

破解世纪之谜—— 高能宇宙线的起源

■国家天文台 田文武

在科幻小说中，太空旅客遇到的最严重威胁庞大可见：横冲直撞的小行星、饥饿的外星生物、邪恶的帝国战舰等。其实，人类在太空中最恐怖的威胁是小得不得了的东西，即感觉不到也看不见却无处不在的高能粒子：宇宙射线。宇宙射线可形象地理解为主要由带正电的原子核(氢、氦核等)组成，精确地讲是由核子(质子和中子)、电子(包括它的反粒子正电子)、 γ 射线、中微子、 π 介子以及 μ 子组成，它们的运动速度接近光速。在大气层外，宇宙射线辐射很强烈，大约一秒就有一个质子或更重的原子核穿过指甲大小的面积。在这样的辐射下待上一个星期或一个月，或许不会有严重后果，但是长达数年的旅途可就不同了。

主要得益于地球的大气(而不是通常以为的地球磁场)，生活在地面的我们可免受无处不在的宇宙线的威胁。科学家告诉我们一平方厘米的地表上约有一千克空气，平均下来，当宇宙线穿过约70克的物质，便会撞上大气中一个原子核(相当于约大气层1/14的距离，海拔20~25千米左右)，经过一系列复杂的物理反应后，释放出 γ 射线(也就是能量很高的光)、 π 介子及其他次级粒子。 π 介子会快速衰变成 μ 子(即与电子相似但要重约两百倍的粒子)抵达地

面。在你阅读本文时，正有无数 μ 子穿过你的身体，虽然你一无所觉。当 μ 子通过我们的身体时，会产生离子并打断化学键，不过还不足以造成可见的伤害。总体而言，我们每年受到的宇宙射线辐射量相当于几次胸部X光照。但对经常暴露在宇宙辐射较高环境中工作的飞机乘务员，长期化有较高剂量的高能粒子落到她们身上，是有可能威胁到她们的健康的。以至起码有一个德国航空公司是禁止怀孕女飞机乘务员在航班上服务的。

这些无处不在太空恶灵究竟来自哪里?天文学家们的最新研究正一步步揭开谜底。

宇宙线的发现

宇宙线是在研究大气的电导率时偶然被发现的。上世纪初，科学家在使用验电器时注意到无论如何绝缘，验电器总有些漏电，猜测可能是由某种未知的辐射源导致空气电离，这种未知源的放射性具有比当时已知的有更大的穿透本领。1912年8月，美籍奥地利物理

何为“电子伏”

电子伏特，简称为电子伏，缩写为eV，代表一个电子经过1伏特的电场加速后所获得的动能。在许多领域中，以“电子伏特”作为单位比通常所用的能量单位“焦耳”要方便得多。电子伏特(eV)是一个很小的单位， $1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}$ 焦耳，而家用电表的单位，1度 = 3.6×10^6 焦耳，可见电子伏特之小了。一个高能宇宙线粒子的能量一般是在 10^9 eV(即 1.6×10^{-10} 焦耳)以下，比1度电的能量小得多，但和可见光相比起来，却足以算得上高能了，在可见光波段，一个光子携带的能量只有约几个eV。

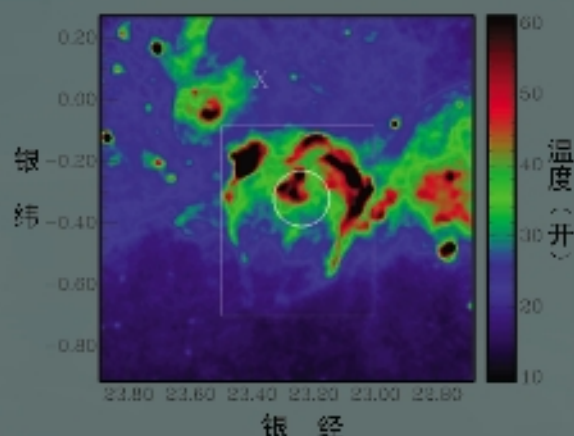


相关链接:

今年上半年,国家天文台田文武博士与美国及加拿大科学家合作首次给出观测上的证据,表明古老的超新星遗迹与大质量星云的相互作用产生了甚高能宇宙伽玛射线。

自1912年发现宇宙射线以来,它的起源之谜就一直困扰着国际科学界。近年来,坐落在非洲纳米比亚的、由四架大气切伦柯夫望远镜组成的高能宇宙射线成像阵列,自2004年运行以来,公布了14颗新的没有找到其它波段对应体的甚高能伽玛射线源,随即引起科学界的极大关注,掀起一轮多波段观测研究的热潮。

借助欧洲空间局XMM-牛顿X射线卫星和美国甚大阵射电望远镜所观测的最新数据,并结合新的高分辨率分子谱线观测图像,田文武博士与美国和加拿大科学家合作,对一颗很可能与新探测到的扩展甚高能伽玛射线源成协的超新星遗迹W41进行了研究。揭示出这颗距离地球1.2万光年、年龄在10万年左右的超新星遗迹,与它邻近的大质量星云可能发生相互作用,因而产生了高能硬X-射线弥散辐射和甚高能伽玛射线。他们还从理论上对观测结果做出了很好的解释。



超新星遗迹W41的射电图像,不同颜色代表不同的温度,中心标识处即为高能宇宙线的源头。

(信息来源:国家天文台)

学家维克托·弗朗西斯·赫斯教授用气球将高压电离室升至5千米高空,发现随着气球的上升,电离度持续增加。赫斯推断这种辐射源是来自外太空的一种辐射线,而与大气层和地球内部的辐射源无关。通过以后其他科学家多方面的实验,证明了这种来自宇宙空间辐射线的存在,故这种辐射线被命名为宇宙线。赫斯也因这一发现获得1936年诺贝尔物理学奖。

在宇宙线被发现以后,科学家们对宇宙线的各种效应及它们的成份、能量、与方向相关的强度和各种分布等进行了广泛的研究,已经认识到外太空宇宙线的主要成分是氢原子核(百分之九十左右)和氦原子核(百分之九,这种成分比例常称为宇宙线元素丰度),它的能量可以达到 10^{20} 电子伏。地球大气层外的宇宙线与地球大气层以下探测到的宇宙线在组成上是不同的。前者被称为原初宇宙线,而后者是原初宇宙线与地球大气发生相互作用后的产物,因为高速运动的(很接近光速)大质量原初宇宙线在迅猛地撞入地球大气中时,把它们所碰到的任何原子都击得粉碎,从而产生大量的次级辐射,即主要由质子、中子、介子和正电子组成的次级宇宙线。

但宇宙线学科中最根本问题之一,即宇宙线的起源之谜,却一直没有探明,已困扰科学界近百年之久。随着天文观测技术的进步,对宇宙线起源和传播的认识在不断深入,科学家们已认识到原初宇宙线的产生应与宇宙中各种天体高能过程有关;高能宇宙线(小于 10^9 电子伏)可能产生于太阳和其他恒星表面的天体活动、甚高能宇宙线(小于 10^{15} 电子伏)更多起源于银河系内其它象超新星爆发、脉冲星、磁

星、银心或黑洞有关的更剧烈的天体物理过程,相对更高能宇宙线(10^{20} 电子伏)应起源于银河系外象类星体和活动星系等天体的高能活动等。

由于宇宙线带电粒子在星际空间传播过程中受到磁场的偏转,无法直接探知它们在空间的分布,只能间接地推断它们的存在;宇宙线在传播过程中还同星际物质相互作用,产生新的宇宙线而不断改变其能量和组成;太阳系磁场对我们探测到的宇宙线也有很大的影响;现有核物理和高能物理知识的不足(如没有合适的理论能解释来自银心的伽玛射线辐射即511千电子伏的谜题)等,这些都一定程度上制约了科学家们破解这个世纪之谜的能力。

超新星遗迹的伽玛射线观测

伽玛射线在原初宇宙线中所占的份额很小(不足1%),但伽玛射线有较大的物质贯穿力,能提供宇宙中具体的核过程信息,使我们能够探索遥远宇宙的深处。特别是不带电荷的伽玛射线在传播过程中不受空间磁场的偏转影响,能直接给出产生伽玛射线的源的方向及其物理特性,所以伽玛射线在宇宙线的研究中有非常重要的地位。因伽玛射线被地球大气严重吸收,只能利用高空气球、升空火箭或是航天器上搭载的设备,才能直接探测到伽玛射线。能量高于 10^{11} 电子伏的伽玛射线可与地球大气发生相互作用,在地球大气中产生高能粒子簇射,产生可用地面大望远镜观测到的微弱光束,从而使我们可以间接地观测宇宙伽玛射线,获得宇宙线的起源、加速与传播机制等重要信息。

背景图:设在纳米比亚的4台高能伽玛射线望远镜阵列,称为“HESS”(高能立体镜系统),每台口径13米。

背景图:超新星遗迹 NGC2736 照片

10米伽玛射线阵列 CANGAROO 等)探测到。这些观测证据支持银河系中高能宇宙线起源于年青的超新星遗迹。

虽然最近的高能观测结果给高能宇宙线起源于超新星遗迹的理论提供了非常强的支持,但其它波段(相对而言在低能频段的射电,红外和光学)的观测也能够对此作出高能观测无法替代的重要贡献。比如说,中性的伽玛射线在传播过程中不受空间磁场的偏转影响能直接给出产生源的方向,但并不能很好地确定辐射源与我们的距离。而距离是决定辐射源的亮度和判断是否超新星遗迹真地与它周围星际物质(具体比如致密的分子云)发生了物理上相互作用并因此产生了可观测到的高能伽玛射线的关键因素。在这方面,射电观测就可以提供间接和直接的支持证据(如在超新星遗迹中观测到激波激发的 1720MHz OH 脉泽可间接证明超新星遗迹与它周围星际物质有相互作用并给出关联天体距离参数;对超新星遗迹中 21 厘米氢原子吸收谱线的观测是直接测定相关联天体距离的已知最好方法等)。相信在接下来几年里,新旧传统天文观测设备与强大的即将投入使用的高能观测设备相结合能够确立超新星遗迹产生高能宇宙线的基本事实,推进我们对宇宙线特性所依赖的周围星际物质环境的认识并完全探明高能宇宙线的起源这个世纪之迷。

科学家们早已知道超新星爆发可以释放高达 10^{51} 尔格 (1 尔格 = 6.2×10^{25} 电子伏) 的动能并产生高速激波,因此超新星遗迹被认为可能是银河系中高能宇宙线的最好加速之地。但迄今高能粒子在超新星遗迹激波中加速的详细物理过程并不十分清楚,因而研究超新星遗迹与它周围星际物质(主要是致密的分子云,中性原子氢云和电离粒子热气云等)的相互作用并进而完全探明高能宇宙线的产生之迷仍是当今物理要解决的关键问题之一。

目前国际上已耗资以亿美元计建立的几个新高能实验室和大天文设备(如日美合作 2005 年发射的有较高灵敏度和谱分辨率的 SUZAKU X 射线卫星,今年 8 月将发射的美国 NASA 伽玛射线大视场太空望远镜 GLAST,预计今年建成的位于瑞士日内瓦欧洲核子中心的强大新加速器—大型强子对撞机,中国与意大利合作的西藏羊八井天体物理辐射地基观测装置“YBJ ARGO”和中国科学院高能物理研究所将于 2010 年发射的空间硬 X 射线调制望远镜等)都一定程度上有助于探明这个迷底。

(责任编辑:李 鉴)

目前的进展

近十年随着新一代大型空间和地面天文观测仪器的建成和投入使用,在宇宙线的起源问题上有了重要的研究进展。先是起源于高能电子(可达 10^{14} 电子伏)的同步 X 射线辐射在一些年轻超新星遗迹中被先进的 X-射线卫星(美国 NASA 发射的钱德拉空间 X 射线望远镜和欧洲空间局发射的牛顿空间 X 射线望远镜等)探测到,随后可以起源于因高能原子核被高速激波加速而产生的高能宇宙线也在部分相同超新星遗迹中被世界上新的甚高能伽玛射线望远镜(如坐落在非洲纳米比亚的、由四架大气切伦柯夫望远镜组成的新一代高能宇宙线成像阵列 HESS,澳大利亚和日本合作的 3.8 米和