

# $H_4^+$ , $H_5^+$ 和 $H_7^+$ 团簇离子的测量和确认<sup>y</sup>

杨百方, 缪竞威, 杨朝文, 师勉恭

(四川大学辐射物理及技术教育部重点实验室, 四川大学原子核科学技术研究所, 四川 成都 610064)

摘要: 报告了  $H_4^+$ ,  $H_5^+$ ,  $H_7^+$  等团簇离子的测量结果. 确认可以由  $H_3^+$  与一个或多个 H 和  $H_2$  相互作用形成较大的  $H_4^+$ ,  $H_5^+$ ,  $H_7^+$  等团簇离子.

关键词:  $H_4^+$  团簇离子;  $H_5^+$  团簇离子;  $H_7^+$  团簇离子

中图分类号: O561.4 文献标识码: A

## 1 引言

理论和实验都证明  $H_3^+$  是稳定的分子离子. 以它为核心吸附一个或多个氢原子或氢分子可能会形成  $n > 3$  的氢离子团簇如  $H_4^+$ ,  $H_5^+$  等<sup>[1, 2]</sup>. 根据这个思想, 作者探索了由小到大合成  $n > 3$  的  $H_n^+$  离子的可能性<sup>[3]</sup>. 在初次测量中发现可能有  $H_4^+$ ,  $H_5^+$ ,  $H_7^+$  等团簇离子形成的信息<sup>[4-6]</sup>. 在改进的实验条件下, 近期在实验中又获得了更多的结果. 再次证明在现在的实验条件下可以合成  $H_4^+$ ,  $H_5^+$ ,  $H_7^+$  等团簇离子.

## 2 $H_n^+$ 团簇离子测量方法

图 1 是测量装置示意图. 从高频离子源引出的氢团簇离子束, 在 2.5 MV 静电加速器中加速到一

定能量, 经  $90^\circ$  磁分析器(出入口固定光栏 1, 2 孔径分别为 1.7 和 1 mm) 偏转按质量分开之后, 形成具有单一能量的特定的  $H_n^+$  团簇离子束.  $H_n^+$  束经活动光栏  $C_1, C_2$  准直后, 又通过  $20^\circ$  磁分析器偏转, 在  $20^\circ$  方向又有活动光栏  $C_3, C_4$  准直, 到达金-硅面垒探测器 2 进行测量. 为了减少管道散射, 在活动光栏  $C_1, C_2$  之间加了孔径为 5 mm 的固定光栏 3. 在  $0^\circ$  和  $20^\circ$  方向有活动的荧光屏 1, 2, 用于观察  $H_n^+$  离子及其分裂子体的束斑. 在  $0^\circ$  和  $20^\circ$  方向的低噪声金-硅面垒探测器 1, 2 都可以用于测量  $H_n^+$  离子.

## 3 $H_n^+$ ( $n = 1 - 13$ ) 的束斑观察

在高频离子源中, 可以产生微安量级的  $H^+$ ,  $H_2^+$ ,  $H_3^+$  束流和非常微弱的  $n > 3$  的  $H_n^+$  团簇离子. 由于数量太少, 用微安表不能测量  $n > 3$  的  $H_n^+$  团簇离子, 但是可以用探测器或荧光屏观察它们是否产生. 在  $20^\circ$  方向, 在不同的磁偏转电流下可以用荧光屏 1 观察各种  $H_n^+$  离子的束斑. 在每次测量中首先调试  $H^+$ ,  $H_2^+$ ,  $H_3^+$  的束流, 观察它们明亮的束斑, 由此得到它们及其分裂产物的偏转电流  $I_{20^\circ}$ , 并且使  $C_1, C_2, C_3$  和  $C_4$  以及探测器 2 处于合适位置. 然后再调节  $H_n^+$ , 观察它们的束斑, 得到  $H_n^+$  及其分裂产物的偏转电流  $I_{H_n^+}$ . 图 2 给出了观察到  $H_n^+$  时的偏转电流与  $H_n^+$  的质量关系图. 图 2 中从  $H^+$  到  $H_{13}^+$  的偏转电流拟合曲线为:

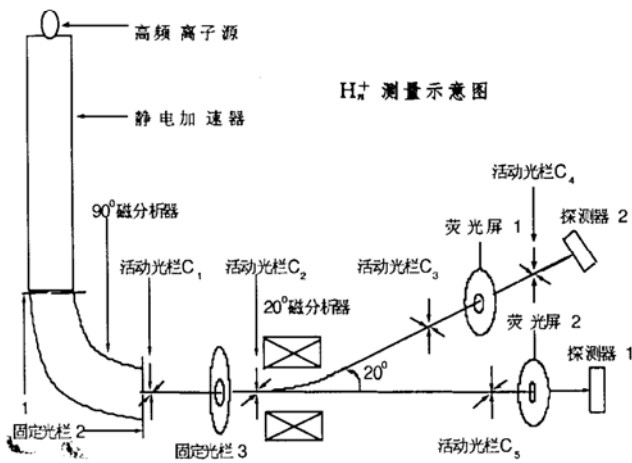


图 1  $H_n^+$  团簇离子测量示意图

y 收稿日期: 2002 - 03 - 05; 修改日期: 2002 - 06 - 12

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(19975033, 19975034, 10175041)

作者简介: 杨百方(1941-), 男(汉族), 四川蒲江人, 研究员, 从事原子分子物理研究.

$$I_{H_n^+} = \sqrt{M_n} \times I_{H^+}, \quad (1)$$

$M_n$  为  $H_n^+$  的质量. 从图 2 看到. 从  $H_2^+$  到  $H_{13}^+$ . 实测偏转电流落在拟合曲线上, 因此  $I_{H_n^+}$  满足(1)式.

$H_n^+$  子体  $H_l$  的拟合曲线为:

$$I_{H_l} = I_{H_n^+} \times \frac{M_l}{M_n}, \quad (2)$$

$M_l$  为  $H_l$  的质量, 这里  $H_l$  是离子或中性分子. 在观察各种  $H_n^+$  离子及其子体偏转电流的基础上, 用金-硅面垒探测器 2 对  $H_n^+$  进行能谱测量. 图 2 中圆点表示荧光观察点, 方点表示能谱测量点. 由此看到, 大多数  $H_n^+$  的荧光观察点与能谱测量点是重合的.  $H_n^+$  子体荧光观察点与能谱测量点不尽相同, 这与观察和测量时的情况有关. 荧光观察时  $C_2, C_3$  可以适当放开以便于观察, 能谱测量时  $C_1, C_2, C_3$  和  $C_4$  都作了精心调整.

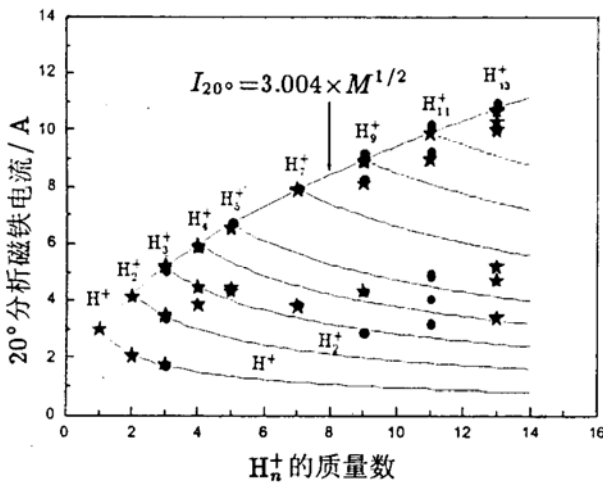


图 2 在  $20^\circ$  方向观察到  $H_n^+$  荧光(●)时或测量  $H_n^+$  时(★)的磁场偏转电流

## 4 $H_4^+$ , $H_5^+$ 和 $H_7^+$ 的测量结果

### 4.1 $H_4^+$ 的测量结果

在荧光观察的基础上, 在  $20^\circ$  方向用低噪声金-硅面垒探测器 2 测量了 1.2 MeV  $H_4^+$  及其分裂子体的能谱. 从图 3 清楚地看到  $H_4^+$  及其分裂子体  $H^+$ ,  $H, H_2^+, H_2,$  和  $H_3^+$  的能谱分布.  $H_4^+$  在高频离子源中产生, 在静电加速器中加速到 1.2 MeV 后, 经过  $90^\circ$  磁分析器偏转到水平方向, 再经过  $20^\circ$  磁分析器偏转  $20^\circ$ , 最后通过  $C_3, C_4$  到达探测器 2. 从  $C_2$  到  $C_4$  将近 2.6 m 的运行路径上,  $H_4^+$  与真空管道内残余

气体碰撞而分裂, 产生各种分裂子体. 从图 3 看到经过残余气体碰撞生存下来的  $H_4^+$  已很少.

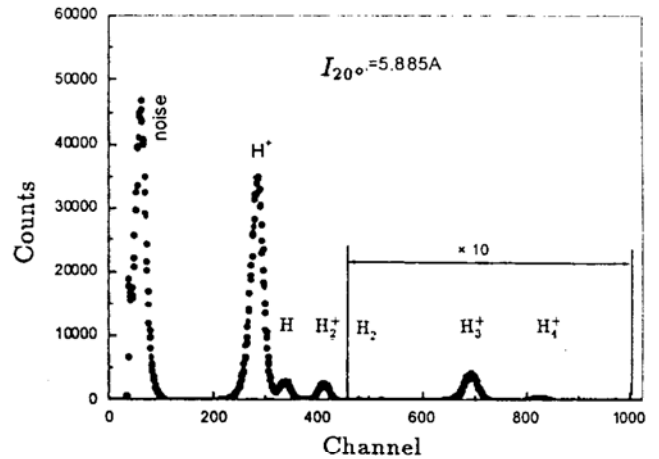


图 3 1.2 MeV  $H_4^+$  团簇离子分裂后的能谱分布

### 4.2 $H_5^+$ 的测量结果

在荧光观察的基础上, 在  $20^\circ$  方向, 用低噪声金-硅面垒探测器 2 测量了 1.2 MeV  $H_5^+$  及其分裂子体的能谱. 从图 4 清楚地看到  $H_5^+$  及其分裂子体  $H^+, H, H_2^+, H_2, H_3^+$  和  $H_4^+$  的能谱分布.  $H_5^+$  在高频离子源中产生, 在静电加速器中加速到 1.2 MeV 后, 经过  $90^\circ$  磁分析器偏转到水平方向, 再经过  $20^\circ$  磁分析器, 最后通过  $C_3, C_4$  到达探测器 2. 从  $C_2$  到  $C_4$  将近 2.6 m 的运行路径上,  $H_5^+$  与真空管道内残余气体碰撞而分裂, 产生各种分裂子体. 从图 4 看到经过残余气体碰撞生存下来的  $H_5^+$  更少.

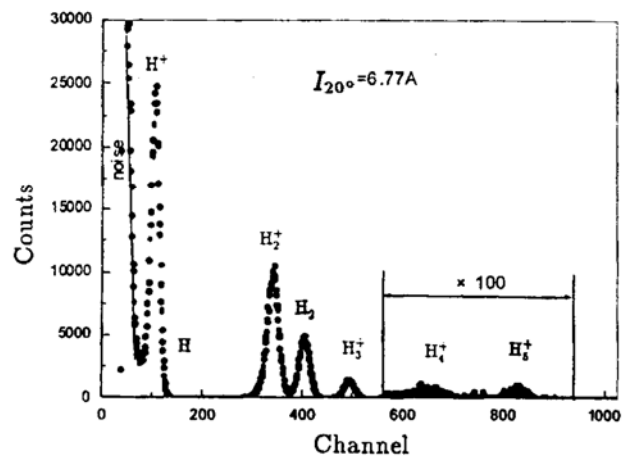


图 4 1.2 MeV  $H_5^+$  团簇离子分裂后的能谱分布

### 4.3 $H_7^+$ 的测量结果

在荧光观察的基础上, 在  $20^\circ$  方向, 用低噪声金

-硅面垒探测器 2 测量了 1.2 MeV  $H_7^+$  及其分裂子体的能谱. 从图 5 清楚地看到  $H_7^+$  及其分裂子体  $H^+$ ,  $H$ ,  $H_2^+$ ,  $H_2$ ,  $H_3^+$ ,  $H_4^+$  和  $H_5^+$  的能谱分布.  $H_7^+$  在高频离子源中产生, 在静电加速器中加速到 1.2 MeV 后, 经过  $90^\circ$  磁分析器偏转到水平方向, 再经过  $20^\circ$  磁分析器偏转  $20^\circ$ , 最后通过  $C_3$ ,  $C_4$  到达探测器 2. 从  $C_2$  到  $C_4$  将近 2.6 m 的运行路径上,  $H_7^+$  与真空管道内残余气体碰撞而分裂, 产生各种分裂子体. 从图 5 看到经过残余气体碰撞生存下来的  $H_7^+$  更少.

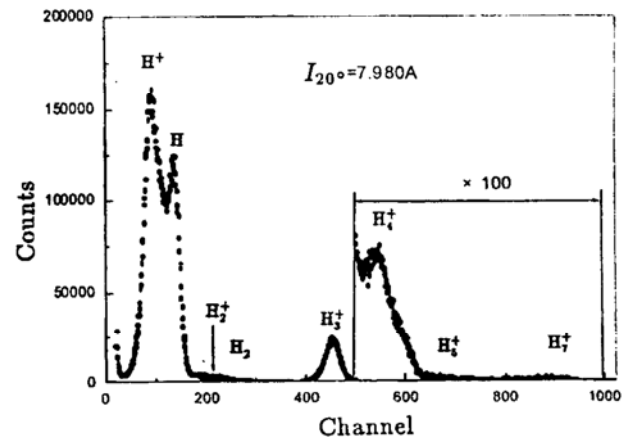


图 5 1.2 MeV  $H_7^+$  团簇离子分裂后的能谱分布

参 考 文 献:

[1] Hirao K, Yamabe S. The Theoretical Study on the Structure and Stabilization of  $H_n^+$  and  $H_n^-$  ( $n = 3, 5, 7, 9, 11, 13$ ) Hydrogen Cluster Ions [J]. Chem Phys, 1983, **80**: 237.

[2] 杨百方, 缪竞威, 师勉恭等.  $H_n^+$  离子的产生和鉴别[J]. 四川大学学报(自然科学版), 1999, **36**: 236.

[3] 杨百方, 缪竞威, 师勉恭等.  $H_n^+$  团簇离子源设想[J]. 原子与分子物理学报, 2000, **17**: 158.

[4] 杨百方, 缪竞威, 师勉恭等.  $H_5^+$  团簇离子的形成和分解[J]. 原子与分子物理学报, 1998, **15**: 571.

[5] 师勉恭, 缪竞威, 杨百方等.  $H_4^+$  团簇离子的形成和分解[J]. 原子与分子物理学报, 1998, **15**: 427.

[6] 师勉恭, 缪竞威, 杨百方等.  $H_7^+$  团簇离子的测量[J]. 四川大学学报(自然科学版), 1999, **36**: 775.

## The Measurement and Provement of $H_4^+$ , $H_5^+$ and $H_7^+$ Cluster Ions\*

YANG Bei-fang, MIAO Jing-wei, YANG Chao-wen, SHI Mian-gon

(The Key Laboratory of Radiation Physics and Technology of Ministry of Education, Chengdu 610064, China;

Institute of Nuclear Science and Technology, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

**Abstract:** The measured results for  $H_4^+$ ,  $H_5^+$  and  $H_7^+$  cluster ions are reported. It is ascertain that  $H_4^+$ ,  $H_5^+$  and  $H_7^+$  cluster ions can be produced by the interaction of  $H_3^+$  and one or more H and  $H_2$  neutral atoms or moleculars.

**Key words:**  $H_4^+$  cluster ion;  $H_5^+$  cluster ion;  $H_7^+$  cluster ion

\* Foundation item: National Natural Science Foundation of China (19975033, 19975034, 10175041)