

# 固体气泡损伤探测器 记录高能重离子的特性

郭士伦<sup>1</sup>, 李 丽<sup>1</sup>, T. Doke<sup>2</sup>, J. Kikuchi<sup>2</sup>,

A. Kyan<sup>2</sup>, E. Yoshihira<sup>2</sup>, T. Kato<sup>2</sup>, T. Murakami<sup>3</sup>

(1. 中国原子能科学研究院 核物理研究所, 北京 102413;

2. Advanced Research Institute for Science and Engineering, Waseda University, Tokyo, Japan;

3. National Institute of Radiological Science, Chiba, Japan)

**摘要:**利用自行研制的大型固体气泡损伤探测器和日本国立辐射科学研究所医用重离子加速器(HIMAC)提供的高能重离子束对固体气泡损伤探测器探测高能重离子的特性进行了研究。研究说明:1) 固体气泡损伤探测器是一种新型重离子阈探测器, 阈值可用临界能量损失率表征; 2) 最大径迹长度与重离子的原子序数有关, 利用这种关系可鉴别重离子的原子序数; 3) 在重离子径迹的一定范围内, 气泡线密度与重离子的能量损失率  $dE/dX$  有关, 测定该范围内两点的气泡线密度和其间的射程可求得重离子的原子序数和能量。

**关键词:**固体气泡损伤探测器; 高能重离子鉴别; 径迹探测器

**中图分类号:** TL815      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-6931(2000)S0-0030-04

固体气泡损伤探测器是 80 年代发展起来的一种新型核辐射探测器<sup>[1,2]</sup>。它的原理是: 硬弹性固体介质中均匀含有无数过热液体微滴, 入射粒子穿过过热液体微滴或其附近时, 入射粒子或其反应产物在微滴中损失能量, 过热液体被气化, 在原位立即生成目视可见的气泡, 一个或多个气泡组成径迹。固体气泡损伤探测器记录中子的性质研究较多<sup>[3~5]</sup>, 而记录重离子的特性研究较少。在以前研究<sup>[6,7]</sup>的基础上, 本工作对它记录高能重离子径迹的特性进行研究。

## 1 固体气泡损伤探测器制备和重离子照射

为研究固体气泡损伤探测器记录高能重离子的特性, 研制了大型(长度大于 23 cm)固体气泡损伤探测器。硬弹性固体为聚丙稀酰胺, 过热液体为氟里昂(F-12), 过热液体占探测器体积的 2%。过热液体微滴大小约为 10  $\mu\text{m}$ , 均匀分布在硬弹性固体中。硬弹性固体被置于由盖密封的长玻璃管中, 在管的一端注入增压剂(F-12), 增压剂产生的高压使探测器处于对辐射不灵敏状态, 便于长期保存。重离子照射前, 打开封盖, 排放增压剂, 探测器被敏化。

收稿日期: 2000-01-10; 修回日期: 2000-04-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(19975071); 核工业科学基金资助项目(Y7197F0122)

作者简介: 郭士伦(1937—), 男, 河北河间人, 研究员, 核物理专业

在日本国立辐射科学研究所(NIRS)医用重离子加速器 HIMAC 上进行照射,高能重离子为  $600 \text{ MeV/u } ^{28}\text{Si}$ 、 $650 \text{ MeV/u } ^{40}\text{Ar}$  和  $500 \text{ MeV/u } ^{56}\text{Fe}$ 。先使重离子束充分散焦,在照射位置处直径  $2 \text{ cm}$  光栏面积内均匀分布。重离子从探测器底部沿轴线入射,每一束流脉冲投射到上述面积的重离子数目约为  $100$ , 投射到探测器的重离子总数为  $500 \sim 5\,000$ 。重离子数目用放置于探测器前的厚  $200 \mu\text{m}$  的塑料闪烁体测量。

## 2 固体气泡损伤探测器的重离子径迹

被敏化的探测器经重离子照射后,立即出现由一连串气泡组成的重离子径迹。约  $24 \text{ h}$  后,气泡直径由起始时的约  $70 \mu\text{m}$  逐渐增大到  $100 \sim 400 \mu\text{m}$ ,之后,气泡直径不再变化。气泡大小视气泡密度而异,径迹多的区域,气泡达到的直径较小,径迹少的区域,气泡的直径较大。

图 1(a)、(b)、(c)分别为  $600 \text{ MeV/u } ^{28}\text{Si}$ 、 $650 \text{ MeV/u } ^{40}\text{Ar}$  和  $500 \text{ MeV/u } ^{56}\text{Fe}$  在固体气泡损伤探测器中的径迹照片。径迹可直观和目测,不需特殊仪器即可进行径迹参数测量。



图 1 固体气泡损伤探测器中的高能重离子径迹

Fig. 1 Tracks of high energy heavy ions in bubble detectors

重离子飞行方向从左向右;探测器外径  $2.0 \text{ cm}$

a —  $600 \text{ MeV/u } ^{28}\text{Si}$ ; b —  $650 \text{ MeV/u } ^{40}\text{Ar}$ ;

c —  $500 \text{ MeV/u } ^{56}\text{Fe}$

## 3 固体气泡损伤探测器的阈特性

由各种重离子在固体气泡损伤探测器中的射程-能量关系和出现气泡径迹的起始位置可计算出在照射室温度 ( $25.3$ ) 下所用探测器产生径迹所需的能量损失率  $dE/dX$ 。Fe、Ar 和 Si 的  $dE/dX$  分别为  $(1.69 \pm 0.04)$ 、 $(1.68 \pm 0.06)$  和  $(1.77 \pm 0.14) \text{ MeV} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{cm}^2$ 。以上 3 种粒子  $dE/dX$  值彼此一致,平均值为  $(1.69 \pm 0.03) \text{ MeV} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{cm}^2$ 。 $dE/dX$  大于这一数值的重离子才能在所用探测器中产生径迹,这一数值称为临界能量损失率  $(dE/dX)_c$ 。固体气泡损伤探测器的阈特性可用  $(dE/dX)_c$  表征。

敏化过程中的残留增压剂将对探测固体产生一定压力,使径迹变短,且径迹长度不可重复,最终影响  $(dE/dX)_c$  的测定。本次实验注意排除了上述影响。因此,本工作与以前工作<sup>[6,7]</sup>所测得阈值间有所差异。

## 4 最大径迹长度与重离子原子序数的关系

比较 3 种重离子的最大径迹长度  $L_m$  (开始产生径迹处至射程末端间的距离)可以看出  $L_m$  与重离子原子序数  $Z$  有一一对应关系:对  $^{28}\text{Si}$ ,  $Z = 14$ ,  $L_m = (4.2 \pm 0.7) \text{ mm}$ ;对  $^{40}\text{Ar}$ ,  $Z = 18$ ,  $L_m = (13.4 \pm 1.1) \text{ mm}$ ;对  $^{56}\text{Fe}$ ,  $Z = 26$ ,  $L_m = (74.7 \pm 5.8) \text{ mm}$ 。 $(dE/dX)_c$  是探测器的特性,不论哪种重离子,只要它的能量下降到  $dE/dX = (dE/dX)_c$  便开始产生径迹。对不同重离子,这一能量对应的射程不同,且各为固定值。

图2示出了本探测器的  $L_m$  与重离子原子序数  $Z$  的关系。利用图2,通过测量  $L_m$  可推知  $Z$ ,即可鉴别重离子。

## 5 气泡线密度与 $dE/dX$ 的关系

在一定径迹范围内,单位长度径迹上的气泡数目(气泡线密度)与重离子的  $dE/dX$  有关, $dE/dX$  大,则气泡线密度也大。通过测量这段路程上两点的气泡线密度及其距离,可以计算重离子的原子序数  $Z$  和能量  $E$ 。这是该探测器鉴别重离子的另一途径。

## 6 结论

重离子在固体气泡损伤探测器中的径迹由一连串微小气泡组成,这些气泡可直接观察和目测,是目前唯一可直接观测并能长久保留径迹的新型的探测器。该探测器是一种阈探测器,阈值可用临界能量损失率表征。由于阈的存在,通过测量最大径迹长度可以鉴别高能重离子。另外,通过测量重离子路程上一定范围内两点的气泡线密度和其间的射程也可鉴别重离子和测定重离子能量。

固体气泡损伤探测器的以上特性可应用于高能重离子研究、宇宙射线探测和癌症治疗模拟等领域。

作者感谢日本国立辐射科学研究所和加速器运行人员提供重离子束,感谢马嶋秀行(Hideyuki Majima)博士和国际空间辐射实验室提供测量仪器和帮助。

## 参考文献:

- [1] Ing H, Birnboim HC. A Bubble-damage Polymer Detector for Neutrons [J]. Nucl Tracks Radiat Meas, 1984, 8:285~288.
- [2] 郭士伦. 固体气泡损伤探测器——一种新型的原子核粒子探测器[J]. 物理, 1989, 18(3):169~172.
- [3] Ing H, Noulty RA, McLean TD. Bubble Detectors——A Maturing Technology[J]. Radiation Measurements, 1997, 27(1):1~11.
- [4] 郝秀红,赵玉华,郭士伦,等. 固体气泡损伤探测器的研究[J]. 核技术, 1991, 14(7):394~396.
- [5] Tu Caiqing, Guo Shilun, Wang Yulan, et al. Study of Bubble Damage Detectors for Neutron Detection[J]. Radiation Measurements, 1997, 28(1~6):159~162.
- [6] Guo Shilun, Li Li, Guo Hongying, et al. Registration and Identification of Intermediate and High Energy Heavy Ions With Bubble Damage Detectors——First Observation of High Energy Heavy Ion Tracks in Bubble Detectors: NIRS-M-125[R]. Chiba, Japan: National Institute of Radiological Science, 1998.
- [7] 郭士伦,李丽,郭洪英,等. 固体气泡损伤探测器探测高能重离子的研究[J]. 核技术, 1999, 22(7):399~401.

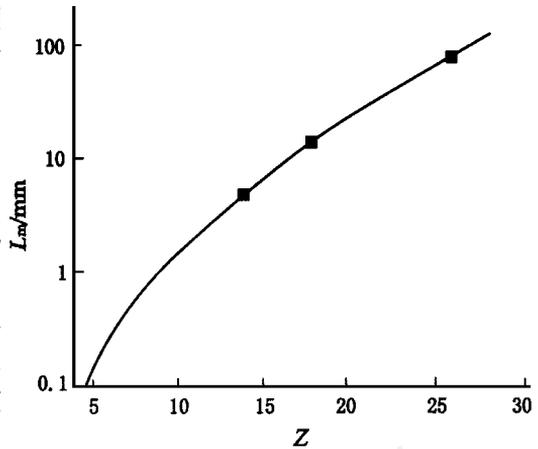


图2 最大径迹长度与重离子原子序数的关系

Fig. 2 Relationship between maximum track length  $L_m$  and atomic number  $Z$  of heavy ions

—实验点;实线——计算曲线

T-12 探测器

## Characteristics of Bubble Detectors for Registration of High Energy Heavy Ions

GUO Shi-lun<sup>1</sup>, Li Li<sup>1</sup>, DOKE T<sup>2</sup>, KIKUCHI J<sup>2</sup>,  
KYAN A<sup>2</sup>, YOSHIHIRA E<sup>2</sup>, KATO T<sup>2</sup>, MURAKAMI T<sup>3</sup>

(1. *China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275 -96, Beijing 102413, China;*

2. *Advanced Research Institute for Science and Engineering, Waseda University, Tokyo, Japan;*

3. *National Institute of Radiological Science, Chiba, Japan)*

**Abstract :** Studies have been carried out on the characteristics of bubble detectors for registration of high energy heavy ions using large sizes of bubble detectors made in China Institute of Atomic Energy. The studies show that: (1) Bubble detector is a new type of threshold detectors for heavy ion registration. The essence of the threshold can be expressed by critical energy loss rate. (2) The maximum track lengths of the heavy ions are corresponding to their atomic numbers one by one, by which the atomic numbers of the heavy ions can be identified. (3) A relationship between linear bubble density and energy loss rate  $dE/dX$  can be recognized in a certain interval of the track. The atomic number and energy of the heavy ion can be deduced from the distance between two points in the interval and linear bubble densities at the two points of the track. Bubble detector has the capability to identify heavy ions and is immediate, realtime and visible detector without requirement of additional instruments.

**Key words :** bubble detector; identification of high energy heavy ions; track detector