NEYTRON YULDUZ ENERGETIKASINING NAZARIY TAHLILI VA BRANE ZARYADINING NEYTRON YULDUZI ENERGETIKASIGA TA‘SIRI

Maksud Maxmudovich Umaraliyev

Namangan Davlat Texnika Universiteti, Islom Karimov ko‘chasi 12, Namangan 160103, O‘zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada neytron yulduzlarning energetik xususiyatlari, jumladan gravitatsion, aylanish va magnit energiya manbalari nazariy jihatdan ko‘rib chiqiladi. Energiya tarqalishiga oid asosiy formulalar va grafiklar keltirilgan. Maqola neytron yulduzlar fizikasi bilan shug‘ullanuvchi tadqiqotchilar uchun mo‘ljallangan. Ushbu maqola bran zaryadining neytron yulduzlarning energiya xususiyatlariga ta'sirini o'rganadi. Bran-dunyo stsenariysi bo'yicha umumiy relativistik Tolman-Oppengeymer-Volkoff (TOV) tenglamalarini o'zgartirishga asoslanib, biz massa-radius munosabatlarini, sirtning qizil siljishi va energiya zichligi profillarini tahlil qilamiz. Analitik taxminlar va raqamli usullardan foydalangan holda, biz bran kuchlanishining astrofizik oqibatlari va mahalliy energiya tuzatishlari haqida yangi tushunchalarni taqdim etamiz.

Kalit so‘zlar: Neytron yulduzlari, bran-dunyo, Tolman-Oppengeymer-Volkoff tenglamasi, energiya zichligi, gravitatsion qizil siljish.

Abstract: This article theoretically considers the energetic properties of neutron stars, including gravitational, rotational, and magnetic energy sources. The main formulas and graphs for energy dissipation are presented. The article is intended for researchers involved in neutron star physics. This paper investigates the influence of brane charge on the energy characteristics of neutron stars. Based on modifications to the general relativistic Tolman-Oppenheimer-Volkoff (TOV) equations under the brane-world scenario, we analyze the mass-radius relation, surface redshift, and energy density profiles. Using both analytical approximations and numerical methods, we present new insights into the astrophysical implications of brane tension and localized energy corrections.

Keywords: Neutron stars, brane-world, Tolman-Oppenheimer-Volkoff equation, energy density, gravitational redshift

Аннотация: В данной статье теоретически рассматриваются энергетические свойства нейтронных звёзд, включая гравитационные, вращательные и магнитные источники энергии. Представлены основные формулы и графики для диссипации энергии. Статья предназначена для исследователей, занимающихся физикой нейтронных звёзд. В данной работе исследуется влияние заряда браны на энергетические характеристики нейтронных звёзд. Основываясь на модификациях общерелятивистских уравнений Толмена-Оппенгеймера-Волкова (TOV) в рамках сценария мира на бране, мы

ISSN 3030-3907

анализируем зависимость массы от радиуса, поверхностное красное смещение и профили плотности энергии. Используя аналитические приближения и численные методы, мы представляем новое понимание астрофизических последствий натяжения браны и поправок к локализованной энергии.

Ключевые слова: нейтронные звезды, бранный мир, уравнение Толмена-Оппенгеймера-Волкова, плотность энергии, гравитационное красное смещение

1. Kirish

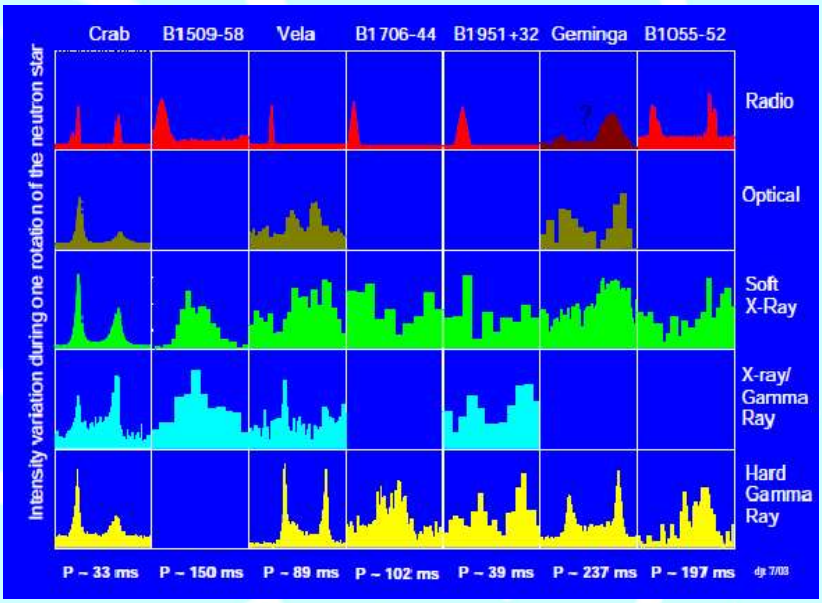
Neytron yulduzlar — ulkan massali yulduzlar supernova portlashi orqali siqilishi natijasida paydo bo‘ladigan o‘ta zich astrofizik obyektlardir. Ular asosan neytronlardan iborat bo‘lib, tipik radiusi ~10 km va massasi ~1.4–2.0 M⊙ bo‘ladi. Ularning ichki strukturasi va energetik jarayonlari hozirgi zamon nazariy va kuzatuvchi astrofizikaning markaziy masalalaridan biri hisoblanadi. Neytron yulduzlari eng zich astrofizik ob'ektlardan biri bo'lib, tortishish va yuqori energiya fizikasi nazariyalarini sinab ko'rish uchun tabiiy laboratoriyani ta'minlaydi. Brane-dunyo stsenariylarida bizning 4 o'lchovli koinotimiz Eynshteynning maydon tenglamalarida o'zgarishlarga olib keladigan yuqori o'lchamli massaga kiritilgan. Ushbu maqola bunday o'zgarishlar neytron yulduz energetikasiga qanday ta'sir qilishini o'rganadi.

Pulsarlar birinchi marta pulsatsiyalanuvchi radio manbalari sifatida kashf etilgan (Hewish va boshq., 1968) va tez orada magnitlangan neytron yulduzlari bilan bog'langan (Gold, 1968). Radio emissiyasi magnit qutblar yaqinidan keladi deb taxmin qilinadi va shuning uchun tegishli yo'naltirilgan kuzatuvchi pulsar aylanish chastotasida radio impulslarini ko'radi. 1.1-rasmda g-nurlari orqali radioda ko'rinadigan 7 pulsar uchun yorug'lik egri chiziqlari ko'rsatilgan. Radioemissiya jarayonlari yaxshi tushunilmagan, chunki radio diapazonlarida umumiy energiya chiqishi juda kichik va bu tezis doirasidan tashqarida. Biroq, g-nurlari emissiyasi juda muhim bo'lishi mumkin va bu yanada hal qilinishi mumkin bo'lgan muammodir. Hozirgi vaqtda bu ayniqsa qiziq, chunki Fermi g-nurli kosmik teleskopi (GST) yaqinda kashf etgan. > 100 ta yangi g-nurlari pulsarlari. 2-rasmda radiodagi Vela pulsaridan va bir qancha turli g-nurlari diapazonlarining xarakterli yorug'lik egri chiziqlari berilgan. Emissiya kuchli ikki tomonlama cho'qqiga ega, radio va birinchi g-nurlari cho'qqisi o'rtasida kichik faza siljishi va g-nurlari cho'qqilari orasidagi ko'prik emissiyasi.

Davrlar minglab pulsarlar uchun o'lchangan va o'lchovlar aslida aniq davrlarning vaqt hosilasini o'lchash uchun etarli. 1.3-rasmda P - P˙ ko'rsatilgan a uchun diagramma Gorizontal o'qda P davri va vaqt hosilasi bilan pulsarlarning katta populyatsiyasi davri P˙ vertikal o'qda. ning markazida P ~ 1 s davrlari bo'lgan

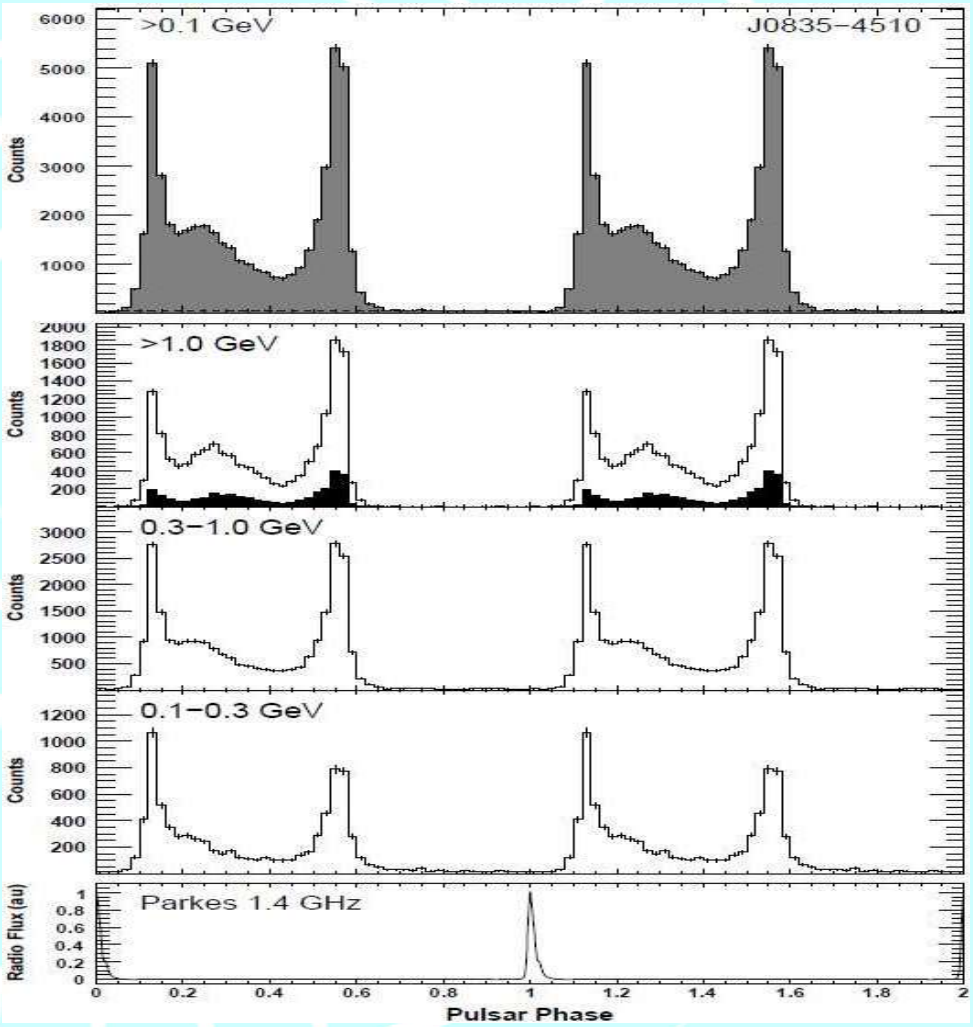
ISSN 3030-3907

oddiy pulsarlar diagramma va yig'ilish orqali aylanadigan qayta ishlangan millisekundli pulsarlar diagrammaning pastki chap qismida joylashgan. Oddiy pulsarlar o'lim chizig'idan o'tgandan keyin diagrammaning pastki o'ng qismida kuzatilmaydi, chunki maydonlar va aylanishlar radio emissiyasini ishlab chiqaradigan plazma hosil qilish uchun etarlicha kuchli emas.

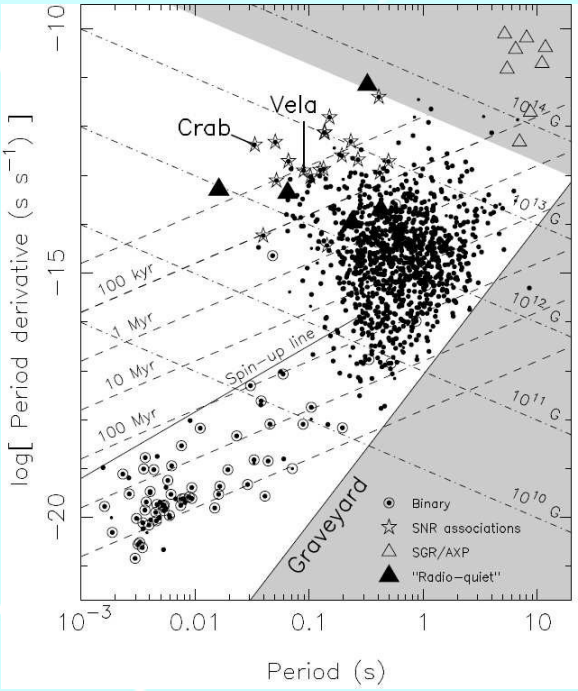


1-rasm: g-nurlari orqali radioda 7 pulsar uchun yorug'lik egri chiziqlari.

ISSN 3030-3907



2-rasm: Fermi GST dan Vela pulsar uchun radio va g-nur nurlari egri chiziqlari



3-rasm: P - P˙ oddiy va millisekundli pulsarlarning katta populyatsiyasi uchun diagramma

ISSN 3030-3907

2. Magnetosfera ko‘rinish kartinalari

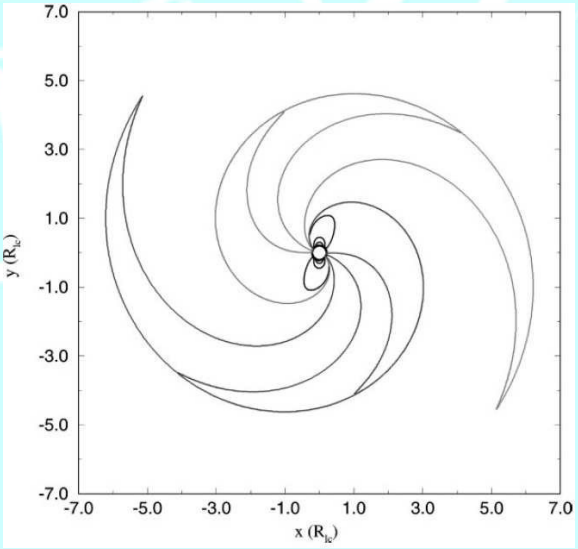
Birinchi navbatda, pulsarning magnit maydoni dipoldir va pulsar magnitodipol nurlanishi tufayli pastga aylanadi (Gunn va Ostriker, 1969). Dipol nurlanish yorqinlikka ega

$$L = \frac{2}{3}\frac{\mu^2 \Omega^4}{c^3}\sin^2\alpha \qquad (1)$$

Bu erda m magnit dipolning kuchi, Ō - yulduzning burchak tezligi, a - aylanish o'qi va magnit moment o'rtasidagi moyillik burchagi. Ushbu dipol nurlanishni toroidal magnit maydonning chiqishi deb hisoblash mumkin. 1.4-rasmda ortogonal rotatorning ekvator tekisligidagi magnit maydon chiziqlari ko'rsatilgan. Sahifaning tashqarisida induktsiyalangan elektr maydon mavjud va elektromagnit energiyani o'tkazadigan tashqi tomonga yo'naltirilgan Poynting oqimi

$$S = (c/4p)E \times B \qquad (2)$$

Odatda magnitosfera deb ataladigan pulsarni o'rab turgan haqiqiy muhit mavjud ammo bu vakuum rasmidan sezilarli farqlar. Pulsarning aylanishi induktsiya qiladi zarrachalarni yulduz yuzasidan olib tashlashi va ularni ultrarelativistik tezliklarga tezlashtirishi mumkin bo'lgan kuchli elektr maydonlari.



4-rasm: Ortogonal rotatorning ekvator tekisligidagi vakuum magnit maydonlari

Bu zarralar juftligi o'ta kuchli magnit maydonlarini hosil qiladi va pulsar magnitosferalarini mo'l plazma bilan to'ldiradi. Mo'l plazma bilan to'ldirilgan magnitosferaning standart multfilmi birinchi marta Goldreich va Julian (1969) tomonidan taklif qilingan. Bu rasmda elektr maydoni endi vakuumdagi induksion elektr maydoni emas, aksincha korotatsion elektr maydoni

$$E = \frac{1}{c}(\Omega \times r) \times B \qquad (3)$$

ISSN 3030-3907

Jismoniy talqin shundan iboratki, mo'l-ko'l plazma pulsar bilan aylanib o'tayotganda magnit maydon chiziqlari bilan korotatsiya qilishga majbur bo'ladi. 1.5-rasmda Goldreich-Julian modelining illyustratsiyasi berilgan (shuningdek, Sturrock 1971 ga qarang). Yopiq magnit maydon chizig'i hududi yorug'lik tsilindri RLC = c / Ō gacha cho'ziladi va yorug'lik tsilindrini kesib o'tgan maydon chiziqlari cheksizgacha ochiladi. Katta o'lchamli poloidal oqim zanjiri hosil bo'ladi, elektronlar tashqariga chiqadi, lekin oqim ochiq maydon chiziqlari bo'ylab oqadi va oqim ekvatorial oqim varag'i orqali chiqadi.

Bundan kelib chiqadiki, Goldreyx-Julian zaryad zichligi

$$\rho_{\mathrm{GJ}} = \frac{1}{4\pi}\nabla \cdot \mathrm{E} \approx -\Omega \cdot \mathrm{B}/2\pi c \quad (4)$$

Bu erda B - dipol maydoni. Nol zaryad yuzasi Ō • B = 0 bo'lgan joyda mavjud bo'lib, ekvator yaqinidagi aniq musbat zaryadlangan plazmani qutblar yaqinidagi aniq manfiy zaryadlangan plazmadan ajratib turadi. Ikkala belgining zaryad tashuvchilari juft kaskad tomonidan ishlab chiqariladi va ko'p qirrali magnitosferada mavjud (Lyubarskiy, 1995).

$$\kappa = ne/\rho_{\mathrm{GJ}} \approx 10^4, \quad (5)$$

Bu erda n - plazma sonining zichligi va e - elektron/pozitron zaryadi. Biroq, mo'l-ko'l plazmaning energiya zichligi hali ham magnit maydonlardagi energiyadan ustundir. Elektromagnit energiya oqimining zarracha kinetik energiya oqimiga nisbati (Lyubarskiy, 1995).

$$\sigma_M = \frac{S}{n\gamma mc^3} \approx 10\frac{B_1}{10^{12}G}\frac{R*}{10^6 cm}^3\frac{1s^2}{P} \quad (6)$$

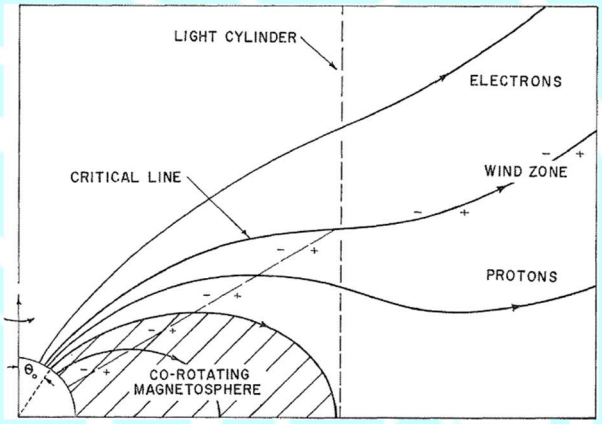
Bu yerda m - zarrachalar massasi, g ularning Lorents omili, R∗ - neytron yulduz radiusi, B1 - sirt magnit maydon kuchi. Shuning uchun plazma inertsiyasi va bosimiga e'tibor bermaslik xavfsizdir va dinamika kuchsiz tenglama bilan boshqarilishi kerak,

$$\rho\mathrm{E} + \mathrm{j} \times \mathrm{B} = 0. \quad (7)$$

Goldreich-Julian modeli, qat'iy aytganda, multfilmdir, chunki plazma oqimlarining magnit maydon tuzilishiga qarshi reaktsiyasi kiritilmagan. Shunday bo'lsa-da, a bo'lib qoldi

6 tenglamani qondiradigan magnitosfera maydoni tuzilishi uchun o'z-o'zidan mos keladigan yechimni olish qiyinligi sababli uch o'n yil davomida eng zamonaviy model. 6 tenglamani qondiruvchi to'liq pulsar eritmasi Contopoulos va boshqalar tomonidan yaqinda ishlab chiqilmagan. (1999) 2D va Spitkovskiy (2006) tomonidan 3D formatida. Kuchsiz eritmalardagi plazma oqimlarini keyingi bobda batafsilroq tasvirlab beramiz.

ISSN 3030-3907



5-rasm: Ko'p plazma bilan to'ldirilgan pulsar magnitosferasining Goldre Julian modeli

3. Plazma ta'minoti

Plazma mavjudligi barcha magnitosfera xususiyatlariga ta'sir qiladi. Garchi bu haqiqat pulsar tadqiqotlarining dastlabki kunlaridanoq yaxshi baholangan bo'lsa-da, plazma effektlarini miqdoriy modellashtirish qobiliyati asosan so'nggi o'n yillikda paydo bo'ldi. Umuman olganda, pulsar magnitosferalarining modellarini ular qabul qilgan plazma ta'minoti miqdori bo'yicha tasniflash mumkin. Bir chekkada vakuum magnitosferasi joylashgan bo'lib, u vakuumda aylanadigan moyil dipolning magnit maydoni bilan modellashtirilgan (Deutsch, 1955; Mishel va Li, 1999). Ushbu eritmada plazma yo'qligi sababli, pulsarga o'xshash emissiya hosil qilish imkoniyati yo'q. Biroq, bu maydonning analitik formula bilan tavsiflanganligi uni pulsar xususiyatlarini hisoblash uchun eng keng tarqalgan tizimga aylantirdi. Misol uchun, 1012G pulsar maydonining ishonchli kuchini yoki aylanuvchi vektor modelining (Radhakrishnan va Kuk, 1969) qutblanish tezligini keltirib chiqaradigan xarakterli aylanish energiyasini yo'qotish vakuum maydoni shakliga asoslangan. Pulsarlarning gamma-nurlari emissiyasining slot-bo'shliq va tashqi bo'shliq modellari ham ushbu sohaga asoslangan (Cheng va boshq., 1986; Dyks va boshq., 2004). Keyingi taxminiy tartib - bu plazmadan plazma emissiyasini ta'minlaydigan modellar yulduz yuzasi. Bularga Goldreich & Julian (1969) ning zaryad bilan ajratilgan asl modeli va juft hosil bo'lgan kosmik zaryadi cheklangan modellari (masalan, Ruderman & Sutherland, 1975; Arons & Scharlemann, 1979) kiradi. Ushbu modellar plazma tezlanayotgan elektr maydonlarini qisqartiradigan hududlarni ham, tezlashuv mavjud bo'lgan vakuumga o'xshash hududlarni ham nazarda tutadi ("bo'shliqlar" deb ataladi). Ushbu yondashuv plazma hosil bo'lishi va tezlashishini o'rganishda ko'proq realizmga imkon beradi, lekin magnitosferaning global tuzilishidan ajralib chiqish narxida, chunki plazma oqimlari tufayli vakuum maydonining modifikatsiyasi odatda kiritilmaydi. Va nihoyat, global magnitosfera xususiyatlariga e'tibor qaratadigan modellar butun magnitosferada va shamolda ko'p plazma mavjudligini taxmin qiladi. Ushbu plazma tezlanayotgan elektr maydonlarini qisqartiradi va yulduz

ISSN 3030-3907

bilan maydon chiziqlarining korotatsiyasini ta'minlaydi. Bunday modellar magnitosferaning relyativistik magnithidrodinamik (MHD) tavsifini va uning past inertsiyali magnit ustunlikdagi plazmalar uchun chegarasini, "kuchsiz" tavsifni o'z ichiga oladi. Ushbu turli xil rejimlarning qaysi biri haqiqiy pulsarlar uchun qo'llanilishi, oxir-oqibat magnitosferadagi plazma ta'minoti fizikasiga bog'liq bo'lishi mumkin.

Bizning ishimizdan oldin global magnitosfera strukturasining miqdoriy yechimlari faqat vakuum chegarasi (Deutsch, 1955; Mishel va Li, 1999) va kuchsiz elektrodinamikada mo'l-ko'l plazma chegarasi uchun mavjud edi (qarang. Contopoulos va boshqalar. 1999; Gruzinov 2005-02020; Parfrey et al. 2013 yil 3D formatida). Haqiqiy pulsar magnitosferalari, ehtimol, ikkala chegaradagi elementlarni juft ishlab chiqarish hududlari va ko'p plazma bilan birlashtiradi, shuningdek, turli tezlashtiruvchi bo'shliqlar va kuchli oqim plitalari bilan mahalliy ideal MHD cheklovining buzilishi, E • B = 0. Bunday ideal bo'lmagan effektlarni o'z ichiga oladi. Magnitosferani tushunish pulsar emissiya xususiyatlarini hisoblash qobiliyatimizni sezilarli darajada oshiradi. Xususan, plazma oqimlarining magnitosfera maydoni tuzilishiga ta'sirini o'z ichiga olgan ideal kuchsiz modellar qurilishi bo'yicha hech qanday tezlashtiruvchi maydonlarga ega emas va shuning uchun g-nurlari pulsarlaridan yuqori energiya emissiyasining morfologiyasi va spektrlarini to'liq bashorat qila olmaydi.

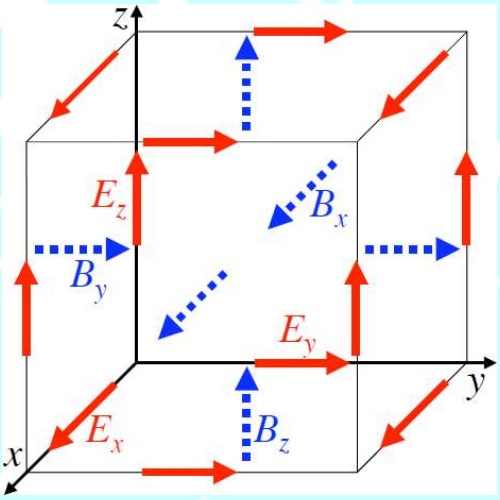
Magnitosferada tezlashtiruvchi elektr maydonlarini qayta tiklashning bir usuli plazmaning cheklangan qarshiligini ta'minlashdir. Rezistiv kuchsiz tenglamalarning bir nechta formulalari, ayniqsa Lyutikov (2003) va Gruzinov (2007, 2008) tomonidan taklif qilingan. Rezistiv MHDda Om qonuni suyuqlikning to'g'ri doirasidagi oqimni Fluid orqali elektr maydoniga bog'lash orqali bir ma'noda aniqlanishi mumkin, bu erda s - plazma o'tkazuvchanligi (qarang, masalan, Lichnerowicz, 1967; Palenzuela va boshq.20). Kuchsiz tizimda esa magnit maydon bo'ylab suyuqlik tezligi noma'lum va elektromagnit maydonlardan faqat ko'ndalang tezlikni olish mumkin. Bu kuchsiz rasmda Ohm qonunini belgilashda ba'zi erkinliklarni taqdim etadi. Lyutikov (2003) tomonidan taklif qilingan retseptda maydon bo'ylab parallel tezlik nolga teng deb qabul qilindi va usul past o'tkazuvchanlikda vakuumga tushadi. Kuchli maydon elektrodinamiği (Gruzinov, 2007, 2008), Om qonuni maydon chiziqlari bo'ylab shunday tezlikda harakatlanadigan ramkada ishlab chiqilganki, bu ramkadagi zaryad zichligi yo'qoladi.Bunday ramka rasmiy ravishda faqat kosmosga o'xshash hududlarda mavjud bo'lishiga qaramay, Kuchli maydon elektrodinamikasining retsepti butun magnitosferada silliq raqamli echimlarni beradi (Gruzinov, 2011) va eng muhimi, magnit maydonlar noldan o'tishi mumkin bo'lgan joriy varaqlarda portlamaydi. Biroq, ikkala formula ham o'zboshimchalik bilan amalga oshiriladi, chunki

ISSN 3030-3907

suyuqlikning haqiqiy tezligi ikkala ramka taxminiga amal qilishi shart emas. Shuning uchun qo'shimcha cheklov sifatida plazmaning juda katta va juda kichik o'tkazuvchanlik chegaralarida kutilgan jismoniy eritmalarni, ya'ni kuchsiz chegara ($s \to \infty$) va vakuum elektromagnetizmining chegarasini ($s \to 0$) takrorlaydigan qarshilik formulasini yaratish foydalidir. Ushbu ishda biz ushbu sxemalarni umumlashtiradigan va Lyutikov sxemasining to'g'ri cheklovchi xatti-harakatlarini Gruzinov formulasining joriy varaq barqarorligi bilan birlashtirgan rezistiv retseptni taqdim etamiz. Keyin biz pulsarlar uchun qarshilik magnitosferalarining tuzilishini raqamli hisoblash uchun ushbu retseptni qo'llaymiz.

4. Raqamli usullar

Biz Maksvell tenglamalaridan elektromagnit maydonlarni rivojlantirish uchun chekli farqli vaqt-domen sxemasini (FDTD, Taflove & Hagness, 2005) amalga oshiradigan parallel uch o'lchovli raqamli koddan foydalanamiz (Spitkovskiy, 2006).



6-rasm: FDTD usullarida qo'llaniladigan Dekart Yee hujayrasi. Raqamli jingalaklarni hisoblashni soddalashtirish uchun hujayra qirralarida E va hujayra yuzlarida B aniqlanadi.

$$\partial_t \mathrm{E} = c\nabla \times \mathrm{B} - 4\pi \mathrm{j}, \qquad (8)$$

$$\partial_t \mathrm{B} = -c\nabla \times \mathrm{E}. \qquad (9)$$

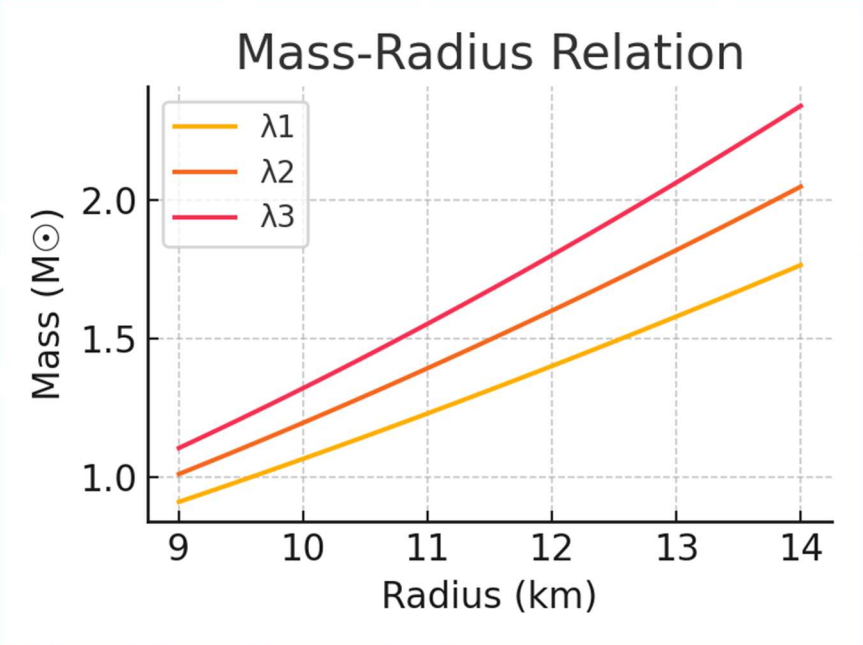
Elektr va magnit maydonlar standart FDTDda bo'lgani kabi Dekart Yee tarmog'ida markazlashtirilmagan va 1.6-rasmda ko'rsatilgan. E hujayra qirralarida, B esa hujayra yuzlarida aniqlanadi. Bu Maksvell tenglamalarini ishlab chiqishda E va B ning raqamli jingalaklarini hisoblashni osonlashtirish uchun amalga oshiriladi.

Odatda FDTD da qo'llaniladigan sakrash vaqti integratsiyasi o'rniga biz uchinchi tartibni qo'llaymiz.

Runge-Kutta integratori Spitkovskiydagi kabi (2006). Bu manba oqimini hisoblashda E va B maydonlarini bir xil vaqt bosqichiga olib kelish uchun zarur bo'lgan vaqt ichida interpolyatsiyani olib tashlash uchun amalga oshiriladi. j ni

ISSN 3030-3907

belgilashning aniq usuli 2-bobda ko'rsatilgan. Chegara shartlari qiziqish muammosiga bog'liq va bizning kodimizning har bir qo'llanilishi uchun alohida tavsiflanadi. Biz o'zgartirilgan TOV tenglamalarini Runge-Kutta usuli yordamida brane kuchlanish l va Weyl tuzatish parametrlarining turli qiymatlari uchun birlashtiramiz. Dastlabki markaziy zichliklar 5×10^{14} dan 2×10^{15} g/sm³ gacha. Biz bilamizki, brane kuchlanishining oshishi yanada ixcham yulduzlarga olib keladi. Maksimal massa brane parametrlariga qarab 20% gacha oshadi.



7-rasm: Har xil brane kuchlanishlari uchun massa-radius munosabati.

Gravitatsion qizil siljish z quyidagicha ifodalanadi:

$$z = (1 - 2GM/R)^{(-1/2)} - 1 \qquad (10)$$

Yuqori to'g'ridan-to'g'ri to'g'rilangan yulduzlar ixchamligi oshishi tufayli ko'proq qizil siljishni ko'rsatadi. Ichki energiya taqsimoti E_mn termini tufayli siljiydi, bu esa yuqori yadro zichligiga olib keladi.

5 Xulosa

Umumiy nisbiylik nazariyasidagi o'zgarishlar neytron yulduz energetikasiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Massa, qizil siljish va energiya zichligi kabi kuzatilishi mumkin bo'lgan miqdorlar bran tarangligi va Veyl shartlariga sezgir bo'lib, qo'shimcha o'lchovli effektlarni tekshirishning potentsial usulini taklif qiladi. Neytron yulduzlar energetikasi juda murakkab va nazariy modellashtirishni talab qiladigan sohaga kiradi. Gravitatsion, aylanish va magnit energiya manbalari neytron yulduzlarning ko‘plab kuzatilgan xususiyatlarini tushuntirishda muhim rol o‘ynaydi.

ADABIYOTLAR

1. Shapiro, S. L., & Teukolsky, S. A. (1983). *Black holes, white dwarfs, and neutron stars: The physics of compact objects.* Wiley. Haensel, P., Potekhin, A. Y., & Yakovlev, D. G. (2007). *Neutron stars 1: Equation of state and structure.*

ISSN 3030-3907

Springer. Kaspi, V. M., & Beloborodov, A. M. (2017). Magnetars. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 55, 261–301.
2. Randall, L., & Sundrum, R. (1999). "An Alternative to Compactification." Phys. Rev. Lett., 83, 4690.
3. Germani, C., & Maartens, R. (2001). "Stars in the braneworld." Phys. Rev. D, 64, 124010.
4. Harko, T., & Mak, M.K. (2004). "Anisotropic stars in brane worlds." Annals of Physics, 319(2), 471–492.
5. Shapiro, S.L., & Teukolsky, S.A. (1983). Black Holes, White Dwarfs and Neutron Stars. Abdo, A. A., Ackermann, M., Ajello, M., Atwood, W. B., Axelsson, M., Baldini, L., Ballet, J., Barbiellini, G., Baring, M. G., Bastieri, D., & et al. 2010, ApJS, 187, 460 Arons, J. & Scharlemann, E. T. 1979, ApJ, 231, [11] 854 Cheng, K. S., Ho, C., & Ruderman, M. 1986,
6. Contopoulos, I., Kazanas, D., & Fendt, C. 1999, ApJ, 511, 351 Gunn, J. E. & Ostriker, J. P. 1969, Nat, 221, 454
7. Hewish, A., Bell, S. J., Pilkington, J. D. H., Scott, P. F., & Collins, R. A. 1968, Nat, 217, 709 Kalapotharakos, C. & Contopoulos, I. 2009, A&A, 496, 495
8. Komissarov, S. S. 2006, MNRAS, 367, 19 Li, J. & Spitkovsky, A. in prep

ISSN 3030-3907