

2022年国际宇宙日及 2023年国际 μ 子周 活动介绍

中国科学院高能物理研究所
校园宇宙线观测联盟技术组沈长铨

为什么要在中学开展宇宙射线研究？

- **重要性：**宇宙射线是来自宇宙空间的高能粒子，它带来了宇宙起源、天体演化、太阳活动及地球空间环境等丰富信息，是人类获得的来自太阳系外的唯一样品；超高能宇宙射线的起源、加速、传播和成分，是一个世纪之谜，成为当代物理学前沿的重大科学问题之一；宇宙射线研究结合了无穷小的基本粒子与无穷大的宇宙的研究；
- **可能性：**宇宙线是天然易得的研究样品（免费），是“天上掉下来的馅饼”；研究宇宙线的仪器设备和方法是成熟的，而且是中学生经培训后可以学会的，是中学物理教师可以深入掌握的；世界上已经有十几个国家在370多个中学广泛开展宇宙线研究；
- **意义：**【1】将宇宙线研究带入中学，可以让中学生有机会参与当代科学前沿的研究，受到现代科学研究的真实训练，全面提高学校师生的科技素质；【2】国家重大科技基础设施建设项目“高海拔宇宙线观测站（LHAASO）”，项目投资12亿元，已经于2021年建成。学校宇宙线项目，实现“高端科研资源科普化”，培养后备人才，提高全民科学素质；【3】研究宇宙线的仪器设备和方法包含丰富的当代先进技术（粒子探测技术、快电子学技术、GPS和北斗卫星定位定时技术、遥控遥测技术、计算机大数据通讯技术、互联网远程控制技术、计算机模拟计算技术和现代实验数据处理方法等）；【4】在中学开展宇宙射线研究已经形成全球规模，全球合作，每年举行“国际宇宙日”和“国际 μ 子周”交流活动，是培养中学生国际视野的良好途径。

世界学校宇宙线探测站数量

2019年建站总数（已建站数+在建站数）

- 加拿大 17+2
- 美国 125+200
- 欧洲 218+20
- 日本 10
- 全部 370+222
- 已形成国际网络，可以分享数据并每年一次组织网络视频会议进行讨论交流。
- 目前中国已建成4站（北京市东直门中学2016年建成；石家庄一中，西南交通大学2019年建成，江苏省姜堰中学2022年建成）；目前还有几所学校计划建站。

国际宇宙日

International Cosmic Day (ICD)

DESY（德国粒子物理研究中心）联合美国国家资助的科普组织QuarkNet，美国费米国家加速器实验室Fermilab，和“国际粒子物理外延科普组织”IPPOG

（International Particle Physics Outreach Group），每年组织全球网络视频会议“国际宇宙日”

（International Cosmic Day），把粒子天体物理知识扩展到学生。ICD把全世界的大中学生和科学家、教师相聚一天来学习宇宙线，做一个实验并且交流论文。自从2012年开始每年一届，我国的中学从2016年第六届开始，每年都参加这一活动，并且参加学校不断增加。这个活动一般在11月或10月末举行。我们“校园宇宙线观测联盟”会提前通知会期和报名方式，并且举办指导讲座。

国际 μ 子周 (IMW)

International Muon Week

国际 μ 子周致力于联合全世界的学生发展宇宙线探测研究并共享数据，引导学生研究“宇宙线强度在全地球各地是否相同”，每年一次。由世界各地学生测量得的宇宙线 μ 子强度，可以研究宇宙线强度随海拔高度、纬度的影响。它由美国的QuarkNet项目组织，受美国国家科学基金会和美国能源部科学办公室的高能物理办公室资助，美国费米国家加速器实验室（简称Fermilab）和美国圣母大学（University of Notre Dame）协助。

2023年我国有3所中学学生参加了国际 μ 子周。

我们“校园宇宙线观测联盟”会提前通知会期和报名方法，并且举办指导讲座。

2022年我国有6所学校参加了国际宇宙日
视频交流，提交的论文编入了会议文集

1. 北京市东直门中学
2. 高能物理研究所校园宇宙线观测联盟
3. 北京市汇文中学朝阳垂杨柳分校
4. 常州工学院
5. 江苏省姜堰中学
6. 江苏省兴化中学

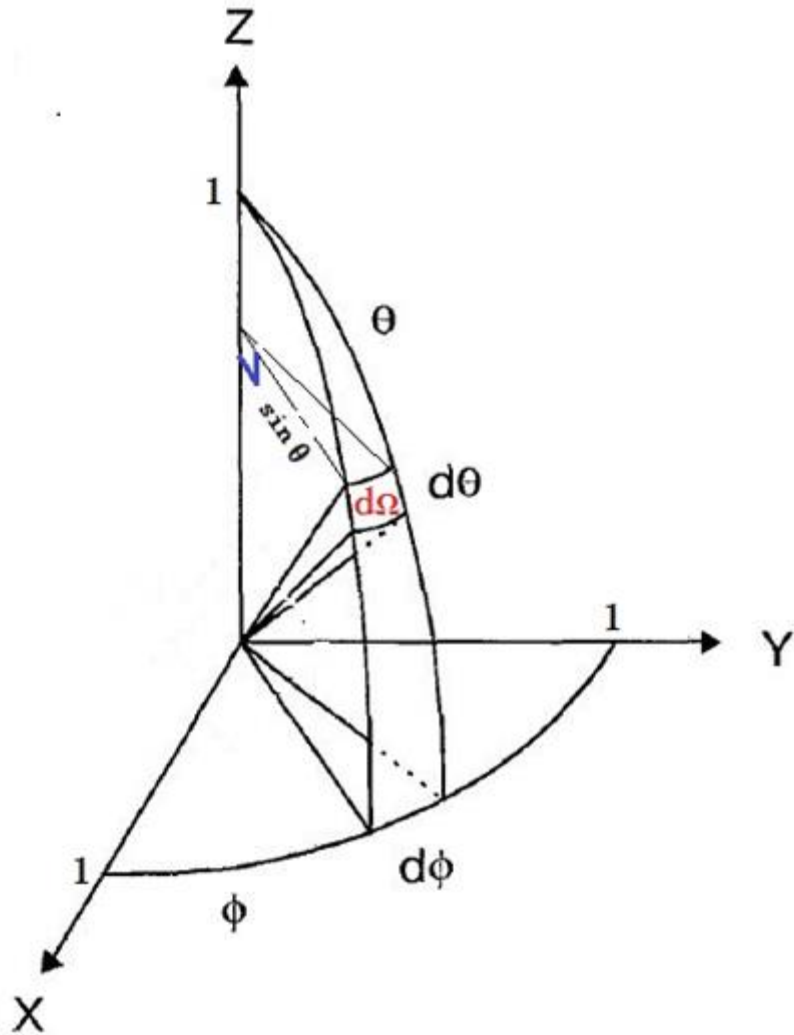
北京市东直门中学论文

15位学生在教师指导下，利用学校楼顶的宇宙线探测器阵列，测量了海平面高度附近广延大气簇射强度随天顶角的变化。对测量数据进行了立体角单位的归一化，总结了宇宙线强度随天顶角增加而减弱的规律。

宇宙线强度（intensity）

- 宇宙线强度（intensity）的定义是：单位时间内，从某方向的单位立体角内到达单位面积上的宇宙线数量。
- 太空（地球大气层外）的宇宙线称为初级宇宙线。宇宙线主要是带电高能粒子，在银河系磁场、太阳磁场和地球磁场的偏转下，它们表现为强度各向同性。
- 宇宙线进入地球大气层后，与大气分子发生核作用，产生广延大气簇射（EAS）。随大气深度的增加（即海拔高度的降低），其次级粒子数先是增加，然后减少。只有可探测到的粒子密度达到一定值时，地面探测器阵列才能探测到EAS，所以地面阵列可探测到EAS的阈能随海拔高度降低而升高。这就是宇宙线强度的海拔高度效应。
- 天顶角增大，大气深度也增大。同样道理，地面阵列可探测到EAS的阈能 E 随天顶角增加而升高。由于宇宙线积分强度（大于某能量的宇宙线总强度）正比于 $1/E^2$ ，所以宇宙线积分强度随天顶角增加而减少。
- 地面宇宙线强度（intensity）是天顶角 θ 的函数 $I(\theta)$

立体角 (solid angle.) 的定义



半径为 **1** 的球

天顶角 θ : 某方向与垂线间的夹角。

方位角 Φ : 某方向在水平面上垂直投影线与正北方向间的夹角。

通常定义

正北方向 $\Phi=0$,

正东方向 $\Phi=90^\circ$,

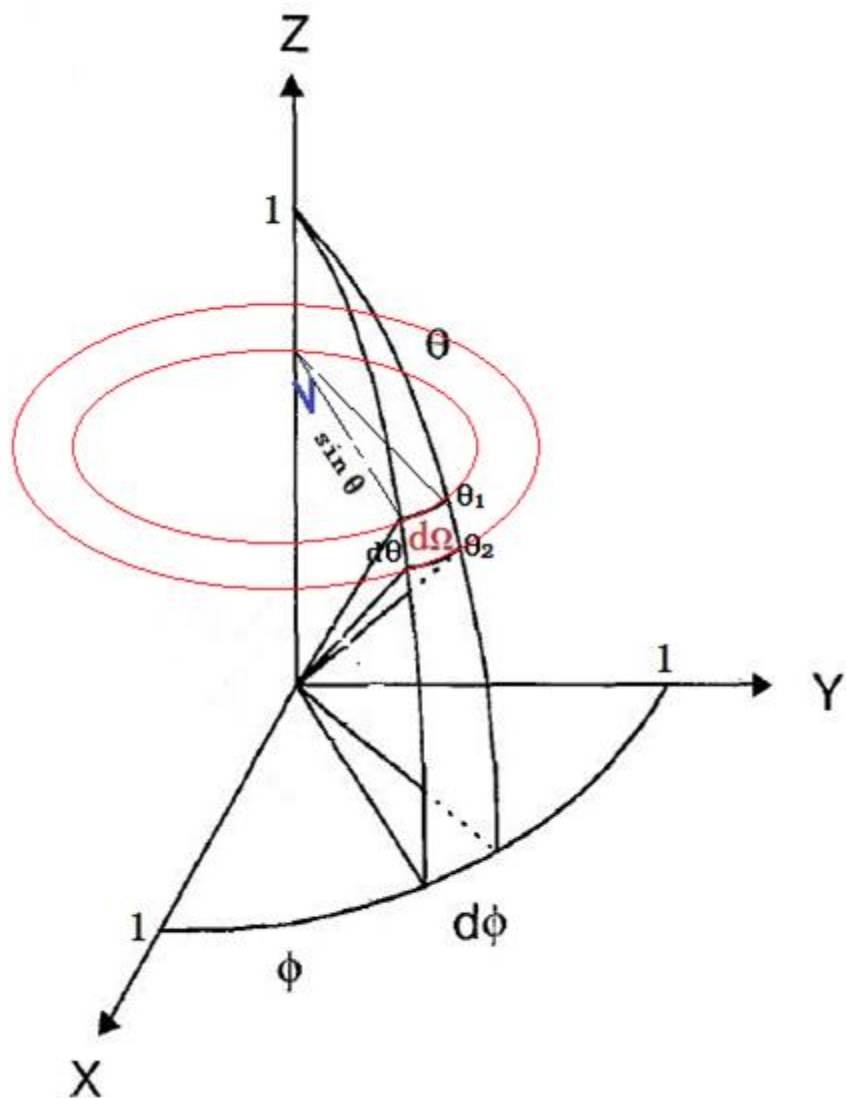
正南方向 $\Phi=180^\circ$,

正西方向 $\Phi=270^\circ$,

在半径为**1**的球面上立体角单元

$$d\Omega = \sin \theta \times d\theta \times d\Phi$$

天顶角 θ_1 - θ_2 范围的立体角



天顶角 θ_1 - θ_2 范围的立体角

$$\begin{aligned}\Omega(\theta_1, \theta_2) &= \int_0^{2\pi} d\Phi \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin\theta d\theta \\ &= 2\pi \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin\theta d\theta \\ &= 2\pi \times \left(-\cos\theta \Big|_{\theta_1}^{\theta_2} \right) \\ &= 2\pi (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)\end{aligned}$$

天顶角越大，所包括的立体角范围就越大。

宇宙线强度随天顶角的变化测量方法

1. 利用校园宇宙线测量联盟共享数据（目前仅有北京市东直门中学阵列的数据），测量宇宙线广延大气簇射强度随天顶角的变化。须做立体角归一化，方法如前面介绍。由于在海平面附近的阵列只能测量到初级宇宙线能量大于 10^{14}eV 的事例，阈能较高，宇宙线强度较低，但是阵列的探测面积大，探测器运行时间长，数据量足够多，统计误差小。
2. 利用 μ 子望远镜测量。需要有 μ 子望远镜测量设备。虽然探测阈能低（略大于 10^{10}eV 的初级宇宙线，在地球大气顶部发生作用后，只有作用几率小的 μ 子到达地面），宇宙线强度较低大，但是探测器的面积和立体角小，需要每个天顶角测量数小时才有足够的数据量。

高能物理研究所

校园宇宙线观测联盟

用 μ 子望远镜测量了宇宙线强度的东西效应，验证了Stormer在1930年的预言。分析得知原初宇宙线主要带正电荷，入射地球过程中受地磁场的洛伦兹力而偏转，造成西向的宇宙线强度多于东向。做了理论计算，与测得的数据一致。

北京市汇文中学

朝阳垂杨柳分校

用东直门中学的共享数据测量了海平面高度附近广延大气簇射强度随天顶角的变化。对测量数据进行了立体角单位的归一化，总结了宇宙线强度随天顶角增加而减弱的规律，并分析数据质量。

常州工学院

5位学生在一位教师指导下，学会校园宇宙线测量联盟共享数据使用方法，并且评估了广延大气簇射强度的共享数据质量。

江苏省姜堰中学

13位学生在6位教师指导下，用 μ 子望远镜测量了宇宙线 μ 子速度，得知它已经接近真空中的光速；验证了狭义相对论的光速极限论。描述了“飞行时间”测量方法，以及减少测量误差的数据分析方法。介绍了闪烁探测器工作原理，还对本校的广延大气簇射阵列的测量时间分辨率进行了分析。

江苏省兴化中学

介绍了本校10位学生在7位教师帮助下参加了本次国际宇宙日活动，以及本校宇宙线科普组织及其制作的便携、廉价和适合科普的辐射测量装置。

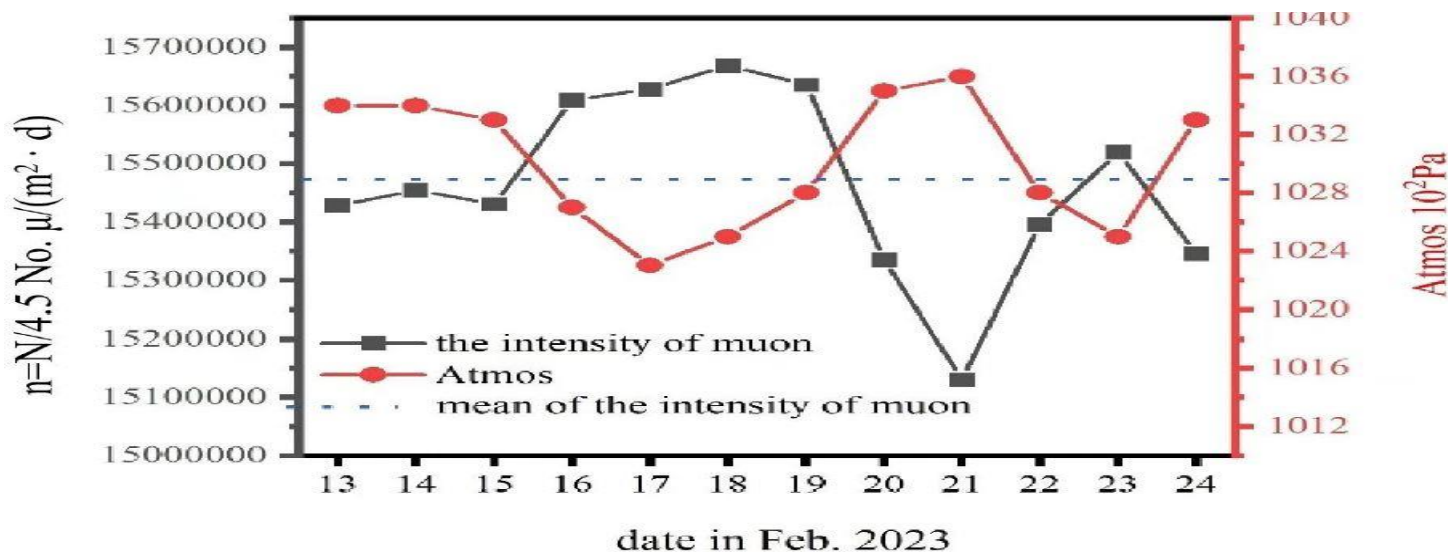
2023年我国有3所中学学生参加了
国际 μ 子周活动，提交了论文

1. 北京市东直门中学
2. 湖南师范大学附属中学
3. 北京市汇文中学朝阳垂
杨柳分校

北京市东直门中学论文

利用学校楼顶的宇宙线探测器阵列，测量了海平面高度附近在包括国际 μ 子周在内的12天内的宇宙线每天的 μ 子强度并且计算出它们的统计误差。

还测量了这12天每天的大气压。把每天的 μ 子强度与大气压绘制在同一张曲线图上，揭示了宇宙线强度随大气压的增加而减少的“宇宙线大气压效应”。揭示了：大气压增加就导致宇宙线到达地面需要穿过更多空气，损失更多能量，致使需要更高初能的宇宙线的次级产物 μ 子强度减小。



宇宙线强度随大气压变化实验

——可行的一个宇宙线科普项目

打开手机的“天气”app中，在地区选项中输入北京市东城区，有当天当时的大气压；点击其中的“气压”图标，就显示当天的24小时气压变化曲线，以及当天的平均气压、最低和最高气压值；向左划，还能看到次日及7天后的24小时气压变化曲线，以及当天的平均气压、最低和最高气压值。可以用这个方法，利用在校园宇宙线研究联盟网页中东直门中学的共享数据，带领学生做宇宙线强度随大气压变化的实验。

如果用其它地方的广延大气簇射探测阵列测量，就要下载该地的大气压数据。

湖南师范大学附属中学

湖南师范大学附属中学的5位学生在2位教师指导下，利用在校园宇宙线研究联盟网页中东直门中学的共享数据，计算出在包括国际 μ 子周在内的12天内的宇宙线每天的 μ 子强度。分析得出了这12天内宇宙线 μ 子强度的最大差别仅有1.82%，很小。提交了英文论文，被编入会议文集。

北京市汇文中学

朝阳垂杨柳分校

北京市汇文中学朝阳垂杨柳分校的学生，在教师指导下，利用在校园宇宙线研究联盟网页中东直门中学的共享数据，计算出在包括国际 μ 子周在内的10天内的宇宙线每分钟的 μ 子强度。提交了英文论文，被编入会议文集。

总结

- 《国际宇宙日》和《国际μ子周》活动是世界上很多学生参与的有意义的中学生科普途径。
- “校园宇宙线研究联盟”将组织并指导更多学校参加以后的各届活动，举办专项指导讲座，促进我国学生宇宙线科普。在国际中学生科普舞台上显示我国学生的风采。
- “校园宇宙线研究联盟”网页的共享数据帮助那些还没有建设宇宙线探测器的学校进行宇宙线研究。在宇宙线科普工作中发挥了重要作用，我们将把它建设得更好。
- 随着更多学校建设宇宙线探测器，并且提供共享数据，今后各学校将可以组织学生用更多的共享数据来研究宇宙线的海拔高度效应、纬度效应、大气压效应等等更丰富多彩的科普研究。

谢谢！