

中性子星の磁場について

茨大理 石塚俊久

中性子星の磁場の源について若干の考察と問題点を述べる。

パルサーでは強磁場 ($\sim 10^{12}$ G) が輻射機構の前提になる。この強磁場の源として(a)天文系では化石説 (b)物理系では強磁性体の可能性 (c)その他、に分けられよう。ここでは主に(a)及び(c)に関心を持ち可能性をみたい。

(a) 化石説

静的構造の媒質内での磁場の変化は

$$\frac{\partial \bar{H}}{\partial t} = \frac{c^2}{4\pi\sigma} \nabla^2 \bar{H} \quad (\text{Gauss unit})$$

で決る。系の大きさをRとすれば、オーダーで diffusion time τ_d は

$$\tau_d = 4\pi\sigma L^2 / c^2 \quad (\text{sec})$$

でえられるが、普通の星ではポロイダル・トロイダル型の磁場で τ_d が ($4 \times 10^8 \sim 9 \times 10^8$) 年^{1), 2)}である。星が生まれるHI領域の大きさは $\sim 10^2$ 光年であるから τ_d ははるかに大きくなり、星が作られる時間 ($10^4 \sim 10^8$) 年³⁾ に比べて十分長い。又、中性子星になると考えられる主系上の星 ($5 \sim 30$) M_\odot が c-燃焼を起す迄の時間 ($7 \times 10^7 \sim 1 \times 10^8$) 年³⁾ に比べても十分長い。磁場は弱まる事なく物質の動きとともに移動する。

最初と現在の星の大きさを R_i , R_f , 磁場の強さを H_i , H_f とすれば,

$$H_f = H_i \left(\frac{R_i}{R_f} \right)^2$$

に従い磁束が保存される。中性子星 ($R_f = 10^6$ cm) の磁場を予想するに元々は太陽 ($R_i = 6 \times 10^8$ cm, $H_i = 1$ G) 及び Ap 星 ($R_i = 2 \times 10^{11}$, $H_i = 10^2$ G, $5 M_\odot$) のいずれであつてそのまま収縮して中性子星になつたとすれば H_f が $\leq 4 \times 10^9$ G, 及び 4×10^{12} G となる。Ap 星の様な特異星で期待される強度を出せるが統計上これらが中性子星になるとみるのは不

自然である。5)

中性子星に至る迄には何回かの爆発で星の表面部がはぎとられ、顔を出した内部磁場が現在の中性子星の磁場であろうという考え⁵⁾もあるが、以下にあげる化石説に伴う問題点はさけられない。

化石説では静的構造での flux 保存を前提にしたが、星の進化の段階にはいくつかの乱流状態がみられる。磁気レイノルズ数 R_m が 10^3 の二次元 eddy flow の数値実験では始め eddy 領域にあつた磁場が eddy 領域の外側に押し出されることが得られている。4) そのまま磁場レイノルズ数が大きい星に延長する事は問題があるにしてもこれらの効果が何等かの形で期待されよう。誕生期の林フェーズで、又中心部の核反応による中心計流層で磁場が外層に押し出される可能性がある。

(c) その他の説

種磁場を使わないものとして Maxwell の誘導法則を用いるメカニズムがある。回転角速度 Ω が $\Omega = \Omega(t)$ ならば $\vec{H} = \frac{2m_e c}{e} \vec{\Omega}$ のポロイダル磁場が期待される。6) 中性子星誕生時から現在に至る迄 Ω は時間的に変つていだろう。然し生ずる磁場の強度は無視しえる。これと似ているがトロイゲル磁場が作られるものにバッテリー機構がある。星の重力によりイオンと電子は電荷が分離し附加電場 E が生ずる。rot E が 0 でなければ磁場が作られる。角速度 Ω , 全圧力 P , 電子圧 P_e , 一般相対論の重力を \vec{g}_{rel} , 電子数密度 N_e 回転軸からの位置ベクトルを \vec{a} として磁場の式は

$$\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = \text{grad} \frac{P_e}{eN_e c^2} \times (\vec{g}_{rel} + \Omega^2 \vec{a}) + \left(\frac{m_e}{e} + \frac{\alpha \rho}{eN_e} \right) \text{rot}(c^2 \vec{a}) + \alpha \text{grad} \frac{\rho}{eN_e} \times (\vec{g}_{rel} + \Omega^2 \vec{a})$$

になる。但し $\alpha = P_e / P$, 1項目は一般相対論の効果とみれる。普通の星では $\Omega \approx \Omega(\tilde{\omega})$ であるならば化石組成不均一層では 0 にならず磁場の発生が期待される。7)

中性子星は全体が化学組成不均一層とみられるので磁場の発生が期待されたが⁸⁾, 回転そのものが必然的に $\text{rot}(\Omega^2 \vec{a}) = 0$ にならざるを得ず, 中性子星

「多体系量子論と天体」研究会報告

本体での磁場の発生は無く、唯一表面大気層(1m~10m)に限られる。が、層自体の厚さが小さく、 τ_d が短くて殆んど無視しえる程の強度にしかならない。

最近、Bhafia達⁹⁾は中性子星で電荷分離による $\sim 10^2$ volt/cm の電場を得ている。これを回転させたときにはポロイダル磁場が期待されるがやはり 10^{-2} G強度の強度しか期待出来ない。

以上の事から化石説が可能なものの第1になるが含む問題点に量的に答えねばならないだろう。第2の強磁性体説については最近の解説¹⁰⁾が出ている。

参 考 文 献

- 1) M. H. Wrubel, Ap. J. 166(52)291.
- 2) T. S. Smith, Ap. J. 139(64)367.
- 3) I. Iben, Ap. J. 141(65)998.
- 4) N. O. Weiss, Proc. Roy. Soc. Lon. 298(66)310.
- 5) M. Imoto, Pub. Ast. Soc. Jap.
- 6) Landau & Lifshitz, 電磁気学 P. 211.
- 7) T. Ishizuka, 発表予定.
- 8) T. Ishizuka, 天文学会秋季学会(70).
- 9) Bhafia, et al., Ast & Aphy 3(69)206.
- 10) T. Hamada, 科学 1月号 (71).