

脉冲星是中子星还是奇异星^①

Pulsars: Neutron Stars or Strange Stars?

徐仁新

(北京大学天文学系, 博士、副教授 北京 100871)

1900年, 开尔文在一篇著名演讲中提出, 物理学“晴空万里”, 但只是有“两朵乌云”。其中一朵是“能量均分定理运用于黑体辐射时失效”, 另一朵是“以太漂移测量的零结果”。对它们的研究, 分别导致了本世纪两个最伟大的基本理论(量子论和相对论)的出现。

量子论和相对论对人类 20 世纪的影响是巨大的。没有量子论就没有现代的半导体微电子技术, 也就不会有现代的信息社会; 没有相对论, 就不可能形成一个正确的宇宙观。进一步地, 当我们用量子论和相对论来考察恒星晚期的状态时就会发现, 恒星演化的最终残骸具有异常高的密度。这些天体称为致密星体。一般认为, 它们共有 3 类: 白矮星、中子星(或奇异星)和黑洞。这里我们讨论主要表现为脉冲星的中子星(或奇异星)。

一、脉冲星研究的历史^[1]

在 20 世纪二三十年代, Landau 一直对物质处于高温高密状态下的物理过程感兴趣。随着物质密度的增加, 电子的费米能逐渐升高。与加速器中产生的电子一样, 存在于极高密度物质中的这些高能电子亦可望有助于我们认识某些新的物理过程。因此, 一旦 Chadwick 发现了中子, Landau 就推测一种主要由中子构成的星体(后称为“中子星”)的可能性^②。1934 年, Baade 和 Zwicky 进一步明确地指出, 中子星有可能在超新星爆发过程中产生。然而, 1939 年 Oppenheimer 和 Volkoff 的计算表明, 中子星的质量上限大约 1 倍于太阳质量, 而半径却只有 10 公里左右。我们知道, 星体的光度是与它的表面积成正比的。如果假设中子星的热辐射主要在光学波段, 由于它的半径太小, 当时世界上最大的光学望远镜也很难发现。至此, 有关中子星的研究开始“降温”。

1967 年, Bell 和 Hewish 在射电波段研究星际闪烁时意外地发现了一种非常规则的周期性信号, 其周期大约只有 1 秒。这个信号是从哪儿来的? 由于周期很短, 这种信号只可能来源于一种非常致密星体的自转^③。因其能发射周期性的脉冲信号, 称为“脉冲星”^[2]。观测上可以测量射电脉冲星(以区别于下面的“X 射线脉冲星”)因磁偶极辐射导致的自转减慢效

应, 并据此发现射电脉冲星的偶极磁场在 $10^8 \sim 10^{13}$ 高斯之间。这种星体有可能就是理论家们预言的中子星。事实上, 在脉冲星发现的前几个月, Pacini 就曾指出, 快速转动的磁化中子星可能正在为一些超新星遗迹的辐射提供能源。而在脉冲星发现后不久, Gold 就明确地提出了脉冲星是旋转磁化中子星的概念。随后的相关研究大量出现, 主要集中于对脉冲星的观测分析和对中子星的理论探索两方面。前者企图回答“脉冲星是如何辐射的”; 后者试图弄清中子星的结构组成。Hewish 因发现脉冲星而荣获了 1974 年度诺贝尔物理学奖。

除了射电测量之外, X 射线等高能电磁波段观测的以下新发现在很大程度上丰富了我们对脉冲星的认识。

(1) 1971 年开始在 X 射线波段发现了一类周期性信号源, 称为“X 射线脉冲星”。它们是双星系统中的一员。根据两子星的多普勒效应和它们间的掩食可以求得各子星的质量, 所得到的 X 射线脉冲星的质量都为 1 个太阳质量左右。并且, X 射线脉冲星掩食前后过度阶段的时标非常短, 因此它们的体积较一般星体要小。1978 年观测到了来自 X 射线脉冲星的辐射中的回旋吸收线, 并由此推测 X 射线脉冲星具有 10^{12} 高斯量级的强磁场。

(2) 1976 年发现的一种 X 射线爆发源, 被认为起源于双星系统中吸积至某种致密天体表层物质所产生的热核反应燃烧过程。X 射线爆发源的辐射谱可以很好地用黑体谱拟合; 根据所拟合的黑体温度能够推断这种致密天体的半径均为 10 公里。

(3) 1995 年意识到存在一类特殊的 X 射线脉冲星。它们的谱较软, 周期较长(5~12 秒), 未发现双星特征; 另外, 它们自转减慢, 且 X 射线光度(约为 10^{35} 尔格/秒)大大超过自转能损率。这些特殊的 X 射线脉冲星被分成新的一类, 称为“反常 X 射线脉冲星”。此外还有一类称为“软 γ 射线重复爆发源”的天体, 它们的特征与反常 X 射线脉冲星相似, 只是偶然出现软 γ 射线波段的爆发现象。反常 X 射线脉冲星和软 γ 射线重复爆发源都倾向于与超新星遗迹成协, 它们可能是与射电脉冲星属于同一类的致密天体。

(4) 1995 年开始从 ROSAT 卫星的观测结果中发

①国家自然科学基金(19803001)、国家教育部博士点基金资助项目。②当电子的费米能与质子的静能之和超过中子的静能时, 电子有可能与质子反应生成中子。③只有对于质量大体积小的天体, 其引力束缚才比自转离心力更占优势。

现一类温度较低的 X 射线源（热光子能量在 50~120eV 之间）。它们没有射电辐射，与超新星遗迹不成协，离我们较近（在 1kpc 以内）；只测得其中两个源具有 X 射线脉动（周期分别为 8.39 秒、22.7 秒）。目前关于这类天体有两种看法：它们是一些年龄小于 10^6 年的射电脉冲星，只是它们的射电辐射束未扫过地球；它们是一些已经死亡了的（不发射射电脉冲）射电脉冲星，因吸积星际介质而产生 X 射线辐射。

尽管这些致密天体的表现各异，但进一步的研究发现它们都有一些共同特点：体积小、磁场强，并且可能是在超新星爆发过程中形成的。这些特点与射电脉冲星的完全相同，反映出它们可能属同一类天体^④。另外， γ 射线爆发源的不少观测特征也表明它们可能也是射电脉冲星的同类。由此可见，天体的辐射有没有脉冲，不再是我们关于脉冲星的本质认识了^⑤。

射电脉冲星是最早发现的这类天体，目前其数目已超过 1 200。让我们看看它们是如何辐射的。封二图 1 是射电脉冲星产生辐射的示意图。大多数射电脉冲星的周期约 1 秒，极冠区磁场约 10^{11} 高斯。各种理论模型都论证了，在自转磁化脉冲星的极冠区会产生大量正负电子对；这些主要由电子对组成的等离子体（略带少量静电荷）沿磁力线运动时发射聚束的射电辐射。这种辐射束因旋转而产生的“灯塔效应”是射电脉冲星产生规则周期信号的根源。

那么，脉冲星是由什么组成的呢？一种观念认为脉冲星是中子星（即中子星模型 [2, 3]）。我们知道，主序恒星是由其内部的核合成过程提供能源的，并且核燃烧产生的热压抵抗引力收缩而使主序星保持一定的平衡位形。随着恒星晚期核能源的耗尽，热压力越来越抵消不了引力，恒星的塌缩不可避免。收缩的恒星内部密度逐渐升高，同时电子费米能也相应增加。当电子费米能超过一定阈值时，电子就会与原子核中的质子反应生成大量中子，这就是所谓的“中子化过程”。中子化的后果是使得恒星的塌缩核最终会成为一个以中子为主构成的残骸——中子星。

另一种观念认为脉冲星是奇异星（即奇异星模型^[4]）。1971 年，Bodmer 首次理论上探讨了奇异夸克物质（包含大量游离的上夸克、下夸克、奇异夸克的大块物质），并指出这种物质可能存在于中子星内部。1984 年，Witten 猜想奇异夸克物质可能是强子的真正基态，即奇异夸克物质可能是最稳定的强作用束缚体系。若 Witten 的猜想是正确的，超新星爆发后形成的由奇异夸克物质为主构成的星体（称为“奇异星”）可能比中子星更稳定。1986 年，Haensel 为首的欧洲研究小组和 Alcock 为首的 MIT（美国麻省理工学院）研究小组分别研究了奇异星的若干性质，讨论了观测到的脉冲星是奇异星（而非中子星）的可能性。目前一个非常有趣的课题是，如何在大量观测资料的基础上论证脉冲星是中子星还是奇

异星（见本文第 4 部分）。哪怕能确认一颗脉冲星是奇异星，也将对粒子物理学和天体物理学产生深远的影响；因为奇异星的存在与否将直接涉及到我们对强作用的认知，而强作用是当今了解最欠缺的一种基本相互作用。

脉冲星因如下特点而受到物理学家和天体物理学家的高度重视和特别青睐。（1）强引力场。如果将脉冲星的半径缩小约 3 倍，它就会成为黑洞；因此要正确地描述其周围的引力场必须考虑广义相对论效应。事实上，双脉冲星系统已成功地用于检验强引力场中的广义相对论^⑥，间接证明了引力波的存在。（2）强电磁场。大多数脉冲星具有 10^{12} 高斯的磁场；由于旋转，单极感应效应能导致其表面附近存在 10^{11} V/cm 的电场。如此强的电磁场使得实验室物理学家望尘莫及，却为理论物理学家研究强电磁场中的若干量子电动力学过程提供了“用武之地”。（3）具有极端的强作用和弱作用。脉冲星的平均密度大于 10^{14} g/cm³，其核心密度甚至超过核物质密度（ $\rho_n = 2.8 \times 10^{14}$ g/cm³）3 倍。如此高密度下物质的性质要依赖于粒子之间的强作用。因此，对脉冲星的观测和理论研究可望有助于了解某些未知的强作用物理过程。无论脉冲星是中子星还是奇异星，其内部物质弱作用中微子发射过程对于超新星爆发和脉冲星的冷却都具有重要意义。可见，脉冲星是极其罕见的集自然界四大基本相互作用（引力、电磁、强、弱）于一身的极端物理条件下的“天然实验室”。另外，脉冲星也是低温物理的“实验室”。观测到的脉冲星温度一般都低于其内部粒子的费米温度，并且在有些区域低于超导（超流）临界温度。某些脉冲星观测现象（如“周期突跳”）直接反映了脉冲星内部的超导（超流）相。还需值得一提的是，射电脉冲星脉冲信号的准确周期性、非常窄的脉冲宽度以及 100% 的脉冲调制度使得某些精确测量成为可能^⑦。

二、中子星模型

中子星内部大部分区域的密度高于核物质密度。尽管目前在实验室内还没有生产出如此致密的物质，我们还是可以利用已有的核物理和粒子物理的实验数据在理论上推测它的若干特性。中子物质的状态方程^[3]可以通过计算给定重子数物质的单位重子极小能量而得到，它在计算中子星的结构时起关键作用。

通过求解状态方程和相对论引力平衡方程（又称“TOV 方程”），我们就可以得到中子星的结构了。计算发现中子星存在极限质量（称为 Oppenheimer 质量），约为 1.4 倍太阳质量，相应的半径约 10 公里。为使中子星处于稳定的平衡状态，中子星内部的密度随深度的增加而递增。中子星的表面边界条件可取成压力为零，以满足星际间的压力平

④本文以脉冲星（包括射电脉冲星和 X 射线脉冲星）为例来讨论这类天体的特性及相关问题。不过，所有的讨论都可以推广到 X 射线爆发源、软 γ 射线重复爆发源、反常 X 射线脉冲星，等等。⑤这有点类似于我们关于“恒星”的认识。天体是否运动并非恒星的本质。⑥Hulse 和 Taylor 因这方面的工作而荣获 1993 年度诺贝尔物理学奖。⑦例如，能够测得 Hulse-Taylor 双脉冲星的两颗子星的质量分别为太阳质量的 1.4411 ± 0.0007 、 1.3874 ± 0.0007 倍。能给出如此精度的天文测量是罕见的。

衡；因此，中子星也有一大气层，其厚度为 0.1~10cm，密度为 0.1~100g/cm³。中子星的热 X 射线辐射性质就是由这层大气决定的；所以，通过中子星热辐射的研究可了解中子星的大气层。大气层以下到密度小于 4×10¹¹g/cm³(称为“中子滴密度”)之处的物质由原子核和电子组成，称为中子星的外壳层。外壳层温度低于其溶解温度，为固体。外壳层中的重原子核与相对论简并电子气处于 β 平衡；随着密度的增加，原子核中的中子含量亦逐渐增加。当物质密度超过中子滴密度时，原子核中的中子含量高到足以使部分中子从原子核中游离出来(形象地说，中子从原子核中“滴”出来了)。当密度进一步增加至接近核物质密度时，原子核中所有的质子均中子化，且中子游离出原子核(原子核本身消失)，这个以富中子的原子核、自由中子和电子组成的区域(密度介于中子滴密度和核物质密度之间)，称为中子星的内壳层。内壳层中的自由中子结合成 Cooper 对(以 S₀ 态成对)，形成各向同性超流中子流体；它们钉扎在成点阵排列的富中子核上。密度在核物质密度以上的大部分区域主要由各向异性的超流中子(以 P₂ 态成对)组成，并含有少量超质子(以 S₀ 态成对)和正常电子；该区域是中子星的主体，称为中子物质区。在密度高于 2~3 倍核物质密度的区域，为使单位重子的能量极低，可能会出现夸克物质相、π 或 K 等介子凝聚相、超子物质相等。这是人们了解最欠缺的区域，称为中子星的核。

关于中子星内部的夸克相，目前主要有两种看法。早期的看法认为中子星核区存在一阶相变，核子相与夸克相之间由密度不连续的间断面分开；这类中子星又称为混合星(hybrid star)。然而在 1992 年 Glendenning 指出，因为中子星内部物质含有两个独立的守恒量(重子数和电荷数)，物质有可能是整体上电中性但局部非电中性。这样，夸克物质与核子物质有可能在宏观尺度上共存，密度连续变化。这类中子星又称为混杂星(Mixed star)，其中的夸克物质与核子物质共存相称为混杂相。这种混杂相的存在有可能使得混杂星的能量比混合星低。一个极端的观点是，如果 Witten 猜想是正确的，奇异星的能量比各类中子星的能量都低，因此整个中子星将被奇异性化，最终形成奇异星(见下节)。

三、奇异星模型

1947 年人们在宇宙线中发现了一类具有奇异性质的粒子，它们“成对快产生，单独慢衰变”。1953 年西岛提出用奇异数的概念来刻画这类奇异粒子，并且认为强作用下奇异数守恒，而弱作用下奇异数不守恒。1964 年 Gell-Mann 和 Zweig 提出强子结构的夸克模型后人们知道，奇异数的本质是存在区别于组成核子的上、下夸克之外的新的一味^⑧夸克——奇异夸克。上、下奇异夸克统称为轻夸克，它们所带电荷分别为基本电荷的 +2/3、-1/3、-1/3 倍。后来又在实验上发现存在另外 3 味夸克(粲、底、顶夸克)；因它们的质量远重于轻夸克，称为重

夸克。粒子物理标准模型认为，自然界中只存在这 6 味夸克。

描述强作用的量子色动力学预言，当囚禁在核子中的夸克处于足够高的压力和温度时，它们可能会解禁而形成夸克胶子等离子体^⑨。核子中解禁出来的夸克只有上、下两味，它们的费米能可达到 500 MeV，超过奇异夸克的禁止质量(大约 100~300 MeV)。夸克味在弱作用下可以不守恒，部分上、下夸克通过弱作用能够转变成奇异夸克。因此，若在上、下两味夸克物质中引入新的奇异夸克自由度，有可能降低系统的总能量。由几乎等量的自由轻夸克组成的夸克胶子等离子体，称为奇异夸克物质。若不考虑有限体积效应的影响，则基于色作用唯象模型的计算表明，大块奇异夸克物质在很大的强作用参数空间内是稳定的。这在一定程度上支持了 Witten 的猜想。奇异夸克物质可能有两种形式存在于自然界中，一是在强子化之前的早期宇宙阶段(温度高于 100~200 MeV)；二是在超新星爆发的残骸(中子星或奇异星)内部。

若忽略奇异夸克的质量并取强作用耦合常数为零，奇异夸克物质的状态方程为 $p = (\rho - 4B)/3$ (p : 压强, ρ : 密度, B : 口袋常数)。结合 TOV 方程，就可以求解出奇异星的结构。类似于中子星的 Oppenheimer 质量，奇异星也存在极限质量；计算表明此质量亦在 1 到 2 倍太阳质量之间，与中子星 Oppenheimer 质量无明显差别。具有极限质量附近的奇异星的半径也为 10 公里左右。这些使得通过测量脉冲星的质量或半径来确认中子星或奇异星几乎成为不可能。然而，奇异星与中子星的结构特征还是有些差别的。一是具有大约(或小于)1.4 倍太阳质量的奇异星内部的密度分布基本上为常数，其中心密度不到表面密度($\sim 4 \times 10^{14}$ g/cm³)的两倍，且表面密度在约 1 费米的尺度上降至零；而一般中子星中心密度为内壳层密度的 10 倍以上，且密度在约 300 米厚的外壳层和大气层中逐渐降至零。二是因奇异星内部密度近似均匀分布，其质量 M 与半径 R 之间存在近似关系： $M \propto R^3$ ；而对于中子星，其相应的近似关系却截然不同，为 $M \propto R^{-3}$ 。三是与中子星的表面相比，奇异星的夸克表面除了密度特性不同外，电学特性也不一样。由于奇异夸克质量大于上(2~8 MeV)、下(5~15 MeV)夸克质量，处于弱作用平衡的奇异夸克物质中奇异夸克数目相对较少，而上、下夸克数目几乎相等，因此为了保持整体电中性，奇异夸克物质还含有少量电子。因夸克是由强作用和电磁作用束缚的，而电子只由电磁作用束缚(其束缚能力远小于强作用力)，所以在夸克表面，电子的分布要比夸克弥散。这样，在夸克表面就不存在电中性。计算表明，夸克表面存在 5×10^{17} V/cm 的电场，并在 1000 费米高处下降到 10^{11} V/cm。

奇异夸克物质表面存在强电场，因此，若带正电粒子的动能远小于库仑势垒，它将被电场支撑于夸克表面之上。夸克表面以上的物质由原子核和电子组成，它们的总和称为奇异星的壳层。奇异星壳层质量的最大值为太阳质量的 $10^{-6} \sim 10^{-3}$ 倍。奇异夸

⑧味是对不同种类夸克的一种称呼，它是夸克的一种内部性质的统称。⑨从强作用的唯象模型(“MIT”口袋模型)来看，构成强子的夸克都禁闭在有限的空间(称为“口袋”)内运动。当强子过于密集时，口袋会消失，产生大量游离夸克。

克物质表面(部分地或全部地)暴露于星际的奇异星称为裸奇异星。

一个值得讨论的有趣问题是,自然界中存在的奇异星有没有壳层;因为若奇异星拥有 $>10^6$ 倍太阳质量的完整壳层,其表面特性将与中子星完全一样,这使得利用夸克表面特征鉴别奇异星成为不可能。实际上,宇宙环境是“脏”的,夸克表面以上多多少少会支撑一些吸积物质。因此那个问题的一个更准确的提法是:奇异星壳层的质量到底是多少。Alcock等人认为,若奇异星表现为射电脉冲星,它是拥有接近最大质量的壳层的,因为:(1)奇异星能从周围环境吸积物质;(2)裸奇异星不能提供形成磁层的粒子。这两点似是而非,值得进一步探讨^[5]。关于第一点,由于新形成的奇异星快速自转且有强的粒子发射,超新星爆发后奇异星从星际吸积物质是很困难的。奇异星在超新星爆发过程中只能吸积约 10^{-13} 倍太阳质量物质。另外,一般认为中子物质是通过超声速爆轰(detonation)模奇异的,原奇异星(proto-strange star)表面也很难残留 $>10^6$ 倍太阳质量的正常物质。故接近最大质量的壳层很难形成。关于第二点,尽管带电粒子不能从裸奇异星表面拉出,大量正负电子对还是可以在裸奇异星表面的强电磁场中形成的。因此裸奇异星也可以拥有磁层,产生射电辐射。若奇异星只有 10^{-13} 倍太阳质量的壳层,在极冠区的物质很快将被开放磁力线区的等离子体流抽空,最终夸克物质表面会暴露在极冠区^⑩。总之,裸奇异星存在于自然界中是可能的,它们能够表现为射电脉冲星。

四、鉴别中子星和奇异星的可能途径

关于理论上推测的中子星和奇异星在自然界中的存在有4种可能性:(1)所有的脉冲星都是中子星;(2)部分脉冲星是中子星,部分脉冲星是奇异星;(3)所有的脉冲星都是奇异星;(4)部分或所有的脉冲星是某种未知天体(既非中子星,亦非奇异星)。若只有前3种可能性,一个极其重要的课题是如何确认某脉冲星是中子星还是奇异星。下面我们着重介绍3种较有希望的途径。

1. 奇异夸克物质的体粘滞系数比中子物质高,因而奇异星能比中子星自转得快。任何由无粘滞介质组成的旋转天体都存在旋转模(r-mode)不稳定性。该不稳定性的发生将导致引力辐射,带走自转角动量和自转能,最终使得天体自转减慢。组成实际天体的介质或多或少地存在粘滞性,因此它们都有一定抑制旋转模发生的能力^⑪。王青德和陆^[6]的计算发现,对于体积变化时标与弱作用弛豫时标相近的奇异夸克物质,密度的变化引起的非轻子反应过程($ud \leftrightarrow us$)将导致振荡能的耗散。据此结论而计算得到的奇异夸克物质的体粘滞系数明显大于中子物质的值。基于这一事实,Madsen^[7]认为中子物质和奇异夸克物质粘滞性的差异可以表现在中子星和奇异星的最大自转速率上。通过比较这两种物质

的剪切粘滞系数和体粘滞系数,Madsen发现,新形成的奇异星能够具有毫秒量级的自转周期,而新形成的中子星则不能。

2. 因奇异星的质量—半径(M—R)关系与中子星的明显不同,所以通过测量脉冲星的M—R关系有可能区分中子星和奇异星^[8]。一方面,理论上根据奇异夸克物质和中子物质的各种状态方程,通过数值积分TOV方程,发现不同的状态方程给出不同的M—R关系^⑫。另一方面,对于吸积X射线脉冲星,其吸积盘内半径必然大于其本身半径,且小于共转半径。这些限制使得观测上能够给出吸积脉冲星的质量和半径的可能存在区域(此区域又称为观测上确定的M—R关系)。李向东等人将观测给出的M—R关系与理论计算得到的关系作对比发现,对于某些吸积X射线脉冲星,据奇异夸克物质状态方程算得的M—R关系倾向于与观测吻合。因此,他们认为这些吸积脉冲星应该是奇异星。然而Glendenning^[9]认为,此方法不能完全排除这些吸积脉冲星是中子星的可能性。

3. 对于具有裸露夸克表面的奇异星,其表面特性与中子星(或带 $>10^6$ 倍太阳质量壳层的奇异星)截然不同,因此可以利用夸克表面的特点来确认裸奇异星的存在^[5]。从第3节的讨论中我们知道,我们所在的宇宙中有可能存在具有裸夸克表面的奇异星。这为我们确认奇异星的存在提供了新的希望,因为裸夸克表面至少有3个直接的与观测相关的后果。(1)裸夸克表面的粒子(夸克或电子)束缚能相对于单极感应电磁力而言可看作无穷大,因而极冠区为裸夸克表面的脉冲星将发生Ruderman—Sutherland型的内间隙真空放电过程^⑬。Ruderman—Sutherland模型在解释不少射电脉冲星观测事实方面是很成功的(如漂移子脉冲现象)。若观测上发现自转轴与磁轴夹锐角的具有漂移子脉冲的脉冲星,几乎可以肯定它就是具有裸夸克面极冠区的奇异星。(2)奇异夸克物质的热导率远高于中子星表面附近物质的值。相当一部分回流至裸夸克面极冠区的能量将通过热传导而耗散到其它区域,使得从极冠区再发射出去的能量减小。然而对于中子星,回流的能量几乎无耗散地再次辐射。这使得裸夸克面极冠区的温度明显小于中子星极冠区温度。(3)具有裸夸克面极冠区的奇异星的开放磁力线区几乎只有正负电子对,而中子星相应区域内除了电子对外还存在大量离子^⑭。脉冲星的高能束辐射成分大都经过开放磁力线区域,因此,有无离子的存在有可能影响到辐射的谱特征。

五、结束语

脉冲星是非常值得人们研究的一类天体,相信对于它们的研究还将会帮助我们理解更多的自然界的秘密。两次诺贝尔物理学奖颁发给脉冲星研究领域杰出的科学家,确实是对该领域潜心钻研的学

(下转第64页)

⑩这里的讨论不针对毫秒脉冲星。毫秒脉冲星因具有双星吸积史而可能具有接近最大质量的壳层。⑪定性地讲,粘滞度愈高,天体抑制旋转模的能力愈强,因而天体可能拥有的最大自转速率也就愈大。⑫前面所述M—R关系($M \propto R^3$ 、 $M \propto R^{-3}$)是近似的。严格的M—R关系需要状态方程来决定。⑬大量的计算表明,中子星壳层表面的粒子束缚能不足够高到形成真空放电过程。⑭如氦氦离子,或硅铁镍等离子。

预测战略对未来的环境影响;③灰色决策,用来进行战略方案的优化;④多维灰评估,即基于灰关联分析,评定环境系统在战略影响下所处的状态。

上述3类评价方法在现实SEA实施中各有特点。传统项目EIA方法在应用上比较成熟,但许多人对于此类方法可否应用于更高层次的SEA表示怀疑。传统的政策评价方法主要集中于政策的经济、社会影响评价,尤其是政策的社会、经济效益和效果评价上,很少涉及到政策环境影响评价,因此政策评价方法应用于SEA中也有其局限性。至于新发展的SEA方法,在应用上还需进一步检验。

三、西部开发中实施SEA的保证措施

1. 尽快建立我国的SEA理论与方法学体系

理论与方法学体系的研究是SEA工作实践的基础和必要前提,因此应首先加强SEA基础理论研究,结合现实国情与基本国策,以及西部社会经济环境特点,建立SEA理论与方法学体系,以指导西部开发中SEA工作科学、有效地开展。

2. 建立、健全SEA实施的保证体系

(1) 法制保证 完善现有EIA制度,增添SEA内容;尽快出台EIA法,制定SEA实施细则和导则;建立和完善环境与发展综合决策机制。

(2) 组织保证 加强SEA工作人员和研究人员的培训与对外交流,以提高SEA工作质量及有效性。

(3) 舆论保证 宣传SEA开展的意义,更新观念,使人们(尤其是决策者)认真、客观地对待,并积极参与SEA工作。

(4) 技术保证 结合SEA特点及先进的技术手段,建立SEA技术支持系统。

(上接第9页)

者们极大的鼓励和有力的支持。我国学者对脉冲星的研究起步约晚了10年,但也在特定的条件和环境下取得了可喜的进步,不少方向的研究已经留下了我国学者深深的足迹(由于篇幅所限,本文并未能概括我国学者有关脉冲星的所有研究成果)。值得注意的是,除了理论研究,我国的脉冲星实测研究亦已起步。当前脉冲星研究领域一个非常重要的课题是探讨和研究脉冲星的本质:它们到底是中子星还是奇异星?这将是今后有关脉冲星理论和观测研究的主旋律之一。

参考资料

- [1] A.G. Lyne, F.Graham-Smith, Pulsar Astronomy, Cambridge University Press, 1998
- [2] M. Ruderman, "Pulsars: Structure and Dynamics", Ann. Rev. Astron. & Astrophys., 10, 427-476(1972)
- [3] H. Heiselberg, M. Hjorth-Jensen, "Phases of Dense Matter in Neutron Stars", Phys. Rep., 328, 237-327(2000); H. Heiselberg, V. Pandharipande, "Recent Progress in Neutron Star Theory", Ann. Rev. Nucl. & Part. Science, (2000) in press

3. 搞好SEA试点工作

抓好工作试点,既是对SEA理论与方法体系的实践检验,也为西部开发中全面实施SEA工作积累经验,同时也有利于SEA在全国推广实施。

参考文献

- [1] 包存宽,尚金城. 建立我国战略环境评价理论与方法体系. 环境导报, 1999(5): 1-4
- [2] 吴国增. 八大因素影响环境与发展综合决策. 中国环境报, 1998
- [3] 包存宽,尚金城. 战略环境评价理论与实践进展. 环境导报, 1999(6): 1-5
- [4] 包存宽,尚金城. 战略环境评价中的评价战略筛选. 环境与开发, 2000, 15(2): 31-33
- [5] Keinlschmidt V. and Wanger D., Strategic Environmental Assessment in Europe: Fourth European Workshop on Environmental Impact Assessment. Dordrecht \ Boston \ London: Kluwer Academic Publishers, 1998
- [6] Carson James E. On the Preparation of Environmental Impact States in the United States of America. Atmosphere Environment, 1992, 26A(15): 2759-2768
- [7] Freeman, Frey. A Modest Proposal for Assessment Social Impacts of Natural Resources Policies. J. Environmental System, 1990-91, 20(4): 375-405
- [8] 包存宽,尚金城. 战略环境评价工作程序. 上海环境科学, 1999(5): 214-215, 240
- [9] 尚金城,包存宽. 战略环境评价系统及工作程序. 城市生态与城市环境, 2000, 13(3): 31-33
- [10] 陈庆云. 公共政策分析. 北京: 中国经济出版社, 1996: 264-267
- [11] 李巍,杨志峰,刘东霞. 面向可持续发展的战略环境影响评价. 中国环境科学, 1998, 18(Suppl): 66-69
- [12] 邓聚龙. 灰色系统理论教程. 武汉: 华中理工大学出版社, 1989

(责任编辑 王宏章)

- [4] J. Madsen, "Physics and Astrophysics of Strange Quark Matter", in Hadrons in Dense Matter and HAdrosynthesis ed. J. Cleymans et al. (Berlin: Springer) p. 162(1999)
- [5] R. X. Xu, B. Zhang, G. J. Qiao, "What if pulsars are born as strange stars?", AstroParticle Physics, 15, 101-120(2001)
- [6] Q. D. Wang, T. Lu, "The damping effects of the vibration in the core of a neutron star", Phys. Lett., B148, 211(1984)
- [7] J. Madsen, "How to indentify a strange star", Phys. Rev. Lett., 81, 16(1998); "Probing strange stars and color superconductivity by r- mode instabilities in millisecond pulsars", Phys. Rev. Lett., 85, 10(2000)
- [8] X. D. Li, Z. G. Dai, Z. R. Wang, "Is HER X-1 a strange star?", Astron. & Astrophys., 303, L1(1995); X. D. Li, I. Bombaci, M. Dey, J. Dey, E. P. J van den Heuvel, "Is SAX J1808.4-3658 a strange star?", Phys. Rev. Lett., 83, 3776(1999)
- [9] N. K. Glendenning, "Lower Limit on Radius as a Function of Mass for Neutron Stars", Phys. Rev. Lett., 85, 1150(2000)

(责任编辑 王宏章)

探索脉冲星的奥秘

(见徐仁新文)

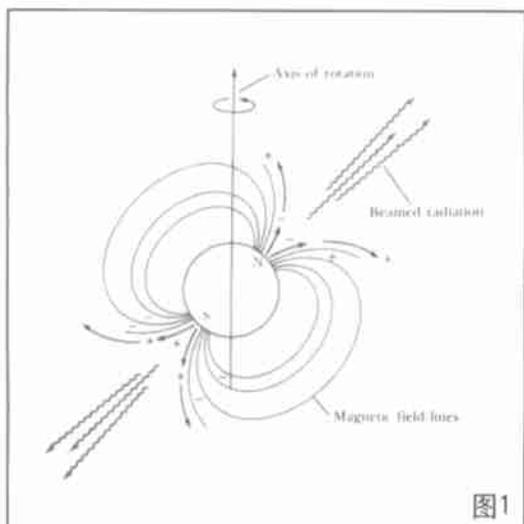


图1

脉冲星示意图: Axis of rotation(自转轴); Beamed radiation(辐射束); Magnetic field lines(磁力线); N(磁北极); S(磁南极)。

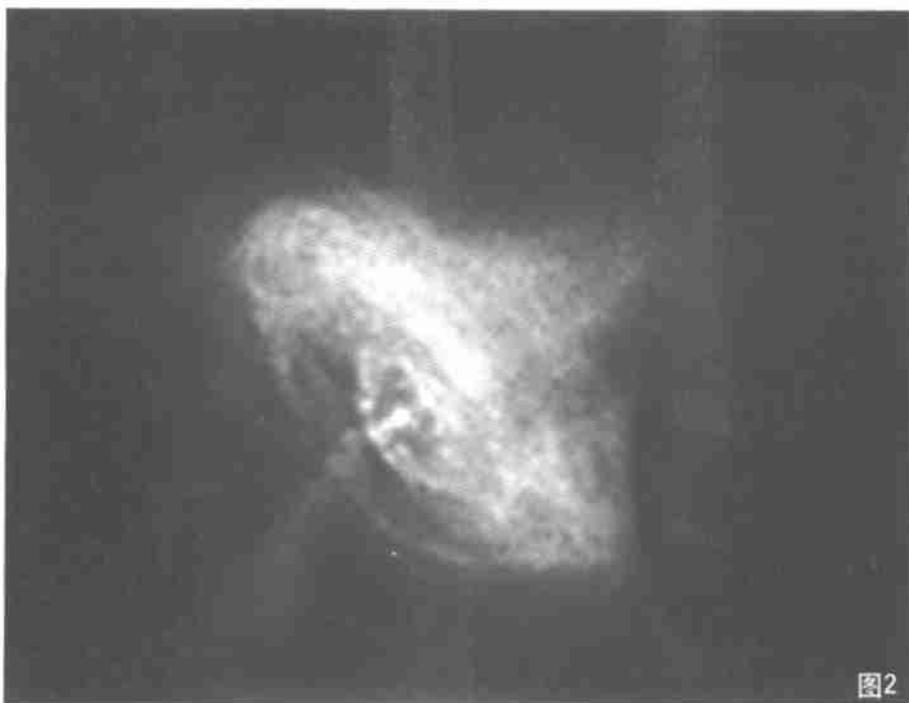


图2

Chandra X射线天文台观测到的蟹状星云。其中心是一颗脉冲星，诞生于公元1054年。

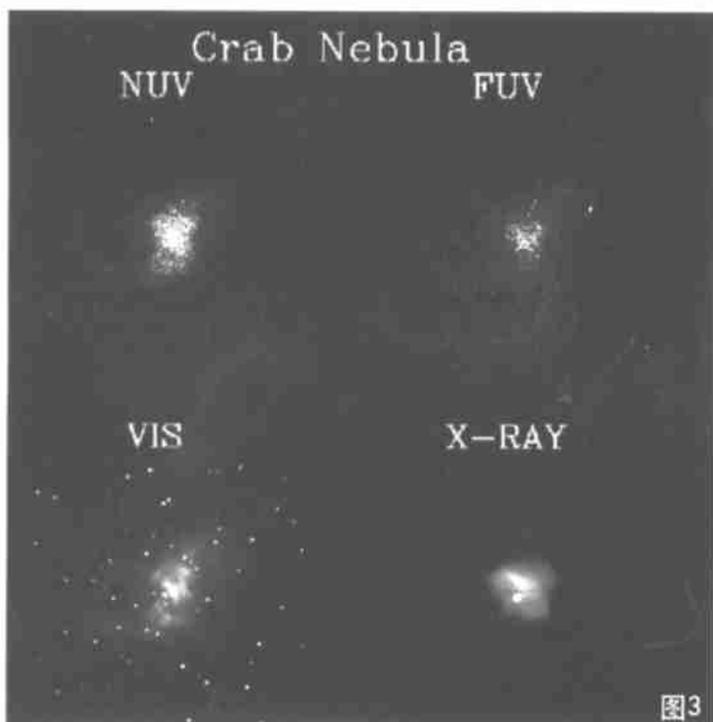


图3

在不同波段所观测到的蟹状星云。NUV: 近紫外光波段; FUV: 远紫外光波段; VIS: 可见光波段; X-RAY: X射线波段。

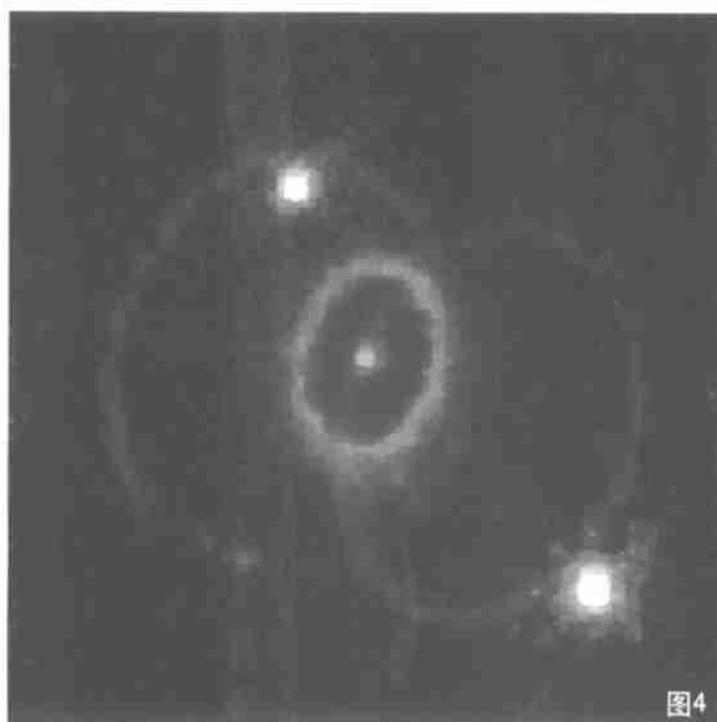


图4

超新星1987A的神秘光环。此超新星位于我们的邻近星系(大麦云), 爆发于1987年2月, 爆发点位于图的中心部位, 并可能产生了一颗脉冲星。此图是1994年哈勃空间望远镜观测到的。

探索脉冲星的奥秘

(见徐仁新文)

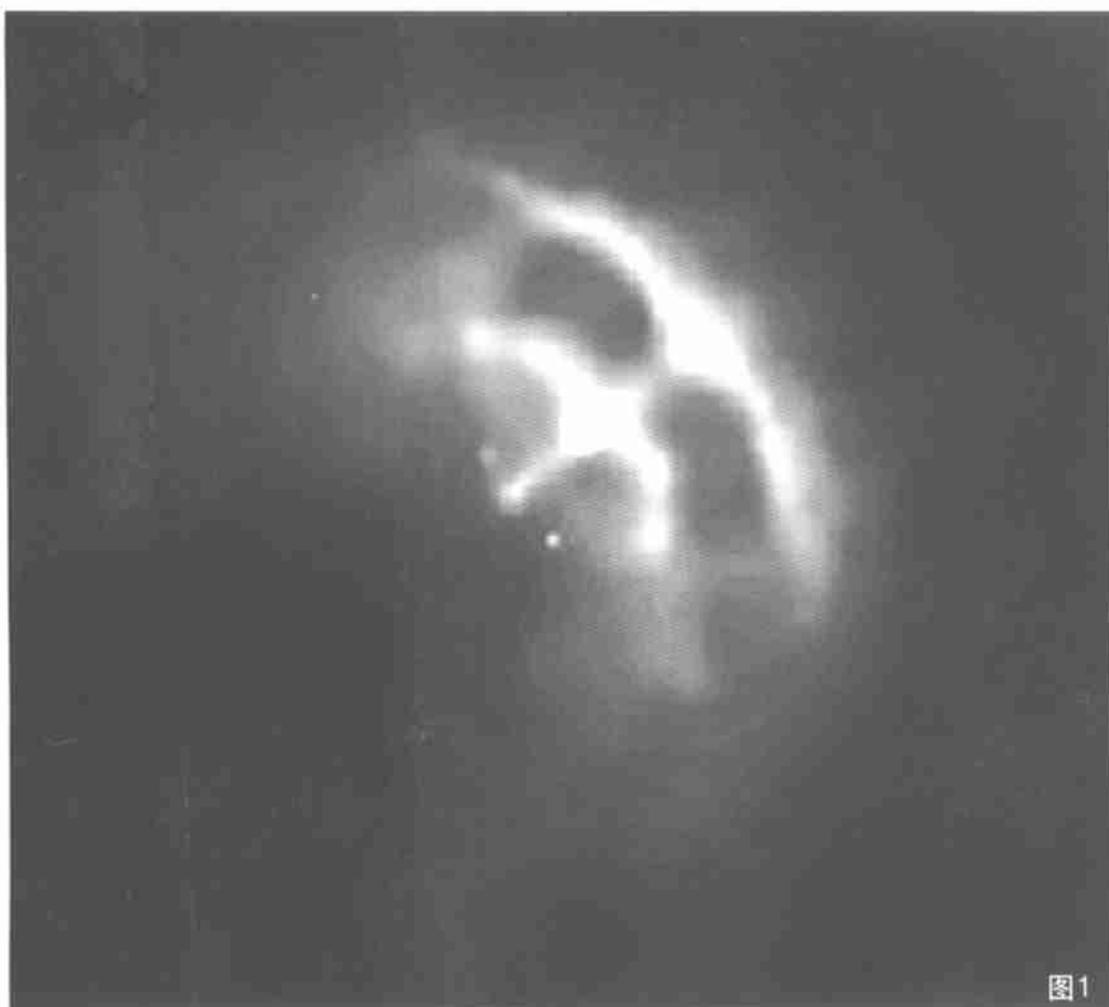


图1

Chandra X射线天文台观测到的船帆座星云，其中心也有一颗脉冲星。

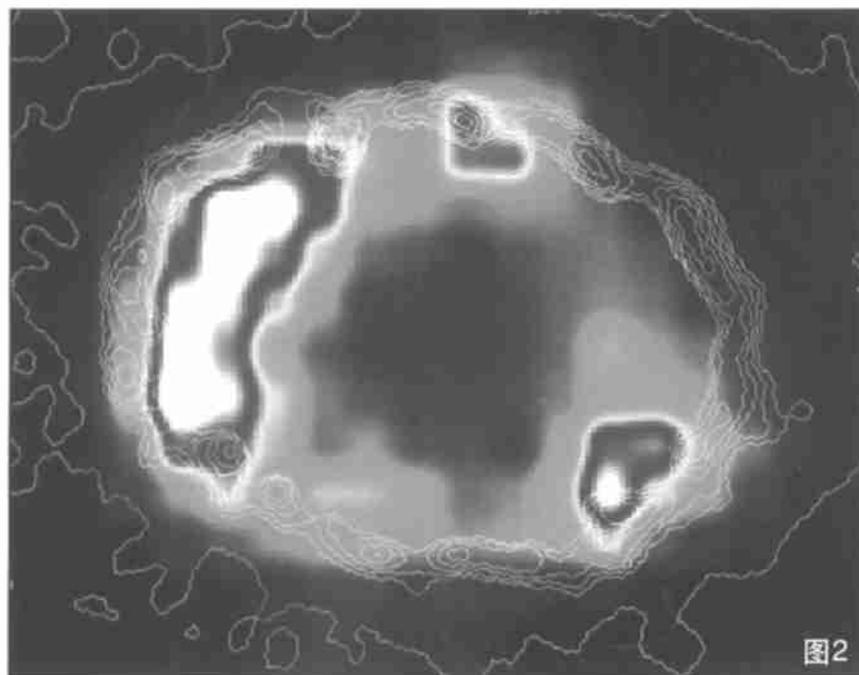


图2

Chandra X射线天文台观测到的、围绕超新星1987A的X射线环。超新星1987A位于我们的邻近星系(大麦云)，爆发于1987年2月，爆发后中心可能产生了一颗脉冲星。



图3

膨胀的Vela超新星遗迹