

## 一种新的回旋加速器高频电压测量方法

朱升云 赵振鲁 陈国柱 余调琴

(中国原子能科学研究院核物理研究所, 北京, 102413)

介绍一种由轫致辐射  $\gamma$  能谱测量回旋加速器高频电压的新方法。

关键词 高频电压测量 轫致辐射 回旋加速器

中图法分类号 TL 506

回旋加速器中通过加在“D”型盒上的高频电压供给粒子能量加速粒子。因而, 测量加在回旋加速器“D”型盒上的高频电压和校正“D”型盒电压表读数有实际价值, 是验证设计电压的基础。过去, 回旋加速器“D”型盒上的高频电压测量和“D”型盒电压表校正是在大气下采用高频电压表进行。在常规回旋加速器中“D”型盒对地的距离约为 4 mm, 高频电压超过 10 kV 就要打火, 因此, 大于 10 kV 高频电压不能直接测量。于是采用放大器线路高频检波回路线性度外推的方法来确定大于 10 kV 高频电压。由于高频检波回路在低电压区线性度很差, 所以大于 10 kV 高频电压的测量和“D”型盒电压表的校正可靠性较差, 而且测量复杂, 时间长。回旋加速器“D”型盒高频电压的设计峰值一般为 50 kV, 需要一种较好的测量方法。

强流质子回旋加速器 CYCIAE-30 于 1994 年建成, 1995 年投入运行, 能量为 15~ 30 MeV, 最大束流强度为 370  $\mu$ A。它的上下磁轭最近距离 30 mm, 且真空室没有观察窗可供校表用, 在大气下采用以往的高频电压表直接测量的方法不可能满足要求。为此, 本工作首次提出采用一种基于核物理的新方法, 即通过测量轫致辐射  $\gamma$  能谱来测定回旋加速器“D”型盒高频电压和校正“D”型盒电压表读数。

### 1 原理

本工作基于电子进入物质产生的轫致辐射  $\gamma$  光子能谱测量。回旋加速器“D”型盒加上高频电压后发射电子, 电子的能量等于高频电压值与电子电荷的乘积。进入物质后的电子的能量损失主要通过其在库仑场中改变速度而产生的轫致辐射<sup>[1]</sup>。轫致辐射  $\gamma$  光子能谱是连续谱,  $\gamma$  光子的能量可以从零到入射到物质上的电子能量<sup>[2]</sup>。因此, 可以通过测量轫致辐射  $\gamma$  光子能谱来测定电子能量, 从而导出加在回旋加速器“D”型盒上的高频电压和刻度“D”型盒电压表。电

朱升云: 男, 57 岁, 实验核物理专业, 研究员

收稿日期: 1998-12-07 收到修改稿日期: 1998-12-15

子入射在物质中产生的韧致辐射  $\gamma$  光子能谱的理论谱和实际韧致辐射  $\gamma$  光子能谱示于图 1。实际的能谱与电子能量及物质厚度和形状等因数有关<sup>[2]</sup>。由图可知,由测量的韧致辐射  $\gamma$  光子能谱很容易得到电子能量。

## 2 实验测量

CYCAE-30 回旋加速器高频系统示意图示于图 2。韧致辐射  $\gamma$  光子能谱由距有机玻璃窗 50 mm 的 Si(Li) 探测器测量。实验用的探测器是国产沟槽型 Si(Li) 探测器,有效面积 30 mm<sup>2</sup>,厚度 3.5 mm。探测器对 5.9 keV X 射线的能量分辨率是 170 eV。探测器的铍窗厚度为 0.0125 mm,

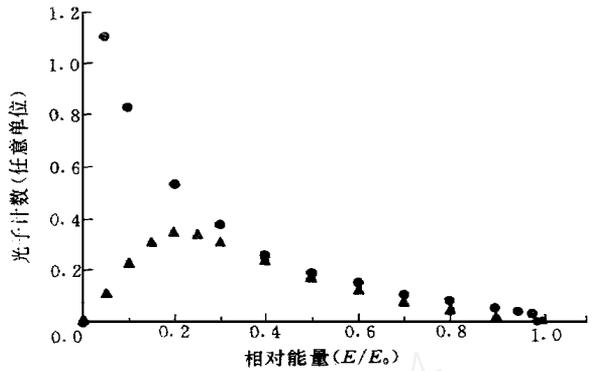


图 1 电子进入物质产生的韧致辐射光子谱

Fig 1 Electron induced bremsstrahlung  $\gamma$  ray spectra

——理论谱; ——计及光子吸收的近似谱

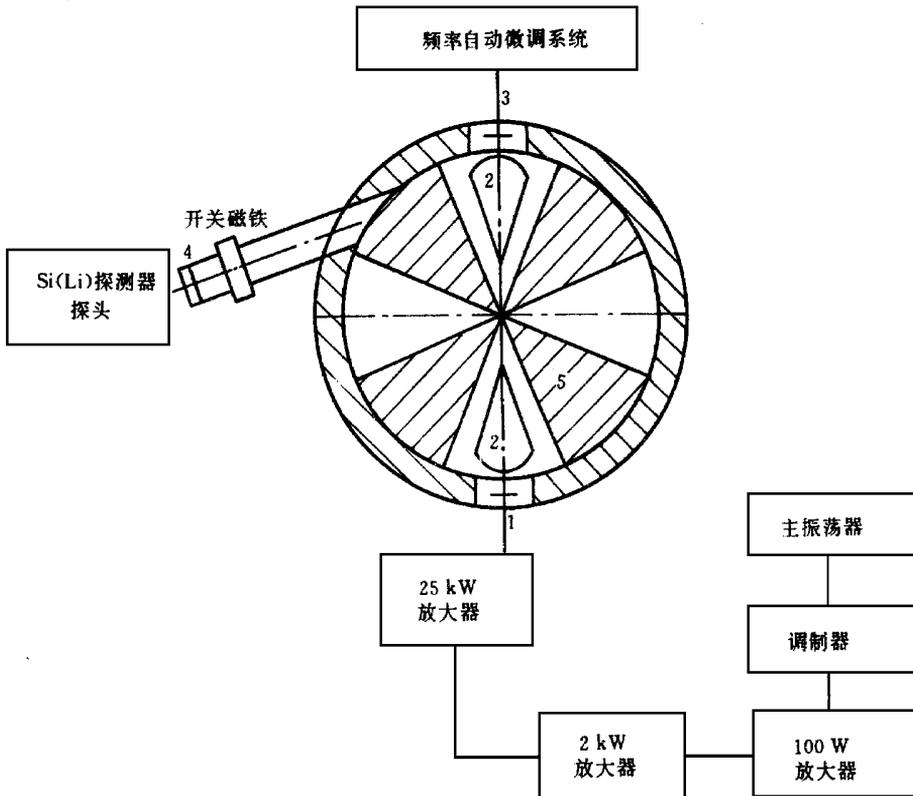


图 2 回旋加速器高频系统示意图

Fig 2 Schematic drawing of the cyclotron RF system

1——耦合电容器; 2——“D”型盒; 3——微调电容器; 4——有机玻璃窗; 5——磁极叶片



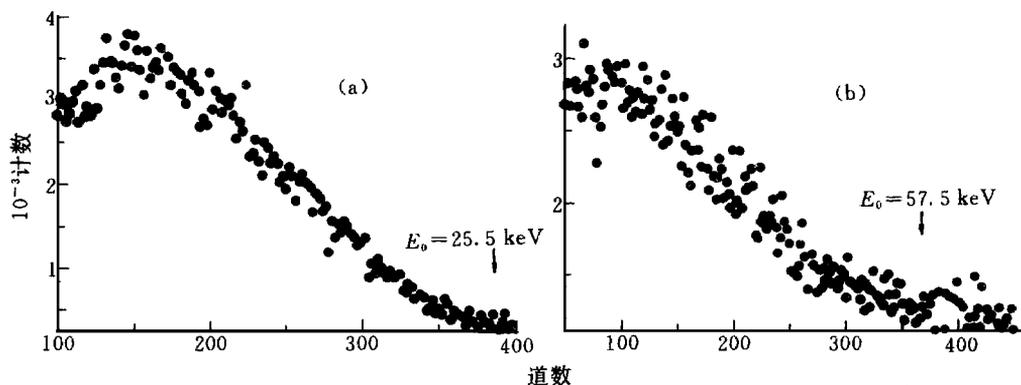
低于 0.4 keV 的 X 射线都被铍窗吸收; 探测器对 2~20 keV 的 X 射线的探测效率约 100%, 对 60 keV 的 X 射线的探测效率约 9%, 对 100 keV 的 X 射线的探测效率接近零。图 3 示出了测量系统的电子学方框图, 前置放大器为脉冲光反馈型。测量系统采用  $^{241}\text{Am}$  的 11.9 keV (0.86%), 13.9 keV (13.2%), 17.8 keV (19.3%), 20.8 keV (9.88%), 26.3 keV (2.40%), 33.2 keV (0.12%) 和 59.5 keV (35.9%) 的 X 射线进行能量刻度。



图 3 探测系统电子学方框图

Fig 3 Block diagram of electronics

实验测量了两种不同高频电压的韧致辐射  $\gamma$  光子能谱 (图 4)。在不加高频电压时测量了本底谱。

图 4 不同高频电压下的韧致辐射  $\gamma$  光子谱Fig 4 Bremsstrahlung  $\gamma$  ray spectra

(a) —— 高压为 25.5 kV; (b) —— 高压为 57.5 kV

(a) 的计数累积时间是 (b) 的 2.5 倍

### 3 结果和讨论

由图 4 可知: 由韧致辐射  $\gamma$  光子的最大能量得到入射电子能量分别为 25.5 keV 和 57.5 keV, 从而获得加在回旋加速器“D”型盒上的高频电压分别是 25.5 kV 和 57.5 kV, 并由此测量值对“D”型盒电压表作了校正。由测量的本底谱可知, 本底对测量的韧致辐射  $\gamma$  光子能谱的贡献可忽略。采用此方法测量高频电压的误差估计好于 6%。

实验还观察到: 韧致辐射  $\gamma$  光子的强度随所加高频电压的升高而增强。这可能是电子发射

随高频电压升高而增强或者是韧致辐射截面随电子能量增大而迅速增大。由图也可以明显看出低能光子的吸收对韧致辐射  $\gamma$  光子能谱的影响。

采用这种基于核物理中电子入射到物质中产生的韧致辐射  $\gamma$  光子能谱测量的方法可以很好地测量加在回旋加速器“D”型盒上的高频电压,特别是解决了 10 kV 以上和在真空运行条件下回旋加速器“D”型盒上的高频电压的测量问题。这种方法也可以用于其他相关的高频电压测量。

### 参 考 文 献

- 1 梅镇岳. 原子核物理学. 北京: 科学出版社, 1961
- 2 格林别格. 加速器物理基础. 京 华译. 北京: 人民出版社, 1962

## A NEW METHOD FOR MEASURING CYCLOTRON RF VOLTAGE

Zhu Shengyun Zhao Zhenlu Chen Guozhu Yu Tiaoqin

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-50, Beijing, 102413)

### ABSTRACT

A new method for measuring cyclotron RF voltage through bremsstrahlung  $\gamma$  ray spectra is described

**Key words** RF voltage measurement Bremsstrahlung Cyclotron