

文章编号: 1007-4627(2016)03-0315-06

小型宇宙射线探测仪的模拟和测量

王荣^{1,2,3}, 韩成栋^{1,2}, 张亚鹏¹, 赵凤仪¹, 李瑶^{1,2}, 付强^{1,2,3}, 尹俊^{1,2},
倪发福^{1,2}, 王彦瑜¹, 张鹏鸣¹, 陈旭荣¹

(1. 中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000;

2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 兰州大学, 兰州 730000)

摘要: 介绍了一款小型宇宙射线探测仪。该仪器具有宇宙射线科普演示功能, 主要用于实时测量 μ 子射线并显示计数, 以及长时间尺度下(年)稳定地对不同角度的次级宇宙线通量进行监控记录。简要地展示了探测器的硬件构造和探测效率的模拟计算。探测仪单个探测器的探测效率为 93.1%, 两个探测器符合测量的探测效率为 86.6%。根据探测器的计数率以及模拟计算的探测效率, 估计了次级宇宙射线垂直地面方向的通量, 为 $J = 29 \pm 3 \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 。另外, 利用该宇宙射线探测仪, 测量了兰州市区的次级宇宙射线的天顶角分布。其结果很好地满足 $I(\theta) = I_H + I_0 \cos^\alpha \theta$ 经验公式, 其中的角度依赖参数 $\alpha = 2.42 \pm 0.52$ 。

关键词: 宇宙射线; 塑料闪烁体探测器; 次级宇宙射线天顶角分布

中图分类号: O571.42 **文献标志码:** A **DOI:** 10.11804/ NuclPhysRev.33.03.315

1 引言

在近代物理学发展史上, 宇宙射线的研究占有重要的地位。很多新的粒子最先就是在宇宙射线中发现的。这使得人们越来越认识到天体物理、宇宙射线和高能物理密不可分。最近的研究发现表明, 地面宇宙射线的观测已经成为探索宇宙起源、天体演化^[1]、空间环境^[2-4]、气候变化^[5-6]等科学之谜的重要途径之一。另外, 宇宙射线对地球环境以及生物的多样性也会产生重要影响^[7]。因而探索地面宇宙射线也逐步得到了人们的重视。

宇宙线可以分为初级宇宙线和次级宇宙线。初级宇宙线是指地球大气层外的高能粒子流, 其中约有 90% 的质子、9% 的 α 粒子、1% 的电子和其他少量的重元素原子核^[8]。初级宇宙线粒子能量的多样性显示了这些粒子的来源可能是太阳(或其它恒星)或来自遥远的宇宙(例如: 超新星爆发, 脉冲星等)。初级宇宙线的能量可以超过 10^{20} eV ^[9-10], 远大于粒子加速器可以达到的 10^{12} 至 10^{14} eV , 从而使得许多人对高能宇宙线的研究感兴趣。次级宇宙线则是初级宇宙线与大气层中氮、氧、

氦等原子核发生强子簇射和电磁簇射后产生的各种射线^[1, 8]。它由 μ 轻子、中子、电子、 γ 射线和质子的混合物组成。初级宇宙线在与大气原子核相互作用的过程中产生大量 π 介子, π 介子则会衰变成 μ 子和对应的中微子, 而 μ 子在传输过程中可再衰变成电子和反电子中微子。在众多次级宇宙线中, μ 子拥有相对较长的寿命, 可以在衰变前穿透大气层。因此地面上的次级带电宇宙线中约有 90% 是 μ 子。

近半个世纪以来, 在宇宙射线现象与全球气候变化以及大范围环境变化间的关联研究方面已有大量的工作。由于到达地面的 μ 子是初级宇宙线与大气层簇射过程的产物, 因而 μ 子射线的通量和大气物质的构成有关。由于这些已观测到的大范围环境变化受到多种因素影响, 且宇宙线效应相对较小, 因此需要仔细处理观测数据, 从中提取宇宙射线影响的弱信号。积累不同地区、不同海拔上 μ 子通量的信息对研究宇宙射线与大气、农业等领域之间的关联都是非常必要的。同时大量长期的 μ 子射线数据可让大众直观地感受到宇宙线的存在, 从而使得小型宇宙线探测仪可以成为公众了解高能物理和空间环境的一个窗口。

收稿日期: 2015-08-10; 修改日期: 2015-10-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11175220); 国家重点基础研究发展计划项目(973计划)(2014CB845406); 中国科学院百人计划资助项目(Y101020BR0); 中国科学院西部之光人才培养资助项目(Y532050XB0)

作者简介: 王荣(1990-), 男, 安徽安庆人, 博士研究生, 从事粒子物理与原子核物理研究; E-mail: rwang@impcas.ac.cn

通信作者: 陈旭荣, E-mail: xchen@impcas.ac.cn。

传统的核物理探测设备基于先进的NIM机箱、插件和数据获取系统，因而可以很好地对高能射线实施精确测量。但是，传统的核物理实验设备价格昂贵、体积大、不便于携带，所以研制安全、便携、相对廉价的高性能小型宇宙射线探测器对多地区多点测量是必要的。闪烁体探测器作为非常成熟的探测器，对带电粒子的探测效率非常高，且制作方便。闪烁体探测器是小型宇宙射线探测仪的首选。考虑到紧凑性，研制小型宇宙射线探测仪需要把灵敏探测体、光电转换和放大、信号成型和筛选，数字显示以及高压电源模块进行简化并有机的整合起来。

本文展示了一款小型宇宙射线探测仪的研究。介绍了探测仪的硬件设计和探测效率的模拟。另外，展示了该宇宙射线探测仪对宇宙射线的初步测量结果。

2 探测仪的硬件构造和调试

在宇宙射线观测中，我们采用的是自己研制的一款小型宇宙射线探测仪。探测仪的实物图和内部结构如图1所示。该宇宙射线探测仪是由上、下两个平行正对的条形闪烁体探测器组成的一个望远镜系统。采用望远镜系统结构，既可以通过符合测量的方法降低随机噪声本底，又可以测量不同天顶角方向的宇宙射线流量。符合测量要求探测仪的两个闪烁体探测器同时发生响应时才计数，即意味着有宇宙射线穿过两个闪烁体探测器。探测器的随机噪声不具有时间的关联性。在噪声计数率低的情况下，两个闪烁体探测器同时产生一个背景噪声

的概率几乎为零。非符合测量是指仅利用一个探测器测量计数。

本实验测量所用的宇宙射线探测仪造价低廉、便携安全且稳定可靠。其硬件主要构成为：塑料闪烁体×2、光电倍增管×2、电子计数显示模块、模块电源以及Cockcroft-Walton升压电路板。带电粒子通过物质材料时会电离和激发材料中的原子分子。闪烁体探测器的原理就是收集闪烁体中原子分子退激发的荧光光子来探测经过闪烁体的高能射线。光电倍增管放置在闪烁体的末端，用来收集多次散射进来的光子，并进行光电转换和信号放大。光电倍增管在进行电子倍增时需要几百甚至上千伏特的高压。针对宇宙射线探测仪小型便携的特点，中国科学院近代物理研究所为其开发了Cockcroft-Walton升压电路板。该升压电路具有功耗低、安全、并且成本低廉的特点，适用于小型以及超小型的闪烁体探测器。

为了了解宇宙射线探测仪的稳定性，我们对环境敏感的升压模块进行了测量。测量的结果列在表1中。我们调节Cockcroft-Walton升压电路板的可调电阻，测量了其在5种不同升压倍率下的电压波动情况。测量过程中，升压电路板保持和光电倍增管的打拿极相连。表1展示了测量的电压平均值和标准偏差。Cockcroft-Walton升压电路板的电压稳定性较好，电压波动小于1%。

表 1 负载时Cockcroft-Walton升压电路板的稳定性测量

| 升压倍数 调节 | 电压平均值 /V | 电压标准偏差 /V | 电压稳定性 |
|------------|-------------|--------------|-------|
| 设置A | 928.6 | 3.0 | 0.33% |
| 设置B | 932.9 | 7.4 | 0.80% |
| 设置C | 933.3 | 2.3 | 0.25% |
| 设置D | 943.7 | 4.8 | 0.51% |
| 设置E | 948.6 | 1.0 | 0.10% |

为了解闪烁体探测器的随机热噪声的情况，测量了闪烁体探测器计数随光电倍增管电压的变化情况，同时也测量了上、下两个闪烁体探测器在表1电压设置下的计数率。在每个电压设置下，我们测量十分钟时间内的计数。总共测量时间两个小时左右。如果没有剧烈的太阳活动(大型太阳耀斑等)，则在两个小时内，次级宇宙射线的通量变化不大。上、下两个闪烁体的计数率随升压电路输出电压的变化关系如图2所示。随光电倍增管上电压的增大，两个闪烁体探测器的计数率均有所增加，并且随电压近似呈线性关系。计数率的增加是光电倍增管的热电子噪声造成的。光电倍增管打拿极之间电压增大致使光电倍增管的倍增因子增大，同时对热电子

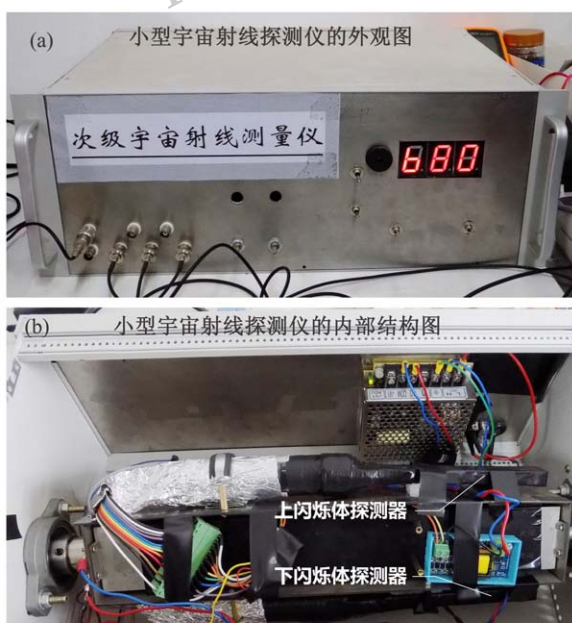


图 1 (在线彩图) 小型宇宙射线探测仪实物图

噪声的探测效率也随之增加，从而导致了探测器计数率的提高。

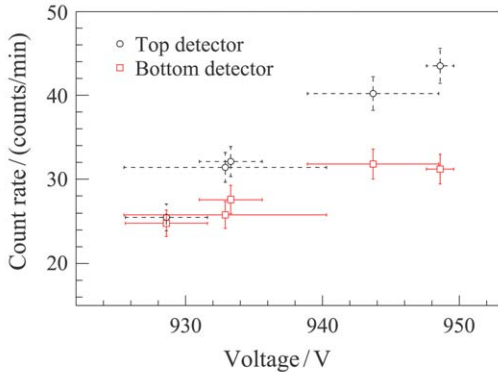


图 2 (在线彩图) 上、下闪烁体探测器计数率和升压电路输出电压的关系图

3 μ 子射线探测效率的模拟

通过探测器的计数率反演出宇宙射线的流量，我们需要知道探测器对次级宇宙线的探测效率。探测器的探测效率一般可以通过束流线上(或宇宙线实验中)的其它望远镜系统来测量。探测效率的测量需要其它的探测器系统以及束流。在缺乏实验测量设备的情况下，计算机模拟计算探测效率也是一种可行的方法^[11]。

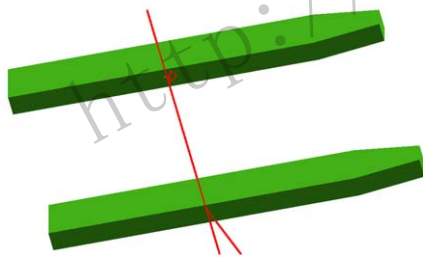


图 3 (在线彩图) 宇宙射线 μ 子与上、下闪烁体探测器相互作用的一个模拟事例，在与下面闪烁体相互作用时，发生了一个 δ 电子击出事件

我们应用 Geant4 软件包模拟宇宙射线探测仪对 μ 子宇宙射线的响应情况。Geant4 是模拟各种粒子与物质相互作用和输运过程的一款开源通用软件包，其算法完整包含了高能粒子与物质的各种相互作用。研制的宇宙射线探测仪的闪烁体材料为 BC408 型塑料。闪烁体的密度为 1.032 g/cm^3 ，碳氢比 (C/H) 为 10/11。闪烁体的尺寸以及相对位置完全按照真实情况设置。闪烁体的厚度为 1 cm。为了简便，除了探测器外，实验室里的其它物质设置为空气。大气底层的次级带电宇宙射线主要是 μ 子，并且 μ 子的能量是一个随机分布。在模拟中，

入射 μ 子射线的能量分布采用实验测量得到的分布^[8]。 μ 子射线与闪烁体相互作用的一个模拟事例如图 3 所示。宇宙射线 μ 子可以轻易地穿过上、下两个闪烁体探测器。

为了得到探测器的探测效率，我们需要计算输出的信号幅度，以及电子甄别电路的阈值大小。探测器输出信号的大小与入射 μ 子在闪烁体中的沉积能量成正比。因此我们可以通过研究 μ 子射线在闪烁体中的沉积能量来研究。模拟结果显示，高能 μ 子在上、下两个闪烁体探测器中的沉积能量分布几乎相同。图 4 展示了模拟的 μ 子射线在下闪烁体中的沉积能量分布。相同能量的带电粒子在薄层物质中的损失能量分布为朗道分布。模拟得到的非对称形状的沉积能量分布和朗道分布相似。我们用朗道分布对模拟数据进行了拟合(见图 4)。从拟合结果来看，宇宙射线在闪烁体探测器中的沉积能量分布和朗道分布有些差别，并且偏向于高斯分布。沉积能量分布偏离朗道分布的原因有两个。第一，1 cm 厚的闪烁体非理想薄层。第二，模拟中入射 μ 子的能量是一个随机变量。从这两点来看，模拟得到的沉积能量分布形状合理。

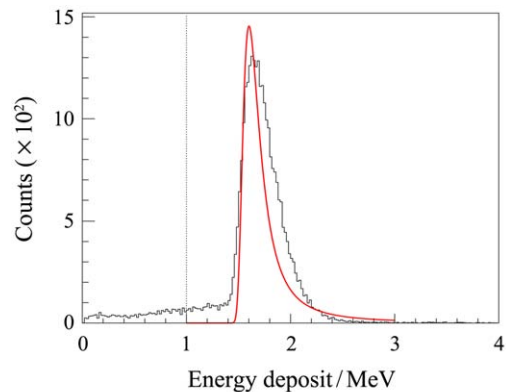


图 4 (在线彩图) 柱状图是模拟得到的宇宙射线 μ 子在下闪烁体探测器中损失能量的分布 红色曲线是用朗道分布拟合模拟数据的结果。垂直的虚线是估计出来的筛选宇宙射线信号的阈值位置。

在电子信号甄别中，实验采用的阈值大约是加阈值后的信号平均值的 0.5~0.6 倍。根据宇宙射线在闪烁体中的沉积能量分布，实验中对输出信号的阈值筛选相当于选择沉积能量大于 1 MeV 的宇宙射线事件。所以单个闪烁体对 μ 子射线的探测效率定义为

$$\eta_s = N_{\Delta E > 1 \text{ MeV}} / N_{\text{all}}, \quad (1)$$

其中 $N_{\Delta E > 1 \text{ MeV}}$ 为该探测器收集到的沉积能量大于 1 MeV 的模拟事例数， N_{all} 为总的模拟事例数。根据模拟得到的沉积能量分布，我们计算得到的上、下闪烁

体探测器的探测效率均为93.1%。宙射线探测仪的符合测量效率定义为

$$\eta = N_{\text{both } \Delta E > 1 \text{ MeV}} / N_{\text{all}}, \quad (2)$$

其中 $N_{\text{both } \Delta E > 1 \text{ MeV}}$ 为 μ 子射线在上、下两个闪烁体中损失的能量均大于 1 MeV 的模拟事例数, N_{all} 同样是总的模拟事例数。根据模拟的数据, 宙射线探测仪的符合探测效率为 86.6%。探测仪的符合探测效率几乎是单个闪烁体探测器探测效率的平方。

4 次级带电宙射线通量的测量

利用研制的小型宙射线探测仪, 我们测量了兰州市区垂直地面入射方向的次级宙射线流量。理论上, 测量宙射线流量的计算公式如下:

$$J(\theta, \phi) = \frac{N}{t \cdot S \cdot \Omega \cdot \eta}, \quad (3)$$

其中 N 为探测仪对宙射线的计数; t 为计数测量的时间; S 为探测仪闪烁体的横截面积; Ω 为探测仪的宙射线接收立体角大小; η 为探测仪的探测效率。

我们把宙射线望远镜系统指向正上方天空, 记录下了 50 分钟时间的上、下探测器的符合计数为 $N = 88$ 。按照计数泊松分布的特点, 计数的统计误差为 9.4。闪烁体的横截面积为 $S = 32.5 \text{ cm}^2$ 。探测仪符合测量的探测效率为 $\eta = 0.866$ 。还剩探测仪的接收立体角大小不知道。因为探测仪望远镜系统中的两个探测器距离较近, 所以从闪烁体不同位置看到的立体角大小有一些差异。另外由于闪烁体的形状不太规则, 因此探测仪的接收立体角大小不容易计算。我们采用蒙特卡罗模拟的方法估计出宙射线探测仪的接收立体角大小为 $\Omega = 0.36 \text{ sr}$ 。最后, 根据公式(3), 我们计算得到垂直入射地面的次级带电宙射线流量为 $J = 29 \pm 3 \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ s}^{-1}$, 其中的误差仅为统计误差。

文献[8]中测量的垂直入射的次级宙射线通量为 $41.3 \text{ m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ s}^{-1}$ (该数据是文献中测量的次级 μ 子射线能量分布对能量积分的结果)。本文测量的结果与该历史数据在同一数量级, 但还是存在一些偏差。本文测量的结果相比文献[8]中的结果偏小。最主要的原因是, 探测仪的闪烁体较长, 测量垂直地面的宙射线流量时, 其接收立体角内包含不少斜入射的宙射线。所以测量的结果并不完全是理论上完全垂直地面入射的宙射线流量。其次, 我们的宙射线探测仪放置在高楼中。次级宙射线的能量越低, 其流量密度越高。我们猜想多层楼顶的钢筋混凝土可能会阻挡一些能量很低的

次级宙射线。再次, 探测仪望远镜系统中的两个探测器如果没有对准, 也会导致接收立体角的减小, 从而导致计数率的减小。最后宙射线本身也会随地球季节, 以及太阳活动周期而变化。根据 Oulu 宙射线观测站数据^[12], 在我们进行实验测量的 2015 年, 地面次级宙射线流量受太阳周期的调制处于低谷位置。

5 次级带电宙射线天顶角分布的测量

我们对兰州市区次级带电宙射线强度的天顶角分布进行了测量。以地面为参考平面, 天顶角是指次级宙射线飞行径迹与地面法线之间的夹角。兰州市是一个东西狭长的河谷盆地, 处在南、北山之间, 市区海拔 1500 多米。我们测量了 5 个天顶角角度处的宙射线的符合计数率。调节天顶角到 0° , 22.5° , 45° , 67.5° 和 90° 位置时, 我们记录了每个角度在 50 分钟时间里的符合测量计数, 分别为 88, 75, 41, 17 和 8。所得到的不同天顶角方向的探测仪的符合计数率如图 5 所示, 其中的误差仅为统计误差。

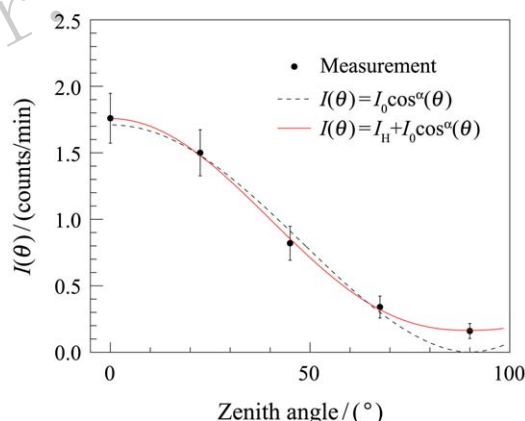


图 5 (在线彩图) 实验测量到的探测仪的符合计数率的天顶角分布

图中的误差棒仅反映统计误差。

描述次级带电宙射线强度与天顶角的关系, 可以采用下面两个经验公式,

$$I(\theta) = I_0 \cos^\alpha \theta, \quad (4)$$

$$I(\theta) = I_H + I_0 \cos^\alpha \theta, \quad (5)$$

公式(4)中的 I_0 为垂直地面方向(天顶角 0°)的宙射线符合计数率。公式(5)中的 I_H 为水平方向(天顶角 90°)的宙射线符合计数率。公式(4)和(5)中的指数 α 表征了次级宙射线强度随天顶角增大时的下降速度。我们分别应用公式(4)和公式(5)对天顶角分布的数据进行

了拟合。为方便讨论,对用公式(4)的拟合称为拟合A;用公式(5)的拟合称为拟合B。拟合的结果如图5展示。拟合得到的参数列在表2中。从 χ^2/N_{df} 来看,经验公式(5)的拟合优度比经验公式(4)的拟合优度要好一个量级。对于拟合A得到的结果,如果不包括 $\theta = 90^\circ$ 处的数据,则计算得到的拟合优度为 $\chi^2/N_{df} = 0.84/2 = 0.42$ 。因此,在小天顶角角度时,公式(4)能描述宇宙射线的天顶角分布。这个结论符合文献[13]中的论述。

表2 对地面宇宙射线强度天顶角分布实验数据的拟合结果

| 拟合 | χ^2/N_{df} | I_H (counts/min) | I_0 (counts/min) | α |
|----|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| A | 8.8/3=2.9 | - | 1.71±0.14 | 1.81±0.29 |
| B | 0.15/2=0.075 | 0.16±0.06 | 1.59±0.15 | 2.42±0.52 |

* 拟合A和B分别是采用公式(4)和公式(5)的拟合结果。

事实上,宇宙射线 μ 子流量是关于 μ 子能量和天顶角 θ 的联合分布。不同能量区间的 μ 子射线具有不同的天顶角分布^[14]。而且不同海拔、不同纬度、 μ 子射线的能量谱也有差别。测量的天顶角分布是不同能量次级宇宙射线的平均结果。对于能量大于1 GeV的 μ 子射线,角度依赖参数 α 为1.85^[13]。王殿荣等^[15]测量到的宇宙 μ 子射线在小角度对天顶角的依赖关系服从 $\cos^{2.6}\theta$ 分布规律。我们测量到的地面宇宙射线强度天顶角分布和历史文献记录的结果在误差范围内一致。值得一提的是,我们测量的兰州市区水平方向的宇宙射线强度不为零,大约为竖直方向的1/10。这可能与兰州市的海拔有关。海拔越高,水平地面方向的宇宙射线穿越大气层的距离越短。

如果我们把测量到的宇宙射线天顶角分布对整个立体角进行积分,就得到了单个闪烁体探测器的次级宇宙射线计数率。公式如下:

$$Rate^{CR} = \int_0^{\pi/2} \frac{I(\theta)}{\Omega} 2\pi \sin\theta d\theta, \quad (6)$$

其中 Ω 为探测仪的接收立体角大小,其中 $2\pi \sin\theta$ 来自球坐标积分的积分元。如果采用公式(5)拟合得到的天顶角分布,我们估算出探测仪中每个探测器的宇宙射线计数率为 $Rate^{CR} = 11$ (个/分钟)。从图2可知,实际实验测量中,上、下两个闪烁体探测器得到的计数率均在30(个/分钟)左右。可见,单个探测器的计数中除了次级宇宙射线事件外,还存在不少热电子噪声。因此利用两个探测器的符合测量必不可少。

6 结论与展望

我们研制了一款小型便携的宇宙射线探测仪。该探测仪具有制作成本低、功耗低、工作稳定安全的特点。

模拟计算了探测仪的探测效率,以及对宇宙射线的接收立体角大小。在此基础上,测量了兰州地区的次级带电宇宙射线通量。测量的次级带电宇宙射线通量与历史观测数据在同一个数量级。另外,还测量了宇宙射线符合计数率对天顶角的依赖关系。次级宇宙射线随天顶角的变化规律服从 $I(\theta) = I_H + I_0 \cos^\alpha \theta$ 经验公式,其中 $\alpha = 2.42 \pm 0.52$ 。地面宇宙射线通量会受到地理位置、当地季节、太阳活动周期,甚至全球气候变化的影响。为了更科学地研究地面宇宙射线通量的变化,我们需要更多地区的更多小型宇宙射线观测仪长期监测的数据。

本文介绍的小型宇宙射线探测仪还在进一步的改进之中。我们希望进一步提高Cockcroft-Walton 升压电路的稳定性,以及降低探测器的热电子噪声。为此,考虑添加一些简单的电磁屏蔽构件。另外,为了方便地在长时间尺度下监视记录宇宙射线通量的变化,需要增加探测仪与电子计算机之间的数据传输模块。今后,我们将利用小型宇宙射线探测仪的成本低廉和便携的优势,对全球的宇宙射线通量的变化进行长期的联网监控,并探索地面宇宙射线与全球气候以及气象现象之间的关联,从而揭开大气环境变化的秘密。

参考文献:

- [1] FENG Zhenyong, WANG Shunjin. Nuclear Physics Review, 2001, **18**(3): 138. (in Chinese)
(冯振勇,王顺金. 原子核物理评论, 2001, **18**(3): 138.)
- [2] MARSH NIGEL D, SVENSMARK HENRIK. Physical Review Letters, 2000, **85**: 5004.
- [3] SVENSMARK HENRIK, ENGHOFF MARTIN B. PEDERSEN Jens Olaf Pepke, Physics Letters A, 2013, **377**: 2343.
- [4] DAYANANDA MATHES, ZHANG Xiaohang, BUTLER CAROLA, et al. arXiv:1303.7191
- [5] SVENSMARK HENRIK. Physical Review Letters, 1998, **81**: 5027.
- [6] JIA Huanyu. Nuclear Physics Review, 2004, **21**(3): 218. (in Chinese)
(贾焕玉. 原子核物理评论, 2004, **21**(3): 218.)
- [7] SCHWARZSCHILD BERTRAM. Physics Today, 2007, **60**(10): 18.
- [8] PATRIGNANI C, AGASHE K, AIELLI G, et al. (Particle Data Group), Chin Phys C, 2016, **40**: 100001.
- [9] ABRAHAM J, ABREU P, AGLIETTA M, et al. (The Pierre Auger Collaboration), Science, 2007, **318**: 938.
- [10] HAND ERIC. Nature, 2010, **463**: 1011.
- [11] WU Chong, ZHANG Qiang, SUN Zhijia, et al. Nuclear Physics Review, 2012, **29**(2): 173. (in Chinese)
(吴冲,张强,孙志嘉,等. 原子核物理评论, 2012, **29**(2): 173.)
- [12] Available on the web <https://cosmicrays.oulu.fi/>
- [13] LIN Jengwei, CHEN Yenfu, SHEU Rongjiun, et al. Nucl In-

- str and Meth A, 2010, **619**: 24.
- [14] KEMPA J. BRANCUS I M. Nuclear Physics B, (Proc. Suppl.), 2003, **122**: 279.
- [15] WANG Dianrong, WANG Xianpei, LI Chengze, *et al.* High Energy Physics and Nuclear Physics, 1983, **7**(2): 135. (in Chinese)
(王殿荣, 王先佩, 李成泽, 等. 高能物理与核物理, 1983, **7**(2): 135.)

Simulation and Measurement of A Small Cosmic Ray Device

WANG Rong^{1,2,3}, HAN Chengdong^{1,2}, ZHANG Yapeng¹, ZHAO Fengyi¹, LI Yao^{1,2}, FU Qiang^{1,2,3},
YIN Jun^{1,2}, NI Fafu^{1,2}, WANG Yanyu¹, ZHANG Pengming¹, CHEN Xurong^{1,1)}

(1. Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: A small cosmic ray device is introduced in this paper. It has the demonstration function for popularization of science, and can be used mainly to display the μ counts in a real-time measurement, and to monitor the secondary cosmic ray flux at different angles in a very long time scale (years). We briefly show the hardware of the device and the detecting efficiency calculation by simulation. The detecting efficiency for one detector of the device is 93.1%, and the detecting efficiency is 86.6% for the coincidence measurement of two detectors. Based on the count rate by the detector and the simulated efficiency, the secondary cosmic ray flux perpendicular to the ground surface is measured, which is $J = 29 \pm 3 \text{ m}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{s}^{-1}$. Moreover, with an application of the device, we measured the angular distribution of the secondary cosmic ray rate in Lanzhou City. The resulting angular distribution agrees well with the empirical formula as $I(\theta) = I_H + I_0 \cos^\alpha \theta$, in which the parameter for the angle-dependence is $\alpha = 2.42 \pm 0.53$.

Key words: cosmic ray; plastic scintillator detector; angular distribution of secondary cosmic ray

Received date: 10 Aug. 2015; **Revised date:** 19 Oct. 2015

Foundation item: National Natural Science Foundation of China(11175220); National Basic Research Program of China(973 Program)(2014CB845406); Hundred Talent Program of Chinese Academy of Sciences(Y101020BR0); Light of West China Program of Chinese Academy of Sciences(Y532050XB0)

Corresponding author: CHEN Xurong, E-mail: xchen@impcas.ac.cn.