

编者按:

宇宙线是来自宇宙空间的唯一物质样本,是和电磁波、引力波并列的人类观测宇宙的三大信使之一。作为微观粒子,其速度之快,超过空气中的光速;其能量之高,人类的粒子加速器望尘莫及;其故乡之远,非天涯海角可比拟;其年岁之大,远超人类祖先。这些神秘的高能粒子时刻掠过我们的身体,为中学生进行STEM教育、大学生进行近代物理实验提供了免费样品。依托中科院高能所的“校园宇宙线观测联盟”技术团队研制了一套简单易用的宇宙线探测器作为教具,推出一系列生动有趣的实验,带领学生“重走宇宙线发现之旅”,“中学园地”栏目计划在本期之后,分五期推出系列文章进行介绍,每期两篇,以飨读者。作为引子,本期先行介绍国际上校园宇宙线科普教育的情况。



在校园捕捉来自宇宙的信息 ——2021年“国际宇宙日”活动概览

熊 峥 董绪强

(中国科学院高能物理研究所 100049)

一、简介

“国际宇宙日(International Cosmic Day, ICD)”是由DESY(德国电子同步辐射加速器)为所有对科学感兴趣的年轻人举办的宇宙线科普活动,旨在

让他们近距离接触前沿科学研究和国际合作。自2012年始,迄今已满10年。本文是关于第10届“国际宇宙日”ICD 2021活动的报告,根据《ICD 2021活动手册》(Booklet of 2021 International Cosmic Day)^①,将从各国的研究课题、配套使用的探测器以

参与国际宇宙日的学校遍布世界各地

2021



中国参与的6所学校:
北京东直门中学、
人大附中、江苏省姜堰中学、
江苏省兴化中学、
湖南师范大学附中、
西南交通大学

图1 参与ICD 2021的学校分布图(图片来源《ICD 2021 Booklet》^①)

及数据分析软件等角度,解读国际上利用宇宙线向中学生进行科普教育的情况。图1显示了参与ICD 2021的学校分布情况,来自17个国家的6800名学生组成的76支团队向活动举办方提交了宇宙线研究课题的报告。

即使是在2021年全球新冠疫情流行的背景下,仍然有相当多的国家克服种种困难参与了“国际宇宙日”活动,主要集中在欧洲、美洲和亚洲,其中超过一半的学校来自意大利;排名第二的是中国,有6所学校,分别是北京东直门中学、人大附中、江苏省姜堰中学、江苏省兴化中学、湖南师范大学附中、西南交通大学;紧随其后的是印度;大洋洲和非洲的学校并没有参与进来。从图2可知,由意大利国家核物理研究院(INFN)支持的研究课题占比超过了一半,美国的Fermi Lab和QuarkNet支持课题占比约十分之

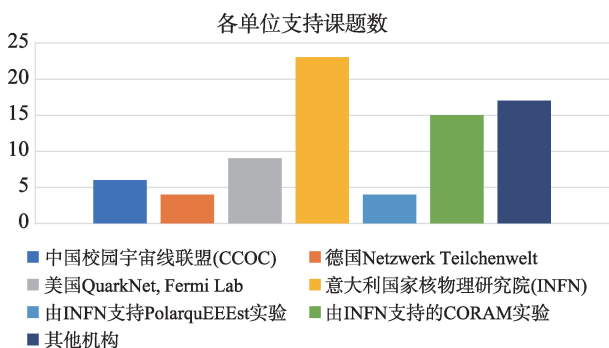


图2 各研究机构/组织支持课题数

一,中国校园宇宙线联盟(CCOC)支持课题约占8%,其他研究机构组织及大学共占比超过五分之一。

二、研究课题

本届ICD的课题非常丰富,有十余种之多,图3显示了各种课题占ICD2021课题总数的比例。ICD成员们最喜欢的课题是“探究缪子(或宇宙线)流量与天顶角的关系”,有将近一半的小组选择了这一课题;“认识宇宙线的存在”课题次之,占比12%;其他课题涵盖宇宙线流量随海拔高度、地理经纬度、天气等的变化,物体阻挡、太阳活动对宇宙线流强的影响,缪子的性质(速度、寿命)的探究等方面。中国学校的主要研究题目包括“探究宇宙线(缪子)流强与天顶角的关系”、“探测宇宙线”和“天气对宇宙线流强的影响”。

需要指出的是,这些课题占比并不能完全真实地反映课题的受欢迎程度或者是课题的操作难度,可能有以下因素的影响:

1. 呈现在Booklet里的可能是每个学校所做课题的一部分。老师根据ICD官方要求,有可能选择性地上传课题成果。例如:日本的宇宙线研究活动成果展示网站(探Q),里面记录了相当丰富的宇宙线研究课题。而在ICD 2021,日本组只选择了海拔

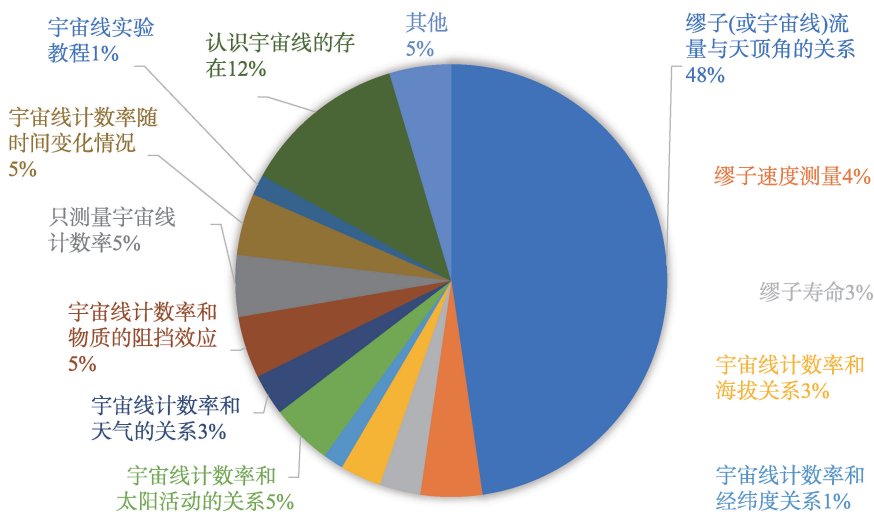


图3 各种课题占ICD2021总课题数的比例

高度对宇宙线计数率的影响这一研究课题。

2. 学校所属的国家和课题背后支持机构也会影响选题。ICD 参与国对宇宙线科普的重视程度直接反映在提交的课题数量上,课题背后支持的科研机构也在一定程度上决定了课题主题。例如,本届“国际宇宙日”中,意大利国家核物理研究院为意大利组和西班牙组的同学提供了相当专业的教具 Cosmic Ray Cube 和 CORAM 探测器,印度组的同学则直接利用美国 Fermi Lab 建立的开放型世界中学宇宙线研究网络 e-Lab 的共享数据完成了课题研究。

3. 用于宇宙线物理教学的设备会限制研究选题。例如: Cosmic Ray Cube 和 CORAM 探测器由多台闪烁体探测器构成,并且可以改变与水平面的夹角,它们被设计成研究“缪子流量与天顶角的关系”的教学和研究的工具。

4. 当今疫情对各国的经济和教学方式产生了不同程度冲击影响,部分国家因为教学能力不足、疫情限制,只能开展网络课程、线下讨论会等形式的课题。由于没有实验条件,课题被限制在只能进行简易的科普。

即便如此,课题占比仍然反映了一些选题上的

特点与共性:

1. 缪子相关课题比较受欢迎。次级宇宙线中缪子占比高,利用缪子望远镜系统很容易从宇宙线中选出缪子,完成流量与天顶角的关系、缪子的性质(速度、寿命)以及受物体的阻挡效应等课题研究,实验和教学难度皆在高中生可以接受的水平,故广受欢迎。

2. 部分课题带有户外属性。法国组通过在船上安装一个缪子探测器,跨过 70° 的纬度和 100° 的经度测量了宇宙线缪子流强变化。意大利 Liceo Scientifico G. Ferraris 组和日本组为研究缪子流量随海拔高度的变化,分别将自制的探测器搬到山上(Campo dei Fiori mountain, 海拔 1226m)和摩天大楼上(天空树, 海拔 634m)进行测量,而美国 Winamac Community High School 组直接将探测器安装在小型飞机上,测量缪子流量随海拔高度的变化。

3. 部分课题选择了长时间检测多地的宇宙线流量情况。印度组均采用了 e-Lab 上公开的在美国和日本的高校收集的宇宙线数据,其中一组研究了太阳活动对美国和日本当地的宇宙线流量随着时间变化关系。

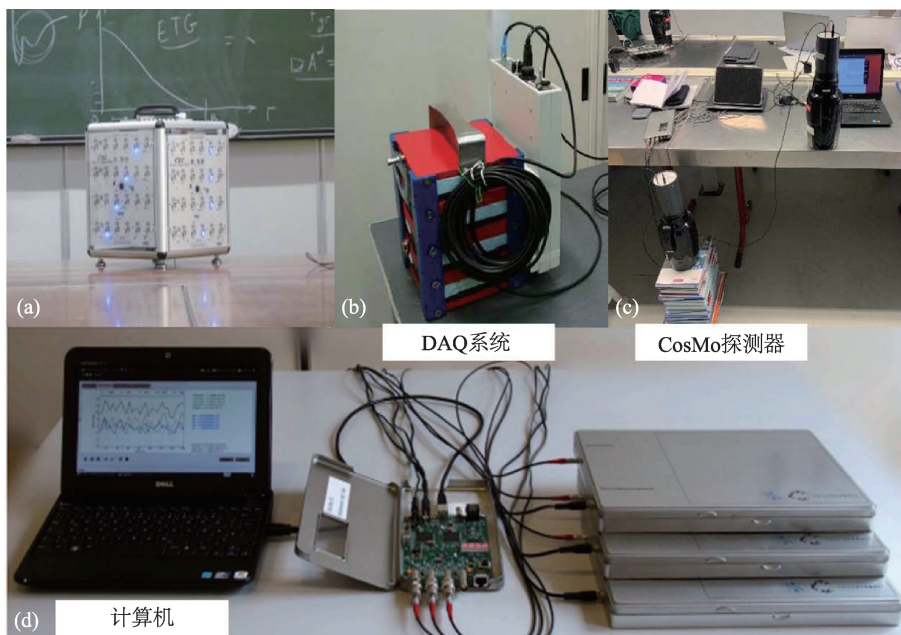


图4 (a) Cosmic Ray Cube;(b) CORAM;(c) “Kamiokannen”;(d)CosMo

三、探测器设备

ICD2021 参与组使用的宇宙线探测器也各不相同,可以分为三大类:第一类是由多个探测器组成的望远镜系统,第二类是由多个探测器组成的小型阵列,第三类是单个探测器。其中中国的学校主要应用东直门中学的小型阵列,江苏省兴化中学通过手工制作,完成了DIY探测器制作。

第一类由多个探测器组成的望远镜系统包括但不限于以下例子:

1. Cosmic Ray Cube 是由 $4 \times 4 \times 4$ 块小的闪烁体立方体堆叠成一个大立方体,箱体外壳配有LED灯,哪块小闪烁体有信号就点亮相应位置的LED,并且将数据发送到Cosmic Ray Live App;

2. CORAM(COsmic RAY Mission)探测器,由四块闪烁体板+四个金属板构成“三明治”结构,可以倾斜和手提;

3. CosMo 探测器,由 Netzwerk Teilchenwelt 提供,由多块闪烁体探测器组成望远镜;

4. 德国组用咖啡壶+光电倍增管自制的“Kamiokannen”探测器。

多个探测器组成的望远镜系统绝大多数都是实验室级别开发的专业教具,往往已经具备了探测器的批量生产能力,并配备多通道DAQ系统,是为了特定的教学目的而设计的,例如缪子望远镜可以改变倾角,方便直接调整记录天顶角。甚至是数据处理的过程也打包好形成了软件,减少了学生在对物理概念认识的时候因为数学而造成的障碍。德国 The Gymnasium Villa Elisabeth 组在已有 CosMo 探测器教具用于测量缪子流量和天顶角关系的情况下,仍然自己制作了“Kamiokannen”探测器*,使用两个探测器组成了望远镜系统,并重新测量了缪子流量和天顶角的关系。

第二类由多个探测器组成的小型阵列包括如下两组:

1. 中国东直门中学的 3×3 阵列,采用闪烁体+空气光导+光电倍增管的结构,这种设计同样用在了西藏羊八井的AS γ 实验上;

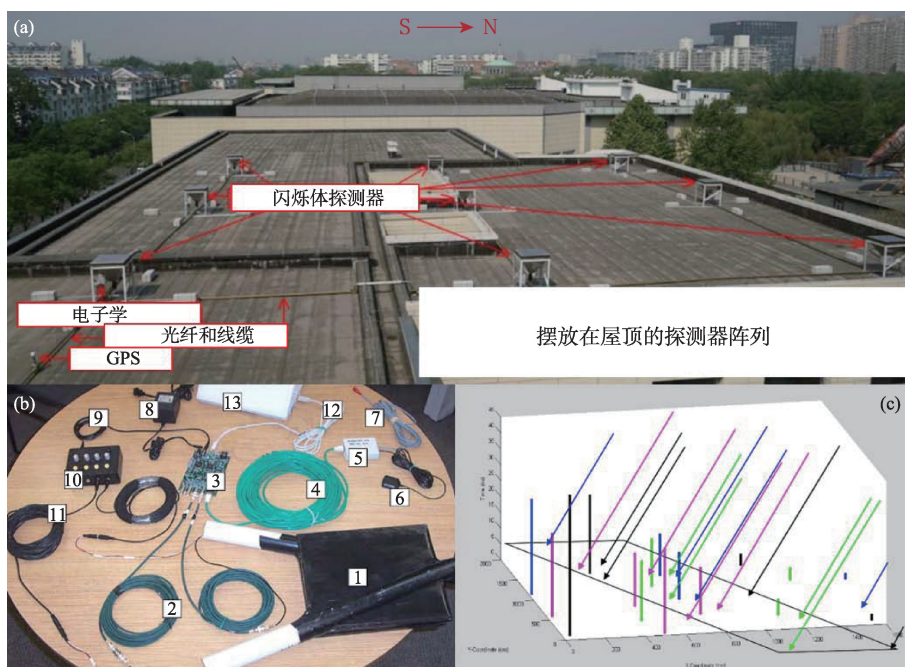


图5 (a)北京东直门中学的屋顶上安装的宇宙线探测器阵列;(b) QuarkNet 宇宙线缪子探测器的组成,其中用黑色胶带做隔光处理的就是闪烁体探测器,每个DAQ板可以接入4路信号;(c) 5个独立的DAQ系统中的16个探测器同时探测到了16个来自同一个宇宙线簇射中的缪子的示意图

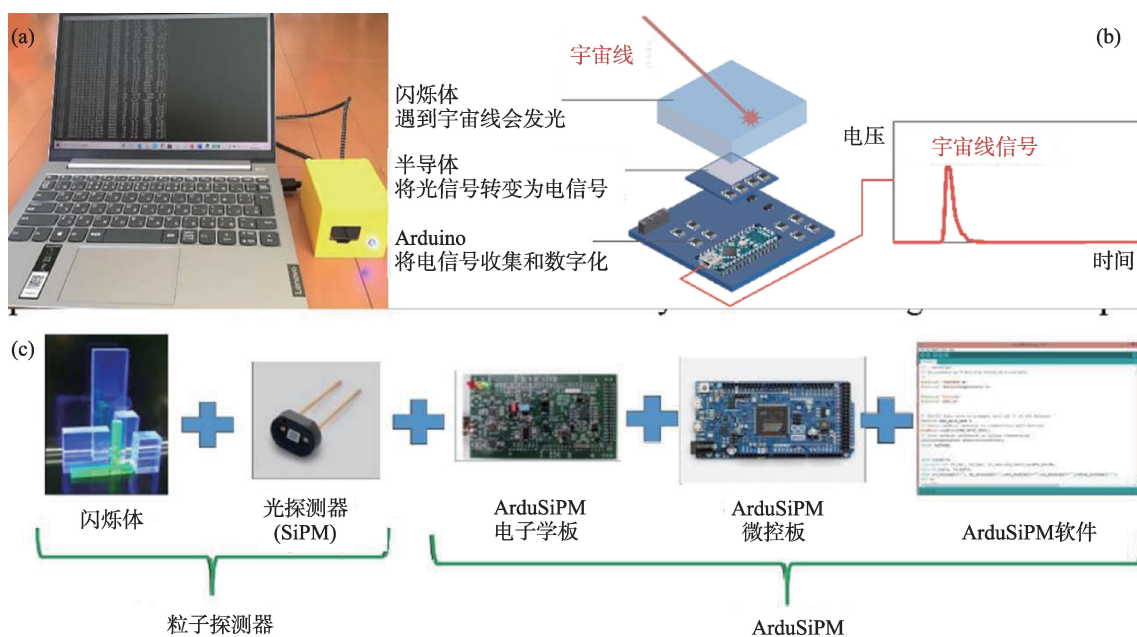


图6 (a) 照片中黄色手掌大小的盒子就是 Cosmic Watch 探测器; (b) Cosmic Watch 探测器结构示意图;
(c) 意大利组采用同日本组类似方案的 ArduSiPM 探测器的组成示意图

2. 由 Fermi Lab 和 QuarkNet 开发的宇宙线缪子探测器,由闪烁体和光电倍增管直接耦合构成单元探测器,2×2 台单元探测器即可组成一个小阵列。

在中学里安装宇宙线探测器阵列的最初设想是校际之间联合测量极高能宇宙线,在研究人员的指导下,让高中教师学生参与建设和维护探测器,实现教研融合的目标。国际上此项目最终吸引了相当多的学生参与到校际宇宙线测量的活动中,学生们对物理学的兴趣有了明显的提高^②。

属于第三类的单个探测器包括但不限于以下例子:

1. 日本组采用闪烁体+SPiM+Arduino 微控机的方案制作的 Cosmic Watch 探测器;
2. 意大利组使用同日本组类似方案制作的 ArduSiPM 探测器。

单个探测器不同于望远镜系统,无法测量宇宙线流量和天顶角的关系,其功能相当于单纯的宇宙线粒子计数器,用于测量宇宙线流量和海拔高度、地理经纬度等的关系、随时间的变化以及物质屏蔽效应等。例如日本组就是将 Cosmic Watch 探测器

带上摩天楼测量宇宙线流量随海拔高度的变化,而意大利两个小组使用 ArduSiPM 探测器分别测量了铅板的屏蔽效应和宇宙线流量随时间的变化。

本次国际宇宙日的探测器教具呈现出提倡自制探测器和探测器小型化的趋势,这有利于降低探测器的制作成本和制作难度,帮助高中生理解探测器的构造,也可以赋予之前难以搬动的探测器不容易做的一些研究课题。

四、数据分析软件

通常开发宇宙线探测器的技术组已经编写好了 DAQ 取数程序,探测器经过 DAQ 系统取得的数据以我们要求的格式保存在电脑上,但是这些数据需要数据分析软件处理才能变成学生可以直接理解的物理量。使用数据分析软件,非常考验学生对数据背后物理意义的理解以及程序的熟练程度。有相当一部分参与小组,仍然需要数据分析软件方面的技术支持。如图 7 所展示的那样,一个小组里面需要一位擅长调试代码、经验丰富的同学,去处理可能会发生的故障以及进行数据分析,这说明数



图7 来自意大利的Liceo Galileo Ferraris组赢得了本次ICD2021的宇宙自拍大赛冠军。照片标题《感谢计算机高手, 否则今天就做不了实验和数据分析了》(For the master at the computer - without programming nothing would work today.)

据处理对大部分高中学生来说是存在一定困难的。事实上,本次“国际宇宙日”许多结果展示部分的作图带有明显的Python风格,这表明在ICD活动中使用Python进行数据分析正成为主流。但是Excel软件作为很多学生最早接触的数据处理软件,也有相当大的一部分团队在使用。Excel软件可以导入多种格式的数据,这首先就降低了技术组对保存数据格式的要求。Excel软件不但可以胜任宇宙线探测器阵列的数据处理要求,而且Excel软件完成数据处理的教学难度也较低,不会让数据处理过程成为理解宇宙线实验路上的阻碍。此外,部分报告并非只单一使用一种数据分析软件,而是使用了多种,存在不同软件搭配使用的情形,这需要程序之间数据接口的协调配合。这启示我们今后对高中、高校的宇宙线科普教育上,应该思考如何进一步降低处理数据的难度,让学生专注于思考并理解数据背后的物理。

五、总结与讨论

笔者作为宇宙线专业的研究生,在大学高年级时才接触到宇宙线相关知识,而在以后的学习和研究中逐步深入。我们认识到宇宙线的课题,对高中

生而言是困难但重要的,建议按照认知程度对高中生进行宇宙线研究分为如下四个步骤:

1. 认识宇宙线。认识到宇宙线是无处不在,但是不易察觉的。
2. 测量宇宙线。测量宇宙线的相关性质:种类、流强、速度、电性等。
3. 利用宇宙线性质与现实课题相关联。宇宙线作为一种稳定的粒子源,其相关性质与物质作用的关系能否利用起来,解决现实问题。
4. 大气簇射的性质。认识到地表测量的都是由原初宇宙线与大气粒子作用产生的次级宇宙线,理解原初宇宙线的性质,需要通过次级宇宙线的信息反推出原初粒子的信息。

高中生面临着升学、时间、经济以及个人能力的诸多因素限制,我们应该降低实验难度,激发学生自身兴趣,引导他们主动思考。那如何将宇宙线和现实的课题相关联起来呢?又该如何启发高中生们展开联想和思考呢?

1. 当高中生认识到宇宙线是一种流量稳定的粒子源的时候,可以引导他们思考:宇宙线穿过物体的材料和厚度对其流强有什么影响?
2. 数据可视化是一种向他们展示大气簇射是如何发展的的好方式;

3. 可以让高中生体验制作简单探测器的过程, 模块化设计更优。

4. 教学尾声, 引导学生通过自己对宇宙线的理解, 进行艺术创作活动。

相比于高中生, 大学生的视野更加开阔, 自由支配时间多。所以大学生做宇宙线研究课题, 可以适当提高实验难度, 从而培养大学生做研究的能力, 为大学生下一步进入研究生学习打基础。

1. 制作简易探测器, 例如采用 Arduino 微控机方案, 或者 Raspberry 树莓派方案完成简单的小型探测器的设计, 这需要多个专业的学生合作完成。

2. 引导他们思考在制作探测器的时候需要考虑的问题, 诸如: 如何校准探测器? 如何设计收集的数据格式? 等等。

3. 完成探测器制作后, 进一步探究不同物质阻挡对宇宙线流强的影响, 将测量结果和文献结果进行比较。

4. 进一步实现数据可视化, 参考大学计算物理课程的设计, 指导学生使用 GEANT4 和 CORSIKA 软件完成简单的模拟, 使学生更加直观地理解大气簇射发生之后次级粒子的分布、粒子在物质中的径迹等。

宇宙线观测走进校园, 让学生们接受现代科学研究的训练, 全面提升学校师生的科学素质, 还有很长的路要走。要加强与中学老师和学生的沟通, 听取反馈。在国际上与同行交流心得体会, 勤借鉴学习。根据上述对 ICD 2021 的分析和总结, 我们建议如下:

1. 课题设计加入户外属性, 增加课题的趣味性, 增强学生的参与感;

2. 尝试在“利用宇宙线的性质与现实课题相关联”方面开展教学调研活动;

3. 根据课题设计目标, 设计小型化、便于组装和移动的探测器设备, 完成一些户外课题;

4. 数据处理程序封装, 降低数据处理和数学对物理解的门槛;

5. 数据资源公开, 上传数据至宇宙线科普网站, 进行成果展示, 制作通俗易懂的讲义, 定期更新和开展校际之间的活动或竞赛;

6. 在有基础的学校(高中、高校)开设宇宙线课程, 在科技馆开讲会、交流会。活动结束后收集问卷调查, 分析反馈信息;

7. 开展国际合作, 可以将已经成熟的探测器教具和数据提供给没有条件的国家和地区的教师和学生使用。

* 他们用咖啡壶装满水, 塞入一个 PMT 做成一个探测器, 其结构设计类似日本的神冈探测器“Kamiokande”, 因此得名“Kamiokannen”。

参考文献

① Booklet of 2021 International Cosmic Day, ICD Team, <https://icd.desy.de/>.
 ② 沈长铨. 让宇宙线实验走进校园——科普与科研结合的有效途径[J]. 现代物理知识, 2018, 30(3): 60-65.

