## “眨眼睛”的星星：探秘脉冲星



中国“天眼”是世界上最强大的脉冲星搜寻利器。截至2022年1月，已发现约500颗脉冲星。（图片由国家天文台提供）

　　20世纪60年代，当第一颗脉冲星CP1919被发现的时候，很多人怀疑那是外星人发来的信号——因为它太过规律，每隔1.337秒都能收到它发出的信号。如今，我们已经知道，脉冲星是自转并具有准直的辐射束的中子星。因其许多不可思议的性质，有很多潜在的应用，比如用于星际旅行的导航。现在，科学家们对脉冲星的研究仍在不断深入。

**脉冲星是如何被发现的？**

　　晴朗夜空，我们一抬头就能看到许多明亮的星星。如果认真地盯着某一颗星星看，由于地球大气湍流的折射，它会忽明忽暗，这就是我们儿歌里唱的“一闪一闪亮晶晶”。假如我们坐飞船到太空去看星星，一般来说，星星是不会“眨眼睛”的。

　　但宇宙总是给我们太多惊喜，太空中还真有一类特殊的“眨眼睛”的星星——脉冲星。

　　脉冲星被称为20世纪60年代四大发现之一。世界上第一颗被发现的脉冲星叫作CP1919，是由天文学家贝尔和她的老师休伊什共同发现的。在此之前，谁也没有见过脉冲星的信号长什么样子，以至于起初贝尔将脉冲星信号当作了人造的干扰。之后，他们重复、多次收到了这样的信号，在扣除地球自身的运动后，发现这个怪异的信号竟然具有1.337秒的周期。于是，贝尔和休伊什将这次发现发表在国际期刊上，顿时引起了强烈反响。

　　当时科学家们想出了三种模型来解释它：第一是密近双星的解释，两颗恒星相互绕转，当发光的一颗被遮挡时，就看不到辐射，当没有被遮挡时，就有了辐射。第二是恒星的膨胀与收缩，这也会造成我们看到的亮度变化，如果这样的过程比较稳定，那么就呈现了我们看到的周期性变化行为。第三种就是中子星模型，这个模型描述了会自转且具有准直辐射束的一类星体，如果自转稳定且辐射束刚好能扫过我们，就好像一座海上灯塔。

　　那么哪一个模型更好呢？随着观测的推进，人们发现了越来越多这样的周期性信号，其中有一些甚至能达到毫秒级的周期，第一和第二种模型已经不能解释这样小的周期了，只有中子星模型才能解释。在金牛座中就有一个这样的星星，它一秒中能“眨眼”33次，前人称之为蟹状星云脉冲星。从观测的角度来说，像这样具有稳定眨眼频率的星星，就可能是脉冲星。而对它的证认，还需要科学家做进一步的观测和分析。

　　更有趣的是，毕竟当初谁也没有看到过这样的脉冲信号，人们就以为可能是外星人发出的。但是在对数据进行仔细地分析后，并没有发现这样的多普勒效应，于是就否定了这个说法。当然，现在看来，由于脉冲星距离我们十分遥远，一个文明发出的信号在经过了这么远的路程后还能被探测到，这是不可思议的。

**脉冲星有哪些神奇的特性？**

　　在天文学家眼里，宇宙间小至地球这样的行星，大至银河系，乃至整个宇宙这样的大尺度结构，都有着鲜活的“生命”——它们都有“生老病死”。主流观点认为，当一颗超过8倍太阳质量的恒星演化到末期后，其物质会向中心坍缩，然后发生猛烈的爆炸（超新星爆炸），强大的冲击波使得物质向外弥散，并与星际介质相互作用，形成一个漂亮的“礼花”，这个过程被称为超新星爆炸，这个巨大的“礼花”就是超新星遗迹。在这“礼花”的中心，有机会诞生一颗中子星。当这颗中子星自转起来，并具有准直的辐射束时，就成为一颗脉冲星。

　　但遗憾的是，我们在地球上无法肉眼看到脉冲星。主要有两点原因：第一，它们在天上太弱，科学家需要借助大的望远镜才能看到它们；第二，大部分脉冲星在光学的波段并没有辐射，它们在射电波段看起来会比较强。当然，有一些特殊的脉冲星在全波段都能看到，比如年轻的蟹状星云脉冲星，但你至少要有一个大望远镜才行。

　　脉冲星有很多独特的特性，让天文学家们深深为之着迷。

　　特性一：超高的密度。大家都知道，构成世间万物的最小单位是原子，而偏偏中子星生得奇怪——主流的说法是，构成它的全是比原子更小的物质，中子。这么看来，中子星本身就是块巨大的原子核！那这样一颗星星密度有多大呢？1014g/cm3！设想一下，我们的指甲盖差不多是1cm宽，一个小指头大约就是1立方厘米，如果这里面填充的是中子星密度的物质，那么将承载1亿吨的重量。实际上，由于探测手段的局限性，人们并未真实探测到脉冲星星体的物质组成和状态。通常的做法是搜寻突破极限转速（比如1毫秒的周期）的脉冲星，如果找到了这样的亚毫秒脉冲星，说明脉冲星可能是比中子星密度更高的夸克星。同时，人们还在积极搜寻、追踪脉冲星双星系统，这样的系统可以给出脉冲星的质量，而发现的质量越高，也越有可能证明脉冲星由夸克组成。随着引力波探测技术的逐步成熟，人们越来越有可能探测到两个正在相互绕转并融合在一起的中子星。通过计算机模拟、匹配信号，可以探测清楚中子星的内部物理状态。

　　那我们能在中子星上面生活吗？答案是不能。正是因为中子星超高的密度，其表面具有很强的引力，会把人给碾碎。实际上，不管是人类还是其他坚硬的物体，比如钻石，都会在脉冲星表面被压碎成中子物质。

　　特性二：高速旋转的“陀螺”。中子星会像汽车发动机一样疯狂地旋转。自1967年发现脉冲星以来，脉冲星的搜寻就成为天文领域的热门。目前，科学家们已经搜索到了超过3000颗脉冲星。其中转得最快的脉冲星，旋转周期是1.37ms，即一秒钟就能够转完约730圈！这可是汽车引擎转速的约10倍，若是人以同样的速度转圈，身体早已分崩离析了。而这3000多颗脉冲星中，最慢的得23.5秒才能转完一圈。脉冲星的旋转周期中蕴含了其演化的秘密。与汽车的制动类似，脉冲星的旋转也有刹车与加速。脉冲星旋转会损失能量，这导致它的旋转速度越来越慢，这样的“刹车”，最快的能达到十亿年慢一秒，最慢的能达到一千万亿年才慢一秒。相反，如果脉冲星能得到能量的补充，就能越转越快。这样的“加速”，最快的能达到一千年快1秒，而最慢的则是一亿亿年才快1秒。最有趣的是，一些加速到毫秒量级周期的年老的脉冲星，很可能是通过吸取伴星的物质来加速。这一类脉冲星，是科学家们研究的热点。

**脉冲星能用来做什么？**

　　这些特性，让科学家们“开发”出了脉冲星的应用。实际应用最多的有两个：一是将脉冲星作为探针，用来探测银河系中星际介质的分布和密度；二是用来探测银河系的磁场分布与强度。科学家们已经在这两个方向上努力了很多年。此外，科学家们也在探索将脉冲星用于计时和引力波探测。

　　脉冲星被称为照亮银河的“手电筒”。我们知道，银河系中有数以万亿计的星星将夜空点亮如篝火，而就在这绚丽的光亮中，仍然充斥着片片黑暗。人类的眼睛已看不清藏匿在这黑暗中的角色，我们需要一个特殊的手段来使它无所遁形——用脉冲星的“星光”来照亮黑暗中的物质，那些隐匿在黑暗中的稀薄气体。我们称这些气体为星际介质。

　　星际介质中能够对脉冲星信号造成最显著影响的就数电离气体了。脉冲星朝我们发来的电磁信号会与电离气体中的自由电子相互作用，造成一部分电磁信号会延迟到达地球。可以想见的是，传播的路程越长，路径上的电离气体越多，延迟就会越厉害。科学家们通过测量延迟的程度，反推出在这个路径上的电离气体的密度。而当遍布于银河的脉冲星都测量个遍了之后，银河系中隐藏在黑暗之中的星际介质的位置和密度分布也就会被探明了。

　　脉冲星也是让我们看清银河系磁场结构的得力工具。脉冲星发出的信号携带着一种叫偏振的属性，当与磁场相遇时，这种属性便会发生改变（法拉第旋转，信号的偏振的方向会发生改变），而且磁场越强，改变的幅度越大。因此，科学家根据这种现象来确定银河系的磁场方向。

　　1997年，在测量了包括脉冲星在内的551颗射电源后，研究人员发现在银河系中心的西北方向和东南方向的磁场指向我们，而在银河系中心东北方向和西南方向的磁场背向我们。2014年，研究人员利用更多的射电源对全天的磁场进行了测量，再次证实这一发现。到了2017年，银河系磁场分布的三维图像被勾勒出来。原来，银河系中存在着平行于银河系和垂直于银河系的磁场。以北银极为正方向，银河系北边的磁场平行于银河系平面且呈逆时针方向，而南边的磁场则是顺时针方向发展。对于垂直的磁场而言，整个银河系就像一个磁铁。这块磁铁的磁场从南银极发出，最后回到北银极。这些磁场分布于广泛的银河系周围的空间，其强度约为0.3个微高斯，相比于地磁场约0.6高斯的强度，弱了2000倍。

　　实际上，人类还仍未探测到银河系磁场的全部。由于地球几乎位于银河系圆盘一边的中间，我们就很难探测到银河系远处半个盘面的星星，也就不能知道银河系这些远区磁场的具体情况了。这个困难还需要后来的科学家们想办法克服。

　　脉冲星也是永不断电的“钟表”。人类文明诞生以来，“时间”是一切人类活动的参照基准。从“日出而作、日落而息”，到古代利用滴水来计时，再到如今利用“氢钟”来计算时间，可以说，伴随着人类社会的进步发展，我们对时间精准度和稳定性的要求越来越高。目前氢钟的计时已经非常精准，但从长远来看，仍然存在着稳定性不够的问题。研究脉冲星的一个重要价值，就在于弥补这一问题。

　　脉冲星具有稳定的旋转周期，有一些每万亿年才会慢1秒，具有长期的稳定性，也就是说，我们的脉冲星“时钟”要过万亿年才需要往前调1秒。而且，脉冲星“钟表”是永不断电的，像氢钟这样的精密仪器需要精心的保护，磕磕碰碰是不行的。而脉冲星则没有这样的担忧，没有什么能够干扰到脉冲星，只要几架大型射电望远镜便可接收到它们的信号。将氢钟和脉冲星的时间结合，就能够得到精准且长时间稳定的时间系统。如果这件事情能做好，那么就是为我们将来的星际航行打好了基础。

　　脉冲星也有望成为探测引力波的利器。在相对论的框架下，我们可以把三维空间比作二维的水面，当有一颗石子投入水中，就会激起涟漪，这个涟漪就是我们的空间涟漪，被称为引力波。从脉冲星发射出来的信号就像是在水面匀速行走的船只，当水面平静的时候，它可以以固定的时间到达我们，当水面有涟漪的时候，它到达我们的时间就会变慢。所以，由于引力波的作用，脉冲信号到达我们的时间会改变，反之，通过测量信号到达时间的改变，我们就可以知道引力波的存在了。人们通过监测天空中位于不同方位的脉冲星，就可以反推出地球周边的引力波情况。这一工作有许多的科学家正在推进，期待取得突破的那一天。