

# 目 录

目录 .....	1
<b>第一章 Neutron Star(LGS) .....</b>	<b>1</b>
1.1 Slowly Rotating Relativistic Stars .2. Models for Neutron Stars and Supermassive Stars .....	2
1.2 Neutron Star Matter .....	3
1.3 Neutron-Star Accretion in a Stellar Wind - Model for a Pulsed X- Ray Source .....	4
1.4 Neutron Star Matter at Sub-Nuclear Densities .....	5
1.5 Black-Hole Neutron-Star Collisions .....	6
1.6 Accretion by rotating magnetic neutron stars. II - Radial and ver- tical structure of the transition zone in disk accretion .....	7
1.7 Accretion by Rotating Magnetic Neutron Stars .3. Accretion Torques and Period Changes in Pulsating X-Ray Sources .....	8
1.8 Neutron Stars Are Giant Hypernuclei .....	9
1.9 The Birth of Neutron-Stars .....	10
1.10 Equation of state and the maximum mass of neutron stars .....	11
1.11 Nucleosynthesis, Neutrino Bursts and Gamma-Rays from Coalesc- ing Neutron Stars .....	12
1.12 Supernova Mechanisms .....	13
1.13 Formation and Evolution of Binary and Millisecond Radio Pulsars ·	14
1.14 Reconciliation of neutron-star masses and binding of the Lambda in hypernuclei .....	16
1.15 Direct URCA process in neutron stars .....	17
1.16 A Generalized Equation of State for Hot, Dense Matter .....	18
1.17 Neutron-Star and Black-Hole Binaries in the Galaxy .....	19
1.18 The Rate of Neutron-Star Binary Mergers in the Universe - Minimal Predictions for Gravity-Wave Detectors .....	20
1.19 LIGO: The Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory ·	21
1.20 Tidal Interactions of Inspiring Compact Binaries .....	22

1.21 Formation of Very Strongly Magnetized Neutron-Stars - Implications for Gamma-Ray Bursts .....	23
1.22 1st-Order Phase-Transitions with More Than One Conserved Charge - Consequences for Neutron-Stars .....	24
1.23 Magnetic-Field Decay in Isolated Neutron-Stars .....	25
1.24 Gamma-Ray Bursts as the Death Throes of Massive Binary Stars ..	26
1.25 Millisecond Pulsars with Extremely Strong Magnetic-Fields as a Cosmological Source of Gamma-Ray Bursts .....	27
1.26 Neutron star crusts .....	28
1.27 Neutron-Star Dynamos and the Origins of Pulsar Magnetism .....	29
1.28 Gamma-Ray Bursts from Stellar Mass Accretion Disks around Black-Holes .....	31
1.29 Rapidly Rotating Neutron-Stars in General-Relativity: Realistic Equations of State .....	32
1.30 Gravitational-Waves from Merging Compact Binaries - How Accurately Can One Extract the Binary Parameters from the Inspiral Wave-Form .....	33
1.31 High Birth Velocities of Radio Pulsars .....	34
1.32 The R-Process and Neutrino-Heated Supernova Ejecta .....	35
1.33 On the Nature of Core-Collapse Supernova Explosions .....	36
1.34 Comparing Models of Rapidly Rotating Relativistic Stars Constructed by 2 Numerical-Methods .....	38
1.35 The Soft Gamma-Repeaters as Very Strongly Magnetized Neutron-Stars .1. Radiative Mechanism for Outbursts .....	39
1.36 Nucleosynthesis in neutrino-driven winds .1. The physical conditions	41
1.37 Hyperon-rich matter in neutron stars .....	42
1.38 The ultra-metal-poor, neutron-capture-rich giant star CS 22892-052	43
1.39 Millisecond X-ray variability from an accreting neutron star system	44
1.40 The soft gamma repeaters as very strongly magnetized neutron stars .2. Quiescent neutrino, X-ray, and Alfven wave emission .....	45
1.41 Model neutron star atmospheres with low magnetic fields .1. Atmospheres in radiative equilibrium .....	46
1.42 The X-ray luminosity of rotation-powered neutron stars .....	47
1.43 Observations of accreting pulsars .....	48

1.44	A Skyrme parametrization from subnuclear to neutron star densities	49
1.45	Composition and structure of protoneutron stars	50
1.46	Equation of state of nucleon matter and neutron star structure	51
1.47	A new class of unstable modes of rotating relativistic stars	52
1.48	Gravitational radiation and rotation of accreting neutron stars	53
1.49	Crustal heating and quiescent emission from transiently accreting neutron stars	54
1.50	Axial instability of rotating relativistic stars	55
1.51	Evolution and nucleosynthesis in low-mass asymptotic giant branch stars. II. Neutron capture and the s-process	56
1.52	An x-ray pulsar with a superstrong magnetic field in the soft gamma-ray repeater SGR1806-20	58
1.53	Transient events from neutron star mergers	59
1.54	Gravitational radiation instability in hot young neutron stars	60
1.55	Sonic-point model of kilohertz quasi-periodic brightness oscillations in low-mass X-ray binaries	61
1.56	Relativistic equation of state of nuclear matter for supernova and neutron star	62
1.57	A millisecond pulsar in an x-ray binary system	63
1.58	Neutron capture in low-mass asymptotic giant branch stars: Cross sections and abundance signatures	64
1.59	Nucleosynthesis in asymptotic giant branch stars: Relevance for Galactic enrichment and solar system formation	65
1.60	r-process in neutron star mergers	67
1.61	Discovery of a magnetar associated with the soft gamma repeater SGR 1900+14	68
1.62	Collapsars: Gamma-ray bursts and explosions in "failed supernovae"	69
1.63	Evolution of proto-neutron stars	71
1.64	Neutron star mass measurements. I. Radio pulsars	72
1.65	Neutron-capture elements in the early galaxy: Insights from a large sample of metal-poor giants	73
1.66	A unified equation of state of dense matter and neutron star structure	74
1.67	Neutron star structure and the neutron radius of Pb-208	75
1.68	Neutron star structure and the equation of state	76

1.69	Neutrino emission from neutron stars .....	77
1.70	The velocity distribution of isolated radio pulsars .....	78
1.71	A comprehensive study of binary compact objects as gravitational wave sources: Evolutionary channels, rates, and physical properties	79
1.72	Gravitationally redshifted absorption lines in the X-ray burst spec- tra of a neutron star .....	80
1.73	Determination of the equation of state of dense matter .....	81
1.74	Electrodynamics of magnetars: Implications for the persistent X- ray emission and spin-down of the soft gamma repeaters and anoma- lous X-ray pulsars .....	82
1.75	The evolution and explosion of massive stars .....	83
1.76	An increased estimate of the merger rate of double neutron stars from observations of a highly relativistic system .....	84
1.77	Nuclear-powered millisecond pulsars and the maximum spin fre- quency of neutron stars .....	85
1.78	The extremely metal-poor, neutron capture-rich star CS 22892-052: A comprehensive abundance analysis .....	86
1.79	The physics of neutron stars .....	87
1.80	A double-pulsar system: A rare laboratory for relativistic gravity and plasma physics .....	88
1.81	Minimal cooling of neutron stars: A new paradigm .....	89
1.82	Galactic evolution of Sr, Y, and Zr: A multiplicity of nucleosyn- thetic processes .....	90
1.83	Neutron star cooling .....	91
1.84	A statistical study of 233 pulsar proper motions .....	92
1.85	Isospin asymmetry in nuclei and neutron stars .....	93
1.86	Physics of strongly magnetized neutron stars .....	94
1.87	A radio pulsar spinning at 716 Hz .....	95
1.88	Time-dependent force-free pulsar magnetospheres: Axisymmetric and oblique rotators .....	96
1.89	Neutron star observations: Prognosis for equation of state constraints	97
1.90	Short-hard gamma-ray bursts .....	98
1.91	Thermonuclear (Type I) X-Ray Bursts Observed by the Rossi X- Ray Timing Explorer .....	99

1.92	Recent progress and new challenges in isospin physics with heavy-ion reactions .....	100
1.93	The strongest cosmic magnets: soft gamma-ray repeaters and anomalous X-ray pulsars .....	101
1.94	Neutron-capture elements in the early Galaxy .....	102
1.95	A two-solar-mass neutron star measured using Shapiro delay .....	103
1.96	Electromagnetic counterparts of compact object mergers powered by the radioactive decay of r-process nuclei .....	104
1.97	The Equation of State from Observed Masses and Radii of Neutron Stars .....	105
1.98	The Nuclear Equation of State and Neutron Star Masses .....	106
1.99	A 'kilonova' associated with the short-duration gamma-ray burst GRB 130603B .....	107



## 第一章 Neutron Star(LGS)

## 1.1 Slowly Rotating Relativistic Stars .2. Models for Neutron Stars and Supermassive Stars<sup>1</sup>

### 1.1.1 Abstract

本论文提出了一种分析一个慢速的刚性转动的相对论性的恒星模型的径向脉动的稳定性的影响的方法。这个方法只能用于一参数的状态方程 $p = \epsilon(p)$ 的恒星模型，这个模型的绝热指数为 $\Gamma = (\epsilon + p)^{p-1}(dp/d\epsilon)$ ，例如白矮星、中子星。这个方法也能用于一个热的、等熵的(isentropic)恒星模型。这个方法并不涉及求解转动恒星的脉动的全部(full)的动力学方程；而只是对某个特别的非刚性的转动，构建一系列平衡参数(equilibrium configuration)，然后再将这些参数对应的质量或结合能与均匀转动的模型的质量或结合能进行比较。因此，这个方法是对慢速转动的恒星“静态稳定性分析”的一个推广，这种分析被广泛用于非转动的恒星。

**关键词：** 中子星的转动；稳定性；

### 1.1.2 Knowledge

在研究一个相对论性的恒星模型(超新星，中子星，致密白矮星)时，只计算平衡参数是不够的，还必须要研究在这些参数下的稳定性，来决定什么样的恒星能在自然条件下存在。(表明存在两个大的方向：equilibrium configuration 以及稳定性(stability))

### 1.1.3 Questions

---

1. Author: Hartle, J. B. Thorne, K. S.

Address: Laboratory for Nuclear Science and Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology, and Department of Physics, University of California, Santa Barbara.

DOI:10.1086/149707

Journal: Astrophysical Journal(1968).



## 1.2 Neutron Star Matter<sup>1</sup>

### 1.2.1 Abstract

中子星中的物质基本都是处于基态的，并且其密度可以达到甚至超过 $3 \times 10^{14} \text{g/cm}^3$ 。这里，我们确定了物质密度从 $4.3 \times 10^{11} \text{g/cm}^3$ (此时自由的中子开始从原子核中“滴出”)到 $5 \times 10^{14} \text{g/cm}^3$ (此时标准的核物质理论仍然是可靠的)的范围内物质的基态构成及其状态方程。我们通过一个可压缩的液滴模型来描述自由中子区域的原子核的能量，这个模型考虑了3个重要的特性：(i) 随着密度的增加，核内的核物质基团与核外的纯中子气体变得越来越相似；(ii) 中子气体的存在降低了核的表面能；(iii) 当原子核间的间距变得与原子核的半径相当时，将原子核维持在晶格上的原子核间的库伦相互作用会变得比较显著。我们发现在物质密度达到 $2.4 \times 10^{14} \text{g/cm}^3$ 时，原子核仍然存在；在这个密度以下，我们发现质子没有脱离原子核的趋势。在更高的密度区域内出现的核相与液相之间的相变过程如下所示。(随着密度的增加)原子核的尺寸增大，直到原子核相互接触；剩余密度(the remaining density)的不均匀性随着密度的增加而逐渐减小，直到其达到密度为 $3 \times 10^{14} \text{g/cm}^3$ 的一阶相变点时消失。这表明，均匀液相在密度为 $3 \times 10^{14} \text{g/cm}^3$ 以下时，随着密度的波动是不稳定的；最不稳定的密度波动的波长接近于核相(nuclear phase)的极限晶格常数。

**关键词：** 中子星的物质； 状态方程；

### 1.2.2 Knowledge

### 1.2.3 Questions

---

1. Author: Baym, G. Bethe, H. A. Pethick, C. J.

Address: Nordita(北欧理论原子物理研究院), Copenhagen, Denmark.

DOI:10.1016/0375-9474(71)90281-8

Journal: Nuclear Physics A(1971).

## 1.3 Neutron-Star Accretion in a Stellar Wind - Model for a Pulsed X-Ray Source<sup>1</sup>

### 1.3.1 Abstract

X射线脉冲源Cen X-3 和Her X-1 的许多特征都可以用一个简单的模型来解释。一个旋转的磁化中子星绕着一个质量稍大的恒星转动，并且从这个恒星发出的恒星风中吸积质量。通过潮汐瓦解问题的分析表明，X射线源的周期、速度振幅、掩蚀的持续时间允许中子星的质量达到 $1M_{\odot}$ ，轨道的倾角为 $70^{\circ} - 90^{\circ}$ ，并且要求X射线脉冲源Cen X-3 和Her X-1 的伴星的距离(separations)、质量、半径以及光谱型分别接近于 $(18R_{\odot}, 8R_{\odot})$ 、 $(20M_{\odot}, 2M_{\odot})$ 、 $(12R_{\odot}, 4R_{\odot})$ 以及(B2III, F5III)。

在任何事例(any case)中，吸积率都被限制小于 $10^{-7.4}M_{\odot}$ 每年。通过爱丁顿极限(Eddington limit)，计算可以得到吸积率为 $10^{-9}M_{\odot}$ 每年，比要求的中等质量恒星的恒星风小3个数量级。

下落气体与中子星磁层(magnetosphere)的相互作用导致其自传周期接近于一个平衡值，当表面磁场强度为 $10^{12}$ gauss时，这个值在秒的数量级上。来自于每个磁极附近确定区域内的X射线光谱也由系统参数确定。应用于Cen X-1的理论(计算结果)也与 $10^{12}$ gauss的表面磁场强度以及 $10^{36.5}$ ergs/s的X射线光度一致。

**关键词：** X射线源模型；中子星磁层；中子星吸积；

### 1.3.2 Knowledge

### 1.3.3 Questions

---

1. Author: Davidson K. Ostriker J. P.

Address: Princeton University Observatory.

DOI:10.1086/151897

Journal: Astrophysical Journal(1973).

## 1.4 Neutron Star Matter at Sub-Nuclear Densities<sup>1</sup>

### 1.4.1 Abstract

从核子-核子的两体相互作用过程中推导出了核多体系统的能量密度的一个极简形式，这个形式被用来确定处于亚核密度区域范围内的物质的基态参数。随着重子密度的增加，原子核逐渐变得越来越丰中子，直到中子最终逸出，产生一个由束缚中子和质子团簇组成的由被稀释的中子气体包裹的库伦晶格(Coulomb lattice)。随着密度的增加，团簇会变大，晶格常数会减小，在核物质密度附近会接近形成一个完全均匀的状态。

**关键词：** 两体模型；状态方程；中子星物质；

### 1.4.2 Knowledge

### 1.4.3 Questions

---

1. Author: Negele, J. W. Vautherin, D.

Address: Laboratory for Nuclear Science and Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.

DOI: 10.1016/0375-9474(73)90349-7

Journal: Nuclear Physics A(1973).

## 1.5 Black-Hole Neutron-Star Collisions<sup>1</sup>

### 1.5.1 Abstract

研究了黑洞附近中子星的潮汐破裂。计算了一个简单的相互作用模型，结果表明中子星物质射入星际介质的量可能很大。利用合理的恒星统计，推测的喷射物质量与r过程物质的丰度大致相当。

**关键词：** 中子星-黑洞双星；潮汐破裂；

### 1.5.2 Knowledge

### 1.5.3 Questions

---

1. Author:Lattimer, J. M. Schramm, D. N.

Address: Departments of Astronomy and Physics, The University of Texas at Austin

DOI:10.1086/181612

Journal: Astrophysical Journal(1974).

## 1.6 Accretion by rotating magnetic neutron stars. II - Radial and vertical structure of the transition zone in disk accretion<sup>1</sup>

### 1.6.1 Abstract

我们研究了恒星磁场与中子星从吸积盘中吸积物质时的磁层边界处的吸积等离子体之间的相互作用。恒星磁场穿过吸积盘的内部，通过开尔文-亥姆霍兹不稳定性、湍流扩散以及重组(reconnection)，形成一个宽的过渡区域，将远离中子星的未受中子星扰动的盘状流与接近中子星的磁层流连接起来。利用两维的磁流体动力学方程，我们计算了这个区域中内径以及外径的径向和垂直方向的结构。过渡区域由两个明显不同的区域组成，一个宽的角速度满足开普勒定律的外层区域，和一个窄的角速度明显偏离开普勒定律的内层区域或者叫边界层。中子星的磁场在边界层仅稍微变形，但是在更大的半径处变形会增加。

我们讨论在这里发现的吸积X射线源的中子星模型的流动解(flow solutions)的含义，依次考虑物质从吸积盘内边缘到恒星表面的流动、产生的吸积扭矩，以及恒星表面等离子体下降的模式。因为有20%的中子星磁通量穿过边界层以外的吸积盘，所以受磁场引导的等离子体落入一个在磁极处的圆环中。

**关键词：** 中子星的物质；状态方程；

### 1.6.2 Knowledge

### 1.6.3 Questions

---

1. Author: Ghosh, P. Lamb, F. K.

Address: Department of Physics, University of Illinois at Urbana-Champaign

DOI: 10.1086/157285

Journal: Astrophysical Journal(1979).

## 1.7 Accretion by Rotating Magnetic Neutron Stars .3. Accretion Torques and Period Changes in Pulsating X-Ray Sources<sup>1</sup>

### 1.7.1 Abstract

我们利用之前得到的二维磁流体动力学方程的解来计算磁化中子星从开普勒吸积盘中吸积物质时的转矩。我们发现中子星与吸积盘边界层外存在明显的磁耦合。由于这种耦合，在（吸积盘）快速旋转的部分的扭矩要远小于慢速旋转部分的自旋扭矩。对于足够高的恒星自传角速度或足够低的吸积率，这种耦合导致在吸积盘内边缘处的等离子体以及磁场阻尼(breaking)中子星的转动，所以即使在吸积时，也能够继续产生X射线发射。

我们将这些结果应用于脉冲X射线源，发现所有已经测量过的脉冲X射线源的长期自旋上升率(secular spin-up rates)都能够得到定量的解释，如果假定这些脉冲X射线源都正在从开普勒吸积盘中吸积物质并且它们的磁矩都是 $10^{29-31}\text{gauss/cm}^3$ 。这个在高自旋部分的自旋上升率的减小，很自然的解释了Her X-1的自旋上升率比期望的低自旋部分的自旋上升率小得多。我们还发现，长期自旋上升速率 $-\dot{P}$ 与量 $PL^{3/7}$ 之间的简单关系充分地代表了几乎所有的观测数据， $P$ 和 $L$ 分别是脉冲周期和光源的亮度。这种“通用”关系使得我们可以估计给定源的参数 $P$ 、 $\dot{P}$ 和 $L$ 中的任意一个，如果另外两个是已知的。我们发现，由于传质速率(mass transfer rate)波动引起的扭矩变化，在Her X-1、Cen X-3、Vela X-1和X Per中观察到的短期周期波动可以相当自然地解释。我们还发现了在低亮度下自旋下降扭矩是如何解释大量具有短自旋上升时间尺度的长周期源的悖论的存在。最后，我们强调需要对每个源同时进行周期和光度测量。这些测量将直接检验我们的理论，以及关于脉冲源的自旋演化和X射线双星吸积过程中传质过程的时间变化的有价值的信息。

**关键词：** 中子星磁场；吸积；X射线源；

### 1.7.2 Knowledge

### 1.7.3 Questions

---

1. Author: Ghosh, P. Lamb, F. K.

Address: Department of Physics, University of Illinois at Urbana-Champaign ; and Astrophysics Branch, Space Science Laboratory, NASA Marshall Space Flight Center. Department of Physics, University of Illinois at Urbana-Champaign; and California Institute of Technology.

DOI:10.1086/157498

Journal: Astrophysical Journal(1979).

## 1.8 Neutron Stars Are Giant Hypernuclei<sup>1</sup>

### 1.8.1 Abstract

在平均场近似下，利用核子、超子以及介子相互作用的拉格朗日场理论框架来研究中子星。这个理论仅限于考虑核物质的4个关键性质：饱和密度、饱和结合能(saturation binding)、可压缩性和电荷对称能。发现较重的中子星的核心主要由超子组成，这类星的超子总数占15%-20%，这取决于 $\pi$ 介子是否凝聚。产生同位旋对称能的 $\rho$ 介子对重子的数量有重要影响。轻子的数量被强烈抑制，强子间实现了电荷中性。文中还提到了脉冲星磁场的衰减时间及其有效寿命的可能结果。

**关键词：** 中子星的物质；状态方程；

### 1.8.2 Knowledge

### 1.8.3 Questions

---

1. Author: Glendenning, N. K.

Address: Department of Physics, University of Illinois at Urbana-Champaign ; and Astrophysics Branch, Space Science Laboratory, NASA Marshall Space Flight Center. Department of Physics, University of Illinois at Urbana-Champaign; and California Institute of Technology.

DOI:10.1086/163253

Journal: Astrophysical Journal(1985).

## 1.9 The Birth of Neutron-Stars<sup>1</sup>

### 1.9.1 Abstract

我们给出了中子星诞生的开尔文-亥姆霍兹相的第一个详细的数值模拟结果。研究了从一个热的、膨胀的、丰电子的残骸到一个冷的、致密的中子化的物体的转化过程。我们研究了这个过程开始的20s的行为。讨论了与该问题相关的物理及其探索，导出许多有用的公式。重点介绍了一个 $1.4M_{\odot}$ 的恒星坍缩残骸的演化的基线计算(baseline calculation)。结果通过一系列图表和图形来表达，这些图表和图形描述了核心经历的热、结构和组成变化。

**关键词：** 中子星的形成；中子星演化；

### 1.9.2 Knowledge

### 1.9.3 Questions

---

1. Author:Burrows, A. Lattimer, J. M.

Address: Department of Physics, State University of New York at Stony Brook; Department of Earth and Space Sciences, State University of New York at Stony Brook.

DOI:10.1086/164405

Journal: Astrophysical Journal(1986).



## 1.10 Equation of state and the maximum mass of neutron stars<sup>1</sup>

### 1.10.1 Abstract

我们探究了中子星的最大质量与状态方程的可观测参量之间的关系。特别的，我们考虑了核的不可压缩性以及对称能。我们得到了对于现实的对称能量和压缩模量本身不能被观测到的中子星质量严格限制的结论。我们建议了几个可以进一步研究的方向。

**关键词：** 中子星的质量；状态方程；对称能；

### 1.10.2 Knowledge

### 1.10.3 Questions

---

1. Author: Prakash, M. Ainsworth, T. L. Lattimer, J. M.

Address: Physics Department, State University of New York at Stony Brook, Stony Brook, New York 11794; Physics Department University of Illinois at Urbana Champaign, Urbana, Illinois 61801; Earth and Space Sciences Department, State University of New York at Stony Brook, Stony Brook, New York 11794.

DOI:10.1103/Phys. Rev. Lett.61.2518

Journal: Physical Review Letters(1988).

## 1.11 Nucleosynthesis, Neutrino Bursts and Gamma-Rays from Coalescing Neutron Stars<sup>1</sup>

### 1.11.1 Abstract

当两个中子星相互做螺旋形的运动是，由于引力波辐射的阻尼，它们的碰撞是不可避免的。这种碰撞会产生一种特征的引力波辐射暴，这可能是最有希望的能够被已经提出的探测器观测到的可观测源。这种信号足够独特和强大，足以作为一种确定哈勃常数的手段被提出来。然而这种中子星碰撞的比率非常的不确定。这里我们注意到，把这考虑为一个快中子俘获的过程(r过程)，这样的事件也应该合成丰中子的重元素。此外，这些碰撞也应该产生中微子暴以及由此而来的 $\gamma$ 射线暴。后者应该包括在可观测 $\gamma$ 射线暴的一个子类中。我们认为观测到的r过程的丰度以及 $\gamma$ 射线暴的(发生)率预示了这些碰撞的(发生)率，这两者(的结果)都是显著的并且与其他的评估是一致的。

**关键词：** 双中子星系统；引力波；状态方程；可观测效应；

### 1.11.2 Knowledge

### 1.11.3 Questions

---

1. Author: Eichler, D. Livio, M. Piran, T. Schramm, D. N.  
Address: (Too Long)See Details In The Paper.  
DOI:10.1038/340126a0  
Journal: Nature(1989).

## 1.12 Supernova Mechanisms<sup>1</sup>

### 1.12.1 Abstract

II型超新星爆发出现在大质量恒星演化的最后阶段。当恒星的铁核心的质量超过钱德拉塞卡极限质量时这种现象开始发生。这个在引力作用下核心的塌缩已经被很好的研究过了，并且(这个过程)只花了几分之一秒。为了理解这个现象，我们需要知道在相关的密度及温度下详细的状态方程。在塌缩过后，冲击波向外传播，但是可能并不能导致恒星质量的减小。能做到这一点的最有可能的机制是来自于核心的中微子被中等距离处的材料吸收。讨论了与SN 1987A 相关的观测和理论，以及在塌缩前的环境和来自于核心塌缩的中微子发射。

**关键词：** 中子星的形成；超新星爆发；

### 1.12.2 Knowledge

### 1.12.3 Questions

---

1. Author: Bethe, H. A.

Address: Newman Laboratory of Nuclear Studies, Cornell University, Ithaca, New York 1485.

DOI:10.1103/RevModPhys.62.801

Journal: Reviews of Modern Physics(1990).

## 1.13 Formation and Evolution of Binary and Millisecond Radio Pulsars<sup>1</sup>

### 1.13.1 Abstract

我们回顾了形成双脉冲星、毫秒脉冲星以及在球状星团中的脉冲星的各种方式。为此讨论了在相互作用的双星系统中中子星的形成过程，以及这类系统的后续演化。

第2节简要介绍了单星以及双星射电脉冲星系统的观测性质。双星和毫秒脉冲星的高速自旋与相对较弱的磁场的独特组合以及在毫秒脉冲星中双星系统高的发生率强烈表明，它们当中许多(或许不是全部)都是在发生质量转移的双星系统中通过吸积质量和角动量被再次激活(recycled)的古老的中子星。再激活的脉冲星被认为是观测到的各种类型的双星X射线源的后期演化阶段。

第3节总结了各种类型的双星X射线源的观测性质，并综述了近的双星系统形成X射线双星的演化过程。鉴于与X射线双星后期演化为毫秒双脉冲星相关，在这一节我们还讨论了各种吸积类型(恒星风吸积和Roche-lobe 溢流)对吸积磁化中子星的自旋演化的影响。接着讨论了X射线双星的后期演化和最终的演化产物。大质量X射线双星系统最终可能留下：(i)具有椭圆轨道的、由两个中子星组成的非常接近的双脉冲星系统或者是具有圆轨道的一个中子星和一个大质量白矮星；(ii)两颗相互远离的脉冲星，一颗是新形成的、一颗是古老的“再激活”的；(iii)单个的“再激活”的低速脉冲星。第质量的X射线双星可能留下相对较远的具有圆形轨道的、由一个低质量的白矮星( $0.2 - 0.4M_{\odot}$ )和一个“再激活”的中子星组成的双星系统，或者是一个将其伴星蒸发或并合了的“再激活”中子星。在这一节中我们还讨论了观测到的单射电脉冲星的速度与磁场相关性的可能的起源。这个相关性可以通过结合近双星系统的演化和超新星爆发中质量喷射的不对称性来得到，或也可以选择通过结合近双星系统的演化和年轻脉冲星对低质量伴星的蒸发来得到。

第4节主要讨论了在球状星系团中发生的中子星近双星系统的形成和演化过程。讨论了在球状星系团中脉冲星(主要是双星系统和毫秒脉冲星)高的出现率以及在它们之中单脉冲星所占相对较大的比例( $\geq 50\%$ )。从第4节和第5节的讨论我们得出结论：到目前为止没有明确的证据表明——也不需要——在球状星系团中的中子星(毫秒脉冲星)是通过吸积诱导的白矮星塌缩形成的，尽管我们不能

1. Author: Bhattacharya, D. Vandenhoevel, E. P. J.

Address: Astronomical Institute ‘Anton Pannekoek’, Kruislaan 403, 1098 SJ Amsterdam, The Netherlands, Centre for High Energy Astrophysics, NIKHEF-H, Kruislaan 409, 1098 SJ Amsterdam, The Netherlands, and Institute for Theoretical Physics, University of California at Santa Barbara, Santa Barbara, CA 93106, USA.

DOI: 10.1016/0370-1573(91)90064-s

Journal: Physics Reports-Review Section of Physics Letters(1991).

排除这种形成机制。然而这种机制可能对在星系盘中的低质量X射线源的形成有重要的贡献。

第5节讨论了在球状星系团和在一般的星系中的双星系统和毫秒脉冲星与中子星磁场演化相关的统计学性质。其结论如下：

(i)没有明确的证据表明孤立中子星（射电脉冲星）的磁场确实衰变了。

(ii)近双星系统中通过“再激活”的中子星有明确的证据表明其磁场存在衰变。这个场的衰变可能是由于(a)由于吸积过程自身所导致的；(b)双星系统的中子星的自旋演化影响到了中子星内部液相物质所携带的磁场。

(iii)所有观测到双星系统中(大部分是大质量的)的单射电脉冲星中的很大一部分(百分之几十的量级)可能被“再激活”。在一般的脉冲星中存在的这一类脉冲星可能导致了单中子星的磁场确实会衰变的假象。

第6节对前面的章节进行了总结并列出了一些开放性的问题。

**关键词：** 各类中子星的形成；演化；统计学性质；

### 1.13.2 Knowledge

### 1.13.3 Questions

## 1.14 Reconciliation of neutron-star masses and binding of the Lambda in hypernuclei<sup>1</sup>

### 1.14.1 Abstract

通过将超子的标量耦合和矢量耦合与推测的饱和核物质中 $\Lambda$ 超子的经验结合能联系起来，我们得到了该结合能与中子星质量的相容性。使用观测上的对中子星最大质量下边界的限制和与超核能级兼容的耦合的上界，对由超子产生的中子星质量的减少进行了限制。对于最近的对核物质性质最好的估计，由于核子转化为超子引起的质量减少约为 $(0.75 \pm 0.15)M_{\odot}$ 。中子在质量为 $1.5M_{\odot}$ 的中子星中占少数。

**关键词：** 超子化中子星；状态方程；

### 1.14.2 Knowledge

### 1.14.3 Questions

---

1. Author: Glendenning, N. K. Moszkowski, S. A.

Address: Nuclear Science Division, Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, One Cyclotron Road, Berkeley, California 94720. University of California at Los Angeles, Los Angeles, California 90024.

DOI: 10.1103/PhysRevLett.67.2414

Journal: Physical Review Letters(1991).

## 1.15 Direct URCA process in neutron stars<sup>1</sup>

### 1.15.1 Abstract

当质子浓度在（11-15）%范围内超过某个临界值时，中子星可发生直接URCA过程。质子浓度是由我们还知之甚少的在核密度之上的物质的对称能决定的，在许多当前的计算中它超过了临界值。如果它发生了，那么与先前考虑的任何过程相比，直接URCA过程可以大大提高中微子发射和中子星冷却速率。

**关键词：** 中子星的冷却；URCA过程；

### 1.15.2 Knowledge

### 1.15.3 Questions

---

1. Author: Lattimer, J. M. Pethick, C. J. Prakash, M. Haensel, P.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.66.2701  
Journal: Physical Review Letters(1991).

## 1.16 A Generalized Equation of State for Hot, Dense Matter<sup>1</sup>

### 1.16.1 Abstract

给出了一个描述热的、致密的物质的状态方程，其可以方便的直接用于类似于恒星塌缩过程的流体动力学的模拟计算。它包含一个可调的核力，这个核力可以精确的拟合了势场与平均场的相互作用，并且还允许输入各种还没有实验确定的核参数。包括体积不可压缩性参数、体积和表面对称能、对称物质表面张力和核子有效质量。这可以允许我们参数化的研究在天体物理情况下的状态方程。状态方程是根据Lattimer, Lamb, Pethick和Ravenhall的LLPR可压缩液滴模型建立的，并考虑了核外核子相互作用和简并的影响。还考虑了亚核密度下的核变形和从核到均匀核物质的相变。与LLPR模型和Cooperstein-Baron状态方程的计算结果进行了比较。还研究了改变体不可压缩性的影响。

**关键词：** 中子星状态方程；

### 1.16.2 Knowledge

### 1.16.3 Questions

---

1. Author: Lattimer, J. M. Swesty, F. D.

Address: Department of Earth and Space Sciences, State University of New York at Stony Brook,  
Department of Physics, State University of New York at Stony B Sony Brook, NY 11794, USA

DOI: 10.1016/0375-9474(91)90452-c

Journal: Nuclear Physics A(1991).



## 1.17 Neutron-Star and Black-Hole Binaries in the Galaxy<sup>1</sup>

### 1.17.1 Abstract

我们对双中子星的数量和诞生率进行了统计分析。我们估计在银河系中大约有 $10^{4.5}z_0$ 个这样的系统，其诞生率约为 $10^{-5}z_0 \text{ yr}^{-1}$ ，其中 $z_0(\text{kpc})$ 是高度标度，其期望值为几kpc。我们发现通过引力辐射损失而并合的双中子星系统，在 $200/h \text{ Mpc}$ 的星系中，应该大约每年发生一次。我们还估计大约在每 $10^2z_0$ 个大质量恒星的近双星系统中会有一个最终演化为双中子星系统。

质量大于 $50M_\odot$ 的原初恒星有可能形成黑洞。我们估计在银河系中的BH-NS双星系统的数量以及形成率与预计的BH-BH双星系统的是相当的。并且我们预测在脉冲星观测中可能会发现BH-NS双星。这样的天体可能是一个比PSR 1913+16或PSR 1534+12更好的广义相对论实验室。BH-NS双星系统可能也是强的引力辐射源。

**关键词：** 双星系统的统计学性质

### 1.17.2 Knowledge

### 1.17.3 Questions

---

1. Author: Narayan, R. Piran, T. Shemi, A.

Address: Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, MA 02138, Department of Physics and Astronomy, Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel

DOI: 10.1086/186143

Journal: Astrophysical Journal(1991).

## 1.18 The Rate of Neutron-Star Binary Mergers in the Universe - Minimal Predictions for Gravity-Wave Detectors<sup>1</sup>

### 1.18.1 Abstract

在许多引力波观测站可能观测到的源中，并合中子星双星是最可预测的。它们在可观测频率下的波形很容易计算。已经观测到三个将在不到哈勃时间内并合的双星脉冲星系统：两个在银河系盘中，一个在球状星团中。从这些星系的寿命和位置，我们信心十足地推断出银河系和球状星团系统的并合率的下限。利用其他星系的并合率与恒星形成率成比例，我们计算局部宇宙中预期的并合率。一个超保守的下限率为每年在1Gpc 内有三个。我们最好的估计，仍然保守，因为它只考虑那些已经观测到的系统，给出了在每200Mpc中每年三个以内。根据Ib型超新星的速率，在每年23/h Mpc内三次并合的上限。BH-BH双星系统并合和BH-NS双星系统并合的速率是依赖于模型的，但是与给定的NS-NS双星系统并合的速率是相当的。

**关键词：** 双星系统合并率；

### 1.18.2 Knowledge

### 1.18.3 Questions

---

1. Author: Phinney, E. S.

Address: Theoretical Astrophysics, 130-33, Caltech, Pasadena, CA 91125; and Institute for Theoretical Physics, University of California, Santa Barbara.

DOI: 10.1086/186163

Journal: Astrophysical Journal(1991).

## 1.19 LIGO: The Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory<sup>1</sup>

### 1.19.1 Abstract

激光干涉引力波天文台(LIGO)项目的目标是观测和研究天体物理中的引力波，并且将这些数据应用于物理和天文学方面的研究。LIGO将会促进涉及到引力的性质及其非线性动力学，黑洞的结构以及核物质的状态方程等方面的研究。它也能测量宇宙中的黑洞及中子星的质量、诞生率、碰撞及其分布，详细调查超新星的核心和极早期宇宙。LIGO的技术是最近20年才发展起来的。将会从1992年开始搭建，并且根据目前的计划安排，LIGO将会从1998年开始引力波的研究。

关键词： LIGO；

### 1.19.2 Knowledge

### 1.19.3 Questions

---

1. Author: Abramovici, A. Althouse, W. E. et al.  
Address: LIGO Science Steering Group.  
DOI: 10.1126/science.256.5055.325  
Journal: Science(1992).

## 1.20 Tidal Interactions of Inspiring Compact Binaries<sup>1</sup>

### 1.20.1 Abstract

我们讨论NS-NS和BH-NS双星系统的潮汐相互作用，并且认为它们在引力激励(gravitational inspiral)下不会被潮汐锁定。更具体的说，我们发现，对于一个受引力激励的质量为 $1.2M_{\odot}$ 的中子星，最短的潮汐同步时间超过了其原理衰减的时间，也就是说，不管其内部黏性如何，这个中子星在它被潮汐裂解之前都不能被潮汐锁定。对于一个质量更小的中子星，发生潮汐锁定需要一个大到难以置信的运动黏滞系数——接近光速再乘以恒星的半径。我们还认为当中子星(轨道半径)达到潮汐半径时出现的质量转移在NS-BH双星系统中会变得不稳定，并且这个不稳定性会在几个轨道周期以内破坏中子星。除了质量小于 $0.5M_{\odot}$ 的中子星以外，NS-NS双星系统的命运也一样。我们还讨论了关于我们的工作对于LIGO和其他引力波天文台探测这类源的意义，以及对 $\gamma$ 射线暴探测器Paczynski的意义。

**关键词：** 双中子星系统；潮汐形变；

### 1.20.2 Knowledge

### 1.20.3 Questions

---

1. Author: Bildsten, L. Cutler, C.

Address: Theoretical Astrophysics Mail Code 130-33 California Institute of Technology Pasadena, CA 91125.

10.1086/171983

Journal: Astrophysical Journal(1992).

## 1.21 Formation of Very Strongly Magnetized Neutron-Stars - Implications for Gamma-Ray Bursts<sup>1</sup>

### 1.21.1 Abstract

在引力塌缩后的几秒内当环境刚好满足有效螺线发电机作用(efficient helical dynamo action) 时, 可以形成具有异常强的磁偶极场( $10^{14} - 10^{15}\text{G}$ )的中子星。这样一个强磁场的中子星即”磁星”, 其初始的转动周期约为1ms, 但是通过磁制动很快的丧失大部分转动动能, 将大量能量注入相关的超新星。有几种独特的机制可以产生约1000km/s的反冲速度。这包括磁感应的各向异性中微子发射、核心转动的不稳定性 and 碎裂以及/或各向异性磁风。

磁星的探测相对比较难, 因为它们会比一般的脉冲星更快的降到射电死亡线(radio death line)以下, 并且它们可能不能被束缚在双星系统中。我们推出它们主要的可观测信号是由它们巨大的磁场能量所驱动的伽马射线暴。如果它们获得了巨大的反冲, 那么大多数的磁星都不能被束缚在星系中或驻留在一个扩展的星系的日冕中。有证据表明, 软伽马repeater源就是磁星。

最后, 我们注意到, 在中子星双星并合之后, 当并合后的恒星存活长达10-100ms时, 对流发电机也能够产生非常强的偶极场。

**关键词:** 磁化中子星;

### 1.21.2 Knowledge

### 1.21.3 Questions

---

1. Author: Duncan, R. C. Thompson, C.

Address: Department of Astronomy and McDonald Observatory, University of Texas, Austin TX 78712. Canadian Institute for Theoretical Astrophysics, University of Toronto, 60 St. George Street, Toronto, Ontario, Canada M5S 1A1.

DOI: 10.1086/186413

Journal: Astrophysical Journal(1992).

## 1.22 1st-Order Phase-Transitions with More Than One Conserved Charge - Consequences for Neutron-Stars<sup>1</sup>

### 1.22.1 Abstract

我们考虑具有多于一个守恒量(conserved charges)的系统（多组分系统）的一阶相变如何区别于仅具有一个守恒量的系统的。在这两种情况下，相变的性质一般是不同的。也许最重要的是，压力随着相在平衡中的比例而连续变化，并且与我们熟悉的比如单组分系统中的气液转变不同，在混合相中不是常数。我们确定这个差异是由粒子物理引起的。在电荷是守恒量之一的情况下，预期在混合相中会存在几何结构。例如，提出中子星的一个可能的结构，在这种结构中其核心处发生了到夸克物质的转变。本文还指出在存在三个守恒量(重子、电荷和奇异性)的所谓的阻停或丰重子区域发生的相对论性核碰撞的一般性结果，并且影响了对于有限强子物质到夸克物质的相变(作为假设是由压力驱动的标记)的预期。这里讨论的物理也与低能核碰撞中正在研究的亚核气液相变有关。

**关键词：** 中子星的物质；状态方程；

### 1.22.2 Knowledge

### 1.22.3 Questions

---

1. Author: Glendenning, N. K.

Address: Nuclear Science Division, Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, One Cyclotron Road, Berkeley, California 94720

DOI: 10.1103/PhysRevD.46.1274

Journal: Physical Review D(1992).

## 1.23 Magnetic-Field Decay in Isolated Neutron-Stars<sup>1</sup>

### 1.23.1 Abstract

我们研究了促进孤立中子星磁通量损失的三种机制。欧姆衰变产生磁场相对于带电粒子的扩散。它以与电导率成反比、与磁场强度无关的速率进行。欧姆衰变发生在中子星的流体核和固体壳中，但它太慢而不能直接影响恒星尺度的磁场。

偶极扩散涉及磁场和带电粒子相对于中子的漂移。如果质子形成正常流体，则漂移速度与磁场强度的二次方成正比。偶极扩散的变化包括浮力上升和磁通量管的超流体中子涡的拖曳。偶极扩散作用在流体核的外部，其中带电粒子组成是均匀的，(带电粒子)只存在质子和电子。与偶极扩散相关的带电粒子流分解为有旋分量和无旋分量。两个部分都受到摩擦力的阻尼。无旋分量会扰乱中子、质子和电子之间的化学平衡，从而产生压力梯度，其能够有效的阻尼这个(无旋分量)。其有旋分量能够在短时间内将磁通量从外核心传输到壳层。穿过带电粒子组成不均匀的内核的磁通量将永久地被捕获，除非粒子相互作用能够迅速阻尼掉对化学平衡偏离。

磁场会受到一个与霍尔电场有关的霍尔漂移效应的影响。漂移速度与磁场强度成正比。霍尔漂移能贯彻整个中子星。与欧姆衰减和偶极扩散不同，霍尔漂移是非耗散的。霍尔漂移的磁场能量保持守恒。所有它本身并不能造成磁场的衰减。但是他可以提高欧姆耗散率。在固体壳层中，只有电子是可移动的，并且霍尔角的正切很大。在这里，磁场的演化类似于在不可压缩流体中大雷诺数的涡旋。这让我们推测受到湍流级联影响的磁场，会在小尺度内被欧姆耗散消耗掉。小尺度内的磁场分量也由霍尔漂移波将其从欧姆耗散较慢的内壳层传播到欧姆耗散极快的外壳层。穿过壳层的磁通量扩散为 $5 \times 10^8 / B_{12} \text{yr}$ ，其中 $B_{12}$ 是壳层的磁场强度，单位是 $10^{12} \text{G}$ 。

**关键词：** 中子星的磁场；

### 1.23.2 Knowledge

### 1.23.3 Questions

---

1. Author: Goldreich, P. Reisenegger, A.

Address: California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125

DOI: 10.1086/171646

Journal: Astrophysical Journal(1992).

## 1.24 Gamma-Ray Bursts as the Death Throes of Massive Binary Stars<sup>1</sup>

### 1.24.1 Abstract

我们提出伽马射线暴是产生于宇宙尺度上的双中子星系统以及BH-NS双星系统的并合。这两个不同的过程为爆发提供了电磁能量：在并合过程中中微子-反中微子湮灭为正负电子对，以及在并合后不同转动的盘的Parker不稳定性产生的磁耀斑(flare)。在这两种情况下，初始产生了一个100km大小的可见光范围内的厚的火球，它在开始辐射前会超相对论的膨胀到一个很大的半径。目前这个方案只是定性的（讨论），但是已经排除了先前许多对宇宙并合模型的异议。应该在星系中心附近，但不是中心处探测到最强的爆发，并且应该伴随有能够被LIGO探测到的来自于双星并合的引力辐射的爆发。

**关键词：** 双星并合；伽马射线暴

### 1.24.2 Knowledge

### 1.24.3 Questions

---

1. Author: Narayan, R. Paczynski, B. Piran, T.  
Address: NaN  
DOI: 10.1086/186493  
Journal: Astrophysical Journal(1992).



## 1.25 Millisecond Pulsars with Extremely Strong Magnetic-Fields as a Cosmological Source of Gamma-Ray Bursts<sup>1</sup>

### 1.25.1 Abstract

由康普顿 $\gamma$ 射线天文台上的BATSE设备观测到的 $\gamma$ 射线暴的空间和亮度分布, 为爆发源是在宇宙尺度上的观点的复兴提供了支持。我提出了一个在宇宙尺度上的 $\gamma$ 射线暴新的模型, 其基于具有量级在 $10^{15}$ G的表面磁场的中子星的快速转动的中子星的形成。这样的天体就像磁暴双星(magnetic cataclysmic binaries)一样, 可以通过吸积双星系统中具有异常高的磁场的白矮星后引力塌缩形成。一旦形成, 这样一个快速转动的强磁化的中子星会灾难性地在秒或更短的时标内损失其转动动能: 磁场转动产生强电场, 从而产生正负电子等离子体, 其将具有光学厚度和准热力学平衡。这种等离子体以相对论性的速度溢出中子星, 并且在这种相对论性的风的光球处发射 $\gamma$ 射线和X射线, 或许然后会再产生 $\gamma$ 射线暴的可观测特性。

**关键词:** 磁化中子星; 中子星磁场;

### 1.25.2 Knowledge

### 1.25.3 Questions

---

1. Author: Usov, V. V.

Address: Physics Department, Weizmann Institute of Science Rehovot 76100 Israel.

ISSN: 0028-0836

Journal: Nature(1992).

## 1.26 Neutron star crusts<sup>1</sup>

### 1.26.1 Abstract

我们用改进的核哈密顿量计算了中子星物质在亚核密度下的性质。在密度约为 $0.6n_s$ 时，核消失，物质变得均匀，其中 $n_s = 0.16 \text{ fm}^{-3}$ 是核物质的饱和密度。因此，中子星壳层中的物质质量只有先前估计的一半大。在大约一半的壳层物质中，核物质以与普通的低密度球状核非常不同的形状出现。较薄的壳层和不寻常的核形状对中子星的旋转和热演化理论，特别是glitch 理论有重要的影响。

**关键词：** 中子星的物质；状态方程；9

### 1.26.2 Knowledge

### 1.26.3 Questions

---

1. Author: Lorenz, C. P. Ravenhall, D. G. Pethick, C. J.

Address: Department of Physics, University of Illinois at Urbana Champaign, 1110 West Green Street, Urbana, Illinois 61801.

DOI: 10.1103/PhysRevLett.70.379

Journal: Phys Rev Lett(1993).

## 1.27 Neutron-Star Dynamos and the Origins of Pulsar Magnetism<sup>1</sup>

### 1.27.1 Abstract

年轻的中子星是对流的，其磁场的放大几乎是不可避免的。如果中子星的平均磁压与湍流压之比等于在太阳对流区上部观察到的，那么在熵驱动的对流期间就会产生强度为 $3 \times 10^{15} \text{G}$ 的磁场。1ms的对流翻转时间可能比典型的脉冲星的初始转动周期短得多。如果初始的转动周期大于30ms(对于明显更短的转动周期可能也成立)，放大场的能量绝大部分都来自于对流，而不是转动差异。因此转动所起的作用比在太阳的动力机制的中更小，所以场放大的主流模型将具有比恒星半径小得多的尺度。自转周期 $P_{rot} \lesssim 30 \text{ms}$ 的原脉冲星(proto-pulsar)在中微子扩散的最后阶段，大尺度的 $\alpha - \Omega$ 动力机制是可能的，并且可能更早，如果在熵驱动对流开始之前存在一个缓慢混合的postbounce 相。

中子星对流，是一种瞬态现象，并且具有极高的雷诺数， $\mathfrak{R}_m \sim 10^{17}$ 。从这种意义上说，中子星的动力机制是一种典型的快的动力机制。在大于中微子的平均自由程 $\sim 10^2 \text{cm}$ 的尺度上，对流只是轻微的湍流，但是在小尺度上湍流会很强。对中子星动力机制的研究引出了几个关于快速动力机制理论的基本问题，特别是在镜像对称湍流中动力机制的可能性。其他问题包括湍流扩散所起的作用、邦迪-金定理的相关性以及产生的场的间歇程度。我们认为，在任何high-dynamo中，当磁场压力超过最小湍流尺度的湍流压力时，大部分磁能都集中在thin flux rope。

年轻的中子星的大部分磁能可能都驻留在比刚诞生的中子星的单个对流单元的尺寸 $\sim 1 \text{km}$ 的尺度上，即使在对流期间产生的场的很小一部分被保留，表面场强度也明显超过简单的偶极模型的预期。中子星的壳层中的场应该有许多不连续的地方，在这些地方它们的重连会被中子星稳定的分层所抑制。壳层中的扩散过程最终允许磁场重新连接，这可能会导致自旋下降速率的产生一个持续、可探测的偏移。这个场应该提供足够的自由能来驱动观测到的最大的glitch。

我们还研究了大质量恒星演化的对流运动的各个阶段的动力机制的可能性，并且还对比了白矮星和中子星的前身的性质。一般来说，对流运动的Rossby数和能量密度都是随着演化过程而增大的。因此，在对流的最初的阶段为 $\alpha - \Omega$ 动力机制提供了最合适的情况，而在对流的最后阶段产生了最强的磁场。在能量基态，对流的主要阶段能够解释中子星的偶极场的强度大于 $10^{12} - 3 \times 10^{13} \text{G}$ 。

1. Author: Thompson, C. Duncan, R. C.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/172580

Journal: Astrophysical Journal(1993).

如果这个偶极场是在塌缩后产生的，那么这个场强是当许多强度为 $10^{14-10^{15}}$  G、大小在1km左右的小的偶极场的随机叠加自然产生的。塌缩后的对流应该破坏掉任何以前存在的磁场与转动轴之间的关联。磁场引起的中微子球层的亮度的波动也会给与恒星一个量级似乎在100km/s的反冲。

我们考虑了在新生中子星中产生的强磁场对超新星爆炸的影响，包括通过反应 $\nu \rightarrow \nu + e^+ + e^-$ 在恒星外部沉积能量，通过中子散射捕获在磁通管道中的电子对，以及通过更传统的机制，如磁重整和MHD波。如果乐观假设关于动力学产生的磁场的强度，这些能量源中的一些可能足以恢复失速的超新星冲击波。我们还简要地讨论了极强磁场在产生伽马射线爆发中的可能作用。

**关键词：** 中子星的磁场；中子星演化；

### 1.27.2 Knowledge

### 1.27.3 Questions

## 1.28 Gamma-Ray Bursts from Stellar Mass Accretion Disks around Black-Holes<sup>1</sup>

### 1.28.1 Abstract

本文探索了伽马射线爆发的宇宙学模型，其中辐射是沿着一个不断增长的黑洞的旋转轴作为宽射束火球对产生的。这个黑洞可能是由中子星或BH-N并合产生的，但是对于长的复杂的爆发来说，更有可能是来自于具有自旋的Wolf-rayet恒星(“失败的” Ib型超新星)的塌缩。这个吸积盘在几何上是很厚的，并且在吸积盘内100km的范围内具有零点几个太阳质量。对于“失败”的超新星的情况，这个吸积盘被塌缩的恒星喂养了更长的时间。在内边缘，圆盘厚到其自身能够产生中微子发射，并且在几秒的弹性时间尺度内演化。在大约横跨30公里的区域，在吸积盘内部，沿着其旋转轴，由中微子湮灭及中微子-电子散射产生的一对火球，其能量沉积约为 $10^{50}$ erg/s。在重子污染高且膨胀时间尺度增大的情况下，电子散射更为重要。从圆盘上也可能出现广泛的重子质量损失，这可能给硬爆发的产生带来问题。伽玛射线爆发与否，这类事件都应该发生在自然界中，并且应该有一个可观测的对应物。

**关键词：** 伽马射线暴机制；

### 1.28.2 Knowledge

### 1.28.3 Questions

---

1. Author: Woosley, S. E.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/172359

Journal: Astrophysical Journal(1993).

## 1.29 Rapidly Rotating Neutron-Stars in General-Relativity: Realistic Equations of State<sup>1</sup>

### 1.29.1 Abstract

我们构建了处于广义相对论下的中子星的平衡序列。我们比较了14种核状态方程的结果。我们确定了这些中子星的一些重要物理参数，包括最大质量和最大自旋速率。评估了构型的准径向摄动的稳定性。我们采用一种特别适合于处理快速旋转和极大偏离球对称的数值格式。我们提供了广泛的模型表供将来参考。研究了两类固定重子静止质量和熵的演化序列：表现得非常像牛顿演化序列的正常序列和仅仅由于广义相对论效应而存在于中子星中的超大质量(supramassive)序列。能量和角动量的绝热耗散导致恒星沿演化序列以准静止方式演化。超大质量序列的质量超过非旋转中子星的最大质量。超大质量中子星向着最终灾难性塌缩成黑洞的方向演化。在坍塌之前，恒星失去角动量时实际上会自旋加快，这种效应可能提供引力塌缩到黑洞的可观测的预兆。

**关键词：** 转动中子星；状态方程；

### 1.29.2 Knowledge

### 1.29.3 Questions

---

1. Author: Cook, G. B. Shapiro, S. L. Teukolsky, S. A.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1086/173934  
Journal: Astrophysical Journal(1994).

### 1.30 Gravitational-Waves from Merging Compact Binaries

#### - How Accurately Can One Extract the Binary Parameters from the Inspiral Wave-Form<sup>1</sup>

##### 1.30.1 Abstract

对于计划中的千米大小的激光干涉探测器LIGO和VIRGO来说,最有希望的引力波源是并合紧凑的双星,即NS-NS、NS-BH和BH-BH双星。研究了如何用从三个探测器LIGO-VIRGO网络组成的“先进探测器”(将在开工后几年内建成)得到的引力波信号精确地测量到源的距离以及两个星体的质量和自旋。在可观测波形中的大量周期增加了我们对那些可以影响Inspiral率,以及由此而来的波形相位的演化的灵敏度。因此,这些参数比影响波形极化或振幅的参数要精确得多。对于最低阶的牛顿展开,波形的相位的演变只依赖于两个物体的质量 $M_1$ 和 $M_2$ 的组合 $\mathcal{M}_1 \equiv (M_1 M_2)^{3/5} (M_1 + M_2)^{-1/5}$ ,即所谓的啁啾质量。对于牛顿展开的一阶项,波形相位敏感地依赖于折合质量 $\mu = M_1 M_2 / (M_1 + M_2)$ ,原则上能够高精度地测量 $M_1$ 和 $M_2$ 。我们证明了测量 $M_1$ 和 $M_2$ 的主要障碍是post-1.5-Newtonian星体自旋对波形相位的影响与允许我们决定 $\mu$ 的效应相似。啁啾质量的测量精度为 $\Delta\mathcal{M}/\mathcal{M} \simeq 0.1\% - 1\%$ 。然这是一个非常小的误差,但是它比先前对忽略后牛顿效应的 $\Delta\mathcal{M}/\mathcal{M}$ 的估计要大约10倍。对于NS-NS和BH-BH双星系统,折合质量 $\mu$ 的测量误差约为10%-15%,对于BH-BH(假设黑洞的质量为 $10M_\odot$ )双星系统,其误差约为50%。质量与自旋的测量是紧密相关的, $\mu$ 和自旋角动量结合的测量精度在1%以内。此外,如果已知它们的自旋都很小(分别 $\lesssim 0.01M_1^2$ 、 $\lesssim 0.01M_2^2$ ),那么 $\mu$ 的误差小于1%。最后,在早期Markovic的工作的基础上,我们导出了对于任意的探测器网络测量到双星系统的距离 $D$ 的误差 $\Delta D$ 的近似的解析表达式。这个表达式精确到 $1/\rho$ 的一阶线性项,其中 $\rho$ 是信噪比。我们还发现,与先前预期的相反, $1/\rho$ 的非线性项对 $\Delta D/D$ 的贡献是显著的,并且我们建立了一个包含这些非线性效应的主要部分的近似方案。利用蒙特卡罗模拟我们估计,对于LIGO-VIRGO三探测器网络,当信号探测精度分别为8%和60%时,距离测量的精度分别 $\leq 15\%$ 、 $\leq 30\%$ 。

**关键词:** LIGO; 引力波信息的提取

##### 1.30.2 Knowledge

##### 1.30.3 Questions

---

1. Author: Cutler, C. Flanagan, E. E.

Address: NaN.

DOI: 10.1103/PhysRevD.49.2658

Journal: Physical Review D(1994).

## 1.31 High Birth Velocities of Radio Pulsars<sup>1</sup>

### 1.31.1 Abstract

中子星通常诞生于大质量恒星的超新星爆发期间。在超新星爆发期间任何微小的不对称性，都会使中子星具有很高的反冲速度。脉冲星(快速旋转的磁化中子星)通常被认为具有很高的空间速度，但是新的对天体固有运动的测量，对脉冲星采用了新的距离尺度，以及认识到以前的速度都会系统性的小两倍(ref. 8)，促使我们重新估测这些速度。这里，考虑到会使观测到的速度与中子星诞生时所需要的速度不相符的强烈的选择效应，我们得到中子星诞生时的平均速度为 $450 \pm 90 \text{ km/s}$ 。这超过了双星系统、球状星系团以及银河系的逃逸速度，所以这会影响我们理解中子星在这些系统中的存留。这些留存在银河系中的中子星的分别将会比我们预想的要更各向同性，这可能产生会类似于 $\gamma$ 射线暴的分布。

**关键词：** 中子星的诞生；超新星爆发；

### 1.31.2 Knowledge

### 1.31.3 Questions

---

1. Author: Lyne, A. G. Lorimer, D. R.

Address: NaN.

DOI: 10.1038/369127a0

Journal: Nature(1994).



## 1.32 The R-Process and Neutrino-Heated Supernova Ejecta<sup>1</sup>

### 1.32.1 Abstract

中子星是由大质量恒星的铁核芯塌缩形成的，其Kelvin-Helmholtz演化的特征是以中微子的形式释放引力结合能。中微子与中子星外面的加热物质相互作用，在大气层中产生了一个近似处于流体静力学平衡的状态的热气泡，并且在大约10s后被加热到熵 $S/N_A k \gtrsim 400$ 。通过气泡向外运动的物质的中子-质子比由核子的中微子和反中微子俘获之间的平衡确定。因为此时的电子反中微子谱比电子中微子谱更热，所以气泡是丰中子的( $0.38 \lesssim Y_e \lesssim 0.47$ )。先前利用图表模型的方法已经证明在这样的环境中非常适合产生重元素的r-过程。本文将 $20M_\odot$ 的“延时”超新星爆炸的数值模型提高到能够跟踪穿过气泡的物质在适合r-过程核合成的晚一点的时候的演化细节。超新星模型预测，抛射的最终动能为 $1.5 \times 10^{51} \text{erg}$ ，而剩余的重子物质的质量为 $1.5M_\odot$  (引力质量为 $1.45M_\odot$ )。我们跟踪了最终会被质子-中子星抛射出 $0.03M_\odot$ 的重元素以及在核心塌缩至多18秒内被排出下至 $< 10^{-6}M_\odot$ 的物质的 $\rho(t), T(t), Y_e(t)$ 的对数网格中的40条反应道的热力学的和组分的演化。我们发现，在核合成计算中，在没有可调参数的情况下，获得了对太阳r-过程丰度分布的极好的拟合。此外，这些丰度是以解释当前银河系丰度所需的量产生的。然而，在以前，这个一维模型在熵为 $S/N_A k \sim 50$ 以及 $Y_e \sim 0.46$ 时会抛射出太多的物质。与太阳的丰度相比，这会导致N=50的核，特别是 $^{88}\text{Sr}, ^{89}\text{Y}, ^{90}\text{Zr}$ 出现一个不可接受的过度产生。我们探索了各种方法，在任然产生当前数量的r-过程的物质的情况下，避免前面的N=50的同中子素的过量产生和/或抛射。

关键词：超新星；

### 1.32.2 Knowledge

### 1.32.3 Questions

---

1. Author: Woosley, S. E. Wilson, J. R. Mathews, G. J. Hoffman, R. D. Meyer, B. S.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/174638

Journal: Astrophysical Journal(1994).

### 1.33 On the Nature of Core-Collapse Supernova Explosions<sup>1</sup>

#### 1.33.1 Abstract

我们在这篇文章中研究了一维和二维的情况下核心塌缩的超新星爆发机制。利用基于PPM算法的辐射/流体动力学程序，我们验证了中微子驱动的激波与中微子层之间的翻转（对流）在点燃超新星爆炸中的作用。我们这里给出的 $15M_{\odot}$ 的恒星核心的二维模拟表明，球对称性的破缺可能就是爆炸本身的中心，并且大量的弯曲和断裂是喷流的共同特征。如同一维一样，爆炸在数学上似乎是一个临界现象，在通过失速冲击达到临界质量吸积速率之后，从稳定状态演变为爆炸。在二维模拟中，在爆炸前预爆对流相持续了大约30次(100ms)的翻转。二维预爆稳态与一维预爆稳态相似，但在二维预爆稳态中，由于物质在翻转区的停留时间较长，在失速冲击后获得的平均熵较大。此外，对流区的熵梯度更平缓。这些效应与轻的羽状喷流的动力学压力一起似的稳态激波半径 $R_s$ 比在一维情况下增加了30%-100%。对于一个给定的 $\dot{M}$ ，一个大的 $R_s$ 会增大增益区的体积，使激波物质的引力势能更低，并且降低了激波的吸积冲击压力。这样爆发的临界条件就放宽了。由于“逃逸”温度 $T_{esc}$ 随半径的减小比冲击波后的实际温度( $T$ )的减小更快，所以一个更大的 $R_s$ 会更大比例的激波物质超过局部逃逸速度。 $T > T_{esc}$ 是产生热驱动电晕弹射一个恒星的条件。在一维、二维或三维的情况下，因为超新星是由中微子加热驱动的，所以，虽然它们初始是被吸积柱所束缚的，但是它们是一种日冕现象，类似于太阳风。中微子辐射压力是不重要的。

我们发现在超新星爆发前和后，大的涡流和小涡流都是共存的。在超新星爆发前的不稳定区域，柱状下降流是准周期的形成和破灭的。这些羽状流会激发内部的非线性g-模式，其会对对流产生反馈，并且导致羽流在中微子层上弯曲。径向中微子通量随角度和时间而波动，对中微子层的各向异性物质通量的响应高达3倍。冲击波内部不稳定区域的沸腾运动集中于中微子加热的气泡，这些气泡上升并与激波随机碰撞，其半径在角度和时间上的振荡高达30%。角平均中微子发光度以其特有的方式在爆炸后变化高达60%，并下降2倍。

中微子层内部的区域具有弱不稳定的轻子和熵梯度，这些梯度在核芯弹射后驱动持续的对流运动。然而，这种对流对驱动对中微子亮度的影响似乎与对流疏浚效应和变化很大的吸积分量相比就显得很微小了。

我们没有看到任何在爆炸前的能量‘产生’或吸积的迹象，在吸积柱塞衰

1. Author: Burrows, A. Hayes, J. Fryxell, B. A.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/176188

Journal: Astrophysical Journal(1995).

减的过程中，动能保持守恒。事实上，在爆炸前，翻转区的总的能量稳定的减小。此外，我们还注意到对中微子输运算法的重要依赖性。当提到对流对塌缩结果的影响时，我们会避开“稳健”等术语。

中微子能量是在激波通过内部的数千公里传播的过程中被注入超新星的，并且不是“瞬间的”。奇怪的是，在爆炸刚被触发后，最终会被喷射出来的物质仍然是被束缚的。此外，对于给定的渐近爆炸能，达到爆炸核合成温度的质量比之前假设的要小。这可能有助于解决以前的爆炸核合成模型中遇到 $^{56}\text{Ni}$ 过多产生的问题。

从我们的模型的核心得到的直接结论似乎是可以很自然的解释在SN 1987A看到的以及在一些超新星遗迹中强烈表明存在的镍抛射团。此外，激波内部强烈的对流运动可以给与残余物质一个反冲速度和自旋。前者的量级可能在观察到的脉冲星正常的运动的范围内，但仍需进行大量新的计算来验证这一点。在爆炸后的100ms内，一股强大的中微子驱动的风正从前生中子星向外吹出，它清除了内部的物质，并且，在这个过程中，不允许物质再回落。在上升的爆炸羽流的基部（在早期风中），喷射出一些高熵( $\sim 60$ )团，其随后的演化可能与R过程有关。

**关键词：** 超新星；

### 1.33.2 Knowledge

### 1.33.3 Questions

## 1.34 Comparing Models of Rapidly Rotating Relativistic Stars Constructed by 2 Numerical-Methods<sup>1</sup>

### 1.34.1 Abstract

本文第一次对建立快速旋转相对论性恒星的两种不同的数值方法的代码进行了直接比较。其中一种方法是基于Stergioulas编写的Komatsu-Eriguchi-Hachisu(KEH)方法(Komatsu et al. 1989)，另一种是由Friedman, Ipser, & Parker修正的Butterworth-Ipser 代码(BI)。我们比较了两种方法得到的模型，并评估了两种代码的准确性和有效性。这种一致性出乎预料地好，并且基于BI的公布了数据的在最大频率处的误差条主要不是由代码不准确导致的，而是由用于近似连续恒星序列的模型的数量决定的。BI代码每次迭代的速度更快，并且在低密度区域收敛更快；而KEH在高密度时收敛更快；在BI代码不能收敛的区域，KEH也能收敛，让我们能够计算BI代码无法进行的一些模型在塌缩过程中的不稳定性。一个最近报告的相对较大的基于Friedman-Pandharipande状态方程的模型的差异，被发现是由于使用了两个版本的状态方程。对于两种代表性的状态方程，平衡参数的二维空间被显示为由角动量、质量和中心密度构成的三维空间中的一个面。对于给定的状态方程，我们发现具有最大质量值、重子质量和角动量的平衡模型（一般来说）要么都不稳定，要么都是稳定的。在第一种情况下，具有最大角速度的稳定模也是具有最大质量、重子质量和角动量的模型。在第二种情况下，具有这些量的最大值的稳定模型都是不同的。我们对KEH方法的实现将作为一个公共领域计划提供给感兴趣的用户。

### 1.34.2 Knowledge

### 1.34.3 Questions

---

1. Author: Stergioulas, N. Friedman, J. L.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/175605

Journal: Astrophysical Journal(1995).

## 1.35 The Soft Gamma-Repeaters as Very Strongly Magnetized Neutron-Stars .1. Radiative Mechanism for Outbursts<sup>1</sup>

### 1.35.1 Abstract

提出了一个关于软伽马射线重复源和活跃的1979 3月5日的爆发的辐射模型。我们认为这些爆发的源是比具有一般的脉冲星强得多的额外磁场的中子星。有几个独立的观点认为3月5日的事件的源是具有  $B_{\text{dipole}} \sim 5 \times 10^{14} \text{G}$  的磁场的中子星。一个非常强的磁场可以：(i)在周围的超新星遗迹的年龄  $10^4$  年内，将中子星的自旋下降至8s的周期；(ii)为March 5 事件提供足够的能量；(iii)潜在增长时间可以与March 5事件的初始的硬的相变的  $\sim 0.2 \text{ s}$  的宽度相比比例的大尺度的交换不稳定性；(iv)限制这次爆发中的软的拖尾所辐射的能量；(v)减小康普顿散射的截面，足够产生是(无磁场的)Eddington通量的  $10^4$  倍的辐射通量；(vi)为了解释软伽马射线重复源的活动，需要在对应的  $10^4 \sim 10^5 \text{ yr}$  里明显的衰减；(vii)驱动当其在恒星内部扩散时被 *Einstein* 和 *ROSAT* 观测到的  $L_X \sim 7 \times 10^{35} \text{ erg s}^{-1}$  的静态X 射线辐射。

我们提出了1979 March 5事件是由中子星磁场的大尺度的重连/交换不稳定性触发的，而软的重复的爆发是由中子星壳层的破裂触发的。March 5事件的最初的硬的峰值是由一对扩张的火球，和那次爆发的软的拖尾，共同伴随的短的、软的重复爆发，和一对被困在中子星磁层中的等离子体确认的。我们构建了描述这种等离子体冷却的详细辐射模型。不透明度主要由冷表面层中的电子重子污染物控制，等离子体释放能量，这是由于以电子重子为主导的区域的边缘向内传播，即冷却波。等离子体体积收缩的速率要么受到朝向恒星表面（磁场最强，散射不透明度最弱）的热平流速率的限制，要么受到来自恒星表面的离子和电子烧蚀的限制。

在辐射通量受到来自中子星表面的烧蚀限制（这是March 5事件中感兴趣的情况）的情况下，表面辐射的有效温度仅取决于表面磁场强度，否则较弱的依赖于等离子体能量密度。我们认为，在弱得多的磁场（普通脉冲星的特征）中，等效的能量沉积必然产生一个非常高的散射深度，这会在然伽马射线重复源爆发的0.1 s的时间尺度内阻塞掉辐射通量。事实上，我们认为，同样的基本磁层发射机制在场强更低 ( $B \sim 10^{12} \text{ G}$ ) 的II 型X射线爆中起作用，这种爆发比软伽马射线重复源爆发的亮度低很多。

重要的磁场辐射效应包括在特别的极化模式下对康普顿散射的抑制和受激

---

1. Author: Thompson, C. Duncan, R. C.

Address: NaN.

DOI: 10.1093/mnras/275.2.255

Journal: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society(1995).

光子分裂。我们推导了描述受激光子分裂和光子合并的光子占据数的布尔兹曼方程。结果表明，在热平衡条件下，净劈裂率消失。虽然O模式的快速散射确保光子分布函数收敛到玻色-爱因斯坦形式，但是辐射扩散主要发生在E 模式下。这允许我们把光子能量通量和数通量的扩散方程写成温度和化学势梯度的线性叠加。从普朗克光谱到玻色-爱因斯坦光谱的转变发生在 $T \sim 10$  keV时。高温下的光子分裂会阻碍光子穿过磁力线时的自由流动，但光子并合的逆过程会阻碍高能光子的分裂。

我们证明，在爆发期内，只有一小部分成对的气泡的能量能被传导到壳层中。我们讨论了在磁层的成对的等离子体消散后，来自于被加热的恒星表面的物质的辐射侵蚀。随后的表面余辉通常是爆发的亮度的1%。等离子体的直接的成对的中微子冷却对于软伽玛射线重复源的爆发并不重要，但可能有助于确定March 5事件的光变曲线。最后，我们把这个模型和那些伽马射线重复源的爆发是由吸积触发或/和涉及表明冷却的模型进行了关键的对比。

### 1.35.2 Knowledge

### 1.35.3 Questions

## 1.36 Nucleosynthesis in neutrino-driven winds .1. The physical conditions<sup>1</sup>

### 1.36.1 Abstract

在它生命的前20秒，中子星巨大的中微子亮度驱动了其表面可观的质量损失。以前的研究表明，这个中微子驱动的风可以出现R过程。这个核合成过程对中微子风的4个参数敏感：质量损失率、每个重子的熵、电子的比率以及动力学时标。不同的作者，使用各种超新星的数值模型，得到大量不同的这些关键参数的值。这里，我们采用解析的方式得到这些值，并且通过使用隐式的流体力学代码进行数值计算来检验我们的解析解。使用我们解析的以及数值的方法，我们还研究了这些变化的参数怎样影响我们的结果。导出的熵通常比产生强R过程所需的值低2-3倍。我们还讨论了各种可能使风的熵更高或膨胀速度更快的各种参数。

### 1.36.2 Knowledge

### 1.36.3 Questions

---

1. Author: Qian, Y. Z. Woosley, S. E.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/177973

Journal: Astrophysical Journal(1996).

## 1.37 Hyperon-rich matter in neutron stars<sup>1</sup>

### 1.37.1 Abstract

利用扩展的相对论平均场模型研究了中子星中丰超子物质的状态方程。我们特别注意了最近提出的具有与Dirac-Bruckner计算更好的一致性的向量场的非线性行为。超子-超子相互作用也通过引入附加的介子交换来实现。利用这些新术语，我们避免了在高密度下发现的不稳定性，同时保持了对有限核系统的良好描述。我们还证明了在平均场方法中，中子星中的超子的存在和中子星中的超子-超子相互作用使kaon凝聚的开始变得不那么有利。

### 1.37.2 Knowledge

### 1.37.3 Questions

---

1. Author: Schaffner, J. Mishustin, I. N.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1103/PhysRevC.53.1416  
Journal: Phys Rev C Nucl Phys(1996).



## 1.38 The ultra-metal-poor, neutron-capture-rich giant star CS 22892-052<sup>1</sup>

### 1.38.1 Abstract

K巨星CS22892-052是一颗超贫金属恒星( $[\text{Fe}/\text{H}] \simeq -3.1$ ), 但它拥有迄今在任何正常的晕星中发现的中子俘获元素丰度的最大的增强。我们获得了新的高分辨率、高信噪比的CS22892-052光谱, 并确定了 $Z > 30$ 元素的详细丰度分布, 以便于与俘获核合成理论进行精确比较。在3700-6500 Å的波长范围内, 已有超过120个跃迁被用来获取20个这些元素的丰度。我们探测到了几种(Tb, Ho, Tm, Hf, Os)以前从没有在贫金属星中看到过的元素, 我们从一个清晰的、可见的、几乎没有混合的4019Å的特征谱线中推断出Th的丰度。

在CS22892-052中,  $56 \leq Z \leq 76$ 的元素与标准的太阳系统尺度的r-过程的元素丰度分布匹配的非常好。标准化的太阳系的s-过程或总的丰度不能很好的与观测数据拟合。Th的丰度与这些元素中其他元素的比率明显小于太阳系, 这建议CS 22892-052的年龄要明显大于4.5Gyr; 通过简单的计算推断出其下限为 $15.2 \pm 3.7$ Gyr。

### 1.38.2 Knowledge

### 1.38.3 Questions

---

1. Author: Sneden, C. McWilliam, A. Preston, G. W. Cowan, J. J. Burris, D. L. Armosky, B. J.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1086/177656  
Journal: Astrophysical Journal(1996).

## 1.39 Millisecond X-ray variability from an accreting neutron star system<sup>1</sup>

### 1.39.1 Abstract

我们报告了在Rossi X射线定时探测器（RXTE）上用比例计数器阵列（PCA）探测低质量X射线双星4U 1728-34的X射线发射的毫秒变化。在迄今为止分析的8次脉冲中，有6次在363Hz下出现振幅（rms）为2.5%-10%的脉冲。在1996年2月16日记录的两次连续爆发中发现最强的，当时静态计数率接近PCA发现的最高值。在这些爆发中的脉冲显示在开始的前几秒有1.5Hz的频率变化，但是随着爆发的衰减变得有效连贯。我们将363赫兹的脉冲解释为非均匀脉冲发射的旋转诱导调制。这是低质量X射线双星的毫秒自旋周期的第一个令人信服的证据。复杂的是，依赖于强度的、毫秒X射线变异性也存在于所有我们检验的静态通量区间(quiescent flux intervals)中。最有趣的是当计数率接近其最高观测水平时的行为。在650-1100Hz范围内同时观测到了两个准周期的振荡(QPOs)。这两个QPOs的频率一起增加，保持一个几乎恒定的约为363Hz的频率间隔，从脉冲振荡推断出了自旋周期。这一现象强烈地支持了对于在Z源中看到的水平分支振荡(HBOs)而提出的磁层拍频模型。我们讨论了对观测到的X射线变异性的这一个以及一些其他可能的物理解释。

### 1.39.2 Knowledge

### 1.39.3 Questions

---

1. Author: Strohmayer, T. E. Zhang, W. Swank, J. H. Smale, A. Titarchuk, L. Day, C.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1086/310261  
Journal: Astrophysical Journal(1996).

## 1.40 The soft gamma repeaters as very strongly magnetized neutron stars .2. Quiescent neutrino, X-ray, and Alfven wave emission<sup>1</sup>

### 1.40.1 Abstract

我们计算了一颗具有非常强的磁场的中子星发出的静态X射线、中微子和Alfvén波的辐射，辐射量分别为 $B_{\text{dipole}} \sim 10^{14} - 10^{15}$  G 和  $B_{\text{interior}} \sim (5 - 10)10^{15}$  G。这些结果与软伽玛射线重复源的静态发射观测结果以及一小类我们以前发现的认为是这类天体的异常X 射线脉冲星进行了比较。磁场而不是旋转提供了自由能的主要来源，而衰减的磁场能够驱动从这些源观察到的静态X射线发射和粒子发射。在普通射电脉冲星相关的弱场衰变中不存在的新特征包括中子星壳层破裂、核芯强烈加热以及垂直于磁场的热传导的有效抑制。当磁场通过核心的扩散运动被强迫穿过地壳时，会产生出多个小尺度的裂缝，以及一些能够驱动软伽马射线重复源爆发的大裂缝。核芯磁场的衰减率是温度的一个很强的函数，因此也是磁通密度的函数。该模型最有力的预测是，这些源不会产生与吸积盘的X射线加热相关的光学辐射。

### 1.40.2 Knowledge

### 1.40.3 Questions

---

1. Author:Thompson, C. Duncan, R. C.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1086/178147  
Journal: Astrophysical Journal(1996).

## 1.41 Model neutron star atmospheres with low magnetic fields .1. Atmospheres in radiative equilibrium<sup>1</sup>

### 1.41.1 Abstract

我们对  $B \lesssim 10^8 - 10^{10}$  G 的低磁场中子星的大气进行了详细的研究，这个并不影响大气物质的透明度和状态方程。我们计算了在中子星预期的大的有效温度和引力吸积范围内的大气层结构，总的光谱通量，以及氢、氦和铁大气的 specific intensity。铁大气是用 OPAL 不透明度库中的不透明度和状态方程来计算的。我们证明了模型大气光谱与黑体光谱有很大的不同。对于轻元素的大气，这个通量大于黑体辐射的通量，光谱在 高能区域更硬，而在低能量下，光谱通量遵循(表面)温度低于有效温度瑞利-金斯定律。铁大气的光谱在软 X 射线范围内表现出明显的光谱特征。The emergent specific intensity 表现出依赖于能量的各向异性。为了正确的解释中子星的可从 X 射线到紫外部分探测到的热力学成分，应该考虑中子星大气层的这些性质。特别的是，用黑体模型拟合这些热力学成分与可能导致在辐射区域的参数的严重不正确。我们讨论了我们的 大气模型在毫秒脉冲星 PSR J0437-4715 上的应用。

### 1.41.2 Knowledge

### 1.41.3 Questions

---

1. Author:Zavlin, V. E. Pavlov, G. G. Shibarov, Y. A.

Address: NaN.

ISSN: 0004-6361

Journal: Astronomy Astrophysics(1996).

## 1.42 The X-ray luminosity of rotation-powered neutron stars<sup>1</sup>

### 1.42.1 Abstract

由于最近对Rosat和ASCA的观察，在X射线能量下看到的旋转驱动脉冲星的数量大幅增加。本文综述了观测到的X射线发射特性的现象学。目前共检测到27个脉冲星，代表了广泛的年龄范围（ $10^3 - 7 \times 10^9$  年）、磁场强度（ $10^8 - 10^{13}$  G）和自旋周期（1.6-530ms）。尽管在参数上存在这些色散，但所有脉冲星都显示出与旋转能量损失密切相关的X射线亮度。这表明，大多数观测到的X射线是由同向旋转的磁层发出的磁层辐射产生的。只有三个中年脉冲星（PSR 0656+14, Geminga和PSR 1055-52）和可能的Vela脉冲星检测到额外的热成分，这可以归因于中子星表面的热发射。

### 1.42.2 Knowledge

### 1.42.3 Questions

---

1. Author:Becker, W. Trumper, J

Address: NaN.

ISSN: 0004-6361

Journal: Astronomy Astrophysics(1997).

## 1.43 Observations of accreting pulsars<sup>1</sup>

### 1.43.1 Abstract

我们总结了康普顿伽马射线天文台5年来通过脉冲和瞬变源实验（BATSE）连续监测吸积驱动脉冲星的情况。我们的20-70 keV观测确定或改进了13个双星的轨道参数，发现了5个新的瞬态吸积脉冲星，测量了12个瞬变源爆发期间的脉冲通量历史(GRO J1744[28, 4U 0115]634, GRO J1750[27, GS 0834[430, 2S 1417[624, GRO J1948]32, EXO 2030]375, GRO J1008[57, A0535]26, GRO J2058]42, 4U 1145[619, and A1118[616)，还测量了其中六个瞬变源（其轨道参数也已知）在爆发期间的吸积扭矩历史。我们还连续测量了八个持续吸积脉冲星的脉冲通量和自旋频率(Her X-1, Cen X-3, Vela X-1, OAO 1657[415, GX 301]2, 4U 1626[67, 4U 1538[52, and GX 1]4)。由于它们在长基线上的连续性和均匀性，BATSE观测为磁中子星的长期吸积行为提供了新的见解。我们发现，所有的吸积脉冲星在其自旋频率和光度上都显示出随机变化，包括那些在长时间尺度上显示长期自旋增加或自旋减小的脉冲星，这模糊了盘馈和风馈双星之间的常规区别。脉冲通量和吸积扭矩在瞬时吸积脉冲星的爆发中是强相关的，但在持续源中是不相关的，甚至是负相关的。我们描述了通过NASA/Goddard航天飞行中心的康普顿天文台科学支持中心提供的每日折叠脉冲剖面、频率和通量测量。

### 1.43.2 Knowledge

### 1.43.3 Questions

---

1. Author: Bildsten, L. Chakrabarty, D. et al.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/313060

Journal: Astrophysical Journal Supplement Series(1997).

## 1.44 A Skyrme parametrization from subnuclear to neutron star densities<sup>1</sup>

### 1.44.1 Abstract

重新审视Skyrme的有效力，以改善它们在从稳定线到未来实验设施将产生的最奇异核的同位旋自由度方面的行为。为了实现对中子滴注线附近核性质的最佳计算，提出了将UV14+UVII理论模型的中子物质状态方程拟合到高密度，以避免在skyrme框架内产生的状态方程的任何坍塌或非物理特征。对这些相互作用的最后和非常严格的限制使得对富中子核和中子星物质的前瞻性研究成为可能。

### 1.44.2 Knowledge

### 1.44.3 Questions

---

1. Author: Chabanat, E. Bonche, P. Haensel, P. Meyer, J. Schaeffer, R.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1016/s0375-9474(97)00596-4  
Journal: Nuclear Physics A(1997).

## 1.45 Composition and structure of protoneutron stars<sup>1</sup>

### 1.45.1 Abstract

我们研究了中子星诞生后不久的结构，每个重子的熵在10或100的量级并且中微子被困在动力学的时间尺度上。我们发现，这种结构更敏感地依赖于恒星的组成，而不是它的熵，并且捕获的中微子的数量在决定组成中起着重要的作用。由于结构主要由强相互作用组分的压力决定，而强相互作用的性质在高密度时不太清楚，因此我们考虑了几种致密物质模型，包括富含奇异超子的物质、Kaon凝聚态和夸克物质。

### 1.45.2 Knowledge

### 1.45.3 Questions

---

1. Author: Prakash, M. Bombaci, I. Prakash, M. Ellis, P. J. Lattimer, J. M. Knorren, R.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1016/s0370-1573(96)00023-3  
Journal: Physics Reports-Review Section of Physics Letters(1997).



## 1.46 Equation of state of nucleon matter and neutron star structure<sup>1</sup>

### 1.46.1 Abstract

利用变分链求和方法和新的为nijmegen数据库中所有核子-核子散射数据提供了一个很好的拟合的Argonne  $\nu_{18}$ 两核子相互作用研究了稠密核子物质的性质和中子星的结构。用这种相互作用得到的中子星引力质量极限是 $1.67M_{\odot}$ 。对两核子相互作用的促进修正,给出了相对论效应主导的 $(\nu/c)^2$ 项,与三核子相互作用一样,也包含在了核哈密顿量中。它们的连续添加将质量限制增加到了 $1.80$ 和 $2.20M_{\odot}$ 。含三个核子相互作用的哈密顿量预测了在重子数密度为 $\sim 0.2fm^{-3}$ 时中子星物质向中性介子凝聚相的转变。由这些哈密顿量预测的中子星有一个厚度约为数十米的层,在这个层上,密度从正常状态迅速变为凝聚状态。这一薄层中的物质是两相的混合项。我们还研究了稠密核子物质与夸克物质混合的可能性,用袋模型状态方程描述。 $1.4M_{\odot}$ 的中子星的核心似乎没有夸克物质混合物。然而,据预测,最重的恒星的核心由夸克和核子物质的混合物组成。对于袋常数 $B=200(122)MeV/fm^3$ ,这些混合相将会使中子星的最大质量从 $2.20M_{\odot}$ 降低到 $2.02(1.91)M_{\odot}$ 。在它们的中心有纯夸克物质的恒星被发现是不稳定的。我们还考虑了物质在假定密度以上是最大不可压缩的可能性,并表明核力的实际模型将中子星的最大质量限制在 $2.5M_{\odot}$ 以下。讨论了相变对中子星物质组成及其绝热指数 $\Gamma$ 的影响。

### 1.46.2 Knowledge

### 1.46.3 Questions

---

1. Author: Akmal, A. Pandharipande, V. R. Ravenhall, D. G.

Address: NaN.

DOI: 10.1103/PhysRevC.58.1804

Journal: Physical Review C(1998).

## 1.47 A new class of unstable modes of rotating relativistic stars<sup>1</sup>

### 1.47.1 Abstract

本文首次对缓慢旋转相对论星体的轴向（环形）脉动模式进行了数值研究。计算包含了 $\epsilon \equiv \Omega(R^3/M)^{1/2} \ll 1$ 的一阶项( $R$ 代表半径,  $M$ 是质量,  $\Omega$ 是脉冲星的转动频率), 并且考虑了科里奥利力的影响。在分析时没有考虑星体离心力的效应以及加入 $\epsilon^2$ 阶后的影响。研究结果表明, 旋转度的增加有利于减小前向模态的阻尼时间, 而后向模态的寿命更长。具体地说, 我们发现旋转以这种方式影响轴向重力波的 $w$ 模式。我们还提出了所谓 $r$ 模式的第一个相对论计算（类似于地球海洋中的Rossby波）。它们的频率与恒星的旋转频率具有相同的数量级。结果表明, 对于所有旋转的理想流体恒星, 由于重力辐射的发射,  $r$ 模式是不稳定的。这是很有趣的, 因为先前考虑到的（例如）与恒星的 $f$ 模式相联系的引力波不稳定性, 设置了一个临界旋转速率。因为它们对于最慢的旋转脉冲星也是不稳定的, 所以 $r$ 模式可能具有相当重要的天体物理意义。

### 1.47.2 Knowledge

### 1.47.3 Questions

---

1. Author: Andersson, N.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/305919

Journal: Astrophysical Journal(1998).

## 1.48 Gravitational radiation and rotation of accreting neutron stars<sup>1</sup>

### 1.48.1 Abstract

Rossi X射线定时探测器的最新发现表明，银河系中大多数快速吸积的( $\dot{M} \gtrsim 10^{-11} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ )弱磁性( $B \ll 10^{11} \text{G}$ )中子星都以 $\nu_s \gtrsim 250 \text{Hz}$ 的自旋频率旋转。值得注意的是，它们都在一个很窄的频率范围内旋转（不超过2倍，许多都在300Hz的20%以内）。我认为这些中子星旋转得如此快，以至于，平均来说，由吸积而增加的角动量都以引力波辐射而损失了。由于角动量损失率对 $\nu_s$ 强的依赖，这自然解释了它们具有相似的自旋频率。假设内部温度在大尺度上的不对称性与自转轴不对齐，那么在内壳层中温度敏感的电子俘获可以产生四级子( $\sim 10^{-7} MR^2$ )，就需要达到 $\nu_s \simeq 300 \text{Hz}$ 的极限情况。这个四级子只在吸积期间存在，并且在 $\nu_s > (600 - 800) \text{Hz}$ 时，当吸积率 $\dot{M} \gtrsim 10^{-10} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ 时，会使得其难以形成射电脉冲星。许多来自于这类中子星的引力波强度约为 $h_c \sim (0.5 - 1) \times 10^{-26}$ ，而对于Sco X-1的引力波强度会大于 $2 \times 10^{-26}$ 。预先知道他们的位置、自转频率、轨道周期将可以允许我们使用引力波探测器(LIGO, VIRGO和“双循环”GEO600探测器)深入的寻找这些周期性信号。

### 1.48.2 Knowledge

### 1.48.3 Questions

---

1. Author: Bildsten, L.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/311440

Journal: Astrophysical Journal(1998).

## 1.49 Crustal heating and quiescent emission from transiently accreting neutron stars<sup>1</sup>

### 1.49.1 Abstract

在一个短暂吸积的中子星的密度约为 $\simeq 10^{12} \text{ g cm}^{-3}$ 的壳层中出现的核反应，可以有效的将核心温度维持在 $(5 - 10) \times 10^7 \text{ K}$ 。当吸积停止时，包层松弛到由热核芯的通量维持热平衡，就像中子星是新诞生的一样。对于时间平均吸积率为典型的( $\lesssim 10^{-10} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ )的低质量的X-射线瞬变源，标准的中微子冷却是不重要的，并且核芯会对沉积的热量进行热再辐射。由此产生的光度为 $\sim 5 \times 10^{32} - 5 \times 10^{33} \text{ erg/s}$ ，并且与许多对静止的瞬变中子星的观测是一致的。这一机制的确认将有力地约束中子星的中微子快速冷却机制（例如，pion凝聚）。由于黑体光谱拟合意味着一个比中子星表面小得多的发射面积，热发射以前被认为是静态发射的主要来源。然而，与来自射电脉冲星的热发射一样，符合实际的瞬态(emergent)光谱意味着一个更大的发射面积。其他发射机制，如吸积或脉冲星激波，也可以在静止状态下产生，并在短时间内产生强度和光谱变化。实际上，静态吸积可能会在静态光谱中产生引力红移金属光离子化边（用AXAF和XMM检测）。我们讨论了过去对Aql X-1的观测，并且注意到在球状星系团中的X-射线源较低的光度(低于 $10^{34} \text{ erg/s}$ )，以及Be星/X-射线瞬变源都是未来研究的好的候选者。

### 1.49.2 Knowledge

### 1.49.3 Questions

---

1. Author: Brown, E. F. Bildsten, L. Rutledge, R. E.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/311578

Journal: Astrophysical Journal(1998).

## 1.50 Axial instability of rotating relativistic stars<sup>1</sup>

### 1.50.1 Abstract

旋转相对论恒星的摄动可以通过它们在宇称下的行为来分类。对于轴向的扰动( $r$ -model), 最初具有负的规范能的数据被发现, 对于所有 $m \geq 2$ 的值以及任意慢的转动, 都具有 $e^{im\phi}$ 的角度依赖。这意味着对于旋转完全流体, 这种扰动的不稳定性(或临界稳定性)。这种低 $m$ 的不稳定性是明显区别于极性扰动的不稳定性, 后者首先是对于大的 $m$ 值的。对于小的角速度 $\Omega$ , 轴向不稳定性出现的时间尺度似乎与 $\Omega$ 高的功率成正比。与极性模式一样, 除了热的、快速旋转的中子星以外, 粘度可能会再次增强稳定性。这项工作补充了Anderddon对缓慢旋转的中子星的轴向模型的数值研究。

### 1.50.2 Knowledge

### 1.50.3 Questions

---

1. Author:Friedman, J. L. Morsink, S. M.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1086/305920  
Journal: Astrophysical Journal(1998).

## 1.51 Evolution and nucleosynthesis in low-mass asymptotic giant branch stars. II. Neutron capture and the s-process<sup>1</sup>

### 1.51.1 Abstract

我们对发生在受到周期性热脉冲影响的低质量渐近巨支（AGB）恒星上的中子俘获进行了新的分析。我们使用了专用的演化模型来处理初始质量在1到3 $M_{\odot}$ 范围内，以及金属性从标准太阳系到半标准太阳系范围内的恒星。用Reimers 参数化来考虑质量损失。第三种挖掘机制被自洽地发现发生在有限的脉冲数以后，与新合成的 $^{12}\text{C}$  以及来自于He中间层的S过程产物的封层相混合。在热脉冲期间，在对流区底部的温度几乎没有达到 $T_8 \sim 3$  ( $T_8$ 的温度单位为 $10^8$  K)，导致中子源 $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$ 的临界活化。替代的和更快的反应 $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$  必须发挥主要作用。然而，氢壳层残留下的 $^{13}\text{C}$ 丰度太低，无法驱动S过程元素的合成。相反，我们假设在任何third dredge-up 事件中，氢从包壳向下流动进入一个微小的区域，该区域位于富含 $^{12}\text{C}$ 的中间层的顶部，量级大约为几个 $10^{-4} M_{\odot}$ 。在H主导的时期，形成了丰 $^{13}\text{C}$ （丰 $^{14}\text{N}$ ）的区域。然后，在脉冲间隔期间主要的 $^{13}\text{C}$ 源产生的中子在 $T_8 \sim 0.9$ 的辐射环境下释放，从而产生一个依赖于口袋中 $^{13}\text{C}$ 轮廓的有效S-过程。第二个来自 $^{22}\text{Ne}$ 源的小的中子爆发在对流脉冲期间的S过程产物被新的Fe seeds和H燃烧的灰烬稀释之前进行。讨论了在产物通过各种third dredge-up episodes与封层累计混合后，最终的S过程的丰度分布的特征。与目前的预期相反，这种分布不能用中子辐照的简单指数定律来近似。S-过程核合成主要发生在 $^{13}\text{C}$ 口袋内；分布形式是通过发生在中间层区域的S-过程相互作用和不同脉冲的几何重叠而建立的。

产生于新合成的 $^{12}\text{C}$ 的质子捕获的 $^{13}\text{C}$ 口袋是主要的来源。因此，s-过程核合成也依赖于Fe seeds，较低的金属丰度有利于产生最重的元素。这使得在具有不同金属丰度的AGB恒星中产生广泛的S元素丰度分布，这与光谱证据一致，并与太阳系形成时星系的重S元素的富集有关。金属丰度 $Z \simeq \frac{1}{2} Z_{\odot}$ 的AGB恒星是主要成分（即根据陨石和太阳光谱分析推断得到的，从Sr-Y-Zr 峰到Pb 峰的重元素的S分布）形成的最佳候选者。实际上，许多AGB恒星在其包络中显示的S 过程丰度分布几乎与主要成分的丰度分布相同。最终，从原始陨石中发现的mainstream circumstellar SiC 颗粒的天体物理起源，在一些微量重元素中显示出非太阳系的S特征，很可能在太阳金属丰度的AGB恒星的星周包络中被识别

1. Author: Gallino, R. Arlandini, C. Busso, M. Lugaro, M. Travaglio, C. Straniero, O. Chieffi, A. Limongi, M.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/305437

Journal: Astrophysical Journal(1998).

出来，局部污染了太阳系凝聚的星际介质。

### **1.51.2 Knowledge**

### **1.51.3 Questions**

## 1.52 An x-ray pulsar with a superstrong magnetic field in the soft gamma-ray repeater SGR1806-20<sup>1</sup>

### 1.52.1 Abstract

软 $\gamma$ 射线重复源(SGBs)，发射多个短的( $\sim 0.1 - s$ )、低能量的 $\gamma$ 射线的强烈爆发。它们是极度罕见的——在银河系中发现了3个，在大麦哲伦星云中发现了1个。2个SGRs是与年轻的超新星遗迹相关的，所以极大可能是与中子星相关的，但是这遗留了一个疑问，为什么SGRs与“正常的”射电脉冲星差别这么大。这里我们报告了发现的SGR1806-2存在持续的X射线通量脉冲，其周期为7.47s，自旋下降率为 $2.6 \times 10^{-3} \text{ s yr}^{-1}$ 。我们认为自旋下降是由偶极辐射导致的，并且发现这个脉冲星的年龄 $\sim 1500$ 年，(偶极)磁场强度为 $8 \times 10^{14} \text{ gauss}$ 。我们的观测证明了“磁星”的存在，磁场强度比约强射电脉冲星100倍的中子星，并且支持早期建议的SGR暴是由磁应力产生的中子星“壳层震动”导致的。“磁星”的出生率大约是每千年一次——相当于射电脉冲星的一小部分。因此，我们的结果可以解释为什么有些SNRs没有射电脉冲星。

### 1.52.2 Knowledge

### 1.52.3 Questions

---

1. Author: Kouveliotou, C. Dieters, S. Strohmayer, T. van Paradijs, J. et al.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1038/30410  
Journal: Nature(1998).



## 1.53 Transient events from neutron star mergers<sup>1</sup>

### 1.53.1 Abstract

中子星的并合(NS+NS)或中子星与恒星质量大小的黑洞并合(NS+BH)会抛射出一小部分亚具有相对论速度的物质。快速减压后,核物质密度的介质凝聚为丰中子星原子核,它们中的大多数都是具有放射性的。放射活性为壳层的扩展提供了长期的热源。在超新星范围内有一个短暂的瞬态闪耀的光度,并且辐射主要集中在紫外光区域中。我们提出了一个非常粗糙的唯象模型和简单的分析公式,可以用来估计作为未知输入参数函数的瞬态参数。这些并合可能是通过高红移超新星的快速瞬变探测到的,它们中的许多远离母星系。Schmidt等人探测到的神秘的光学瞬变源可能与中子星并合有关,因为它们通常没有可见的宿主星系

### 1.53.2 Knowledge

### 1.53.3 Questions

---

1. Author: Li, L. X. Paczynski, B.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/311680

Journal: Astrophysical Journal(1998).

## 1.54 Gravitational radiation instability in hot young neutron stars<sup>1</sup>

### 1.54.1 Abstract

我们证明了引力辐射驱动了年轻的热的快速旋转中子星的不稳定性。这种不稳定性首先出现在 $l = 2$ 的 $r$ -模式中，并且将通过引力辐射带走快速旋转的中子星的大部分角动量。在将一颗年轻的中子星冷却到大约 $T = 10^9\text{K}$ (约一年)所需的时间尺度内，这种不稳定性可以将年轻中子星的转动速率减少到约 $0.076\Omega_K$ ，其中 $\Omega_K$ 是发生质量脱落时的开普勒角速度。在较老的较冷的中子星中，这种不稳定性受到粘性效应的抑制，使得较老的中子星可以通过吸积作用加速旋转以达到较大的角速度。

### 1.54.2 Knowledge

### 1.54.3 Questions

---

1. Author: Lindblom, L. Owen, B. J. Morsink, S. M.

Address: NaN.

DOI: 10.1103/PhysRevLett.80.4843

Journal: Physical Review Letters(1998).

## 1.55 Sonic-point model of kilohertz quasi-periodic brightness oscillations in low-mass X-ray binaries<sup>1</sup>

### 1.55.1 Abstract

在来自于14个低质量双星系统的中子星以及另外一个在银河系中心方向的中子星的X射线发射中发现了频率在 $\sim 300$ 到 $\sim 1200\text{Hz}$ 范围内的准周期亮度振荡(QPOs)。这些KHz的QPOs非常强，其均方根(rms)相对振幅高达总X射线计数率的15%，并且非常的相干，其频率与半高宽的比率高达 $\sim 200$ 。在15个源中有12个同时探测到了两个频率相差 $\sim 250 - 350\text{Hz}$ 的KHz的QPOs。这里我们对于这些QPOs提出了一个模型。在这个模型中，X射线源是一个表面磁场强度为 $10^7 - 10^{10}\text{G}$ ，具有几百Hz自旋频率、通过Keplerian盘吸积气体的中子星。其中一些吸积的气体由恒星磁场引导，而其他的留在贯穿在中子星表面几公里范围的Keplerian盘流中。千赫兹的qpo对中频率较高的qpo的频率是在靠近开普勒流内边缘声速点的半径处的开普勒频率，而频率较低的QPO的频率是在接近声速点的半径处的开普勒频率与基本的或first overtone的恒星自转频率之间的差值。因此，这对QPOs的频率差接近（但不一定等于）恒星的自转频率。在声波点的开普勒频率和拍频处，QPOs的振幅取决于中子星磁场的强度和吸积率，因此这些QPOs中的一个或两个有时是无法探测的。在恒星自旋频率及其overtone处的振荡预计是微弱的，但有时能够被探测到的。该模型与先前X射线光谱模型和环礁源以及Z源的X射线快速变率推断的磁场强度、吸积率和散射光学深度一致。它自然地解释了千赫兹QPOs的频率和这些频率在具有不同吸积率和磁场的源中的相似性。该模型还解释了千赫兹QPOs的高相干度和大振幅以及QPO振幅随光子能量的急剧增加。在该模型中，在许多源中看到的QPO的频率随推测的吸积率的增加而增加也是可以理解的。我们证明了，如果在一对QPOs中的高频的qpo 的频率是轨道频率，就如在音速点模型中一样，则这些QPO的频率为千赫兹的QPO源的中子星的质量和半径上设置了有趣的上限，并对高密度物质的状态方程提供了新的约束。对这些QPOs的进一步观察可能为存在一个略微稳定的轨道提供有力的证据，证实在强场区域中的广义相对论的一个关键预测。

### 1.55.2 Knowledge

### 1.55.3 Questions

---

1. Author: Miller, M. C. Lamb, F. K. Psaltis, D.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/306408

Journal: Astrophysical Journal(1998).

## 1.56 Relativistic equation of state of nuclear matter for supernova and neutron star<sup>1</sup>

### 1.56.1 Abstract

利用相对论平均场（RMF）理论，在宽的密度和温度范围内以及不同的质子占比的情况下，建立了核物质的状态方程，用于超新星模拟和中子星计算。我们首先构造了均匀核物质的EOS。我们用Thomas-Fermi近似来描述由重核与自由核子气体一起形成的非均匀物质。我们讨论了天体物理所感兴趣的广泛的范围内的能量、压力和熵作为自由的(参数)的结果。作为一个例子，我们利用Oppenheimer-Volkoff方程，将由此得到的EOS应用于(得到)中子星的性质。

### 1.56.2 Knowledge

### 1.56.3 Questions

---

1. Author: Shen, H. Toki, H. Oyamatsu, K. Sumiyoshi, K.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1016/s0375-9474(98)00236-x  
Journal: Nuclear Physics A(1998).

## 1.57 A millisecond pulsar in an x-ray binary system<sup>1</sup>

### 1.57.1 Abstract

一般的射电脉冲星是磁场强度为 $\sim 10^{12}\text{G}$ ，并且自旋周期为0.1-3s的中子星。作为对比，毫秒射电脉冲星具有弱的多的磁场( $\sim 10^9\text{G}$ )以及更快的、毫秒量级的自旋速率。对于这两种脉冲星，驱动射电脉冲的能量都是来自于中子星的转动。中子星随着能量被辐射损失掉，逐渐地自旋下降。毫秒射电脉冲星通常位于双星系统中。在一个大家公认模型中，它们开始时与一般的脉冲星一样，通过吸积X双星系统中伴星的物质，损失掉大部分地磁场，并且自旋被加速到毫秒量级的周期。这个模型的证据已经逐渐增加，但是尽管进行了许多研究，而一直缺少预测的X射线双星系统的持续的相干毫秒X射线脉冲通量这一直接证据。在这里，我们报告了这种脉冲星的发现，证实了理论上的预期。当吸积完全停止时，这个源极有可能成为毫秒射电脉冲星。

### 1.57.2 Knowledge

### 1.57.3 Questions

---

1. Author: Wijnands, R. van der Klis, M.  
Address: NaN.  
Issue: 6691  
Journal: Nature(1998).

## 1.58 Neutron capture in low-mass asymptotic giant branch stars: Cross sections and abundance signatures<sup>1</sup>

### 1.58.1 Abstract

最近进一步获得了  $N = 82$  的幻数核，特别是  $^{142}\text{Nd}$  的恒星  $(n, \gamma)$  过程的反应截面的信息，这代表了对 s-核合成过程的一个关键测试。虽然发现这些数据与基于中子照射的指数分布的经典方法不相容，但它们为 S 核在太阳中的丰度分布以及低质量渐近巨支 (AGB) 恒星模型的预测之间提供了更好的一致性。这一现象的起源是由于  $^{13}\text{C}$  在几个  $10^{-4} M_{\odot}$  的窄层中辐射燃烧时，在热脉冲之间获得的对低中子密度物质的高中子照射。对这一效应进行了较为详细的研究，并对现有核物理数据对具体问题的影响进行了讨论。在此背景下，特别注意了对稀土元素区域的 S 过程分支的一致性描述。结果表明，在某些情况下，核数据足够精确，丰度不确定性可以完全归因于恒星模型。因此，S 过程对于测试不同恒星质量和金属丰度的作用以及约束用于描述  $^{13}\text{C}$  源提供的低中子密度的假设变得非常重要。

### 1.58.2 Knowledge

### 1.58.3 Questions

---

1. Author: Arlandini, C. Kappeler, F. Wisshak, K. Gallino, R. Lugaro, M. Busso, M. Straniero, O.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1086/307938  
Journal: Astrophysical Journal(1999).

## 1.59 Nucleosynthesis in asymptotic giant branch stars: Relevance for Galactic enrichment and solar system formation<sup>1</sup>

### 1.59.1 Abstract

我们对AGB恒星的核合成进行了综述，概述了理论模型的发展及其与观测的关系。我们专注于新的改进不透明度的高分辨率代码，这是最近成功的挖掘效应。这就打开了理解低亮度C星（富含S元素）作为AGB演化的正常结果的可能性，其特征是在He中间层产生 $^{12}\text{C}$ 和丰中子的核，以及强恒星风造成的质量损失。AGB恒星中的中子俘获是由两个反应驱动的： $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ ，它在低中子密度( $N_n \leq 10^7 \text{ n/cm}^3$ )下提供大部分中子通量； $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$ ，它在较高的温度下轻微活化，主要影响决定于反应分支的S核的产生。第一个反应现在已知发生在辐射脉冲之间的相位，马上发生在低于先前被第三次挖掘效应均匀化的区域。第二个反应发生在对流热脉冲期间。由此产生的核合成现象相当复杂，排除了任何分析近似（指数分布的中子注入）。以不同金属含量为模型的AGB恒星的核合成解释了几个观测限制，这些限制来自源的广泛的光谱观测：富含S元素的演化红巨星、不同金属含量的未演化恒星、从陨石中发现的前太阳系颗粒以及太阳系中S过程同位素的丰度。特别是，太阳系主要成分的良好重现是由于在星系化学演化中，混合了不同恒星系的AGB恒星的输出，具有不同的金属丰度，并产生不同的S过程核的分布。因此，太阳系的主要过程模式不被认为是在所有恒星中发生的标准原型过程的结果。关于 $^{13}\text{C}$ 中子源，它的合成要求在对流包线下有少量的质子，这些质子在包线下被丰富的 $^{12}\text{C}$ 俘获，形成一个丰 $^{13}\text{C}$ 的口袋。这种渗透不能在当前的演化代码中建模，但被视为一个自由参数。将来的流体动力学研究的时间依赖性混合将需要解决这个问题。现有混合算法中其他不足的证据在低质量和中等质量恒星的演化过程中很常见，如恒星模型在重现红巨星和恒星周围尘埃颗粒中的CNO同位素观测时的不足所示。在低质量和中等质量恒星的整个演化过程中，当前混合算法存在其他不足的证据是普遍存在的，这一点可以通过恒星模型在重现红巨星和恒星周围尘埃颗粒中的CNO同位素观测时的不足来证明。这些观测需要对流包层底部和靠近H燃烧层的区域之间物质的循环（冷却底部的过程）。还讨论了AGB恒星可能对早期太阳系中被发现存在的短寿命放射性活动清单的贡献。我们表明，由靠近原太阳星云的AGB恒星所造成的污染可能是 $^{26}\text{Al}$ 、 $^{41}\text{Ca}$ 、 $^{60}\text{Fe}$ 以及 $^{107}\text{Pb}$ 丰度一致的原因。AGB恒星必须经历过非常小的中子照射，并且全部的初始质量（ $M \leq 1.5M_{\odot}$ ）。然而，在

1. Author: Busso, M. Gallino, R. Wasserburg, G. J.

Address: NaN.

DOI: 10.1146/annurev.astro.37.1.239

Journal: Annual Review of Astronomy and Astrophysics(1999).

这些模型中仍然存在着关键反应速率的不确定性。 $^{26}\text{Al}$ 的净产量问题需要进一步的研究。

### **1.59.2 Knowledge**

### **1.59.3 Questions**



## 1.60 r-process in neutron star mergers<sup>1</sup>

### 1.60.1 Abstract

快速中子俘获（R过程）所形成的丰中子重元素的产生地点尽管经过了深入的研究，但仍然还是未知的。在这里，我们详细研究了Lattimer & Schramm, Symbalisty & Schramm, Eichler et al., and Davies et al.之前提出的一种方案，即两颗中子星的并合。将流体力学的结果和全网络计算结合起来，以研究这一方案与R核合成过程的相关性。通过对中子星物质的减压，喷射出足够的物质来解释星系中R过程核的丰度。如果喷流由质子与中子之比为 $Y_e \simeq 0.1$ 的物质组成，那么计算得到的丰度能极好的拟合太阳系中的包含 $A \simeq 130$ 的峰以及比它更重的峰的R过程的核的分布。

### 1.60.2 Knowledge

### 1.60.3 Questions

---

1. Author: Freiburghaus, C. Rosswog, S. Thielemann, F. K.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1086/312343  
Journal: Astrophysical Journal(1999).

## 1.61 Discovery of a magnetar associated with the soft gamma repeater SGR 1900+14<sup>1</sup>

### 1.61.1 Abstract

软伽玛重复源SGR 1900+14经过长时间的平静后，于1998年6月再次活跃起来；其一直处于低活动状态，直到1998年8月，发出一系列异常强烈的爆发。在它每次活跃时，我们都用Rossi X射线定时探测器观测两次这个源。我们确认了早期的来自SGR 1900+14的周期为5.16s的脉冲。在这里，我们报告了检测到的脉冲周期的 $1.1 \times 10^{-10} \text{ s s}^{-1}$ 的长期自旋下降。鉴于SGRs之间强的相似性，我们将SGR 1900+14的自旋下降归因于磁偶极子辐射，可能与SGR 1806-20一样，是由静态磁通量导致的。这允许我们估计脉冲星的偶极磁场强度，大约是 $(2 - 8) \times 10^{14} \text{ G}$ 。我们的结果确认SGRs是磁化的中子星。

### 1.61.2 Knowledge

### 1.61.3 Questions

---

1. Author: Kouveliotou, C. Strohmayer, T. Hurley, K. van Paradijs, J. et al.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1086/311813  
Journal: Astrophysical Journal(1999).

## 1.62 Collapsars: Gamma-ray bursts and explosions in "failed supernovae"<sup>1</sup>

### 1.62.1 Abstract

利用双维流体动力学代码(PROMETHEUS), 我们探索了 $M_{\alpha} \gtrsim 10M_{\odot}$ 的旋转氦星的持续演化过程, 在这个过程中铁心坍塌不会产生一个成功的向外冲击波, 而是形成一个 $2-3M_{\odot}$ 的黑洞。最详细研究的模型是 $35M_{\odot}$ 主序星的 $14M_{\odot}$ 的氦核。结果对角动量很敏感。对于 $j_{16} \equiv j/10^{16}\text{cm}^2\text{s}^{-1} \lesssim 3$ , 物质几乎不受限制地掉入黑洞。预计不会有向外的喷流。对于 $j_{16} \gtrsim 20$ , 在中微子损失可忽略不计的1000公里外, 的离心力会阻止流入的物质。赤道吸积率很低, 爆炸性氧燃烧可能驱动微弱的赤道爆炸。然而, 当 $3 \lesssim j_{16} \lesssim 20$ , 对于这样的恒星来说是一个合理的值, 在一个半径上形成一个圆盘, 在这个半径上引力结合能可以作为中微子有效地辐射, 或者通过磁流体动力学(MHD)过程转换成束流流出。这些是产生伽马射线爆发(GBs)的最佳候选者。在这里, 我们研究了当圆盘粘度参数 $\alpha \approx 0.001$ 和 $0.1$ 时, 这种圆盘的形、相关的流动模式以及吸积率。最初沿旋转轴的流入是不受限制的, 在最初的几秒钟内, 一个疏散通道是打开的。同时, 黑洞通过吸积加速旋转(到 $a \approx 0.9$ ), 能量通过MHD过程和中微子辐射被消耗了。对于 $\alpha = 0.1$ 的模型, 极角在 $30^{\circ}$ 到 $45^{\circ}$ 之间会出现可以预见的活跃的向外的喷流。这些向外的喷流由圆盘中的粘滞耗散驱动, 能量高达 $10^{51}\text{ergs}$ 的几倍, 质量为 $\sim 1 M_{\odot}$ , 富含 $^{56}\text{Ni}$ 。它们本身就构成了类似超新星的爆炸。同时, 圆盘的吸积维持约10-20 s, 但由于在原子核经历光致分裂的区域外边缘的流体动力学不稳定性, 这个时间可以变化( $\pm 30\%$ )。由于中微子能量沉积的效率对吸积率很敏感, 这种不稳定性导致极区能量沉积高度可变。其中一些在50 ms时有巨大的功劳和杂音的可变性可能会持续存在于暴发的时间结构中。在随后的时间内, 标准 $\alpha = 0.1$ 和 $j_{16} = 10$ 的模型的平均吸积率为 $0.07 M_{\odot}\text{s}^{-1}$ 。中微子湮灭沿旋转轴沉积的总能量为 $(1-14) \times 10^{51}\text{ergs}$ , 这取决于Kerr参数的演化和不确定的中微子效率。以每极 $5 \times 10^{50}\text{ergs s}^{-1}$ 的恒定速率, 模拟极区的能量沉积, 结果导致强相对论性的喷流射向约1%的天区。这些射流还可以通过“喷嘴”侧面的不稳定性进行调节。这些喷流将吸积物质吹到一边, 保持高度聚焦, 并且能够在 $\sim 10$  s内穿透恒星。当喷流冲破恒星表面后, 就会出现高度相对论性的喷流。由于抛射物和喷流的质量对吸积率、角动量和圆盘粘性的敏感性, 以及观测结果随视角的变化, 可能会产生很大范围的结果, 从像GRB 971214这样的明亮GBs 到像SN 1998bw 那样的微弱的GB超新星。当喷流第一次从恒星中

1. Author: MacFadyen, A. I. Woosley, S. E.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/307790

Journal: Astrophysical Journal(1999).

爆发时，X射线的前驱体也可能出现。虽然只有一小部分的超新星形成了GRBs，但我们预测，塌缩总是会产生像SN 1998bw那样的超新星。然而，短于几秒钟的硬的、活跃的的GRBs很难在这个模型中产生，可能需要中子星和黑洞的并合来解释。

#### **1.62.2 Knowledge**

#### **1.62.3 Questions**

## 1.63 Evolution of proto-neutron stars<sup>1</sup>

### 1.63.1 Abstract

我们利用中微子的不透明性，研究了中子星诞生的Kelvin-Helmholtz 相的热演化和化学演化，这种不透明性是用基本的状态方程（EOS）一致性地计算出来的。推导了平衡扩散近似下适用于一般相对论中微子输运的扩散系数表达式。利用场理论有限温度EOS（包括超子存在的可能）计算扩散系数。将扩散系数的变化作为EOS和成分参数的函数进行研究。本文给出了质子-中子星冷却的数值模拟结果，分析了前身中子星的内部性质以及中微子发射的能量和光度。我们讨论了初始恒星模型、总质量、基本EOS以及超子的加入对前身中子星的演化以及对地面探测器预期信号的影响。我们发现在早期( $t \leq 10$  s)，如果不透明度的计算与EOS 一致，那么预测的亮度和发射的中微子能量的差异并不很大程度上取决于初始模型或基本的高密度EOS的细节。同样适用于允许超子存在的模型，除非初始质量明显大于冷催化(catalyzed)物质的最大质量。在10 s以后，并且在对中微子透明的状态出现以前的期间里，中微子亮度随着一个敏感依赖于物质的高密度的性质的时间常数呈指数衰减。我们还发现发射的中微子的平均能量在演化的前5秒增加，然后随时间线性减少。一般来说，增加前身中子星的质量会增加中微子的平均能量和亮度，以及整个演化的时间尺度。在后期，超子或致密物质EOS的变化的影响越来越重要。亚稳态恒星，即那些具有超子的、不稳定的、在去磷酸化后崩溃的恒星，具有相对较长的演化时间，其质量更接近冷的去磷酸化恒星所能支持的最大质量。

### 1.63.2 Knowledge

### 1.63.3 Questions

---

1. Author: Pons, J. A. Reddy, S. Prakash, M. Lattimer, J. M. Miralles, J. A.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1086/306889  
Journal: Astrophysical Journal(1999).

## 1.64 Neutron star mass measurements. I. Radio pulsars<sup>1</sup>

### 1.64.1 Abstract

现在在双星系统中大约有50个已知的射电脉冲星，其中至少有5个在双中子星双星系统中。在某些情况下，恒星质量可以直接从相对论轨道效应的测量中确定。在其他情况下，只能对质量进行间接或统计估计。我们回顾了射电脉冲星双星质量测量的一般问题，并对目前所有射电脉冲星及其伴星的质量估计进行了批判性的讨论。我们发现21个射电脉冲星的质量和5个与射电脉冲星相伴的中子星存在着显著的限制。所有的测量结果都与非常窄的基本的高斯质量分布一致， $m = 1.35 \pm 0.04 M_{\odot}$ 。没有证据表明在这些系统中出现了广泛的质量吸积( $\Delta m \gtrsim 0.1 M_{\odot}$ )。我们还发现，观测到的毫秒脉冲星双星的倾斜与随机分布一致，因此没有发现毫秒脉冲星磁场校准或反校准的证据。

### 1.64.2 Knowledge

### 1.64.3 Questions

---

1. Author: Thorsett, S. E. Chakrabarty, D.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1086/306742  
Journal: Astrophysical Journal(1999).

## 1.65 Neutron-capture elements in the early galaxy: Insights from a large sample of metal-poor giants<sup>1</sup>

### 1.65.1 Abstract

本文介绍了Bond survey中大量贫金属巨行星样品中中子俘获（N俘获）元素的新丰度。利用KPNO 4米echelle and coudé feed 光谱仪获得了光谱，并利用LTE精细分析技术进行了线性分析和光谱合成。通过蓝色( $\gamma\gamma 4070 - 471$ ,  $R \sim 20000$ ,  $S/Nratio \sim 100 - 200$ ) echelle光谱和红色( $\gamma\gamma 6100 - 6180$ ,  $R \sim 22000$ ,  $S/N ratio \sim 100 - 200$ ) coudé 光谱获得在43颗恒星的8种n-capture(Sr, Y, Zr, Ba, La, Nd, Eu, Dy) 元素的丰度，只从红色光谱中推断出了额外的27颗恒星中Ba的丰度。

总的来说，丰度清晰表明了恒星与恒星的重元素与铁的比率存在大的弥散。这种情况一定是由快速演化的晕前体(halo progenitors) 中的单个核合成事件引起的，这些前体将新制造的n-capture 元素注入到不均匀的早期星系晕星际介质中。这些新的数据也证实了当金属性 $[Fe/H] \lesssim -2.4$ ，在大多数的巨星中的重的( $Z \geq 56$ )的n-capture 元素的丰度分布与标准化的太阳系的R过程核合成的分布匹配的很好。

主要的R过程的开始可以看做当 $[Fe/H] \simeq -2.9$ 时，这个开始与建议的低质量的II型超新星的R过程对应的是一致的。S 过程的贡献首先出现在一些金属丰度低至 $[Fe/h] \sim -2.75$  的恒星中，并且出现在大多数金属丰度为 $[Fe/h] \sim 2.3$  的恒星中。随着金属丰度的增加，S 过程贡献的出现可能反映了（低质量）S过程核合成的较长的恒星演化时间尺度。

较轻的n-capture 元素（Sr-Y-Zr）相对于较重的R过程元素丰度得到增强。它们的产生不能仅仅归因于任何太阳系R过程和主要的S过程的组合，而是需要来自R过程和额外的可以在早期星系中进行的n-capture 过程的产物的混合。这个额外的过程可能是大质量恒星( $\sim 25M_{\odot}$ )中的弱S过程，或者可能是第二个R过程，即不同于产生较重( $Z \geq 56$ ) n-capture 元素的过程。

### 1.65.2 Knowledge

### 1.65.3 Questions

---

1. Author: Burris, D. L. Pilachowski, C. A. Armandroff, T. E. Sneden, C. Cowan, J. J. Roe, H.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/317172

Journal: Astrophysical Journal(2000).

## 1.66 A unified equation of state of dense matter and neutron star structure<sup>1</sup>

### 1.66.1 Abstract

计算了一个描述中子星壳和液核的中子星物质状态方程。它基于skyrme型的有效核相互作用SLy，特别适用于非常丰中子的物质性质的计算(Chabanat et al. 1997, 1998)。壳层的结构和它的EOS是在 $T = 0$ 近似下，以及假定基态组分的情况下计算的。壳层-核心的相变是一个非常弱的一阶相变，相对密度跃迁约1%。液态核芯的EOS是通过假定(最小)  $n_{\text{ep}}\nu$  组分计算的。计算了静态中子星的参数，并与现有的中子星观测数据进行了比较。静态中子星的最小和最大质量分别为 $0.094M_{\odot}$ 和 $2.05M_{\odot}$ 。简要讨论了旋转对中子星最小和最大质量的影响。

### 1.66.2 Knowledge

### 1.66.3 Questions

---

1. Author: Douchin, F. Haensel, P.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1051/0004-6361:20011402  
Journal: Astronomy & Astrophysics(2001).



## 1.67 Neutron star structure and the neutron radius of Pb-208<sup>1</sup>

### 1.67.1 Abstract

我们研究了重原子核的丰中子皮与中子星壳层的性质之间的关系。在<sup>208</sup>Pb中具有更厚的中子皮的相对论有效场理论，对于中子星物质中具有更大的电子占比和更低的液相到固相的转变密度。这些性质由对称能的密度依赖性决定，我们通过在等标量介子和等矢量介子之间添加非线性耦合来改变对称能。利用违反宇称的电子散射精确测量<sup>208</sup>Pb中的中子半径，对中子星外壳的结构有重要意义。

### 1.67.2 Knowledge

### 1.67.3 Questions

---

1. Author: Horowitz, C. J. Piekarewicz, J.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1103/PhysRevLett.86.5647  
Journal: Physical Review Letters(2001).

## 1.68 Neutron star structure and the equation of state<sup>1</sup>

### 1.68.1 Abstract

从理论和观测的角度考虑了中子星的结构。我们证明了中子星结构的一个重要方面：中子星半径主要由核物质平衡密度附近物质压力的行为决定。如果在这些密度下没有发生极端软化，则半径实际上与质量无关，并由压力大小决定。对于极端软化或自约束状态方程，半径对质量更为敏感。我们的结果表明，在没有极端软化的情况下，测量中子星的半径精确度小于1公里，将能有效地约束状态方程。我们还表明，核物质密度附近的压力主要是核对称能密度依赖性的函数，而核不可压缩性和偏斜(skewness)参数起次要作用。此外，我们还表明，对于一类大的状态方程，中子星的转动惯量和结合能几乎是恒星致密性的通用函数。这些特征可以通过分别由Buchdahl 和Tolman 考虑的爱因斯坦方程的两个解析的但现实的解来理解。我们推导出了壳层的转动惯量的占比的有用近似值，这是恒星致密性的函数，此外，还推导出了在核芯-壳层界面的压力。

### 1.68.2 Knowledge

### 1.68.3 Questions

---

1. Author: Lattimer, J. M. Prakash, M.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1086/319702  
Journal: Astrophysical Journal(2001).

## 1.69 Neutrino emission from neutron stars<sup>1</sup>

### 1.69.1 Abstract

综述了中子星壳层和核芯的主要中微子发射机制。其中包括电子-正电子湮灭、等离子体衰变、电子与壳层原子核碰撞的中微子韧致辐射、以及核-核碰撞中的URCA过程和中微子韧致辐射。我们强调了最近的理论成果，例如原子核库仑晶体中电子散射引起的中微子发射中的带结构效应。我们考虑了核心中物质（中子、质子、电子、 $\mu$ 子、超子）的标准组成，也考虑了一些奇异成分，如介子或Kaon凝聚体和夸克物质。我们讨论了核子超流降低中微子发射率，以及由超流粒子库珀对产生的中微子发射。我们还分析了强磁场对某些反应的影响，如直接URCA过程和电子的中微子同步辐射。结果以便于实际应用的形式给出。我们说明了各种中微子反应对中子星冷却的影响。特别是，地壳中的中微子发射对在壳层和核心之间的初始热松弛的设置至关重要。最后，讨论了通过对孤立中子星热辐射的观测利用冷却模拟探索超核物质性质的前景。

### 1.69.2 Knowledge

### 1.69.3 Questions

---

1. Author: Yakovlev, D. G. Kaminker, A. D. Gnedin, O. Y. Haensel, P.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1016/s0370-1573(00)00131-9  
Journal: Physics Reports-Review Section of Physics Letters(2001).

## 1.70 The velocity distribution of isolated radio pulsars<sup>1</sup>

### 1.70.1 Abstract

根据0.4GHz脉冲星大尺度测量结果，推导出射电脉冲星的速度分布。我们通过建立脉冲星位置、速度、自旋和射电亮度的演化模型，根据射束模型以及自旋和射束的随机方位角计算脉冲通量，应用脉冲星测量的选择效应，并使用可能性函数将可测量脉冲星特性的模型分布与测量数据进行比较。所分析的数据具有明确的特征，并且覆盖了95%的天区。我们最大化了在六维空间中观察到的可能性，分别是周期 $P$ 、周期导数 $\dot{P}$ 、弥散测量 $DM$ 、星系纬度 $|b|$ 、固有运动 $\mu$ 和通量密度 $F$ 。我们测试的模型由12个参数描述，这些参数描述了诞生率、亮度、射电发射的遮蔽、诞生地点和诞生时的速度。我们推断射电束流的亮度(1)与相对论粒子的能量通量相当，这意味着最古老的脉冲星的无线发射损耗接近100%，并且(2)大小与 $E^{1/2}$ 相当，这在磁层模型在与吸积粒子的压降成正比。我们发现，特征速度为90和500km s<sup>-1</sup>的双组分速度分布比任何一组分分布都更好；这种偏好在很大程度上不受其它各种参数变化(例如亮度或距离尺度或假设的自旋下降定律)的影响。我们探究了当选择更好的诞生的速度分布的一些结果(1)临近太阳的大约50%的脉冲星将会逃逸出银河系，而~15%的脉冲星的速度回超过1000km s<sup>-1</sup>；(2)对高速脉冲星的观测偏差对于达到高银河系—Z—距离的观测是相对不重要的，但对于空间有界的观测是很严重的；(3)存在一个重要的低速的脉冲星群，它增加了球状星团所保留的中子星的比例，并且与从星际介质中吸积的古老天体的数量一致；(4)在标准的超新星遗迹膨胀和脉冲星自旋下降的假定下，~10%的年龄小于20kyr的脉冲星星将会位于它们的宿主遗迹之外。最后，我们讨论了诞生时的速度分布对双星系统生存率的影响，以及与GRB模型和LIGO潜在来源相关的双中子星系统的数量。

### 1.70.2 Knowledge

### 1.70.3 Questions

---

1. Author: Arzoumanian, Z. Chernoff, D. F. Cordes, J. M.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/338805

Journal: Astrophysical Journal(2002).

## 1.71 A comprehensive study of binary compact objects as gravitational wave sources: Evolutionary channels, rates, and physical properties<sup>1</sup>

### 1.71.1 Abstract

新一代的地面引力波干涉探测器目前正在建造中，或已进入调试阶段(激光干涉仪引力波观测站[LIGO], VIRGO, GEO600, TAMA300)。这些探测器的目的是观察来自天体物理源的引力波，帮助我们更好地了解源的起源和物理性质。本文研究了这些探测器最有希望的候选源：螺旋双致密天体。我们使用总体合成方法来计算致密双星的性质和合并率：双中子星、黑洞-中子星和双黑洞系统。我们还研究了致密双星系统可能的形成机制。我们明确地解释了低质量氦星的演化，并研究了氦星以及两个演化恒星共同演化的可能性。因此，我们确定了大量新的双中子星形成通道，特别是产生具有非常明显特性的群体。我们讨论了这些双中子星的理论和观测意义，但我们也注意到需要进行流体动力学计算来解决这种共包络演化是否可能的问题。我们还介绍和讨论了致密双星系统的物理特性，并确定了一些可靠的定性特征及其来源。使用计算的合并率，我们将我们的结果与早期的研究进行比较，并得出预期的LIGO探测率。我们发现，对于第一代LIGO探测器，我们最乐观的估计值达到每年几个事件，而对于高级LIGO探测器，我们最悲观的估计值超过每年10个事件。

### 1.71.2 Knowledge

### 1.71.3 Questions

---

1. Author: Belczynski, K. Kalogera, V. Bulik, T.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/340304

Journal: Astrophysical Journal(2002).

## 1.72 Gravitationally redshifted absorption lines in the X-ray burst spectra of a neutron star<sup>1</sup>

### 1.72.1 Abstract

中子星的基本性质直接测试了冷核物质的状态方程，即压力和密度之间的关系，这是由构成恒星的粒子之间的强相互作用的物理决定的。测定这些性质最直接的方法是测量中子星光球产生的谱线的引力红移。状态方程暗含质量-半径关系，而测量中子星表面的引力红移直接限制了质量-半径比。在这里，我们报告了在低质量X射线双星EXO0748-676的28次爆发的光谱中发现的重要吸收线。我们确定了Fe XXVI和XXV  $n = 1 - 2$ 和O VIII  $n = 1 - 2$ 跃迁的最重要特征，所有特征的红移均为 $z = 0.35$ ，在各自跃迁的小不确定性内相同。对于天体物理上可信的质量范围( $M \simeq 1.3 - 2.0M_{\odot}$ )，该值与由正常核物质组成的中子星模型完全一致，但不包括一些中子星由更奇异的物质组成的模型。

### 1.72.2 Knowledge

### 1.72.3 Questions

---

1. Author: Cottam, J. Paerels, F. Mendez, M.  
Address: NaN.  
DOI:10.1038/nature01159  
Journal: Nature(2002).

## 1.73 Determination of the equation of state of dense matter<sup>1</sup>

### 1.73.1 Abstract

核碰撞可以将核物质压缩到中子星和超新星坍缩核芯的密度。这些物质的稠密状态在膨胀之前暂时存在。我们分析了超过 $10^{34}$ 帕斯卡的物质流，这是实验室控制条件下记录的最高压力。利用这些分析，因为相变密度小于稳定核密度的三倍，我们排除了弱排斥态方程以及相对论平均场理论中的强排斥核状态方程，但由于到夸克物质的转变，状态方程在高密度下并不软化。

### 1.73.2 Knowledge

### 1.73.3 Questions

---

1. Author: Danielewicz, P. Lacey, R. Lynch, W. G.

Address: NaN.

DOI: 10.1126/science.1078070

Journal: Science(2002).

## 1.74 Electrodynamics of magnetars: Implications for the persistent X-ray emission and spin-down of the soft gamma repeaters and anomalous X-ray pulsars<sup>1</sup>

### 1.74.1 Abstract

我们通过大尺度电流和载流子（电子和离子）的共振康普顿散射对出射的X射线光谱和脉冲轮廓研究了中子星磁层磁力线的结构。在软伽玛射线重复源(SGRs)和反常X射线脉冲星(AXPs)的磁星模型中，这些电流由作用在恒星内部深处的磁应力维持，这些磁应力会产生突然中断（SGR爆发）和刚性地壳的更为渐变的塑性形变。我们利用磁场对半径的幂律依赖 $B \propto r^{-(2+p)}$ ，构造了载流磁层的自相似无力平衡，并证明了磁力线的大尺度扭曲将磁场的径向依赖性软化为 $p < 1$ 。因此，与正交真空偶极子相比，作用在恒星上的自旋下降扭矩增大。我们根据测量的它们的自旋下降率，估测了SGR 和AXP源的表面磁场的强度，以及该模型对自旋周期紧密测量的分布的影响。具有强扭曲的磁层（赤道上的 $B_\phi/B_\theta = O(1)$ ）到共振回旋加速器散射的光学深度 $\sim 1$ ，与频率（半径）、表面磁场强度或散射电荷的电荷/质量比无关。当电子和离子提供电流时，恒星表面也被撞击电荷加热，如果 $B_{\text{dipole}} \sim 10^{14}$  G，那么其速率与观测到的SGR和AXP源的X射线输出相当。在回旋共振中的新的X射线流的重新分布将极大的改变新的脉冲的轮廓，并通过多普勒效应，使X射线的光谱的产生一个非热力学的拖尾。我们将1998年8月27日巨大的闪耀后的SGR 1900+14的脉冲波形的突然变化与由于闪耀期间外部磁场的突然扭曲导致的电子回旋共振的光学深度的增强联系起来。磁层的自相似结构应该产生与频率无关的波形；更复杂的脉冲波形可能反映出更高的多极性、离子回旋散射或可能的载流子对电流对O模式光子的非共振康普顿散射的存在。

### 1.74.2 Knowledge

### 1.74.3 Questions

---

1. Author: Thompson, C. Lyutikov, M. Kulkarni, S. R.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/340586

Journal: Astrophysical Journal(2002).



## 1.75 The evolution and explosion of massive stars<sup>1</sup>

### 1.75.1 Abstract

像所有真正的恒星一样，大质量恒星是引力受限的热核反应堆，其组成随着能量通过辐射和中微子的损失而演化。然而，与低质量恒星( $M < 8M_{\odot}$ )不同的是，大质量恒星不能达到一个完全由电子简并压支持的点。相反，中心演化到更高的温度，融合更重的元素，直到产生一个铁核心。这个铁心坍塌为一颗中子星，释放出巨大的能量，其中很小的一部分足以使这颗恒星爆炸成为超新星。作者研究了我们对大质量恒星生命和死亡的理解，特别关注相关的核和恒星物理学。重点是他们的氦以后的燃烧和演变。综述了超新星爆炸机理的研究现状，讨论了超新星冲击波的传播和“后退”的流体动力学机制。计算出的中子星质量、超新星光度曲线以及这些模型的恒星的光谱与观测结果一致。在所有阶段中，都特别关注重元素的核合成。除了几个例外以外，这些恒星都能够产生质量在16到88之间的同位素，以及由R和P过程产生的大部分更重的元素。

### 1.75.2 Knowledge

### 1.75.3 Questions

---

1. Author: Woosley, S. E. Heger, A. Weaver, T. A.

Address: NaN.

DOI: 10.1103/RevModPhys.74.1015

Journal: Reviews of Modern Physics(2002).

## 1.76 An increased estimate of the merger rate of double neutron stars from observations of a highly relativistic system<sup>1</sup>

### 1.76.1 Abstract

像广义相对论所预言的那样，含有两颗中子星的紧密双星系统的并合会产生引力波的爆发。要预测目前重力波探测器是否能成功探测到这类爆发，对星系中双中子星合并率的可靠估计至关重要。目前对这个速率的估计是很低的，因为我们只知道一些合并会小于宇宙年龄的双中子星。在这里，我们报告了一个22毫秒脉冲星PSR J0737 - 3039 的发现，它是一个高度相对论性的双中子星系统的成员，轨道周期为2.4 小时。这个系统将在大约85Myr内合并，比任何其他已知的双中子星系统都要短得多。再加上PSR J0737 - 3039相对较低的射电亮度，这个时间尺度意味着我们银河系（以及在宇宙的其他地方）中的双中子星系统的预测合并率将增加一个数量级。

### 1.76.2 Knowledge

### 1.76.3 Questions

---

1. Author: Burgay, M. D'Amico, N. Possenti, A. et al.

Address: NaN.

DOI: 10.1038/nature02124

Journal: Nature(2003).

## 1.77 Nuclear-powered millisecond pulsars and the maximum spin frequency of neutron stars<sup>1</sup>

### 1.77.1 Abstract

毫秒脉冲星被认为是通过从恒星伴星中吸积物质，而导致的自旋上升的中子星。目前尚不清楚这一过程是否存在自然的制动机制，或是持续到离心破碎极限达到亚毫秒周期。许多从伴星吸积物质的中子星表出现持续数十秒的高热原子核反应的X射线爆发，这是由于它们表面不稳定的核燃烧造成的。人们认为，在10颗中子星爆发期间的毫秒周期亮度振荡（与其他观测到的X射线快速变源不同）可以用来测量恒星的自旋，但缺乏自旋起源的直接证据。在这里，我们报告了已知自旋频率下的毫秒脉冲星的爆发的振荡探测，我们证明这些振荡总是具有相同的旋转相位。这有力地证明了爆发的振荡作为核反应驱动的脉冲，可以追踪中子星的自旋，证实了先前的证据。11个核反应驱动的脉冲星的自旋频率分布远远低于大多数中子星模型的破碎频率，这支持了理论预测，即引力辐射损失可以限制旋转毫秒脉冲星的吸积扭矩。

### 1.77.2 Knowledge

### 1.77.3 Questions

---

1. Author: Chakrabarty, D. Morgan, E. H. Muno, M. P. Galloway, D. K. Wijnands, R. van der Klis, M. Markwardt, C. B.

Address: NaN.

DOI: 10.1038/nature01732

Journal: Nature(2003).

## 1.78 The extremely metal-poor, neutron capture-rich star CS 22892-052: A comprehensive abundance analysis<sup>1</sup>

### 1.78.1 Abstract

通过结合三个地面设施和哈勃太空望远镜（HST）获得的高分辨率光谱，对CS 22892-052进行了新的丰度分析。CS 22892-052是一个极贫金属巨星，中子俘获元素的相对较多。借助于大量的铁峰跃迁(Fe peak transition)，包括六种元素的中性和电离态，我们得到了一个修正的恒星大气模型。在CS 22892-052中首次探测到了一些元素，包括Mo、Lu、Au、Pt和Pb，并对该恒星中Ga、Ge、Cd、Sn和U的丰度设定了明显的上限。总的来说，已经确定了57种元素的丰度测量值或上限，远远超过以前的可能。CS 22892-052中新的Be和Li检测表明，与具有相似金属丰度的unevolved main-sequence turnoff stars 相比，这两种元素的丰度显著减少。丰度的比较显示，最重的n-capture 元素( $Z > 56$ )和太阳系R过程丰度之间有很好的的一致性，这证实了之前对CS 22892-052和其他贫金属恒星的研究结果。新的理论的R过程的计算也显示出CS 22892-052丰度与太阳的R过程丰度成分具有很好的一致性。然而，较轻元素( $40 < Z < 50$ )的丰度偏离了与较重元素相匹配的相同的标准丰度曲线，表明丰度分布的低质量和高质量端具有不同的合成条件或位置。Th的检测和U丰度的上限一起意味着CS 22892-052的年龄段的下限为10.4 Gyr，与Th/Eu年龄估计值 $12.8 \pm \simeq 3$  Gyr相当一致。几个精确的计时比率的平均值为 $14.2 \pm \simeq 3$  Gyr。

### 1.78.2 Knowledge

### 1.78.3 Questions

---

1. Author: Sneden, C. Cowan, J. J. Lawler, J. E. Ivans,, II et al.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/375491

Journal: Astrophysical Journal(2003).

## 1.79 The physics of neutron stars<sup>1</sup>

### 1.79.1 Abstract

中子星是宇宙中大质量天体最致密的形式之一。它们是理想的天体物理实验室，用于测试致密物质的物理理论，并将核物理学、粒子物理学和天体物理学联系起来。中子星可能会表现出其他地方没有观察到的条件和现象，例如超子主导的物质、解禁闭夸克物质、超流性和临界温度接近 $10^{10}$  K的超导性，中微子的不透明性和超过 $10^{13}$  G的磁场。在这里，我们描述中子星的形成、结构、内部组成和演化。在这里，我们描述中子星的形成、结构、内部组成和演化。包括对双星系统中脉冲星的研究、孤立中子星的热辐射、脉冲星的glitches 以及来自吸积中子星的准周期振荡在内的观测提供了有关中子星质量、半径、温度、年龄和内部成分的信息。

### 1.79.2 Knowledge

### 1.79.3 Questions

---

1. Author: Lattimer, J. M. Prakash, M.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1126/science.1090720  
Journal: Science(2004).

## 1.80 A double-pulsar system: A rare laboratory for relativistic gravity and plasma physics<sup>1</sup>

### 1.80.1 Abstract

脉冲星在其看不见的中子星伴星的引力场中运动时的钟形特性，使得对广义相对论的独特测试成为可能，并为引力辐射提供了证据。我们在此报告了探测到的极端相对论的2.8秒脉冲星J0737-3039B作为23毫秒脉冲星J0737-3039A的伴星的双中子星系统，允许我们对基本引力物理学进行前所未有的测试。我们观测到了J0737-3039B对J0737-3039A的短的掩食，以及可能是由J0737-3039A的能流对其磁层的影响导致的对J0737-3039B的通量密度和脉冲形状的轨道调制。这些效应将使我们能够探测脉冲星磁层的磁离子(magneto-ionic)性质。

### 1.80.2 Knowledge

### 1.80.3 Questions

---

1. Author: Lyne, A. G. Burgay, M. Kramer, M. et al.

Address: NaN.

DOI: 10.1126/science.1094645

Journal: Science(2004).

## 1.81 Minimal cooling of neutron stars: A new paradigm<sup>1</sup>

### 1.81.1 Abstract

提出了中子星冷却方案的新分类，包括“最小”冷却或“增强”冷却。最小冷却方案取代并扩展了所谓的标准冷却方案，来包含来自库珀对破裂和形成过程的中微子发射。由于在接近超流体配对的临界温度的情况下采用了更正的URCA过程，因此这种发射占主导地位。最小冷却与增强冷却的区别在于，任何直接的URCA过程中都没有中微子发射，这是由于核子或超子、玻色凝聚体或解禁闭夸克等奇异现象造成的。在最小冷却情况下，理论冷却模型可被认为是一个四参数模型，包括涉及致密物质的状态方程（包括各种成分可能性）、致密物质的超流体性质、中子星包层的组成和中子星的质量。通过这些参数的广泛变化，探讨了最小冷却的结果。结果与推断的热发射中子星的性质进行了比较，以确定其中任何一颗是否发生了增强冷却。

考虑到年龄、温度或光度的总的不确定性，所有已经清楚地探测到热辐射的中子星，与缺乏增强冷却的中子星至少有轻微的一致性。如果PSR 0833-45(vela)以及PSR 1706-44这两颗中子星所取的年龄和/或温度的估计值较低，那么需要增强冷却，而如果PSR 0656+14、PSR 1055-52、Geminga以及RX J0720.4-3125这四颗中子星在年龄或/和亮度的估计值较高的情况下，则需要一些内部的加热源。PSR J0205+6449（在超新星遗迹3C 58中）和RX J0007.0+7302（在CTA 1中）的热发光度的新上限表明在最小情冷却的况下出现了一些增强的中微子发射。

### 1.81.2 Knowledge

### 1.81.3 Questions

---

1. Author: Page, D. Lattimer, J. M. Prakash, M. Steiner, A. W.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/424844

Journal: Astrophysical Journal Supplement Series(2004).

## 1.82 Galactic evolution of Sr, Y, and Zr: A multiplicity of nucleosynthetic processes<sup>1</sup>

### 1.82.1 Abstract

本文研究了三种容易观测到的轻n-capture元素：Sr、Y和Zr的星系丰度。输入恒星产量首先被分离为各自的主要和弱的S过程成分和R过程成分。计算了中低质量渐近巨支（AGB）恒星的s过程产额，大范围探索了主要中子源<sup>13</sup>C的效率，以及盘和晕金属性。AGB恒星被证明能够产生太阳系中的主要S过程组分，即原子质量数 $A > 90$ 的S过程所有重的同位素的分布，对低于 $A \sim 90$ 的轻S过程同位素的贡献很小。详细讨论了同时发生的弱的S过程，这个过程是为了考虑在太阳系中以及在大质量恒星中通过<sup>22</sup>Ne作中子源的主要的轻的S过程同位素。主要的S组分和较弱的S组分都没有显示出对在未演化的晕星中观察到的n-capture元素丰度有显著贡献。在了解太阳系形成时期的S过程分布的基础上，我们首先利用R过程残差法推导了R过程的同位素分布。我们假设在星系中主要的R过程是由中等质量的II型超新星产生的，它最能重现观测到的银河系与Eu相关的金属丰度的趋势，而Eu几乎是纯R过程元素。我们对一个已出版的大型光谱观测数据库进行了详细的分析，该数据库对处于各种金属丰度的银河系恒星进行了Sr、Y、Zr、Ba和Eu的光谱观测，表明观察到的与金属丰度的趋势可以根据恒星中子俘获成分的多样性来解释。Sr、Y和Zr与Ba和Eu与金属性相关的丰度比的光谱观测，为判断形成Sr、Y和Zr的中子俘获过程的类型提供了有用的判据。特别是，正如我们所预期的，如果Ba、Eu和Sr、Y、Zr都具有相同的R-过程核合成起源，那么观测到的[Sr, Y, Zr/Ba, Eu]比值在低金属丰度下会明显不平坦。考虑到生产Sr-Y-Zr的不同过程之间的相互作用，我们讨论了我们的化学演化预测。利用R过程非常丰富的极贫金属的恒星，例如CS 22892-052和CS 321082-001，我们发现了一些线索，并讨论了在低金属丰度大质量恒星中的一种初始过程的可能性，这个过程不同于“经典的S过程”，也不同于“经典R-过程”，我们初步定义为LEPP(lighter element primary process)过程。这使得我们可以修正R过程对太阳的Sr、Y和Zr丰度的贡献的估计，以及对仅有S过程的同位素<sup>86</sup>Sr、<sup>87</sup>Sr和<sup>96</sup>Mo的贡献。

### 1.82.2 Knowledge

### 1.82.3 Questions

---

1. Author: Travaglio, C. Gallino, R. Arnone, E. Cowan, J. Jordan, F. Sneden, C.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/380507

Journal: Astrophysical Journal(2004).



## 1.83 Neutron star cooling<sup>1</sup>

### 1.83.1 Abstract

对冷却中子星的观测可以潜在地提供有关超核密度下物质状态的信息。我们回顾了对冷却很重要的物理性质，如中微子发射过程和恒星内部的超流性，由于物质的吸积和表面强磁场而形成的轻元素的表面包层。这个中微子过程包括修正的Urca 过程，以及对于原子核和物质的奇异状态，例如pion 凝聚、kaon 凝聚或夸克物质的直接Urca 过程。描述了理论冷却曲线对物理输入的依赖以及对孤立中子星热辐射观测。观测和理论比较导致了对中子星三种特征类型的统一解释：主要通过某种形式的直接Urca 过程进行冷却的高质量恒星；通过较慢的过程进行冷却的低质量恒星；以及具有中间行为的中等质量恒星。结合软X射线瞬变源的观测，讨论了瞬时吸积中子星的吸积物质深壳层燃烧时的热态(thermal states) 的相关问题。

### 1.83.2 Knowledge

### 1.83.3 Questions

---

1. Author: Yakovlev, D. G. Pethick, C. J.

Address: NaN.

DOI: 10.1146/annurev.astro.42.053102.134013

Journal: Annual Review of Astronomy and Astrophysics(2004).

## 1.84 A statistical study of 233 pulsar proper motions<sup>1</sup>

### 1.84.1 Abstract

我们提出并分析了233个脉冲星的天体运动的测量目录。样品中含有各种各样的脉冲星，包括recycled objects以及与球状星团或超新星残骸有关的中子星。在对可进行多种测量的脉冲星取得最精确的天体运动结果后，大多数脉冲星的天体运动（58%）是由脉冲星定时方法得出的，41%是使用干涉仪得出的，其余1%是使用光学望远镜得出的。由于在确定脉冲星距离时使用了最新的电子密度模型，因此从这些测量中得出的许多一维（1D）和二维（2D）速度（分别指仅在一个坐标中测量的速度和横向速度的大小）比早期的估计值稍低。正常脉冲星和recycled脉冲星的平均1D速度分别为152 (10)和54(6)km s<sup>-1</sup>。相应的平均二维速度为246(22)和87(13)km s<sup>-1</sup>。PSRs B2011+38 和B2224+64具有推测的最高的~ 1600 km s<sup>-1</sup>的二维速度。我们研究了不同子样本的平均速度，发现它们大体上与以前的结果一致。将一种新的反卷积技术应用于73个特征年龄小于3Myr的脉冲星样品，我们发现脉冲星诞生时的平均三维(3D)速度为400(40)km s<sup>-1</sup>。速度的分布可以用1D rms  $\sigma = 265 \text{ km s}^{-1}$ 的麦克斯韦分布很好地描述。没有证据表明存在双峰速度分布。PSRs B1830-08和B2334+61的天体运动分别与它们与超新星遗迹W41和G114.3+0.3的proposed associations一致。

### 1.84.2 Knowledge

### 1.84.3 Questions

---

1. Author: Hobbs, G. Lorimer, D. R. Lyne, A. G. Kramer, M.

Address: NaN.

DOI: 10.1111/j.1365-2966.2005.09087/x

Journal: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society(2005).

## 1.85 Isospin asymmetry in nuclei and neutron stars<sup>1</sup>

### 1.85.1 Abstract

利用一系列核子物质的势场理论模型,研究了同位旋不对称在核和中子星中的作用。这些模型的参数是通过拟合均质块体物质(homogeneous bulk matter)和闭壳层原子核的性质来确定的。我们讨论并揭示了重核中中子皮的厚度、密度为 $0.1 \text{ fm}^{-3}$ 的beta平衡物质的压力、相同密度下的核对称能的导数和中等质量中子星的半径之间相互关联的原因。研究了原子核结合能对核物质对称性的约束。研究了即将进行的中子皮测量将对对称性进一步限制的程度。探讨了对称能量约束对中子星壳层的质量和惯性矩以及核子直接Urca过程的阈值密度的影响,所有这些都是潜在可测量的。我们还评论了假设中子星中只存在核子物质时,中子星的最小半径。

### 1.85.2 Knowledge

### 1.85.3 Questions

---

1. Author: Steiner, A. W. Prakash, M. Lattimer, J. M. Ellis, P.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1016/j.physrep.2005.02.004  
Journal: Physics Reports-Review Section of Physics Letters(2005).

## 1.86 Physics of strongly magnetized neutron stars<sup>1</sup>

### 1.86.1 Abstract

最近有越来越多的证据表明，中子星的磁场强度超过了量子临界场强 $4.4 \times 10^{13} \text{G}$ ，在这个磁场中回旋加速器能量等于电子静止质量。新发现的具有很高的自旋下降率的射电脉冲星和观测到的称为磁星的爆发伽马射线源提供了这些证据。本文将讨论这种高场机制的奇异物理，其中一系列新的过程成为可能，甚至占主导地位，以及熟悉的过程获得不寻常的性质。我们回顾了中子星内部和磁层中重要的物理过程，包括自由粒子、原子、分子、等离子体和凝聚物质在强磁场中的行为、光子在磁化等离子体中的传播、自由粒子辐射过程、中子星内部的物理和场的演化、以及衰变机制。还将讨论这些过程在天体物理源模型中的应用，包括旋转驱动的脉冲星、软伽马射线重复源、反常X射线脉冲星和吸积X射线脉冲星。在这篇综述中，我们将强调强磁场过程的观测特征，以及有待理解的理论问题。

### 1.86.2 Knowledge

### 1.86.3 Questions

---

1. Author: Harding, A. K. Lai, D.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1088/0034-4885/69/9/R03  
Journal: Reports on Progress in Physics(2006).

## 1.87 A radio pulsar spinning at 716 Hz<sup>1</sup>

### 1.87.1 Abstract

我们用绿通带望远镜在球状星团Terzan 5中发现了一个716 Hz的掩食双星射电脉冲星。它是迄今为止发现的自转最快的中子星，打破了由642 Hz脉冲星B1937+21保持了24年的记录。由于这种脉冲星的通量密度很低，掩蚀率很高（占轨道的40%），因此很难探测到它，这表明甚至存在旋转更快的中子星。如果脉冲星的质量小于两倍的太阳质量，那么它的半径必须受到自旋速率的限制， $< 16$ 公里。脉冲星的短周期也限制了支持引力辐射的模型，其通过R模式（Rossby波）不稳定性限制中子星的最大自旋频率。

### 1.87.2 Knowledge

### 1.87.3 Questions

---

1. Author: Hessels, J. W. Ransom, S. M. Stairs, I. H. Freire, P. C. Kaspi, V. M. Camilo, F.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1126/science.1123430  
Journal: Science(2006).

## 1.88 Time-dependent force-free pulsar magnetospheres: Axisymmetric and oblique rotators<sup>1</sup>

### 1.88.1 Abstract

许多天体物理物体的磁层可以用MHD(磁流体动力学)的低惯性(或force-free)极限来精确描述。本文提出了一种基于有限差分时间域方法的新的数值方法来求解无力相对论磁流体方程组,并给出了处理current sheets的自发形成的方法。我们用这种方法研究了脉冲星磁层在顺向(aligned)和斜向(oblique)磁化的几何形状中随时间的演化。对于顺向的旋转体,我们证实了Contopoulos等人的时间无关解的一般性质。对于斜向的旋转体,我们提出了磁层的三维结构,并首次计算了脉冲星的自旋下降功率与磁轴倾角的函数关系。我们发现脉冲星的自旋下降光度是 $L \approx (\mu^2 \Omega_*^4 / c^3)(1 + \sin^2 \alpha)$ ,其中 $\mu$ 是恒星的偶极矩, $\Omega_*$ 是转动频率, $\alpha$ 是磁倾角。我们还讨论了current sheet电阻率和重联对磁层结构和演化的影响。

### 1.88.2 Knowledge

### 1.88.3 Questions

---

1. Author: Spitkovsky, A.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/507518

Journal: Astrophysical Journal(2006).

## 1.89 Neutron star observations: Prognosis for equation of state constraints<sup>1</sup>

### 1.89.1 Abstract

我们研究了中子星的当前观测和拟议观测如何能够让我们了解其内部状态和关键的未知：典型的中子星半径和中子星最大质量。我们不仅考虑光子的观测，从射电波到X射线，还考虑中微子和重力波的观测。我们详细说明了结构性质的精确测定将如何导致对不被理解的在平衡密度附近及以上的核物质的状态方程的显著限制。

首先，对中子星结构进行了理论分析，包括对质量、致密性和自旋速率的广义相对论的限制。综述了最近的一些观测结果，如脉冲星时间（可以对质量、自旋周期、glitch和惯性矩估计）、中子星冷却的光学和X射线观测结果（估计核心的温度和年龄、推断内部的成分）、以及对吸积和爆发源的X射线观测（显示壳层的性质和内部成分）。接下来，我们将讨论前身中子星的中微子发射，以及当前探测器和计划探测器对超新星的中微子观测如何影响我们对中子星内部结构、质量和半径的了解。我们还探讨了超强磁场如何影响状态方程和中子星结构的问题。接下来是一个关于中子星的双星系统合并的研究，以及引力波的探测是如何明确区分普通中子星和自束缚奇异夸克星的。

### 1.89.2 Knowledge

### 1.89.3 Questions

---

1. Author: Lattimer, J. M. Prakash, M.

Address: NaN.

DOI: 10.1016/j.physrep.2007.02.003

Journal: Physics Reports-Review Section of Physics Letters(2007).

## 1.90 Short-hard gamma-ray bursts<sup>1</sup>

### 1.90.1 Abstract

观测到两种类型的伽马射线暴（GRB）：短时长硬谱线的GRB和长时长软谱线的GRB。多年来，长GRB一直是研究热点，而缺乏观测数据限制了短时长硬GRB（SHB）的研究。在2005年，随着在第一次检测到伽马射线爆发后的更长波长的SHB余辉后，出现了一个突破。与长GRB类似，余辉探测导致了SHB主星系的识别和红移的测量。这些观察证实了SHB是宇宙学上的相对论源，与长GRB不同，它不是源于大质量恒星的坍缩，因此构成了一种独特的物理现象。SHB起源的一个可行模型是紧凑的双星系统（双中子星或中子星和黑洞）的合并，在这种情况下，SHB是强引力波源的电磁对应物。回顾了近年来在这个关键的发现后的SHBs的理论和观测研究，并首次提出了新的理论结果。

### 1.90.2 Knowledge

### 1.90.3 Questions

---

1. Author: Nakar, E.

Address: NaN.

DOI: 10.1016/j.physrep.2007.02.005

Journal: Physics Reports-Review Section of Physics Letters(2007).



## 1.91 Thermonuclear (Type I) X-Ray Bursts Observed by the Rossi X-Ray Timing Explorer<sup>1</sup>

### 1.91.1 Abstract

我们收集了一个1187次热核（I型）X射线爆发的样本，来自Rossi X射线定时探测器对48颗正在吸积的中子星的观测，时间跨度超过10年。该样本包含三种理论点火状态中的两种（通过与数值模型比较确定）和第三种的可能的事例。我们详细分析了作为吸积率的函数的脉冲波形、能量学、重现时间、光球半径膨胀的存在以及脉冲振荡的存在的变化。我们估计了35个具有半径膨胀爆发源的距离，发现这些爆发的峰值通量通常会变化13%。根据爆发的性质，我们将源分为两大类：(1)同时具有长的爆发和短的爆发（表明混合有H/He的吸积）；(2)持续的短的爆发（主要是He增值），我们计算了这两组的爆发率与吸积率的函数关系。当（吸积率） $> 0.06\dot{M}_{\text{Edd}} (\gtrsim 2 \times 10^{37} \text{erg s}^{-1})$  时观察到的爆发率下降与持续光谱的状态的转变有关，并且（正如前面所述）可能与稳定氦燃烧作用的增加有关。我们发现许多重现时间小于30分钟的爆发事件，包括突发的重复三次甚至四次。我们描述了16个脉冲振荡源中13个的振荡幅度，以及在它们这探测到的振荡的脉冲的阶段和性质。X射线暴的特性与X射线暴的振荡频率有关；旋转频率小于400Hz的震源通常具有持续的短X射线暴，而旋转速度较快的系统则具有长X射线暴和短X射线暴。这一相关性表明，shear-mediated混合主导了X射线暴的特性，或者说质量供体的性质（以及演化历史）对长期的自旋演化有影响。

### 1.91.2 Knowledge

### 1.91.3 Questions

---

1. Author: Galloway, D. K. Muno, M. P. Hartman, J. M. Psaltis, D. Chakrabarty, D.

Address: NaN.

DOI: 10.1086/592044

Journal: Astrophysical Journal Supplement Series(2007).

## 1.92 Recent progress and new challenges in isospin physics with heavy-ion reactions<sup>1</sup>

### 1.92.1 Abstract

通过与丰中子核、稳定核和/或放射性核的重离子反应研究同位旋物理学的最终目的是探索中核内有效相互作用的同位旋依赖性和丰中子核物质的状态方程，特别是状态方程中的同位旋依赖项，即对称能的密度依赖。由于它对于理解许多核物理和天体物理中的现象的重要作用，在近10年来，核物质的对称能的密度依赖性的研究都是中能重离子物理研究人员的主要研究焦点，并且在实验和理论方面都取得了重要的进展。特别是，许多现象或观测数据被认为是对核物质对称的能密度依赖性的敏感探针。实验研究证实了其中的一些有趣的同位旋相关的效应，并允许我们在亚饱和密度下相对严格地约束对称能。研究了密度依赖性对对称能的限制对中子星性质的影响，发现它们对天体物理界非常有用。随着世界各地各种放射性束流设施的建设提供的新的机遇，同位旋物理学研究有望继续成为核物理学的前沿研究领域之一。在本报告中，我们回顾了近十年来通过重离子反应来研究的同位旋物理学取得的主要进展，并讨论了该领域面对最重要问题的未来的挑战。

### 1.92.2 Knowledge

### 1.92.3 Questions

---

1. Author: Li, B. A. Chen, L. W. Ko, C. M.

Address: NaN.

DOI: 10.1016/j.physrep.2008.04.005

Journal: Physics Reports-Review Section of Physics Letters(2008).

## 1.93 The strongest cosmic magnets: soft gamma-ray repeaters and anomalous X-ray pulsars<sup>1</sup>

### 1.93.1 Abstract

在过去的十年中，两类X射线脉冲星，即反常的X射线脉冲星和软伽马射线重复源，被公认为最有前途的磁星候选体：由磁能驱动的孤立中子星。我回顾了这些物体的观测特性，重点介绍了最近的结果，以及它们在磁星模型中的解释。还考虑了其他解释，特别是基于剩余吸积盘吸积的解释。讨论了这些源与其他种类的中子星以及其他的天体物理的天体之间的可能联系。

### 1.93.2 Knowledge

### 1.93.3 Questions

---

1. Author: Mereghetti, S.

Address: NaN.

DOI: 10.1007/s00159-008-0011-z

Journal: Astronomy and Astrophysics Review(2008).

## 1.94 Neutron-capture elements in the early Galaxy<sup>1</sup>

### 1.94.1 Abstract

在低金属丰度的银河系晕中，中子俘获（trans-iron-peak）元素的含量因恒星而异。这个差别既在于中子俘获元素相对于较轻的（俘获元素的）体积，也在于元素与元素之间的比率。出现了几种明确的丰度分布，揭示了快、慢中子俘获核合成模式的特性。在这篇综述中，我们总结了这些观测到的贫金属恒星的丰度，将它们与太阳系的数值进行对比，将它们与理论预测进行比较，使用它们来评估导致其特殊异常的恒星类型，并推测早期星系的核合成的时间和性质。

### 1.94.2 Knowledge

### 1.94.3 Questions

---

1. Author: Sneden, C. Cowan, J. J. Gallino, R.

Address: NaN.

DOI: 10.1146/annurev.astro.46.060407.145207

Journal: Annual Review of Astronomy and Astrophysics(2008).

## 1.95 A two-solar-mass neutron star measured using Shapiro delay<sup>1</sup>

### 1.95.1 Abstract

中子星是由已知存在于我们宇宙中最密集的物质组成，其组成和性质在理论上仍不确定。对这些天体的质量或半径的测量可以强有力地约束中子星物质的状态方程，并排除关于它们的组成成分的理论模型。然而，迄今为止，观测到的中子星质量范围太窄，无法排除许多“奇异的”非核子成分的预测。Shapiro延迟是当光通过大质量物体附近弯曲时空时，光的传播时间的广义相对论性的增加。对于高度倾斜（接近边缘）的毫秒射电脉冲星双星系统，这种效应使我们能够高精度的推断出中子星及其伴星的质量。在这里，我们给出了毫秒脉冲星双星系统J1614-2230的射电定时观测结果，它显示了一个很强的Shapiro延迟特征。我们计算了脉冲星质量为 $(1.97 \pm 0.04)M_{\odot}$ ，这几乎排除了目前提出的所有超子或boson凝聚状态方程。夸克物质只有在夸克是强相互作用的，因此不是“自由”夸克的情况下才能支持如此巨大的恒星。

### 1.95.2 Knowledge

### 1.95.3 Questions

---

1. Author: Demorest, P. B. Pennucci, T. Ransom, S. M. Roberts, M. S. Hessels, J. W.  
Address: NaN.  
DOI: 10.1038/nature09466  
Journal: Nature(2010).

## 1.96 Electromagnetic counterparts of compact object mergers powered by the radioactive decay of r-process nuclei<sup>1</sup>

### 1.96.1 Abstract

千赫引力波（GWs）最有前景的天体物理源是双中子星（NS）/黑洞系统的inspiral和并合。最大限度的科学回报的一个GW探测将需要确定一个一致的电磁（EM）对应体。致密物体的并合产生的各向同性电磁辐射最有可能的来源之一是由在合并时产生的喷流中合成的重元素的放射性衰变驱动的类似于超新星的瞬态。我们首先计算了致密天体合并产生的光学瞬变，这通过核反应网络自洽的确定了放射性的加热；利用这个加热速率，我们用一维蒙特卡罗辐射传输计算来模拟光变曲线。对于喷流质量 $\sim 10^{-2}M_{\odot}$  ( $10^{-3}M_{\odot}$ )的光变曲线的峰值出现在1d的时标上，且在V带上，亮度为 $\nu L_{\nu} \sim 30 \times 10^{41}$  ( $10^{41}$ ) erg s<sup>-1</sup> [ $M_V = -15$  ( $-14$ )]；这对应于一个有效‘f’参数 $\sim 3 \times 10^{-6}$ 的Li-Paczynski toy 模型。我们认为这些结果与相关核物理中的不确定性以及精确的早期动力学和喷流的成分相对不敏感。由于中子星合并的瞬变峰值的亮度比典型新星高出大约103倍，我们建议将这些事件命名为“kilo novae”。由于中子星合并瞬态的快速演化和低的亮度，由引力波探测触发的电磁对应体的搜索需要引力波探测天文台与天文界密切的合作。中子星合并瞬变也可在短时间的伽马射线爆后探测到，或通过当前或即将进行的光学瞬变测量“盲目”探测到。由于中子星合并喷流产生的辐射是由稀有的R过程元素形成的，当前的光学瞬态测量可以直接限制宇宙中最重元素的未知起源。

### 1.96.2 Knowledge

### 1.96.3 Questions

---

1. Author: Metzger, B. D. Martinez-Pinedo, G. Darbha, S. et al.

Address: NaN.

DOI: 10.1111/j.1365-2966.2010.16864.x

Journal: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society(2010).

## 1.97 The Equation of State from Observed Masses and Radii of Neutron Stars<sup>1</sup>

### 1.97.1 Abstract

我们从六颗中子星的非均匀数据集中确定了一个经验的致密物质的状态方程(EOS): 由Özel等人研究的三个具有光球半径扩张的I型X射线爆发源和三个瞬态低质量X射线双星。我们对X射线爆发源的质量和半径测定进行了批判性的评估, 并明确说明了系统不确定性(比如当光球半径触地时)如何影响最可能的质量和半径。我们引入了参数化的EOS, 并在贝叶斯框架内使用马尔可夫链蒙特卡罗算法来确定核参数, 比如不可压缩性和体对称能的密度依赖性。利用这一框架, 我们首次证明, 这些仅根据天体物理观测预测的参数, 都在核系统学和实验室实验的预期范围内。我们发现中子星的质量-半径关系以及致密物质的压力-密度关系都受到很大的限制。预测的对称能和接近饱和密度的EOS是软的, 导致中子星半径相对较小, 当质量 $M = 1.4M_{\odot}$ 时, 半径约11-12 km。然而, 预测的EOS在更高密度下变硬, 我们对X射线爆发的首选模型表明中子星的最大质量相对较大,  $1.9 - 2.2M_{\odot}$ 。我们的结果表明, 几种常用的状态方程与观测结果不一致。

### 1.97.2 Knowledge

### 1.97.3 Questions

---

1. Author: Steiner, A. W. Lattimer, J. M. Brown, E. F.

Address: NaN.

DOI: 10.1088/0004-637x/722/1/33

Journal: Astrophysical Journal(2010).

## 1.98 The Nuclear Equation of State and Neutron Star Masses<sup>1</sup>

### 1.98.1 Abstract

中子星是研究致密物质的重要实验室。最近的观测发现了大质量和低质量中子星，也对中子星半径进行了限制。由于中子星最大质量的存在，最大质量测量对高密度下的状态方程有很大的影响。最小质量测量和质量分布对中子星的起源和形成机制有一定的影响。质量和半径观测的集合可以实际地限制稠密物质的性质，特别是核对称能在核饱和密度附近的行为。同时，各种核实验逐渐限制了描述核状态方程对称性的参数范围。此外，对纯中子物质的新理论研究也提供了见解。这些观测、实验和理论上对致密物质的约束，结合起来，正显示出一种显著的收敛性。

### 1.98.2 Knowledge

### 1.98.3 Questions

---

1. Author: Lattimer, J. M.

Address: NaN.

DOI: 10.1146/annurev-nucl-102711-095018

Journal: Annual Review of Nuclear and Particle Science, Vol 62(2012).



## 1.99 A 'kilonova' associated with the short-duration gamma-ray burst GRB 130603B<sup>1</sup>

### 1.99.1 Abstract

短时间的 $\gamma$ 射线爆发是宇宙 $\gamma$ 射线的强烈闪光，持续时间不到2秒，其起源尚不清楚。最受欢迎的假设是，它们是由两个紧凑的恒星物体（特别是两个中子星或一个中子星和一个黑洞）合并创造的相对论性的喷流产生的。这一点得到了一些间接证据的支持，比如它们所在星系的性质，但是仍然缺乏对模型的明确确认。这种合并也将产生大量丰中子的放射性物质，在爆炸后的几天内，这些物质的衰变将导致一个微弱的瞬变，即所谓的“kilonova”。事实上，推测这一机制可能是宇宙中稳定R过程元素的主要来源。最近的计算表明，由于这些重的R过程元素产生的高的光学不透明度，kilonova的大部分能量应该出现在近红外光谱范围内。在此，我们报告了光学和近红外观测结果，为伴随短 $\gamma$ 射线暴GRB130603B发生的此类事件提供了有力证据。如果对数据的最简单解释是正确的，那么它就证实了致密的天体的并合是短 $\gamma$ 射线暴的起源，也是R过程元素的重要生产点。它还表明，kilonova提供了一个替代的，最有希望直接探测引力波源的非对称电磁特征。

### 1.99.2 Knowledge

### 1.99.3 Questions

---

1. Author: Tanvir, N. R. Levan, A. J. Fruchter, A. S.

Address: NaN.

DOI: 10.1038/nature12505

Journal: Nature(2013).