

谈谈 LHAASO 发现公众关心的几个问题

常 进*

(中国科学院国家天文台 100101)

什么是宇宙线？宇宙线的起源被称为世纪之谜，其科学意义是什么？

宇宙线是从外太空来到地球的高能粒子，以电离的原子核为主，还包括少量的正负电子和伽马射线。宇宙线的发现可以追溯到20世纪初，但其加速源头、加速机制、传播过程等基本问题仍然没有弄清。研究清楚宇宙线的起源可以帮助我们理解极端天体环境中发生的物理过程，还可以为暗物质探测提供更加准确的背景估计，具有重要的科学意义。

伽马射线相较于宇宙线中的其他粒子，有什么探测方面的优势和特殊意义？

伽马射线不带电，在星系中沿直线传播，可以方便地追溯其源头。而占绝大多数的带电宇宙线在星系磁场中传播时被磁场偏转，几乎完全丧失了方向性。

超高能伽马天文窗口的科学意义和重要性是什么？

伽马射线能量越高，产生它们所需的宇宙线的能量也需要越高。因此愈发高能的辐射应当反映愈发极端的粒子加速环境。

开启一个新的天文窗口的标志是什么？LHAASO 又是如何打开超高能伽马天文这一最高

能量的天文窗口的？

以新的观测手段看到前人所未能看到的现象（如引力波）或者观测到系列超越前人实验的能（波）段覆盖的新源则可以被视为开启了新的观测窗口。LHAASO 的平方公里闪烁体阵列加上上千台缪子探测器，可以实现对 20 TeV 以上能段伽马射线最高灵敏度的观测，在 100 TeV 能段 LHAASO 的灵敏度甚至比在建的切伦科夫望远镜阵列 CTA 还要高出近一个量级。因此并不意外，LHAASO 1/2 阵列在几个月的观测中就看到了很多超高能的源。

超高能伽马射线如何探测？为什么要到 4 千多米的高山上探测？

高能（一般大于 100 GeV）的伽马射线和空气原子核发生反应产生一对正负电子，正负电子进一步和空气反应又产生伽马，如此反复，次级粒子数目几何级数增加，这个过程称为空气簇射。通过超大规模的粒子探测器将空气簇射中的次级粒子记录下来，从而反推原初入射粒子的性质，这种探测办法称为间接探测。与此对应的直接探测是通过空间卫星在大气层外对宇宙线粒子进行直接测量，例如“悟空”号卫星。因为高能粒子数目稀少，直接探测一般是测量能量较低的粒子，间接探测则是目前

*中国科学院院士，中国科学院国家天文台台长

超高能段宇宙线和伽马射线探测的主要方法。空气簇射还有一个特点,次级粒子数目先增多后减少,减少的原因是空气吸收。计算表明,在海拔4000米左右,LHAASO主要的目标能区PeV能区的宇宙线和伽马射线产生的簇射达到极大,可以保证对这些次级粒子进行最好的测量。

和世界上的同类实验相比,LHAASO的优势体现在哪里?

LHAASO是一个采用复合探测技术的实验,有闪烁体探测器、缪子探测器、水切伦科夫探测器、大气切伦科夫望远镜等,这些探测技术的综合运用不仅可以扩大能段覆盖,还可以进行交叉定标。LHAASO的探测面积大,其闪烁体阵列面积达到1.3平方千米,是羊八井ASgamma实验的近20倍,水切伦科夫探测器面积为7.8万平方米,是美国HAWC实验的3倍多,可以测到更多的事例,实现更高的精度。

LHAASO探测到的最高能量的伽马射线,有什么特殊意义?

LHAASO第一次观测到了PeV以上能量的伽马射线,这在人类探测伽马射线的历史上是一个重要的突破。进一步研究发射PeV伽马射线的源将有助于我们回答宇宙线的起源这样的根本性问题。

LHAASO探测到的最高能量伽马射线来自哪个天体?这个天体有什么特殊的地方?

来自天鹅座的一个大质量星团,称为Cygnus OB2。这个结果可能意味着大质量星团是超高能宇宙线的重要加速场所。通常人们认为超新星遗迹是宇宙线的主要加速源。LHAASO的结果表明在超高能段或许人们的固有认知需要改变。

LHAASO这次探测到的超高能伽马射线能量有多高?对人体有危害吗?一个人被这样的射线击中的频率有多高?

这个伽马射线事例的能量为 1.42 ± 0.13 PeV。这是人类迄今为止观测到的最高能量的伽马射线,但还不是最高能的宇宙线粒子。最高能的宇宙线粒子能量比这个还要高5个数量级。但是和宏观物体的能量相比,1.4 PeV的能量仍然是微不足道,即便人体被这样一个伽马射线击中,也就相当于一块小纸片掉在身上的效果(不过最高能量那个宇宙线事例不一样,它相当于一个5千克的铅球从1米高处砸下来)。这样的伽马射线非常稀少,像LHAASO这样大型的仪器近一年时间也才接收到1个这样的事例,人体被这样的事例击中的概率就微乎其微了。更重要的是,地球大气层给我们提供了保护,在它到达地面之前就被空气消耗转化成低能量的粒子了。

LHAASO的世界领先优势可以保持多少年?预计未来LHAASO还将有什么重大发现?

在100 TeV以上能段LHAASO预计将可以领先数十年时间。现在国际上下一代主要的超高能伽马射线观测实验是日美欧等国联合进行的CTA实验,目前正在建设中。即便是CTA实验,在几十TeV以上能段比起LHAASO仍然逊色不少。后CTA以及后LHAASO时代目前并无切实可行的方案提出。除了超高能伽马射线的观测,LHAASO还将在宇宙线能谱、成分和各向异性测量方面发挥关键作用,有望回答宇宙线的“膝”的成因。此外,在如此高的能量段检验现有物理理论,探索新物理现象(包括暗物质粒子)也是LHAASO的主要科学目标之一。