



一个宇宙线粒子与空气核碰撞产生大量次级粒子的过程示意及高海拔宇宙线观测站LHAASO规划图 作者供图

4000米高山上的这个观测站 希望为宇宙线起源之谜“一锤定音”

◎陈松战

浩瀚宇宙，渺渺星空，在空荡荡的星际空间，有许多肉眼不可见的微观高能粒子在接近光速飞行。平均而言，这些粒子可以在银河系内飞行百万年，其中有极少数粒子与地球不期而遇，成为地球上神秘的“天外访客”。1911年，奥地利物理学家赫斯乘坐气球，飞行到5千米的高空，首次发现这位来自宇宙的“客人”，这位“客人”被命名为“宇宙线”，赫

什么是宇宙线？

赫斯是通过宇宙线在空气中产生的电离效应来证明其存在的，随后产生的首问题就是宇宙线是什么粒子，这个问题困扰了人类很长时间。刚开始，大多数人误认为它是来自宇宙的一种远高于X射线的高频电磁辐射，“宇宙线（即宇宙射线）”这个名字就是美国实验物理学家密立根在1925年首次提出，虽然这是当时对宇宙线的一种错误认识，但是这个名字一直沿用至今。1932年，美国物理学家康普顿组织了大量人力对地球上不同地理纬度的宇宙线强度进行了测量，发现了地球磁场对宇宙线强度的调制效应，判定原初的宇宙线是带电粒子，而不是光子。

宇宙线源自何方？

迄今为止，人们观测到的宇宙线粒子的最高能量已达到 10^{20} 电子伏特(eV)，是人类最大的粒子加速器——欧洲核子中心大型强子对撞机所能加速粒子能量的1000万倍。这么高能量的宇宙线起源于什么天体？它们是如何被加速到极端高的能量的？这些问题长期推动着人类去探索宇宙和大自然的奥秘，其中最基本最核心的问题是起源问题，被称为“世纪之谜”。宇宙线为带电粒子，在传播过程中会被宇宙空间中的磁场影响后偏转运动方向进而失去源头位置信息，所以通过宇宙线粒子探测并不能找到宇宙线的起源天体。宇宙线的能谱从 10^6 eV到 10^{20} eV大体呈现为幂律形式，表现为非热加速起源特性。中间有两个明显特征：在 10^6 eV附近能谱变软，呈现出“膝”形结构；在

斯也因宇宙线的发现获得了1936年的诺贝尔物理学奖。这一发现开启了人类探索宇宙奥秘的新篇章。近日，国家重大科技基础设施高海拔宇宙线观测站拉索(LHAASO)正式通过性能工艺验收，标志着拉索已经建成，并正式进入科学运行阶段。建在4000米高海拔山端的拉索，以探索高能宇宙线起源以及相关的高能天体演化和暗物质研究为核心科学目标，正式开始科学运行后每天可以积累1.7亿个超高能宇宙线事例和20多亿个甚高能宇宙线事例。

如今，人类可以利用先进的粒子鉴别技术，搭载高空气球、卫星或空间站到大气层顶部直接测定宇宙线的种类，知道了宇宙线主要是由带正电的原子核组成，其中含量最高的是质子(即氢原子核)，还有元素周期表中的多种原子核，还包含少量光子、电子、中微子以及反粒子等。在人造粒子加速器诞生之前的时代，宇宙线是唯一的高能粒子源，是人类研究高能微观粒子与物质相互作用规律的唯一工具。20世纪60年代，人造加速器的发展和粒子对撞机的出现，让宇宙线在粒子物理中的作用被取代，宇宙线的研究也逐渐转向粒子天体物理方面。

10^6 eV附近能谱变硬，呈现出了“踝”形结构，这些结构蕴含关于宇宙线起源的重要信息。根据银河系内天体的尺度和磁场强度对宇宙线加速上限的估计，一般认为，“膝”区能量及以下的宇宙线起源于银河系内的天体源，而“踝”区能量以上的宇宙线起源于银河系外。宇宙线的测量特征说明其起源于非热辐射过程，而且能量非常高。人类根据对太阳的认识，认为普通的恒星不可能把粒子加速到如此高的能量。因此，宇宙线的发源地必然进行着极端剧烈的变化或者具备极端的物理条件。根据伽马射线天文观测结果，目前的候选天体主要有超新星及其遗迹星云、脉冲星及其风云、年轻大质量星团、双星系统、伽马射线暴、活动星系核等，这些候选源的共同特征是存在强激波。

如何探寻宇宙线？

高能伽马天文、高能中微子天文、极高能宇宙线天文是寻找宇宙线起源的三大重要支柱。高能中微子和极高能宇宙线天体源的探测可以为宇宙线起源探索提供“一锤定音”的证据。此外，伽马射线是示踪其父辈带电粒子加速的重要探针，这些伽马射线天体源为宇宙线起源天体的寻找提供了重要的候选天体。伽马辐射存在两种可能的起源：一是高能电子与低能光子逆康普顿散射过程产生，即轻子起源；二是高能强子宇宙线与周围物质通过强子-强子相互作用的次级中性 π 介子衰变产生，即强子起源。强子宇宙线在宇宙线中占据绝对主导份额，宇宙线起源问题的研究就是寻找强子宇宙线的起源天体。所以通过伽马射线观测寻找宇

拉索能做什么？

LHAASO作为近年来以宇宙线观测研究为核心的国家重大科技基础设施，探测面积达到1.36平方千米，是国际同类装置西藏羊八井AS γ 实验的20倍和美国HAWC实验的60倍。LHAASO在超高能区的灵敏度是国际同类装置10倍以上，同时也远高于下一代大型切伦科夫望远镜阵列，预计未来相当长时间内在超高能区保持国际领先。此外，LHAASO还是全球最灵敏的大视场甚高能伽马射线探测装置。基于1/2阵列11个月数据，LHAASO取得了第一个突破性进展，并于2021年5月17日发布在《自然》上，即发现了12个高显著的稳定超高能伽马射线源，其光子能谱一直延伸到1PeV附近未见明显截断，从而确认了银河系内首批PeV粒子宇宙加速器，并揭示PeV加速器在银河系内可能普遍存在。这些发现开启了超高能伽马天文观测时代，表明年轻的大质量星团、超新星遗迹、脉冲星风云等是银河系内加速超高能宇宙线的最佳候选天体，为破解宇宙线起源这个世纪之谜指明了方向。这次成果还包括记录到迄今人类观测到的最高能量光子，能量达 1.42 ± 0.13 PeV，该区内

射线起源的重点就是确定伽马射线的辐射机制，排除轻子起源和寻找强子起源证据，但是这同时也是难点所在，因为大部分源在GeV-TeV($1G=10^9, 1T=10^{10}$)能区，很难区分这两种辐射机制，目前大部分伽马射线源倾向于轻子源。轻子辐射和强子辐射的一个区分点是在超高能区。高能电子在星际磁场与辐射场中的冷却时标随能量升高而变短，100TeV以上存在Klein-Nishina高能压低效应，而强子源辐射的100TeV以上伽马射线不存在这些问题，因此超高能伽马射线是目前通过伽马射线确认宇宙线起源的希望，而且可以直接解决能量达PeV($1P=10^{15}$)量级的银河宇宙线起源问题，LHAASO就是为此目标而设计的。

部大量存在恒星生生死死的剧烈活动，具有复杂的强激波环境，是理想的宇宙线加速场所。如果LHAASO未来进行深入观测，则有可能为强子辐射起源提供有力证据，将成为解开“世纪之谜”的突破口。2021年7月9日，《科学》发布了LHAASO的第二个重要科学成果，测量了高能天文学标准烛光蟹状星云的最高能量端能谱，此次研究不但确认了此范围内其他实验几十年的观测结果，还将标准烛光的测量范围由0.3PeV拓展至1.1PeV。LHAASO预期每年可以记录到1-2个来自蟹状星云的PeV光子，未来几年内将可以探索更多关于PeV粒子加速的奥秘。LHAASO是目前和未来20年内最强大的超高能伽马射线探测装置，部分阵列近1年观测已经连接取得突破性进展，其余阵列已于2021年7月正式开始运行，未来有望带领我们揭开银河系内宇宙线起源这一“世纪之谜”，并在超高能伽马波段这一最高能量电磁波窗口探索浩瀚宇宙。(作者系中国科学院高能物理研究所研究员，原载于《前沿科学》2021年第3期，有删节)

我们身处的宇宙，是实验室的产物？

关于宇宙如何起源，不同学说众说纷纭，其中有一个看似危言耸听的理论：我们所处的宇宙可能是先进技术文明在实验室中创造出来的。而通过发展量子引力技术，我们也有可能提升到“A级文明”，从而有能力创造一个小宇宙。我们的宇宙从何而来？在大爆炸之前发生



视觉中国供图

了什么？这是关于宇宙历史的最大谜团。大约一个世纪前，爱因斯坦曾试图寻找有别于大爆炸模型的稳态模型，因为在他看来，宇宙大爆炸模型中“时间的开端”在哲学上并不令人满意。

“造物主”与“量子引力”

关于我们的宇宙的起源，科学界已经有了各种各样的猜想。比如宇宙在真空涨落中诞生，宇宙处于收缩和扩张的循环之中；或者宇宙是基于弦理论的多元宇宙中被人择原理筛选的那一个，美国麻省理工学院的宇宙学家艾伦·古思对此评论说任何可能发生的事情都会无数次地发生；又或者宇宙诞生于黑洞内部的物质坍塌。然而还有一种很少被讨论的可能性——我们的宇宙是先进技术文明在实验室中创造出来的。考虑到我们的宇宙具有平坦的几何结构，且净能量为零，某个先进的文明可能已经开发出一种技术，通过量子隧穿直接从虚无中创造出我们这个“小宇宙”。在这个可能的宇宙起源故事中，宗教思想中的“造物主”概念与世俗理论中的“量子引力”概念统一了起来。尽管我们还具备量子力学和万有引力这两大现代物理学支柱理论统一起来的条件，但某个更先进的文明很可能已经完成了这一壮举，并掌握了创造宇宙的技术。

如果这一情况属实，那么它就可以解释我们所处的宇宙的起源。而且就像生物系统依靠繁衍下一代延续基因那样，不断被创造出来的宇宙也延续着其中的先进技术文明。

如果遵循这个假设，那么有别于传统的人择原理，我们的宇宙并不是为了让“我们”诞生，而是为了让比我们先进得多的文明从诞生。那些掌握了创造宇宙的技术的“聪明的孩子”，才是宇宙自然选择过程的驱动者。然而到目前为止，我们还不能再造出能让我们存在的宇宙。换句话说，从宇宙学上看，我们的文明仍然是“不育”的，因为我们无法复现我们所在的世界。从这个角度来看，文明的技术水平，就不应该如尼古拉·卡尔达舍夫在1964年设想的那样，以它们所能利用的能量多少来衡量。而应该以一个文明重现实其所存在的天体物理条件的能力，作为衡量文明技术水平的标准。

人类文明可以被评C级

目前为止，我们仍然是一个低技术水平文明，在宇宙的尺度上可以被评C级，因为在太阳即将熄灭时，我们甚至无法在地球上重建宜居环境。更糟糕的是，我们的评级可能要降为D级，因为我们在发展科技的过程中，甚至粗心地引发了气候变化，破坏了地球上的自然栖息

地。而B级文明可以主动调整其所处的环境条件，使之不受母星状态的影响。A级文明可以重现实其所存在的宇宙条件，即在实验室中创造一个宇宙。以我们所学的物理学知识，达到A级文明并非易事。已经有学术论文讨论过A级文明所面临的挑战——比如在一个小区域内产生密度足够大的暗能量。一个能够自我复制的宇宙只需要拥有一个A级文明，而拥有多个A级文明的可能性较小。所以最常见的宇宙，应该是一个勉强能诞生A级文明的宇宙。任何超越这一更标准的情况都不太可能发生，因为它需要额外的苛刻条件，并且也不能在宇宙自然选择过程中获得更大的效益。

我们人类的文明或许算不上“聪明”，人们不应该对此感到惊讶。但是统计学事实就是如此，即使算上用大型强子对撞机(LHC)发现希格斯玻色子(Higgs boson)这样的伟大发现，我们仍然大概率处于智慧生命钟形概率分布的中间位置。正如最近宣布的伽利略计划所展望的那样，我们需要谦逊地透过望远镜观察，寻找宇宙中比我们“更聪明的孩子”。(Avi Loeb撰文，郑昱虹编译，据《环球科学》)

天象早知道

夏季星空逐渐退场 11月来看带食月升吧

◎李鉴

进入11月，热闹的夏季星空逐渐退场，秋季四边形成为星空的主角。在本月肉眼可见的5颗行星中，水星和火星都比较靠近太阳，不易观测。金星由蛇夫座顺行入人马座，日落时分位于西南方天空，地平高度在17°以上，利于观测。木星的下落时间进一步提前至夜晚23时33分左右，前半夜可见。土星在摩羯座顺行，日落后至由东南方转入西南方天空，下落时间提前至夜晚约22时13分，也是在前半夜可见。

室壁正当空，秋后建离宫

和其他季节相比，秋季星空略显寂寥，其中最值得一看的莫过于秋季四边形。秋季四边形四星中最亮的是西北角的仙女座 α ，其亮度和北极星相当，另外三颗略暗一些，位于飞马座。在我国传统星象体系中，这四颗星分别属于两个星官：西边两星为“室”宿，东边两星为“壁”宿。在早期，它们同属于营室(即营造宫室)。后来壁宿(本意为东面的墙壁——东壁)从营室中分离出来，成为单独的一宿，营室则简称为室宿。我们的祖先十分巧妙地吧天时、人事和星象糅合融会，让现实主义和浪漫主义在11月的星空中完美融合。古时每年夏历十月十五至十一月初的黄昏时节，正值室宿和壁宿位于南方高空。这时农忙刚刚结束，各地的劳役开始被征召起来，给君王营造宫室。诗经《邶风·定之方中》有“定之方中，作于楚宫”之语，这里的“定”就是室宿二星，意思是它们在黄昏后出现在南北中天时，人们在楚丘营建宫室。先民们在天上也做了类似的设定，四方方的营室四星，被想象成四堵墙壁，它们代表了天帝出巡时的行宫；在室、壁南边的东西两侧，则有“土公”“土公吏”两个星官，是负责建造宫阙的小吏；室宿北星的旁边还设置了“离宫”星官。天上和人间不仅社会秩序相同，而且劳作时节也恰好相应，如此安排真是令人拍案叫绝。由于岁差的影响，现在室、壁在日落后至于南方中天的时间推迟到了公历的12月中旬左右。2021年11月上旬没有月光干扰，当地时间晚上8点以后，我们可以在正南方天空找到它们。

天王星冲日，整夜皆可见

11月5日，天王星运行到与太阳相对的另一侧，也就是来到了“冲日”的位置，太阳落山时它正好升起。此时天王星距离地球距离最近，亮度最高，而且整夜可见，是一年中观测它的最好时机。天王星的英文名为Uranus，来源于希腊神话中的天空之神，是众神之王宙斯的祖父。它的亮度差不多是肉眼能见到的极限，不过视直径最大仅为4角秒左右，就算用高质量的双筒望远镜或小型天文望远镜来看，也只是个蓝绿色的模糊小点。天王星的自转轴与公转平面的倾角为98度，是“躺”着公转的。它绕日运行时，时而两极朝向我们，时而侧对着我们。天王星有着暗淡、细小的环系，当前，这个环面几乎正好朝向地球，利于观测。不过其光环的反照率只有2%左右，比木炭还黑，只有用最大的望远镜才可能看到。相比而言，土星环的反照率可以高达70%。11月5日是农历十月初一，没有月光干扰，当天的日落时分，天王星从东南方升起，大致位于白羊座头部三颗亮星下方13度处，我们可以使用Stellarium软件查询它的具体位置。在城市和近郊地区，用双筒望远镜不难找到它的踪影；在没有光污染的郊外，我们还可以挑战一下能否直接用肉眼看到它。

月掩金星，带食月升

11月19日，我们将迎来一次月偏食，在亚洲东部、大洋洲(除极西部)、太平洋、北美洲、南美洲、北大西洋和南大西洋西部、欧洲极西部和极北部、北冰洋等地区可以看到。我国只有西部部分地区看不到本次月偏食，大部分地区都能看到“带食月升”，也就是被地影遮挡的月亮升起地平线。对于月食或日食，“带食升”意味着越往东观测条件越好。例如本次月偏食，“带食月升”区域内，越往东则月出地平时它被地影遮挡的程度越大，观赏性越好。反之，在“带食落”的区域内，越往西则观测条件越好。本次偏食非常接近于全食，食分(可以粗略地理解为月亮被遮挡的程度)达到了0.978。北京时间11月19日15点18分，月面开始缺蚀，到17点03分遮挡达到最大(称为“食甚”)，18点47分月面复圆，共持续3个半小时。在北京地区观测，月亮将于16点59分升起，位于东偏北25°处。整个月面几乎一片暗红，只在右下角露出一丝亮白，非常值得一看。如果有双筒望远镜或小型天文望远镜，效果更佳。

11月8日还将发生一次月掩金星，即月球从金星前面经过并将它遮挡的现象，但恰好发生在白天，难以看到。当天晚上，我们可以欣赏到角距离很近的金星合月。当天是农历十月初四，薄暮时节，一弯娥眉月和耀眼的金星同时出现在西南方天空，可谓“月共长庚耿耿明”，值得一看。(作者系北京天文馆副研究员)



视觉中国供图