

マグネターのカイラル非対称模型 II

首都大学東京^A, 日本大学生物資源^B

大西直毅^A, 丸山智幸^B

A Chiral Asymmetry Model for Magnetar

^A*Tokyo Metropolitan Univ.*, ^B*College of Bioresource Scien. Nihon Univ.*

Naoki Onishi and Tomoyuki Maruyama

前回、マグネターの強いトロイダル磁場の起源を、マイナス・ヘリシティーの電子のみが捕獲されプラスのものは反応に預かれず残留する弱い相互作用の機構による電子のカイラル非対称分布とする簡単な模型を提案した。同様の考えの先行研究はあるが^{注1}, 具体的な描像がないこともあり、ディラック方程式の質量項によるカイラリティの混合により非対称性が短時間になくなり、そのような状態は持続せずマグネターとして存続しないとの批判がなされている^{注2}。

いま、典型的なマグネターとして質量 $1.5M_{\odot}$ 倍で半径が 12 km の中性子星を考えてみる。中性子がフェルミ縮退をしているとすると、そのフェルミエネルギーは 75 MeV となる。対称エネルギーを考慮すると、電子と陽子が弱い相互作用で中性子とニュートリノに変換するには電子のエネルギーは少なくとも 100 MeV 必要で、それ以下のエネルギー電子は残留する。このときの電子密度は $5.8 \times 10^{-3} \text{ fm}^{-3}$ と試算できる。また、反応する電子は十分相対論的で、Dirac 粒子として振舞い、非相対論的なエネルギーで少成分であった低成分が高成分と互角の振幅をもち、カイラリティの分離がよくなる。

ニュートリノのヘリシティーは負なので、電子のヘリシティーの正の成分を主要にもつ電子は余分に溜まっていく。それらが、管状に管にそって整列すると、電子の磁化によって強いトロイダル磁場が管内にできる。上述の密度では $6.8 \times 10^{17} \text{ G}$ と試算でき、観測される磁場の強さに匹敵する。一端、このような磁場が出来ると質量項によりスピントリップしてマイナス・ヘリシティー状態への変換^{注2}がエネルギー的に禁止され、それらのトロイダル磁場は準安定に存在し、マグネターとして観測できるほどゆっくりと減衰していくと考えられる。

マグネターの温度は電子のフェルミエネルギーに対し十分低いので、電子系はフェルミ凝縮していると考えられるので、電磁場を Dirac - Hartree-Fock 方程式と Maxwell 方程式を自己無撞着に解く。そのようなトロイダル磁場はプラス・ヘリシティー電子の整列による磁化によるもので、したがって、それに伴う管状の電流でトロイダル磁場ができることがわかる。

注 1 A. Ohnishi and N. Yamamoto, arXiv:1402.4760v1 [astro-ph.HE] Feb. '14

注 2 D. Grabowska, D.B.Kaplan and S. Reddy, arXiv:1409.3602v1 [hep-ph] Sep. '14