

“FOSSIL FIELD” MODELİ VƏ MAQNİTARLAR

F.Q. QASIMOV, Ə.O. ALLAHVERDIYEV

Azərbaycan MEA akademik H.Abdullayev adına Fizika İnstitutu

Anomal Rentgen Pulsarları (ARP) və Təkrarlanan Yumşaq Qamma Şüa Mənbələrinin (TYQŞM)-Itəkamülü və genezisi araşdırılmışdır. Mövcud iki modeldən maqnit modelinin daha işlək olması haqda yeni sübutlar aşkar edilib və onların yüksək kütləli ana ulduzlardan yaranması göstərilib. Maqnitlərin böyük maqnit sahələrinin dinamo mexanizmi ilə deyil, “Fossil field” modeli ilə yarana biləcəyi göstərilmişdir.

Исследованы эволюция и генезис Аномальных Рентгеновских Пульсаров и Повторяющихся Мягких Гамма Источников. Найдены новые аргументы, свидетельствующие в пользу магнитарной модели. Показано, что эти объекты образуются из более массивных звезд, причем ответственным за их большие магнитные поля является “fossil-field” модель.

The evolution and genesis of Anomalous X-ray pulsars (AXPs) and Soft Gamma-ray Repeaters (SGRs) are investigated. New arguments favoring the magnetar model are found. It is shown that the progenitors of these objects are more massive stars and that “fossil field” model is responsible for the high magnetic field of these objects.

1. GIRIŞ.

Son illərdə yüksək enerjili zərrəciklər mənbəyi olan yeni kosmik obyektlər aşkar edilmişdir. Bunlar klassik mənbələr olan İfrat yeni ulduz qalıqları (İYUQ) və radio pulsarlardan fərqli olaraq yüksək enerji itkisinə və böyük maqnit sahəsinə malik olan və əsasən rentgen və qamma diapazonunda şüalanan neytron ulduzlarının yeni təzahürləri olan Anomal Rentgen Pulsarları (ARP) və Təkrarlanan Yumşaq Qamma Şüa Mənbələridir (TYQŞM).

Hazırda bu obyektlərin təbiətini və onların təkamülünü izah edən bir neçə model mövcuddur (akkresiya mexanizmi ilə şüalanan “fall-back”, maqnitodipol mexanizminə əsaslanan maqnit model, və digərləri).

Bunların hər birinin özünə məxsus müsbət və mənfi cəhətləri vardır (onların əsasında hesablanan və müşahidə olunan neytron ulduz (NU) parametrlərinin müqayisəsi, neytron ulduzun ümumi təkamül prosesinə uyğunluğu və s.). Bu sadələnlər isə son zamanlar intensiv araşdırılmaqdadır. Bu iş əsasən astrofizikada məlum olan “fossil field” adlı modelin maqnitarlara tətbiq olunma bilmə imkanlarının araşdırılmasına yönəldilmişdir. Daha öncə [1] təklif etdiyimiz sınağın tətbiqi nəticəsində göstərilmişdir ki, ARP və TYQŞM (maqnetarlar) maqnitodipol mexanizmi ilə təkamül edən yüksək kütləli ulduzlardan əmələ gələ bilər [2].

2. $P - \dot{P}$ DIAQRAMI VƏ YÜKSƏK MAQNİT SAHƏLİ PULSARLARIN VƏ MAQNİTARLARIN GENEZISI VƏ TƏKAMÜLÜ.

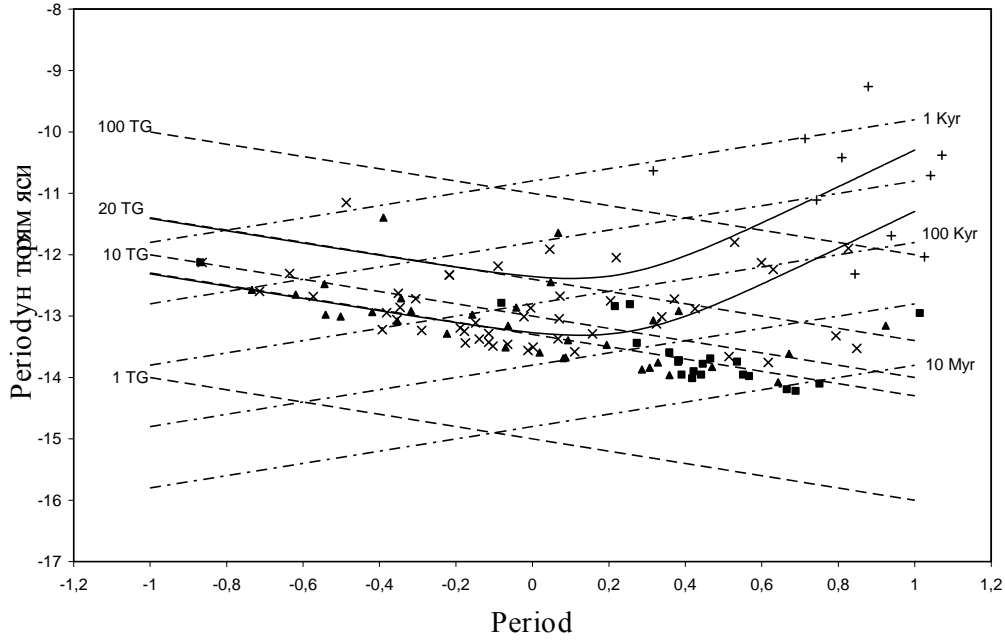
Yuxarıda qeyd etdiyimiz sınağın əsas mahiyyəti pulsarların ən dəqiq müşahidə parametrləri olan fırlanma periodlu P ilə bu periodun zamana görə birinci tərtibdən

törəməsi olan \dot{P} əsasında qurulmuş $P - \dot{P}$ diaqramında müxtəlif modellərə əsaslanaraq hesablanmış təkamül izlərinin müşahidə materiallarına nə dərəcədə uyğun gəlməsini meydana çıxarmaqdan ibarətdir. Bu məqsədlə müxtəlif modellərdən çıxan pulsar yaşlarının bu obyektlərin yaşları üçün daha dəqiq hesab olunan kinematik–statistik yaşlarla müqayisəsi aparılmışdır. Pulsarların kinematik–statistik yaşı dedikdə bu obyektlərin Qalaktika müstəvisindən

məsafəsi və onların orta statistik sürətlərini istifadə etməklə hesablanan yaşları nəzərdə tutulur. Belə üsulla tapılmış pulsar yaşları təkamül modelindən asılı olmayıb obyektin Galaktika müstəvisinə qədər olan məsafəsi ($|Z|$) ilə düz mütənəsbdir. Ancaq az sayda pulsar üçün ($\sim 10-15\%$) məxsusi hərəkətlərdən hesablanmış həqiqi fəza sürətləri məlum olduğundan, adətən bu obyektlərin təkamül və genezisdəri haqqındakı ümumi təsəvvürləri nəzərə alaraq hesablanmış orta statistik sürətlərə müraciət olunur ki, bu sonuncular statistik araşdırmalarda özünü doğruldur [4]. Pulsarlar bu sürətləri kollaps zamanı partlayışın asimmetriyası nəticəsində qazanırlar. Pulsarların sürətlərinin Günəş ətrafında Galaktikanı tərk etmək üçün lazım olan sürətdən çox olmaması və araşdırmada istifadə olunan pulsarların yaşlarının 10^7 ildən çox olmaması ona gətirib çıxarır ki, real yaşlarla Qalaktika müstəvisindən məsafə arasında xətti mütənəsblik mövcud olmalıdır. Yaşlardakı fərqi daha aydın görə bilmək üçün araşdırmada istifadə olunan pulsarlar iki qrupa ayrılmışlar: nisbətən cavan pulsarlar ($|Z| < 100$ pk) və daha yaşlı olanlar ($|Z| > 300$ pk). Pulsarların məsafələri və $|Z|$ -lər [3]-dən, sürətlər isə [4]-dən götürülmüşdür.

Yenidən bu diaqrama (Şəkil 1) müraciət edək və yüksək maqnit sahəsi olan pulsarlara nəzər salaq. Burada yüksək

maqnit sahəsi olan ($B > 5 \cdot 10^{12}$ Gs) radiopulsarların $P - \dot{P}$ (period-periodun törəməsi) diaqramı təsvir olunmuşdur. Məhz bu obyektlərin istifadə olunması yuxarıda qarşıya qoyulan məsələ ilə əlaqədardır, yəni maqnitlərin təkamülünü və onların maqnit sahələrinin mənşəyini araşdırmaq. Fərz olunur ki, maqnitlərin və yüksək maqnit sahəli radiopulsarların maqnit sahələrinin mənşəyi eynidir. Diaqramın sağ yuxarı küncündən sol aşağı küncünə doğru uzanan punktir düz xətlər aşağıdan başlayaraq sabit xarakteristik zamanın uyğun olaraq 10^7 , 10^6 , 10^5 , 10^4 və 10^3 il qiymətlərinə müvafiq gəlir. Diaqramın sol yuxarı küncündən başlayaraq sağ aşağı küncünə tərəf uzanan ştrix-punktir düz xətlər isə sabit maqnit sahəsinin uyğun olaraq 100 TGs, 10 TGs, və 1 TGs (1 TGs = 10^{12} Gauss) qiymətlərinə uyğundur. Qeyd edək ki, bu xətlər maqnitodipol mexanizmindən çıxan iki düsturdan



Şəkil 1. Yüksək maqnit sahəli radiopulsarların və maqnitarların loqarifmik miqyasda $P - \dot{P}$ diaqramı. (işarələr və xətlərin təsviri üçün mətnə bax)

$$\left(\tau = \frac{1}{2} \frac{P}{\dot{P}} \quad \text{və} \quad B = 3,2 \times 10^{19} (P \dot{P})^{1/2} \right) \text{ sabit } \tau \text{ və } B$$

qiymətlərini seçməklə çəkilmişdir.

İki əyri xətt isə kombinator (maqnitodipol + akkresiya) modelini təsvir edir. Pulsarların təkamülünü təsvir edən kombinator modeli maqnitodipol və propeller mexanizmlərinin cəmi kimi başa düşülür [5]. Bu modelə görə pulsarların periodunun artması hər iki mexanizmin təsiri ilə baş verir:

$$I \Omega \dot{\Omega} = -\beta \Omega^4 - \gamma \quad (1)$$

Bərabərliyin sağ tərəfindəki birinci hədd maqnitodipol, ikinci hədd isə propeller mexanizmini təsvir edir. Burada $\Omega = 2\pi / P$ pulsarın fırlanma bucaq sürətidir. Neytron ulduzu, “fall-back” diski işıq silindrinə daxil olmayana kimi özünü radio pulsar kimi göstərəcək. Həmin diskin təsiri ilə yaranan tormozlanma momenti belə təyin olunur:

$$N_{disk} = -\gamma / \Omega \quad (2)$$

Burada

$$\gamma = 2 \dot{M} c^2 = 2 \cdot 10^{31} \dot{M}_{10} \text{ erg/san} \quad (3)$$

Burada \dot{M}_{10} maddənin 10^{10} q/san vahidlərində ifadə olunmuş tökülmə sürətidir. Maqnitodipol şüalanması nəticəsində itirilən enerji itkisi belədir:

$$\dot{E}_{dipol} = -B_{\perp}^2 R^6 \Omega^4 / 6c^3 = -\beta \Omega^4 \quad (4)$$

Bu ifadədəki β aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\beta = 6.17 \cdot 10^{27} B_{\perp,12}^2 R_6^6 \quad (5)$$

Burada $B_{\perp,12}$ maqnit sahəsinin 10^{12} Gs vahidlərində fırlanma oxuna perpendikulyar komponentidir. R_6 isə pulsarın 10^6 sm vahidlərində ifadə olunmuş radiusudur.

Beləliklə, (1) –dən radiopulsarın periodunun dəyişməsi belə təyin olunur:

$$\dot{P} = (4\pi^2 \beta / I) P^{-1} + (\gamma / 4\pi^2 I) P^3 \quad (6)$$

Burada I pulsarın ətalət momentidir.

Kombinator modelə uyğun xətləri çəkən zaman aşağıdakı parametrlərdən istifadə olunmuşdur: Yuxarıdakı xətt: $B = 20$

TGs $\dot{M} = 10^{11}$ q/san, aşağıdakı xətt: $B = 7$ TGs, $\dot{M} = 10^{10}$ q/san qiymətlərində hesablanmışdır.

Grafikdəki obyektlərin işarələri aşağıdakı kimidir. Maqnitlar +, Radiopulsarlar: $|Z| < 50$ pk olanlar - Δ , $50 < |Z| < 100$ pk olanlar - \times , $|Z| > 300$ pk olanlar - \square kimi işarə olunmuşlar.

Yuxarıda göstərdiyimiz tendensiyanı daha aydın görmək üçün (bax, [1]) birinci qrup pulsarları ($|Z| < 100$ pk) iki yeni alt qrupa böldük ($|Z| < 50$ pk və ($50 < |Z| < 100$ pk)), beləcə, onları yaranan ilkin ulduzları kütlə ilə fərqləndirək. Şəkildən görüldüyü kimi, Qalaktika müstəvisindən uzaqlıqları $|Z| < 50$ pk və $50 < |Z| < 100$ pk olan radio pulsarların sayının nisbəti maqnit sahəsinin artması ilə müntəzəm artır. Belə ki, göstərilən nisbət $B = 10^{12}$ Gs olduqda 1,4 (maqnitodipol mexanizmi ilə təkamül edən zaman) və 1,7 (kombinator modelə uyğun) olduğu halda, $B = 10^{13}$ Gs olduqda hər iki model üçün 2,6 olur ki, bu da onu göstərir ki, Qalaktika müstəvisinə yaxın yerləşmiş ($|Z| < 50$ pk), yəni daha massiv ulduzlardan yaranmış pulsarların maqnit sahəsi nisbətən daha kiçik kütləli ulduzlardan (Qalaktika müstəvisindən daha uzaqda) yaranan pulsarların maqnit

sahələrindən daha böyük olur. Beləliklə, pulsar nə qədər Qalaktika müstəvisinə yaxındırsa onun maqnit sahəsi də bir o qədər böyük olur. Bu fakt böyük maqnit sahəli radio pulsarların və ola bilsin ki, maqnitların daha böyük kütləli ulduzlardan yaranması haqqındakı ümumi ideyanı bir daha təsdiqləyir [2].

Göstərdiyimiz maqnit-dipol mexanizminin gerçəkləşməsində maqnitlərdə mövcud olan böyük maqnit sahələrinin izahında isə iki yanaşma ola bilər. Birincisi, ilkin maqnit sahəsi $\sim 3 \times 10^3$ Gs olan yüksək kütləli OB ulduzlarının bir qismi təkamül zamanı sadəcə maqnit selinin sabit qalması (saxlanması) nəticəsində yaranan kompakt neytron ulduzunun (sıxılma radiusu ilə R^{-2} asılılığı ilə) maqnit sahəsinin artması. Maraqlıdır ki, iki massiv ulduzun [$M \sim 40 M_{\odot}$ (M_{\odot} -Günəş kütləsidir)] maqnit seli məlum SGR 0806-20 maqnitinin seli ilə uyğunlaşır ($\sim 5 \cdot 10^{27}$ Gs/sm²) [6]. Həqiqətən də, son müşahidələr belə iki daha yeni ulduzun mövcudluğunu göstərmişdir. Herbiq Ae/ Be, yəni Hertzsprung - Russell diagramında Baş Ardicılığa yenidən oturmuş ulduzlarının son spektropolyarimetrik müşahidələri nəticəsində massiv ($M > 10 M_{\odot}$) W 601 və O I 201 ulduzlarının maqnit sahələrinin 3 kGs-dan daha böyük olduğu müəyyən edilmişdir [7].

İkinci halda isə massiv ulduzların kollapsı prosesində partlayan ulduz nüvəsinin neytron ulduzuna çevrilməsi zamanı sürətli fırlanma nəticəsində (periodu ≤ 3 msan.) dinamo-mexanizmin işləməsi, ulduzun maqnit sahəsinin qısa bir müddətdə (≤ 10 -100 san.) kəskin artmasına səbəb ola bilər.

Dinamo və yaxud “fossil field” mexanizminin işləməsi hesabına yaranan böyük maqnit sahələrinin təbiəti məsələsini aydınlaşdırmaq üçün yenə də Şək. 1-ə müraciət edək. Dinamo mexanizminə görə ilkin maqnit sahələri çox da böyük olmayan ($B \sim$ onlarla Gauss (Gs)) massiv ulduzların nüvələrinin neytron ulduzuna çevrilməsi zamanı sürətli fırlanma hesabına maqnit sahəsi 10^{13} - 10^{14} Gs qiymətinə qədər arta bilər ki, bu da maqnitlər üçün xarakterik qiymətdir. Şəkil 1-ə baxaq. Bu şəkildən görüldüyü kimi obyekt saylarının sıxlığı həm $|Z| < 50$ pk, həm də $50 < |Z| < 100$ pk olduqda perioda görə demək olar ki, bərabər paylanma göstərir və periodun artması ilə artmış, bu isə dinamo mexanizmi ilə uyğun gəlir.

Doğrudan da, bu modelə görə pulsarların ilkin periodları ≤ 3 msan olmalı və momentin müxtəlif yollarla itmə imkanlarını nəzərə alan müxtəlif (nəzəri) hesablamalara görə kifayət qədər kiçik zaman ərzində (10- 100 san) period maqnitlər üçün səciyyəvi olan qiymətlərə kimi (~ 5 san) artmalıdır. Belə olan halda böyük periodlarda obyekt sayının artması meyl müşahidə olunmalı idi, yəni periodun artması ilə pulsarların miqdarı artmalı idi. Amma obyekt sayı $0,1 < P < 0,63$, $0,53 < P < 1,58$ və $1,58 < P < 6,3$ intervallarında uyğun olaraq 24, 30, 20 –dir ki, bu da daha çox müntəzəm paylanmaya uyğun gəlir və dinamo mexanizminin işləyəcəyi halda gözlənilən meyl müşahidə olunmur. Əlbəttə, bu cür meyl ancaq o halda ola bilər ki, nəzəri hesablamalar, xüsusən də fırlanma momentinin itkisi ilə əlaqədar olanlar, [8] –də göstəriləyi kimi ~ 10 -100 san ərzində baş versin. Digər tərəfdən, Şəkil 1-dən görüldüyü kimi, böyük maqnit sahəli obyektlərin sayının kiçik maqnit sahəli obyektlər

sayına nisbəti ($\frac{n_{B>B_0}}{n_{B\leq B_0}}$) periodun artması ilə bir neçə dəfə artır (amma qeyd etmək lazımdır ki, statistika çox

məhdudur-cəmi ~ 20 obyekt var). Bu isə dinamo mexanizminin işlək olmasını tam inkar etməyə imkan vermir.

Əgər itki prosesləri və ya uyğun olaraq periodun artması daha böyük zaman müddətində baş versəydi, (məsələn, [9]-də göstəriləyi kimi müntəzəm baş verən “glitch”lər hesabına) belə bir meyl müşahidə olunmaya da bilərdi. Amma daha öncə göstərdiyimiz kimi [1] maqnitlərin ilkin periodları kiçik olan radiopulsarlardan bu mexanizmi ilə yaranması əslində həqiqətə uyğun deyil. Doğrudur, bütün bunlar periodların daha uzun zaman ərzində (amma maqnitlərin yaşlarından, yəni 10^4 - 10^5 ildən çox olmamaq şərti ilə) arta bilmə imkanlarını təsvir edən başqa mexanizmlərin mövcud ola biləcəyini istisna etmir, (məsələn, bəzi pulsarların sıxlıqları çox böyük olan buludlara daxil olması kimi unikal hadisə ki, bu zaman fırlanma momenti sürətlə itirilə bilər). Lakin bizə elə gəlir ki, bu süni durumdur, həm də ki, bu zaman maqnitlərin çoxu bu halda ya yüksək sıxlıqlı mühitdə yerləşməli, ya pulsarların “Wind nebula”-sı olmalı, ya da onlar yüksək sıxlıqlı İYUQ-larda olmalı idilər. Əslində isə müşahidələr bunun əksini göstərir (cəmi bir neçə maqnit İYUQ-lara genetik bağlılıq göstərir ki, bu İYUQ-lar da digərlərindən nə energetikası ilə, nə də maddə sıxlığı ilə fərqlənmirlər [8].

3. MÜZAKİRƏ

Yüksək maqnit sahəli pulsarların və maqnitlərin ana ulduzlarının böyük kütləli adi ulduzlardan yaranması yuxarıda və daha öncə göstərdiyimiz [2] testlərin araşdırılması ilə təsdiqlənir. Lakin bu halda iki mövcud mexanizmlərdən: “fossil field” və ya dinamo mexanizminin işlək olması hələ də müzakirə predmeti olaraq qalır. Bu işin nəticələri və yuxarıda aparılan araşdırmalar göstərir ki, onlardan “fossil field” modeli müşahidələrə daha uyğundur və dinamo mexanizminin işlək olması şübhə doğurur.

Doğrudan da, əgər dinamo mexanizmi neytron ulduzunun yaranması zamanı effektiv işləsəydi və yeni yaranan maqnitlərin maqnit sahələrinin $\sim 10^{15}$ Gs olmasını təmin edən mexanizm olsaydı, onda maqnitlərlə genetik bağlı olan İYUQ-lar daha böyük enerjili olmalı və onlarda böyük maqnit sahələri mövcud olmalı idi. Amma, əslində isə belə İYUQ-nın maqnit sahələri və bu obyektlərin yaranması zamanı ayrılan partlayış enerjiləri digər İYUQ-lardan heç nə ilə fərqlənmir və standart qiymətlərə tam uyğun gəlir [8]. Bu isə “fossil field” modelini daha cazibəli edir. Sadəcə, ilkin maqnit sahələri $\sim 3 \times 10^3$ Gs olan massiv ulduz ($M \approx 40 M_{\odot}$) ilkin radiusundan NU ölçülərinə qədər sıxıldıqda maqnitlərdə var olduqları sanılan $\sim 10^{15}$ Gs maqnit sahələrini sadəcə maqnit selinin qorunması nəticəsində verə bilər. Amma bu zaman massiv ulduzun fırlanma sürəti elə olmalıdır ki, həm fırlanma momentinin saxlanması halında, həm də təkamül prosesində fırlanma momentinin mümkün itkilərini nəzərə aldıqda son nəticədə maqnitlərdə müşahidə olunan periodlar (~ 5 -12 san) təmin oluna bilsin.

Əlbəttə, maqnitlər massiv ulduzların proton-neytron nüvələrindən dinamo mexanizmi yolu ilə də əmələ gələ bilər. Lakin onların maqnitlərə çevrilməsi üçün, yəni proton-neytron nüvələrinin ilkin periodlarının (~ 3 msan) artaraq ~ 5 -12 san intervalına düşməsi üçün fırlanma momentinin ~ 70 %- itirilməsini təmin edən müxtəlif tormozlanma mexanizmləri mövcud olmalıdır (məs., maqnit-dipol, gravitasiya və digərləri).

Müxtəlif müəlliflər tərəfindən göstərildiyi kimi [8,11] sadalanan mexanizmlərin tətbiqi bu fərziyyəni çətinliklərlə rastlaşdırır. Belə mexanizmlərdən biri də yüksək tezliklə təkrarlanan glitchlər [9] (neytron ulduzunun periodunun qəfildən sıçrayışla artması) də ola bilər. Lakin yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi bu mexanizmin işlək olması mühahidə

materiaları əsasında qurulmuş real $P - \dot{P}$ diaqramında bu cür pulsarların təkamülünə uyğun gəlmir. Digər tərəfdən, yüksək moment itirilməsi maqnit sahəsinin də itkisinə gətirib çıxararaq, yaranan NU maqnit sahəsinin artmasının qabağını ala bilər və maqnitlərə məxsus olan sahəni lazımı qədər artmağa imkan verməz. Əksinə, “fossil field” modelində isə bu ziddiyyətlər yoxdur və yuxarıda göstərilən müşahidə olunan yüksək kütləli ulduzların maqnit selinin maqnitlərdə müşahidə olunan qiymətləri ilə uyğunlaşır.

Nəhayət, maqnitlərə həsr olunmuş son geniş icmalda [12] dinamo mexanizminin işlək olmasına zidd olan bir sıra arqumentlər ətraflı müzakirə olunur. Bunlardan biri maqnitlərin bu mexanizmlə əmələ gəlməsi halında, onların böyük sürətlərə malik olmasıdır ($V \geq 1000$ km/s). Lakin İYUQ-larla genetik bağlılığı şübhə doğurmayan 3 maqnitə uyğun qalıqların mərkəzində yerləşməsi və XTE J 1810-197 maqnitlərinin məxsusi hərəkətindən hesablanmış sürətinin [180 ($d/3$ kpk)] km/s olması, yəni adi pulsarların sürətindən fərqlənməməsi bunun əksini sübut edir. Digər tərəfdən, maqnitlərin cavan ulduz assosiasiyalarının yaxınlığında yerləşməsi və yuxarıda qeyd etdiyimiz onlarla genetik bağlı olan İYUQ-ların digər qalıqlardan enerji baxımından fərqlənməməsi də dinamo mexanizminə əks arqumentlər kimi qəbul olunmalıdır.

-
- [1]. *F. K Kasumov., A. O Allahverdiyev., A. I Asvarov.,* Astronomy Letters, 2006, Vol. 32, No. 5, p. 344.
- [2]. *Ф.К Касумов., А.О Аллахвердиев.* Материалы конференции «Современные проблемы физики», Баку, 6-8 декабря 2007 г., с.56.
- [3]. ATNF PSR Catalogue, 2003, <http://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/psrcat>,
- [4]. *O.H Guseinov., S.K Yerli., S.Ozkan, A Sezer.* And Tagieva S.O., Int.J. Mod. Phys. D, 2003, v.12, p.825.
- [5]. *M.a. Alpar, A. Ankay, E.Yazzan* ApJ 2001, 557, L61.
- [6]. *L.Ferrario, D.Wickramasinge* , astro-ph/0610258, Mon.Not.Royal.Astron. Soc. 2008, in press
- [7]. *E.Alleci et al* , astro-ph /08024078, 2008.
- [8]. *J.Vink and L.Kuiper*, Mon.Not.Royal.Astron Soc., Mon. Not. Royal Astron. Soc., 2006, Vol. 345, p. 146 (astro-ph/0604187)
- [9]. *J.L Lin., S.N Zhang.*, astro-ph/0405-5131, 2004
- [10]. *A.O.Allahverdiyev, F.Qasimov, S.O.Tagiyeva* Fizika-2005 Beynəlxalq Konfransın Məqalələr Topplusu, 7-9 iyun 2005, (red.K.Qurbanov), Bakı, Elm- 2005, s.23.
- [11]. *J. S Heyl.*, XXII Texas Symposium on Relativistic Astrophysics, Stanford, December 13-17, 2005, (ed. Thompson C), p. 231.
- [12]. *S Mereghetti.*, astro-ph/08040250, 2008