分离的间隔较小而引起的。该区域需进一步研究。注入系统一般在10KV,加速器D盒电压为50KV。增加注入电压将提高某些束流的传输效率,这是由于束流发射度减小,空间电荷减少和得到了最佳的中心区束流轨迹间隔而形成的。具有聚束器和没有聚束器的外部回旋加速器束流之比,即聚束因子典型的是3到6,它低于理论值8。这部分原因是由于最近中心平面上的空间电荷效应所引起的。

三、ECR源

1984年1月开始试验运行离子源的改进,并大部分时间仍在致力于继续通过回旋加速

表2. LBL的ECR源在10KV引出电压下的离子流强(μA)

电 荷 态	N	O	Ne	Mg	Al	Si	S	Ar	Ca	Kr	Xe
1 ⁺	73	74									
2 ⁺	96	87	51	32	18	20					
3 ⁺	104	85	63	34	40	33	10	38	23		
4 ⁺	76	79	78	28	60	69	*	40	24		
5 ⁺	64	89	58	44	43	72	20	*	*		
6 ⁺	7	82	45	34	36	47	*	54	37	8	
7 ⁺	*	8	15	18	22	30	63	66	38	7.8	
8 ⁺		0.37	4.2	6	10	17	*	106	36	14	
9 ⁺			0.15	2.4	*	7.0	36	72	31	18	0.7
10 ⁺			0.005		*	2.7	*	*	*	20	0.7
11 ⁺					0.065	0.5	5.0	18	18	20	0.66
12 ⁺						0.2	*	11	11	12	0.8
13 ⁺						0.005	0.4	3.3	1.6	15	0.94
14 ⁺							*	0.73	0.2	10	1.1
15 ⁺							0.001			6.8	1.1
16 ⁺										4.2	1.4
17 ⁺										2.8	1.6
18 ⁺										1.5	2.0
19 ⁺										0.6	2.0
20 ⁺											2.2
21 ⁺											2.3
23 ⁺											1.8

注:供给的物质有天然同位素较多的丰度。

* 是具有相同荷质比的二种离子混合物。

器供给束流。最初结构中第二级径向磁场是由内孔有效直径为80mm的六极透镜供给。1984年6月用一个八极透镜安装试验,试验较高的多极透镜的效应。八极透镜的内直径为94mm。由于这个变化而使离子源工作得到相当大的改善。在9月份和密西根大学的NSCL小组合作,将具有与八极透镜相同直径的新的较大的六极透镜安装,由于增加了真空室的体积或多极透镜的变化,试验其是否得到改善⁶。这个具有大的六极透镜的离子源工作与具有八极透镜的离子源工作相比。前者显示出在第二级内增加了体积,允许使RF的功率与等离子体更有效的耦合,因此电子的平均温度得到提高,这个效应对LBL的ECR源是很有意义的。因为LBL的ECR源在第二级中的RF工作频率只是6.5GHz,它低于具有8.5GHz⁶和10GHz⁷频率的其它ECR源。1985年1月以后,不再有时间去做多极透镜的试验,运行的离子源是用大的六极透镜工作。

1985年4月,新的第一级装入系统引起了LBL的ECR源运行上喜剧性的改善。 O^{7+} 束流由 $4\mu A$ 提高到 $8\mu A$; Ar^{14+} 由130nA提高到730nA。新的第一级使离子源容易调整和更容易重复,亦使长期稳定性得到很好地改善。目前离子源在生产 $50\mu A$ 的 Ar^{9+} 离子流连续工作4天都不需要调整。

表2。列出了LBL的ECR源各种离子的流强,其中除 $^{18}O^{8+}$ 需要用较窄的分析缝来改善它的分辨率外,其余都用12mm分析缝和10KV的引出电压。这些数据是通过许多次实验获得的具有代表性的最佳流强。在较高的引出电压时能得到较大的流强。例如:对于 Ar^{9+} 在10KV时为 $100\mu A$; 14KV时为 $140\mu A$ 。这是由于较高的引出电压能使离子流的传输发射度减小所致。对于全剥离的氧和氖离子是用 ^{18}O 和 ^{22}Ne 测得的。

表2中列出的各种元素有三种类型:第一类元素使用的是气体状态,没有什么特殊,一般说,它们是用适当的混合气体送入

第一级即可。第二类元素产生于固体状态,但是是用气体混合,如硅(Si)和硫(S),硅离子流是由硅直接注入第二级,而在第一级是用氧气来维持等离子体,这样做的结果比用硅和氧直接注入到离子源的第一级的效果要好,因为后一种方法会发生元素沉积在第一级的壁上。同样,硫离子流的产生也是将硫直接注入第二级,第一级也是用氧气来维持的。在硅工作后的离子源没有发现离子源的污染问题。硫工作3天后,几天内仍有很少的硫离子流,但污染不像用 SO_2 注入第一级那么严重。

第三类元素是金属。某些元素(如Al)是直接注入到等离子体内工作。另一些元素(如Mg、Ca)是用坩锅蒸发。LBL的ECR源由于是用多极透镜的结构形式,允许在径向方便地把固体插到等离子体内。它也允许用坩锅来蒸发需要的金属离子流。镁和钙在坩锅内烘烤24小时后就能产生稳定的离子流。当镁离子流工作48小时后,再用氧和氩气工作就会恶化,这种情况的原因不清楚,因为离子源中剩余真空是好的,同时在电荷态分布中没有观察到镁离子。用折散第二级,并清洁六极透镜和引出电极后,就使离子源恢复到原来好的工作状况,这说明是由于用坩锅产生镁离子而超量蒸发的结果。用钙坩锅来试验没有产生严重的污染问题。

离子源的径向发射度的测量是使用具有抑制二次电子的马达扫描的法拉弟筒。离子流通过 90° 分析磁铁后在2M远处装有1.6mm宽、13Cm高的分析狭缝,法拉弟筒装在狭缝下端。这种简单的径向发射度测量装置,是用分析狭缝来限制离子流腰点的离子流的大小,用扫描的法拉弟筒来测量离子流截面的发散。用这样测量的结果可以证明离子源的最佳的发射度及了解离子流的传输状况。

测量结果为:极大值半宽度的核心内离子流发射度由高电荷态到低电荷态为 $(20-110)\pi mm \cdot mrad$ 。它们全落在Mcromafios所报告的50%离子流的水准范围内⁸。最近,

在Microfios上测得 O^{9+} 离子流75%的发射度为 $30\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}^{(9)}$ 。它接近于我们测得的离子流的核心值。在(8)、(9)报告中发射度值的宽度范围可能由于包括了离子流尾的不同部分所致。离子流中心核的发散性表示了对高到低的电荷态的能量分辨的极限为(0.1~5)ev。

对LBL的ECR源今后的发展计划是：使固体物质得到较宽的范围而提高RF系统。即采用Geller报告中所指出的，使RF的频率由10GHZ增加到16GHZ时导致 Ne^{10+} 束流大量提高的方法⁽¹⁰⁾。我们计划用目前第一级的调束管来馈送第二级的RF。从而使第二级的RF频率由6.4GHZ提高到9.2GHZ。

参 考 文 献

1. J. Clark; 9th Int. Conf. on Cyclotrons and Their Applications. p231~240, (1981)
2. C. M. Lyneis et al; IEEE. NS32. No5. p

(1745—1747), (1985)

3. D. J. Clark et al; 10th Int. Conf. on Cyclotrons and Their Applications. p133-136(1984)
4. C. M. Lyneis; LBL Report 18501, (1984)
5. Y. Tongen et al; Proceedings of the International Conference on the Physics of Highly Ionized atoms (1984)
6. Y. Tongen et al; IEEE NS-30 p(2685-2689) (1983)
7. R. Geller et al; Proc. Int. Ion Engineering Congress—ISIAT83 and IPAT83 p(187-198) (1983)
8. N. Chan Tung et al; M. I. N. 174 1/2. p (151-156) (1980).
9. P. Spadtke et al; LBL puB-5143. p (103--106). (1985)
10. F. Bourg et al; LBL. puB-5143. p (1-27), (1985)