

中性子星をめぐる現代的な謎

京都ミーティングの場にて

京大・理 巽 敏隆

1973年9月 玉垣さん基研から京大・理へ

1974年4月 大学院入学

1975年4月 修士論文を始める

“Pion Condensation and Nucleons System”

(交代的層状スピン)ALS構造

田宮さん(玉垣さんの最初の院生)、高塚さん
(明石高専)との深夜まで続く“体力(白熱)”ゼミ

座右の銘:

“微視的理論により巨視的現象を理解する”

198? **京都ミーティング**始まる。(Discussion meeting+研究会+勉強会+...)
 鶴田幸子さん(モンタナ大)の日本里帰りの機会
 天体と核物理の連繋！(玉垣、高塚、武藤、鶴田、岩本、TT)



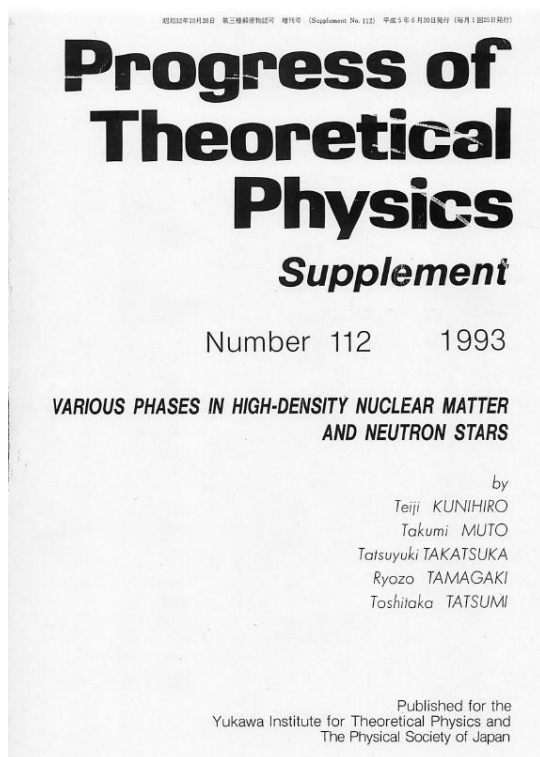
以後毎年夏、冬2回開催を続ける。 →

今年で約30年続く。(15-20人)
 玉垣さんは2012年夏
 車椅子での参加が最後。
 (“体は不自由でも頭は正常”)

1990 SENS90開催(the Structure and Evolution of Neutron Stars)



1993 PTP Suppl. 出版



CONTENTS	
Progress of Theoretical Physics Supplement	No. 112 1993
Various Phases in High-Density Nuclear Matter and Neutron Stars	
Preface	Authors i
Chapter I. Overview	Ryozo Tamagaki 1
Chapter II. Superfluidity in Neutron Star Matter and Symmetric Nuclear Matter	Tatsuyuki Takatsuka and Ryozo Tamagaki 27
Chapter III. Characteristic Aspects of Pion-Condensed Phases	Tatsuyuki Takatsuka, Ryozo Tamagaki and Toshitaka Tatsumi 67
Chapter IV. Nucleon Superfluidity under Pion Condensation in Neutron Star Matter ..	Tatsuyuki Takatsuka and Ryozo Tamagaki 107
Chapter V. Toward Realistic Treatment of Neutral Pion-Condensed State	Teiji Kunihiro, Tatsuyuki Takatsuka, Ryozo Tamagaki and Toshitaka Tatsumi 123
Chapter VI. A Chiral Symmetry Approach to Meson Condensations	Takumi Muto, Ryozo Tamagaki and Toshitaka Tatsumi 159
Chapter VII. Neutral Pion Condensation in Hot and Dense Nuclear Matter	Teiji Kunihiro, Tatsuyuki Takatsuka and Ryozo Tamagaki 197
Chapter VIII. Implications of Various Hadron Phases to Neutron Star Phenomena	Takumi Muto, Tatsuyuki Takatsuka, Ryozo Tamagaki and Toshitaka Tatsumi 221
Chapter IX. A Way to Quark Matter —Possible Intermediate Stages—	Ryozo Tamagaki and Toshitaka Tatsumi 277
Chapter X. Outlook	Teiji Kunihiro, Takumi Muto, Tatsuyuki Takatsuka, Ryozo Tamagaki and Toshitaka Tatsumi 307

玉垣さん還暦記念

π 凝縮と核子超流動に関する京都グループの研究の中間的まとめ

(世界的ベストセラー?)

我が国における高密度核物質と中性子星研究のコーナーストーン！



その後

主要テーマ: 中性子星の冷却

Basic concepts of the cooling theory

Thermal balance:

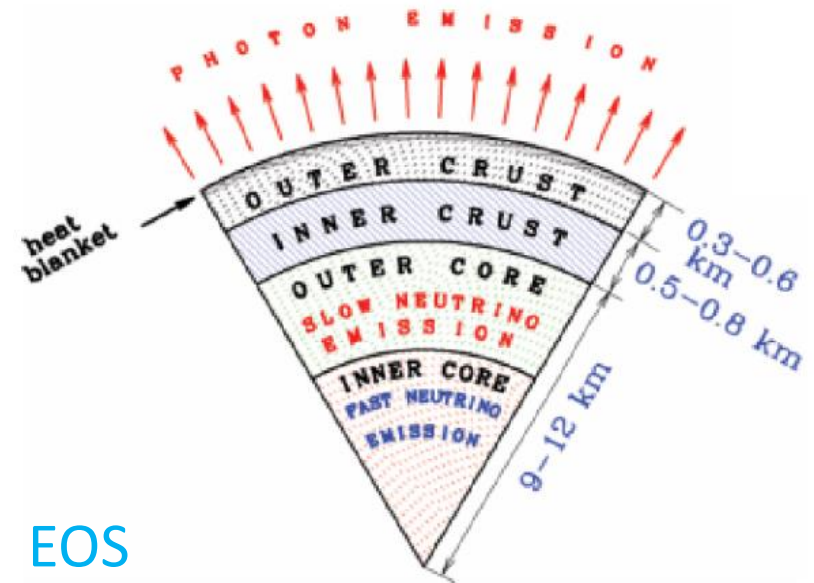
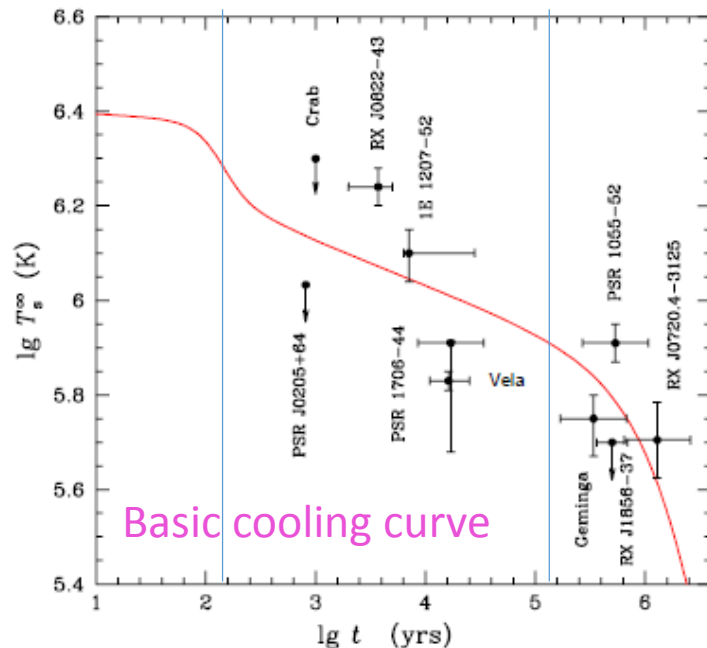
$$C(T) \frac{dT}{dt} = -L_\nu(T) - L_\gamma(T_s)$$

$$L_\gamma = 4\pi\sigma R^2 T_s^4$$

Relaxation

ν cooling

γ cooling

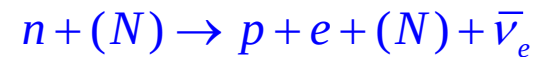


EOS

Thermal transport

Superfluidity

ν luminosity



(MURCA)

“slow cooling”

D.G. Yakovlev and C.J. Pethick,
ARA&A, 42 (2004) 169.

Quest for rapid cooling! Yakovlevらとの対立 – 長い冒険の旅の始まり

1994 “Dense Star Cooling in the Presence of Pion Condensate”

H. Umeda, K. Nomoto, S. Tsuruta, T. Muto, T. T., Ap.J. 431 (1994) 309.

$\pi^0 - \pi^c$ 共存凝縮

+ Exact cooling code

EOS

ニュートリノ放出率
(pion cooling)

+

共存凝縮下での 3P_2 核子超流動

Not gaily but Hard task (定式化 + 数値計算)

背景:

▪ Giant Gamow-Teller 共鳴(クエンチング)

(T. Wakasa et al, PRC 55(1997) 2909. T. Suzuki and H. Sakai, PLB 455 (1999) 25.)

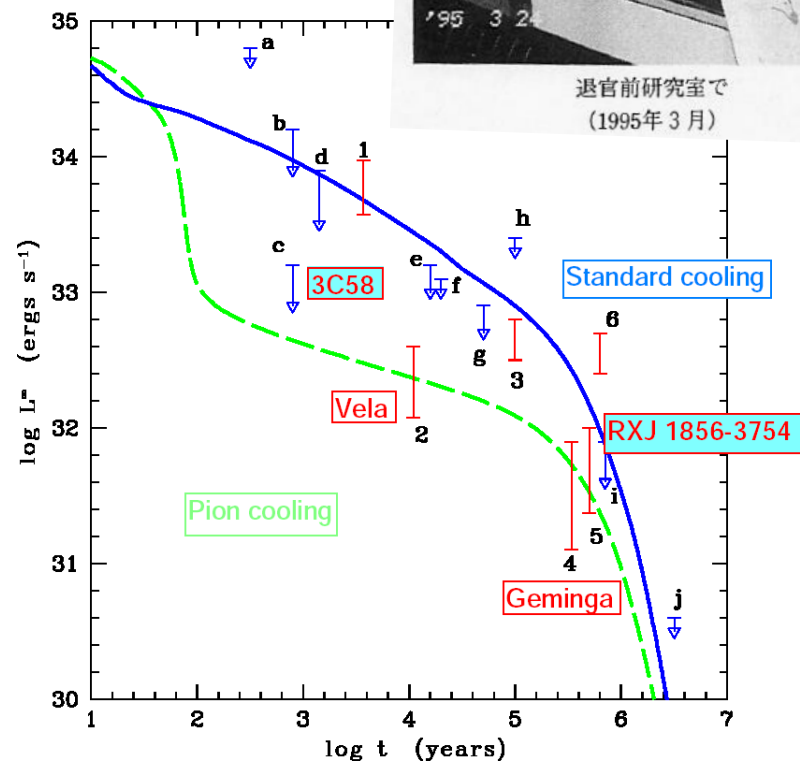
▪ Variational cal.

(A. Akmal and V.R. Pandharipande, PRC 56 (1997) 2261)

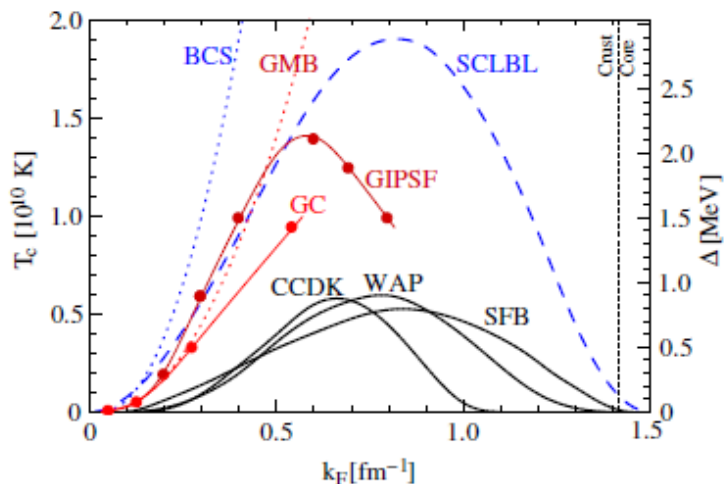
↓
ハイペロン混在へと続く



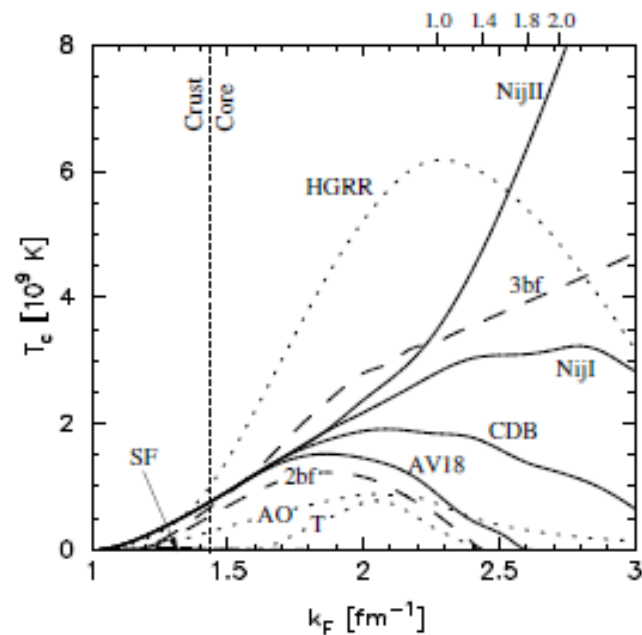
退官前研究室で
(1995年3月)



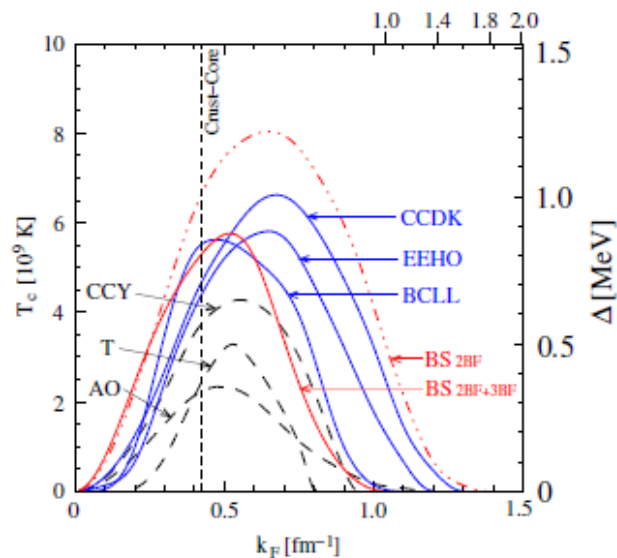
S. Tsuruta, M.A. Teter, T. Takatsuka, T. T.,
R. Tamagaki, Ap.J. 571 (2002) L143.



$^1S_0 - n$



$^3P_2 - n$



$^1S_0 - p$

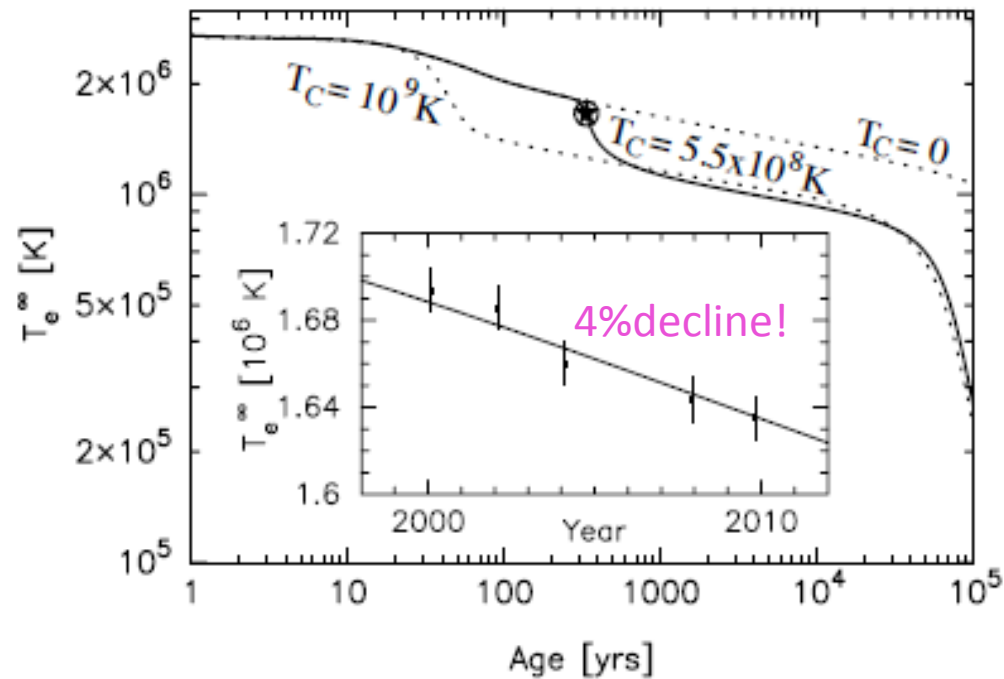
微視的計算vs(完全)現象論的フィット

200? 玉垣さん、高塚さん、TT
Yakovlevとの徹底的な議論
「Landau schoolを彷彿とさせる」

最近の状況:

CasA

核子超流動の直接の現れ?



核子超流動への相転移?

(D.Page et al., PRL 106 (2011) 081101)

(C.O. Heinke and W.C.G. Ho, Ap.J 719 (2010) L167.)

しかし、no declineの主張もあり、混沌としている。

(B. Posselt et al., Ap.J. 779 (2013) 186.)

Rapid coolingの理解

→ 将来の観測、理論の進歩に期待。

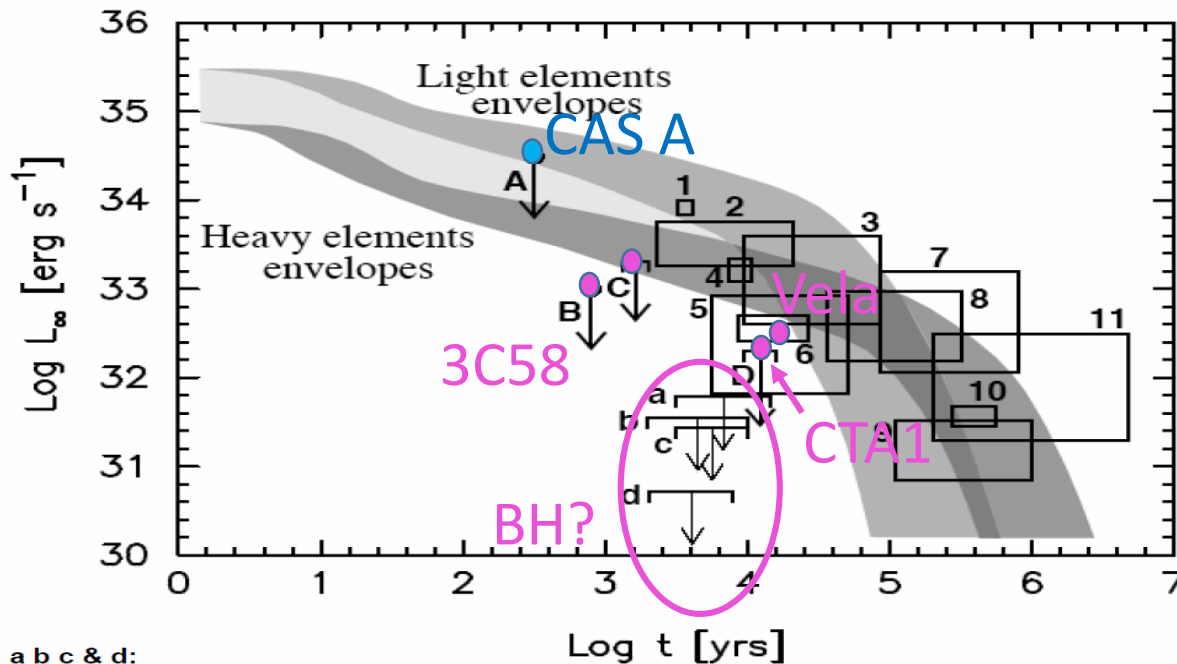
a) Temperature

$10^{10} \text{ K} \approx 1 \text{ MeV}$

vs “minimal cooling” paradigm

D.Page, astro-ph/0508056

Comparison with Data



Mag H fits:

- 1) RX J0822-4247 (in Puppis A)
- 2) 1E 1207.4-5209 (in PKS 1209-52)
- 3) PSR 0538+2817
- 4) RX J0002+6246 (in CTB 1)
- 5) PSR 1706-44
- 6) PSR 0933-45 (in Vela)

BB fits:

- 7) PSR 1055-52
- 8) PSR 0656+14
- 9) PSR 0633+1748 "Geminga"
- 10) RX J1856.5-3754
- 11) RX J0720.4-3125

Upper limits:

- A) CXO J232327.8+584842 (in Cas A)
- B) PSR J0205+6449 (in 3C58)
- C) PSR J1124-5916 (in G292.0+1.8)
- D) RX J0007.0+7302 (in CTA 1)

a b c & d:

An X-Ray Search for Compact Central Sources in Supernova Remnants. I. SNRS G093.3+6.9, G315.4-2.3, G084.2+0.8, and G127.1+0.5

Kaplan et al, ApJS 153, 269 (2004)

Caution! “minimal”は決して“minimal”であらず！

Confliction of different paradigms with different perspectives!

現代的な5つのパズル

$$M_{\max} \square 3M_{\square} \rightarrow$$

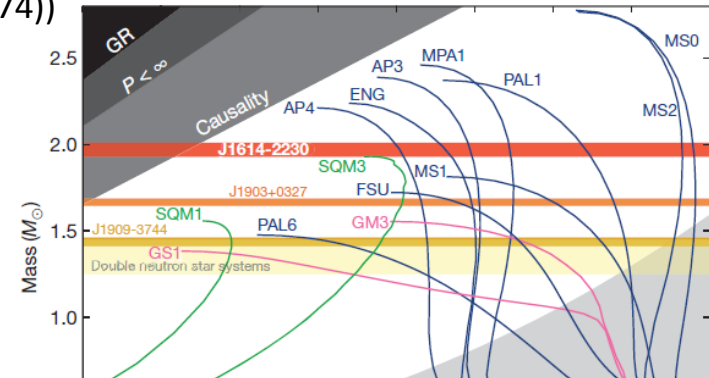
(C.E. Rhodes and R. Ruffini, PRL 32 ,324(1974))

(P.B. Demorest et al, Nature 467 (2010) 1081.)

中性子星の最大質量と第三の分枝の可能性

断熱指数 (EOS) $P = (\gamma - 1)\varepsilon$

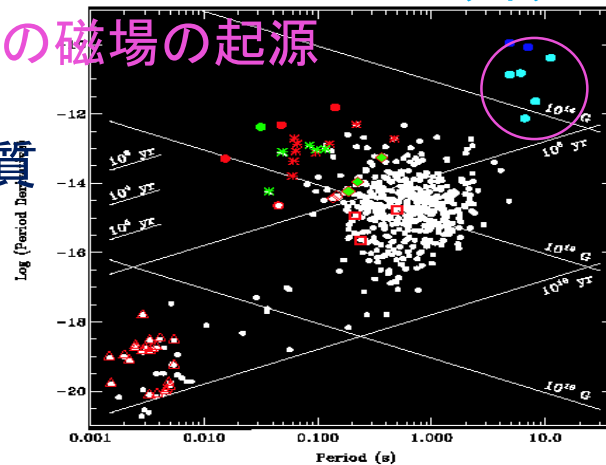
$$\rightarrow c_s^2 = \gamma - 1, \quad \gamma \rightarrow 2?$$



パルサー・マグネターの磁場の起源

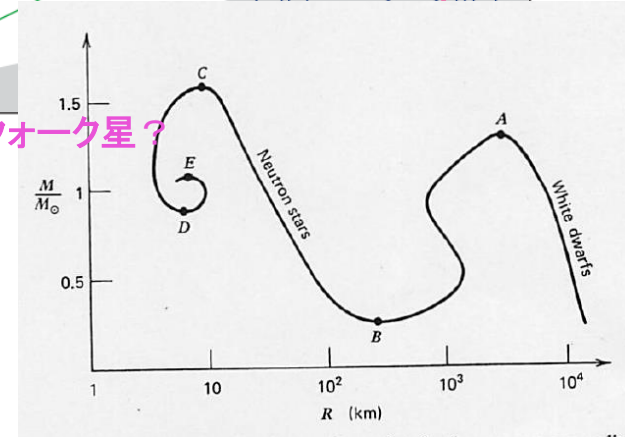
核物質、クォーク物質
の自発磁化?

(T.T., パリティ、2015.)



マグネター

クォーク星?



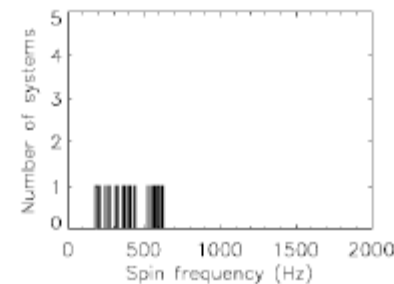
最大回転速度

$$\nu_{\max}(M) \simeq 1045 \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right)^{1/2} \left(\frac{R}{10 \text{ km}} \right)^{-3/2} \text{ Hz}$$

(J. M. Lattimer and M. Prakash, Science 304 (2004) 436.)

中性子星の急速冷却

Distribution of Neutron Star Spins in Low-Mass X-Ray Binaries



Tribute