

Nigina ALIMOVA,
O'zbekiston Milliy universiteti tayanch doktoranti (PhD),
Ta'lat AXUNOV,
O'zbekiston Milliy universiteti AAFK mudiri, f.m.f.d.
Dilshod BEKOV,
O'zbekiston Milliy universiteti tayanch doktoranti (PhD),
Otabek BURXONOV,
O'zRFA Astronomiya instituti bo'lim boshlig'i
E-mail: alimovan455@gmail.com,
Tel: +998 93 514 81 63

O'zRFA AI professori, f.m.f.d. Mirtojieva K.T. taqrizi asosida

PHOTOMETRY OF THE GRAVITATIONALLY LENSED QUASAR GRAL J024848.7+191331

Annotation

We presents the results of a photometric research of the four-component of the gravitational lensed quasar GRAL J024848.7+191331, which was observed at the Maidanak Observatory in 2021-2022. The light curves of the system and individual components are shown; there are no signs of microlensing. The values of time delay between the three main pairs of object components are calculated.

Key words: Gravitational lens quasar: GRAL J024848.7+191331

ФОТОМЕТРИЯ ГРАВИТАЦИОННО – ЛИНЗИРОВАННОГО КВАЗАРА GRAL J024848.7+191331

Аннотация

В статье представлены результаты фотометрического исследования четырехкомпонентного гравитационно – линзированного квазара GRAL J024848.7+191331, наблюдавшегося в обсерватории Майданак в 2021-2022 гг. Показаны кривые блеска системы и отдельных компонентов, признаки микролинзирования отсутствует. Рассчитаны значения времен задержек между тремя основными парами компонентов объекта.

Ключевые слова: Гравитационно – линзированный квазар: GRAL J024848.7+191331

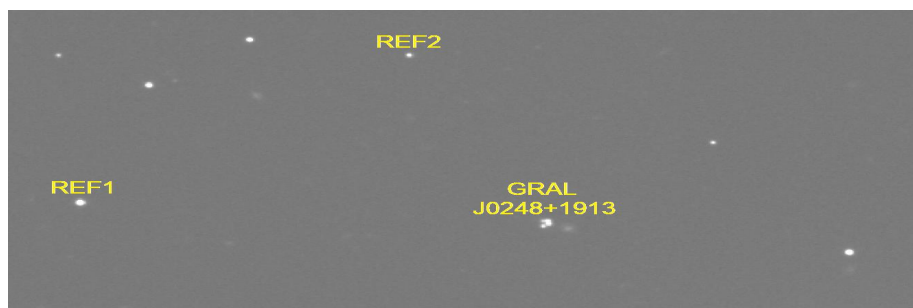
GRAL J024848.7+191331 NOMLI GRAVITATSION LINZALANGAN KVAZARNING FOTOMETRIYASI

Annotatsiya

Maqolada Maydanak observatoriyasida 2021-2022 yillar davomida kuzatilgan to'rt komponentli GRAL J024848.7+191331 nomli gravitatsion linzalangan kvazarning fotometrik tadqiqoti natijalari keltirilgan. Butun sistemaning hamda uning alohida komponentlarining ravshanlik egri chiziqlari ko'rsatilgan. To'rttala komponentning ko'rinma ravshanligi teng darajada o'zgarib turganligi va bu mikrolinzalanishning (hech bo'lmaganda kuchliligi) yo'qligini ko'rsatib o'tdik. Obektning komponentlari uchta asosiy juftligi o'rtasidagi kechikish vaqtlarining qiymatlarini hisoblab topildi.

Kalit so'zlar: Gravitatsion linzalangan kvazar: GRAL J024848.7+191331

Kirish. Gravitatsion linzalanish hodisasi Koinotdagi moddaning taqsimoti va miqdorini, linzalovchi jismlardagi massani, nurlanish manbasining tuzilishi kabi astrofizik va kosmologik muammolarni o'rganishda noyob vosita sifatida qaraladi. Shunda gravitatsion linzalangan kvazarlar (GLK) alohida o'rin tutadi, chunki bunday sistemalarda Koinot mashtabidagi obyektlar ishtirok etadi. Bu yo'nalishda sezilarli natijalarga erishish uchun ma'lum bo'lgan gravitatsion linzalangan kvazarlarning har birini uzluksiz va batafsil o'rganish talab etiladi. Shu sababli so'nggi paytlarda turli kuzatuv loyihalari, masalan GRAL, GAIA, SDSS va boshqalar doirasida kuzatib topilgan yangi GLKlar soni doimiy ravishda ortib bormoqda [1-6]. Shular orasida to'rt komponentli GLKlar alohida o'rin tutadi, chunki ular kamida uchta juftlik orasidagi kechikish vaqtlarining mustaqil kattaliklarini beradi. Bunday ob'ektlarga misol sifatida yaqinda topilgan GLK GRAL J024848.7+191331 (1-rasm) ko'rsatsa bo'ladi. Ushbu maqolada biz ob'ektning 2 yillik optik monitoringi davomida olingan ravshanlik egri chiziqlarini va komponentlar o'rtasidagi kechikish vaqtini kuzatuv orqali topilgan qiymatlarini keltirdik.



1-Rasm. GRAL J024848.7+191331 GLKning R filtdagi tasviri. 2021-yil 05-mayda AZT-22 teleskopida olingan. Maydon o'lchami 3.45×1.73 yoy minut.

Mavzuga oid adabiyotlarning tahlili. GRAL J024848.7+191331 nomli kvazar 2018-yilda turli tadqiqot guruhlari tomonidan topilgan yangi ob'ekt. Bu manba birinchi marta F. Ostrovski va b. maqolasida GLKlar nomzodlarining ro'yxatida paydo bo'lgan [3]. Bundan tashqari, bu ob'ekt deyarli bir vaqtning o'zida L. Delchambre va b. hamda A.J. Shajib va b. tomonidan o'rganilgan [4, 5]. Birinchi L. Delchambre va b. [4] *Gaia DR2* ma'lumotlari bazasidan kuzatuv ma'lumotlarini avtomatik qidiruvi asosida gravitatsion linzalar nomzodlari ro'yxatini tuzishdi va to'rt komponentli gravitatsion linzali sistemalar uchun 15 ta yangi nomzodni topdilar. Mavhum tasvirlar orasidagi burchak masofasi 6 yoy sekunddan kam edi.

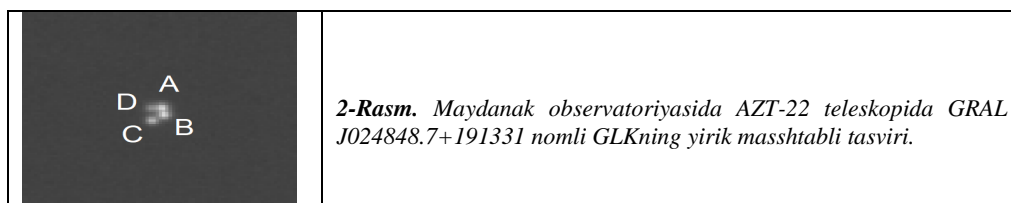
Ular orasida tadqiqot ob'ektimiz $\Delta\theta = 1.67$ yoy sekundiga teng bo'lgan o'lchami bilan o'rtacha joyni egallaydi. Linzalangan kvazarning ekvatorial koordinatalari quyidagicha: to'g'ri chiqish $\alpha = 02^h48^m48^s.73$ va og'ish $\delta = +19^\circ13'30''.85$. Ushbu GLK endi topilgan vaqtda linzalangan komponentlarning ko'rinma ravshanligi $m_A = 19^m.88$, $m_B = 20^m.41$, $m_C = 19^m.91$ va $m_D = 20^m.13$ bo'lgan.

Shu paytning o'zida A.J. Shajib va b. [5] Habb1 kosmik teleskopidan olingan kuzatuv ma'lumotlarni tahlil qilish orqali 13 ta linzalangan sistemani keng ko'lamli modellashtirishni amalga oshirdi. Ularning fikriga ko'ra, bu tizimdagi linzalangan galaktikani elliptik shaklidagi massa taqsimotiga ega bo'lgan Sersik modeli bilan ifodalash mumkin. Ularning hisob-kitoblariga ko'ra, manba va linzalangan galaktikaning qizilga siljishi mos ravishda 0.5 va 2 ga teng. Eng muhimi, ular linzalangan komponentlarning uchta juftligi o'rtasidagi kechikish vaqtlarining nazariy qiymatlarini topishdi. Ular taklif qilgan qiymatlar quyidagicha edi: $\Delta t_{AB} = 2.7 \pm 0.2$ kun, $\Delta t_{AC} = 20.0 \pm 2.0$ kun va $\Delta t_{AD} = -5.9 \pm 0.4$ kun.

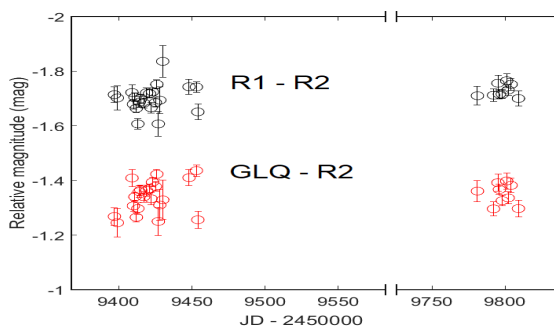
Nihoyat, 2020 yilda D. Stern va b. [6] jamoasi ushbu ob'ektni boshqa 12 GLK bilan birga ko'rib chiqdi. *Gaia* kosmik teleskopidan olingan astrometrik ma'lumotlar va optik ravshanlik egri chiziqlarini birlashtirgan holda, yigirmadan ortiq yangi GLK tasdiqlandi, shu jumladan to'rtta mavhum tasvirga ega 12 kvazar. Yutisli chiziqlarining fon tizimini topib, ular linzaning qizilga siljishini $z_d = 1.037$ deb, yangilangan qiymatini berdilar, chunki bu chiziqlar linzalovchi galaktika bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Ushbu ob'ekt boshqa izlanuvchilar tomonidan o'rganilmagan, ayniqsa uning fotometrik monitoringi o'tkazilmagan. Shu sababli, ushbu tizimdagi kechikish vaqtini nazariy baholashni kuzatish orqali tekshirish dolzarb vazifadir.

Tadqiqot metodologiyasi. 2-rasmda GRAL J024848.7+191331 GLKning to'rtta komponentining katta masshtabdagi tasvirlari ko'rsatilgan. Ko'rinib turibdiki, komponentlar bir-biriga juda yaqin joylashgan. Agar ular orasidagi burchak masofasi 1.7" dan oshmasligini hisobga olsak, bu tizim shu turdagi boshqa GLK larga o'xshaydi. Bunga misol qilib GLK H1413+117 ni misol qilsa bo'ladi [7]. Shunda ular nafaqat konfiguratsiyasi, balki manba va linzalarning qizilga siljishlari bilan ham bir birini eslatadi. Shunday qilib, bizning sistemamizdagi kechikish vaqti, ko'rsatilgan holatda bo'lgani kabi, bir necha haftadan oshmasligi kerak.

Raqamli tasvirlarni dastlabki va fotometrik qayta ishlash IRAF dasturlar to'plami yordamida amalga oshirildi. Linzalovchi galaktikaning yorqinligi juda past bo'lganligi sababli yorqinlikning umumiy taqsimotidagi hissassi ahamiyatsizdir va uni fotometrik hisobga olmasa ham bo'ladi.

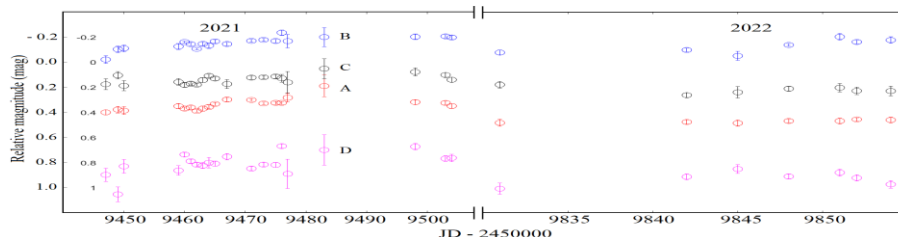


Avval biz sistemaning umumiy ravshanlik egri chizig'ini hosil qildik (3-rasm). Ko'rinib turibdiki, manba-kvazar ikki fasl davomida yorqinligini sezilarli o'zgartirmagan, birinchi mavsumda faqat mahalliy o'zgarishlar ko'rinyapti. Shunda 2021 yilda sistemaning ko'rinma ravshanligi taxminan 0.15m kattalikga oshganini ko'ramiz. Biroq, nuqtalarning tarqalganligi bu trendni ma'lum darajada yashiryapti.



3-rasm. GRAL J024848.7+191331 GLKning umumiy holdagi hamda tayanch yulduzning 2021-2022 yillar uchun R-filtrdagi ravshanlik egri chiziqlari. Bu yerda va keyinchalik ravshanlik egri chiziqlarida gorizontial o'q bo'ylab Julian kunlaridagi kuzatish vaqti, vertikal o'q bo'ylab esa nisbiy ravshanlik ko'rsatilgan.

Keyin tizimning yorqinligi o'zgarimas bo'lib qoladi. Bu alohida komponentlarning yorqinligi juda sust o'zgarishini ko'rsatadi.



4-Rasm. GRAL J024848.7+191331 GLKdagi manba-kvazarning linzalangan komponentlarining R-filtrdagi ravshanlik egri chiziqlari.

Komponentlarning ravshanlik egri chiziqlari (4-rasm) DAOPHOT/IRAF dasturi yordamida olingan [8,9]. Ko'rinib turibdiki, yorqinlik o'zgarishining amplitudasi kichik, taxminan 0.2^m kattalikni tashkil qiladi. Shu bilan birga, komponentlar bir-biridan farq qilishi yaqqol ko'rinishimiz mumkin. Shuni ham ta'kidlash mumkinki, ushbu kuzatish davrida mikrolinzalani

ta'siri juda past, sezilarli emas. Shu asosida biz mavhum komponentlar orasidagi kechikish vaqtlarini hisoblab ko'rishimiz mumkin.

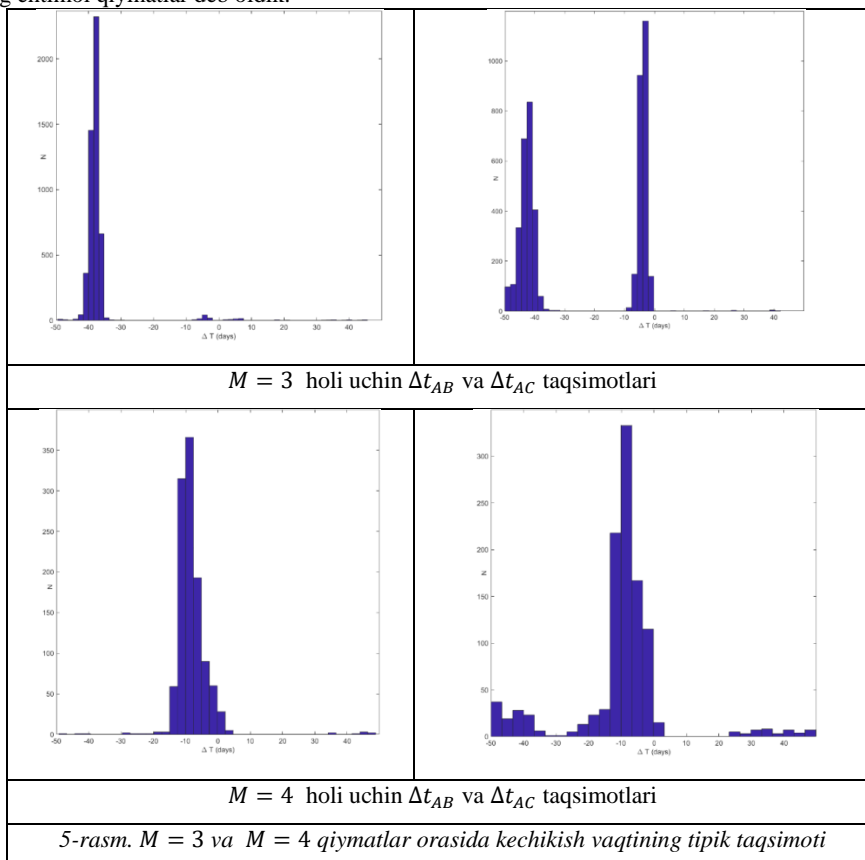
Tahlil va natijalar. GRAL J024848.7+191331 ning to'rtta linzalangan komponentning ravshanlik egri chiziqlarini asos qilib, biz komponentlarning uchta juftligi orasidagi Δt_{AB} , Δt_{AC} va Δt_{AD} kechikish vaqti qiymatlarini o'lchadik. Shuda biz faqat 2021 yilgi ma'lumotlarga e'tibor qaratdik, chunki 2022 yilda kuzatuvlar kam bo'lgan va nuqtalar orasidagi katta intervallar noaniqlikni yanada oshishiga olib keladi. Birinchi bosqichda biz Monte-Karlo usuli asosida har bir komponent uchun 5000 ta sintetik egri chiziq hosil qildik. Keyingi bosqichda biz bo'sh oraliqlarni to'ldirish uchun har bir ravshanlik egri chizig'ini interpolyatsiyaladik. Bunda biz Fur'ye qatorlari bilan interpolyatsiyalash usulidan foydalandik:

$$m_{im,F}(t) = a_0 + \sum_{i=1}^M \left(a_i \cos \frac{2\pi i t}{T_0} - b_i \sin \frac{2\pi i t}{T_0} \right).$$

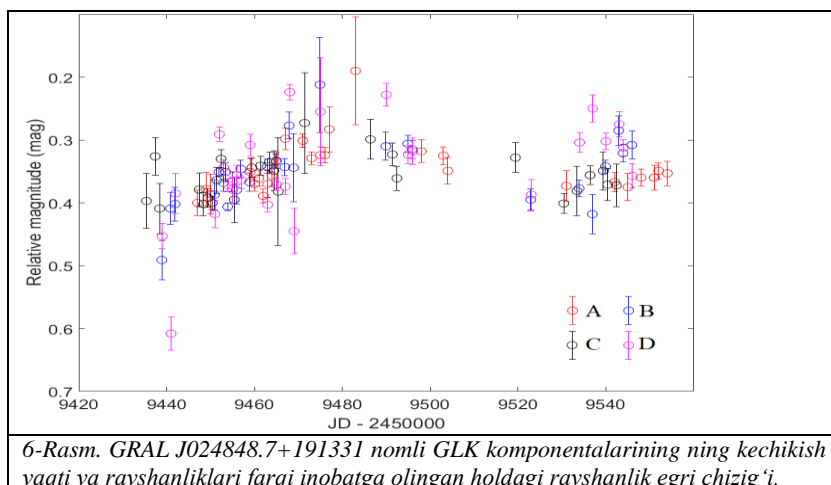
Bu yerda M – Fur'ye qatorining darasi, t – vaqt, a_i, b_i – yoyilish koeffitsiyentlari, T_0 – Fur'ye davri. Ko'rsatilgan qatorlar bilan interpolyatsiyalashda biz $M = 3$ va $M = 4$ hollarni qaradik. Ushbu yondashuvlarni yuqoridagi sintetik ravshanlik egri chiziq'larga qo'llash orqali biz kechikish vaqtining eng ehtimol bo'lgan qiymatlarini oldik. Ravshanlik egri chiziq'lari orasidagi korrelyatsiya hammaga ma'lum bo'lgan χ^2 usuli yordamida hisoblanadi [10,11].

Komponentlar juftliklari	Δt kun	Δm yulduz kattaligi
Δt_{AB}	-8.1 ± 6	-0.262 ± 0.011
Δt_{AC}	-11.6 ± 2.3	-0.221 ± 0.010
Δt_{AD}	-8.0 ± 3.8	0.545 ± 0.012

Kechikish vaqtlarining taqsimlanishi qaralayotgan yoyilishning darajasiga bog'liq bo'lib chiqdi. Qidirilayotgan qiymatni topish uchun biz kechikish vaqtlarning gistogrammalarida asosiy va ikilamchi cho'qqilarning muhimligiga e'tibor berdik. Shunda $M = 4$ gi cho'qqilar ko'p hollarda yagona yoki to'liq ustunlik qildi. Shuning uchun aynan shu vaziyatdagi natijalarni biz eng ehtimol qiymatlar deb oldik.



5-rasmda mumkin bo'lgan qiymatlar orasida kechikish vaqtining tipik taqsimoti ko'rsatilgan. Jadvalda turli juftliklar uchun gistogrammalarning o'rtacha qiymatlari va o'rtacha kvadrat og'ishlari ko'rsatilgan. O'rganilayotgan sistema etarlicha kompakt va linzalangan komponentlar orasidagi masofa 1 yoy sekundga teng bo'lganligi sababli, kutilganidek, kechikish vaqti bir – bir yarim haftaga to'g'ri keladi. Shunga o'xshash tizimlar uchun bunday qiymatlarni avval ham topganmiz, masalan, Q2237+030, H1413 + 117, B1422+237 [7,12,13].



6-rasmda GRAL J024848.7+191331 nomli GLKdagi manba-kvazarning umumlahtirilgan ravshanlik egri chizig'i ko'rsatilgan. Ko'rinib turibdiki, 2021-2022 yillardagi kuzatuvlar davrida sistemaning ko'rinma yorqinligi 0.25^m gacha bo'lgan amplituda bilan o'zgarib borgan: birinchi davrda yorqinlik oshadi, keyingi yil taxminan bir xil bo'lib qoladi. Komponentalarning ravshanlik egri chiziqlarida mikrolinlanishning aniq belgilari topilmadi.

Xulosa va takliflar. Maqolada 2021-2022 yillar davomida Maydanak observatoriyasida kuzatilgan to'rt komponentli GRAL J024848.7+191331 nomli gravitatsion linzalangan kvazarning fotometrik tadqiqoti natijalari keltirilgan. Butun sistemaning hamda uning alohida komponentalarining ravshanlik egri chiziqlari ko'rsatilgan. Umuman olganda, sistema o'zgaruvchanlikning o'rtacha amplitudasini ko'rsatdi, ammo alohida komponentlar ancha faolroq, 0.25^m kattaligacha o'zgargan.

To'rttala komponentning ko'rinma ravshanligi taxminan teng darajada o'zgarib turdi, bu mikrolinlanishning (hech bo'lmaganda kuchliligi) yo'qligini ko'rsatadi.

Biz komponentlarning uchta asosiy juftligi o'rtasidagi kechikish vaqtlarining eng ehtimolli qiymatlarini hisoblab topdik. Ular taxminan 1 – 1.5 haftaga teng ekanligi aniqlandi. Ushbu qiymatlar [5]-maqolada ushbu miqdorlarning ilgari topilgan nazariy qiymatlariga mos keladi va o'lchov xatolari doirasida tasdiqlaydi.

ADABIYOTLAR

1. J.-F. Claeskens, J. Surdej. *Astronomy & Astrophysics Review*, 10, 263–311 (2002).
2. P. Schneider, J. Ehlers, E. Falco. *Gravitational lenses. Astronomy and Astrophysics Library*, pp. XIV, 560 (1993).
3. F. Ostrovski, R.G. McMahon, A.J. Connolly, C.A. Lemon, et al. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 465, 4325–4334 (2017).
4. L. Delchambre, A. Krone-Martins, O. Wertz, C. Ducourant, L. Galluccio et al. *Astronomy & Astrophysics*, 622, A165 (2019)
5. A. J. Shajib, S. Birrer, T. Treu, M.W. Auger, A. Agnello, et al. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 483, 5649–5671 (2019)
6. D. Stern, S.G. Djorgovski, A. Krone-Martins, D. Sluse, et al., *The Astrophysical Journal*, 921, 42 (2020).
7. T. Akhunov, O. Wertz, A. Elyiv, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* 465, 3607 (2017)
8. D. Tody, *Proc. SPIE*, 627, 733 (1986)
9. D. Tody, 1993, in *ASP Conf. Ser. 52, Astronomical Data Analysis Software and Systems II*, ed. R. J. Hanisch, R. J. V. Brissenden, & J. Barnes (San Francisco, CA: ASP), 173
10. E.R. Gaynullina, R.W. Schmidt, T. Akhunov, O. Burkhonov, S. Gottlöber, K. Mirtadjieva, S.N. Nuritdinov, I. Tadjibaev, J. Wambsganss, L. Wisotzki. *Astronomy & Astrophysics* 440, Issue 1, 53-58 (2005).
11. R. Gil-Merino, L. Wisotzki, J. Wambsganss. *Astronomy & Astrophysics* 381, 428 (2002).
12. V. Vakulik, R. Schild, V. Dudinov, S. Nuritdinov, V. Tsvetkova, O. Burkhonov, and T. Akhunov. *A&A* 447, 905–913 (2006).
13. T.A. Ахунов. *Узбекский физический журнал* 20, 275-282 (2018)