ASTROFIZIK KOMPAKT OBYEKTLAR ATROFIDA ENERGETIK JARAYONLAR

Abdujabborov Ahmadjon
F-m.f.d., Professor, Namangan Davlat universiteti
Tuychiyev Umidjon
Namangan Davlat universiteti, Fizika - matematika fakulteti fizika yonalishi 2 - kurs magistranti

Received: 08.10.2025
Revised: 09.10.2025
Accepted: 10.10.2025

Kalit so‘zlar:
kompakt obyektlar, akkretatsiya, relaktivistik jetlar, neytron yulduzlar, qora tuynuklar, gamma nurlanishi, rentgen manbalari, magnitosfera, energiya chiqarilishi, kuchli tortishish maydoni.

Annotatsiya. Ushbu ishda astrofizik kompakt obyektlar, jumladan neytron yadro yulduzlari va qora tuynuklar atrofida yuz beradigan yuqori energetik jarayonlar o‘rganiladi. Asosiy e’tibor akkretatsiya disklari, relaktivistik zarralar oqimi (jetlar) va nurlanish mexanizmlariga qaratilgan. Ushbu jarayonlar koinotdagi ekstremal sharoitlarni yoritishda va zamonaviy astrofizikaning asosiy muammolarini tushunishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Keywords:
compact objects, accretion, relativistic jets, neutron stars, black holes, gamma radiation, X-ray sources, magnetosphere, energy emission, strong gravitational field.

Abstract. This work explores high-energy processes occurring around compact astrophysical objects such as neutron stars and black holes. The focus is on accretion disks, relativistic jets, and radiation mechanisms. These phenomena are crucial for understanding extreme conditions in the universe and addressing fundamental problems in modern astrophysics.

Ключевые слова:
компактные объекты, аккреция, релятивистские джеты, нейтронные звёзды, чёрные дыры, гамма-излучение,

Аннотация. В данной работе рассматриваются высокоэнергетические процессы, происходящие вокруг компактных астрофизических объектов, таких как нейтронные звёзды и чёрные дыры. Основное внимание уделено аккреционным дискам, релятивистским струям (джетам) и механизмам излучения. Эти процессы играют важную роль в

`

рентгеновские источники, магнитосфера, выделение энергии, сильное гравитационное поле.

понимании экстремальных условий во Вселенной и решении ключевых задач современной астрофизики.

Kirish. Kompakt astrofizik obyektlar — neytron yulduzlari, oq mittilar va qora tuynuklar — koinotdagi eng zich, ekstremal holatdagi jismlar hisoblanadi. Bu obyektlar odatda yulduzlarning evolyutsion jarayoni natijasida shakllanadi va ularga xos bo‘lgan fizik holatlar, masalan, nihoyatda katta zichlik, kuchli gravitatsion maydon, magnit maydon va yuqori haroratlar, ularning atrofidagi makonda turli energetik jarayonlarning yuzaga kelishiga sabab bo‘ladi.

Mazkur obyektlar atrofida yuz beradigan energiyaga boy jarayonlar zamonaviy astrofizikaning dolzarb yo‘nalishlaridan biri bo‘lib, ularni o‘rganish orqali koinotdagi eng kuchli portlashlar, gamma-nurlanishi, rentgen manbalari, relaktivistik jetlar va boshqa yuqori energiyali hodisalarni chuqur tushunish mumkin. Ayniqsa, modda kompakt obyektga tortilishi (ya’ni akkretatsiya) jarayoni va bu jarayonda yuzaga keladigan energiya ajralishi hozirgi ilmiy tadqiqotlarning asosiy yo‘nalishlaridan biridir. Akkretatsiya disklari orqali modda kompakt obyektga yaqinlashganida u juda katta energiya ajratadi — bu energiya elektromagnit nurlanish shaklida rentgen yoki gamma diapazonida chiqadi, bu esa kuzatish imkonini yaratadi. Bundan tashqari, ba’zi holatlarda bu obyektlar o‘z atrofidagi modda bilan o‘zaro ta’sirlashib, relaktivistik jetlar — ya’ni yorug‘lik tezligiga yaqin tezlikda harakatlanuvchi zarralar oqimini hosil qiladi. Ushbu jetlar galaktikalararo muhitga katta energiya olib chiqadi va uzoq masofalarda ham elektromagnit nurlanish orqali sezilishi mumkin. Ushbu ishda kompakt obyektlar atrofida yuz beradigan yuqori energetik jarayonlar, xususan akkretatsiya, relaktivistik jetlar va nurlanish mexanizmlari keng yoritiladi. Tadqiqotning maqsadi — bunday jarayonlarning fizik asoslarini tahlil qilish, kuzatish ma’lumotlari bilan bog‘liq holda ularni modellashtirish va zamonaviy nazariyalar

`

asosida baholashdan iborat. Zamonaviy astrofizikaning eng murakkab va qiziqarli yo‘nalishlaridan biri bu koinotdagi ekstremal holatlarga ega obyektlar — kompakt astrofizik jismlarni o‘rganishdir. Kompakt obyektlarga, asosan, oq mittilar, neytron yulduzlari va qora tuynuklar kiradi. Ular o‘zgaruvchan yulduzlarning hayotiy tsikllarining oxirgi bosqichlarida hosil bo‘lib, nihoyatda katta zichlik, kuchli gravitatsiya va ekstremal fizik sharoitlar bilan ajralib turadi. Bu obyektlar atrofida sodir bo‘ladigan yuqori energiyali jarayonlar — ya’ni moddaning kompakt obyektga tushishi (akkretatsiya), relativistik jetlar hosil bo‘lishi, gamma va rentgen nurlanishlari — zamonaviy observatsion texnologiyalar, ayniqsa rentgen va gamma diapazonidagi teleskoplar yordamida keng o‘rganilmoqda. Bu jarayonlar nafaqat o‘ziga xos fizik hodisalar, balki koinotda ro‘y berayotgan global energetik voqealarning ham kalitidir. Akkretatsiya jarayoni — bu kompakt obyekt atrofidagi moddaning tortilishi natijasida yuzaga keladigan asosiy energiya manbalaridan biridir. Modda kompakt obyektga yaqinlashgan sayin, u juda katta tezlikda harakat qiladi, siqiladi va qiziydi. Natijada, energiya katta miqdorda elektromagnit nurlanish shaklida ajralib chiqadi. Ayniqsa, ikki yulduzli tizimlarda neytron yulduz yoki qora tuynuk o‘z yulduz sherigidan modda tortib olish orqali kuchli rentgen manbai sifatida namoyon bo‘ladi. Bundan tashqari, ko‘plab kuzatuvlar shuni ko‘rsatmoqdaki, ayrim holatlarda akkretatsiya bilan birgalikda relativistik jetlar — yorug‘lik tezligiga yaqin tezlikda harakatlanuvchi modda oqimlari — hosil bo‘ladi. Bu jetlar nafaqat obyekt atrofidagi muhitni, balki galaktikalararo fazoni ham o‘zgartirishi mumkin. Jetlar va ularning magnit maydon bilan o‘zaro ta’siri astrofizikada hali to‘liq ochilmagan sirli mexanizmlardan biridir. Shuningdek, bunday obyektlar orqali og‘ir elementlarning sintezi, kuchli magnit maydonlar evolyutsiyasi, gravitatson to‘lqinlar va boshqa ilg‘or fizik hodisalarni ham tadqiq qilish mumkin. Xususan, neytron yulduzlar to‘qnashuvi natijasida yuzaga keladigan gravitatsion to‘lqinlar va ular bilan bir vaqtda kuzatilgan elektromagnit nurlanishlar astrofizikada yangi davrni boshlab berdi.

`

Adabiyotlar tahlili. Kompakt obyektlar atrofida yuz beradigan yuqori energetik jarayonlar zamonaviy astrofizikaning muhim tadqiqot yo‘nalishlaridan biridir. Xususan, neytron yulduzlar va qora tuynuklar atrofidagi akkretatsiya disklari orqali modda oqimi kuzatiladi va bu jarayonda energiyaning katta qismi elektromagnit nurlanish sifatida ajraladi [1]. Akkretatsiya disklari nazariyasi dastlab Shakura va Sunyaev tomonidan ishlab chiqilgan bo‘lib, u moddaning gravitatsion energiyasi issiqlik energiyasiga aylanishi va nurlanish tarzida chiqishini asoslaydi [2]. Ushbu model hozirgacha ko‘plab kuzatuvlar bilan tasdiqlangan va bugungi kunda ham aksar rentgen manbalarining ishlash mexanizmini tushuntirishda qo‘llaniladi [3]. Bundan tashqari, kuchli magnit maydonlarga ega neytron yulduzlar — magnitarlarda — moddaning harakati va energiya chiqarilishi boshqa mexanizmlarga asoslanadi. Magnitarlarning kuchli rentgen va gamma nurlanishi magnit maydonning parchalanishi va zarralarning tezlashuvi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin [4]. Kompakt obyektlar bilan bog‘liq eng hayratlanarli hodisalardan biri bu — relativistik jetlar hodisasi bo‘lib, u ba’zan qora tuynuk yoki neytron yulduz atrofidan juda yuqori tezlikda chiqadigan modda oqimlaridir. Jetlar magnit maydon va aylanish momentining o‘zaro ta’siri natijasida yuzaga keladi degan qarashlar mavjud [5].

Materiallar va usullar. Ushbu tadqiqotda astrofizik kompakt obyektlar — neytron yulduzlari va qora tuynuklar atrofida sodir bo‘ladigan yuqori energetik jarayonlar, xususan, akkretatsiya, relativistik jetlar va elektromagnit nurlanish mexanizmlari tahlil qilindi. Tadqiqot nazariy, model asosidagi va kuzatuvchi (observatsion) yondashuvlarni birlashtirgan uslubda olib borildi. Birinchi bosqichda mavzu bo‘yicha mavjud ilmiy adabiyotlar — monografiyalar, ilmiy maqolalar, kuzatuv natijalari va amaliyotga asoslangan izlanishlar — puxta tahlil qilindi. Bu bosqichda NASA ADS (Astrophysics Data System), arXiv va Scopus kabi ilmiy platformalardan foydalanildi. Ayniqsa, rentgen va gamma nurlanishlarining manbai bo‘lgan akkretatsiya disklari nazariyasi va jetlarning shakllanish mexanizmlari bilan bog‘liq yetakchi tadqiqotlarga e’tibor qaratildi. Ikkinchi bosqichda akkretatsiya

`

jarayoni va jetlar hosil bo‘lishi uchun ishlatiladigan nazariy modellar ko‘rib chiqildi. Bu yerda Shakura–Sunyaev akkretatsiya diski modeli, Blandford–Znajek jarayoni (Kerr qora tuynuklardan energiya chiqarilishi), va magneto-gidrodinamik (MHD) modellar asosiy o‘rganish ob’ekti bo‘ldi. Ularning har biri kompyuter modellashtirish (numerik hisoblash) asosida yaratilgan bo‘lib, bu modellar yordamida kompakt obyekt atrofidagi moddaning harakati va undan ajraladigan nurlanish aniqlanadi.

Jadval-1: Astronomik obyektlarning asosiy xususiyatlari

Obyekt turi	**Massa (Quyosh massasida)**	**Radius (km)**	**Magnit maydon kuchi (Gaus)**	**Aylanish davri (s)**	**Energiya chiqarilishi (erg/s)**
Neytron yulduzi	1.4 - 2.1	10-12	10^12 – 10^15	0.001 - 10	10^32 – 10^38
Qora tuynuk	3 - 20+	0 (singular)	Noma'lum	0.0001 - 1	10^36 – 10^40
Magnitar	1.4 - 2.0	10-12	10^14 – 10^15	2 - 12	10^33 – 10^37 (portlashlarda)

Kuzatuvlar orqali olingan natijalar mavjud nazariy modellar bilan solishtirildi va muvofiqlik darajasi baholandi. Bundan tashqari, statistik tahlil usullari, jumladan, Fourier spektral tahlili va chi-kvadrat statistikasi yordamida nurlanishdagi o‘zgaruvchanlik, impulslar va potentsial periodiklik aniqlashga urinishlar qilindi. Bu orqali obyektlarning aylanish tezligi yoki magnit maydon kuchiga oid xulosa chiqarish imkoni bo‘ldi. Umuman olganda, ushbu ishda nazariy model tahlili, kuzatuvchi ma’lumotlar bilan solishtirish va statistik qayta ishlash orqali kompleks metodologiya qo‘llanildi. Bu yondashuv energetik jarayonlarning murakkab tabiatini yanada chuqurroq tushunish va hozirgi kunda mavjud bo‘lgan ilmiy qarashlarni mustahkamlash imkonini berdi.

`

Jadval-2: Akkretatsiya va energiya chiqarish modellarining asosiy xususiyatlari

Model nomi	Tavsifi	O‘rnatilgan maydon turi	Energiyani chiqarish mexanizmi	Asosiy qo‘llanish sohasi
Shakura-Sunyaev modeli	Geometrik yupqa, optik zich akkretatsiya diski	Zaif magnit maydon	Viskozlik tufayli issiqlik nurlanishi	Rentgen binar tizimlar
ADAF modeli	Adveksiya-dominant akkretatsiya oqimi	Kuchli magnit maydon	Energiya asosan issiqlik va advektiv oqim	Kam yorug‘likdagi (low-luminosity) galaktikalar
Blandford-Znajek modeli	Energiya chiqarilishi qora tuynuk aylanishidan	Kuchli magnit maydon	Elektromagnit energiya chiqarilishi	Relativistik jetlar

Model asosan rentgen binar tizimlar va oq yulduzlarning akkretatsiyasini o‘rganishda qo‘llanadi. ADAF (Advection-Dominated Accretion Flow) modeli — Bu modelda energiyaning ko‘p qismi issiqlik shaklida saqlanib qoladi va advektiv oqim orqali qora tuynuk tomon harakatlanadi, ya’ni energiyaning katta qismi nurlanish orqali chiqmaydi. Modelda kuchli magnit maydon mavjud va u kam yorug‘likdagi galaktikalarda va past luminositeli akkretatsiya tizimlarida qo‘llaniladi. Blandford-Znajek modeli — Bu model qora tuynukning aylanish energiyasidan elektromagnit energiyani chiqarish mexanizmini tushuntiradi. Kuchli magnit maydon qora tuynukning aylanma energiyasini tortib olib, elektromagnit nurlar yoki relativistik jetlarni hosil qiladi. Ushbu model ko‘pincha kuchli nurlanishli obyektlar va jetlar hosil bo‘ladigan tizimlarda ishlatiladi.

Tadqiqot muhokamasi. O‘tkazilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, astrofizik kompakt obyektlar atrofida yuzaga keladigan energetik jarayonlar turli fizik omillar

`

va shartlarga bog‘liq murakkab tizimlar orqali shakllanadi. Asosiy e’tibor qaratilgan akkretatsiya jarayonlari va relativistik jetlarning shakllanishi bu obyektlarning dinamikasini, gravitatsion potentsialini, aylanish momentini hamda magnit maydonini o‘z ichiga olgan ko‘p komponentli modellar asosida tushuntiriladi. Tadqiqot davomida aniqlanishicha, neytron yulduzlar va qora tuynuklar atrofidagi akkretatsiya disklari orqali modda oqimi rentgen va gamma diapazonidagi intensiv nurlanishni yuzaga keltiradi. Bu holat mavjud kuzatuv natijalari bilan yuqori darajada mos tushadi. Masalan, XMM-Newton va Chandra kabi rentgen teleskoplaridan olingan ma’lumotlar rentgen nurlanishining vaqtinchalik o‘zgaruvchanligini ko‘rsatib, modda oqimining beqaror xarakterga ega ekanligini tasdiqlaydi. Akkretatsiya jarayonining samaradorligi, asosan, obyektning aylanish tezligi va magnit maydoni kuchiga bog‘liq. Neytron yulduzlarda kuchli magnitosferaning mavjudligi oqibatida modda oqimi disk shaklida emas, balki qutbiy yo‘nalishda olib borilishi mumkin, bu esa nurlanishni yo‘nalgan holatda chiqarilishiga olib keladi. Bu turdagi hodisalar pulsar sifatida qayd etiladi va ular yuqori chastotali impulslar orqali aniqlanadi. Qora tuynuklarda esa magnit maydon mavjud bo‘lmagani bois akkretatsiya jarayoni nisbatan to‘liq va barqarorroq kechadi, bu esa nurlanishning spektral xususiyatlariga ta’sir ko‘rsatadi. Relativistik jetlar shakllanishi bilan bog‘liq natijalar ham e’tiborga loyiq. Kuzatuvlardan ko‘rinishicha, jetlar faqat kuchli magnit maydon va yuqori aylanish momentiga ega obyektlar atrofida shakllanadi. Blandford–Znajek jarayoni asosida olib borilgan nazariy hisob-kitoblar shuni ko‘rsatadiki, jetlar qora tuynukning aylanish energiyasidan "elektromagnit induksiya" orqali tortib olinadi. Jetlarning optik va radiodiapazonda kuzatilishi ularning fazoda katta masofalarga tarqalishini va yadro faoliyatiga ega galaktikalar bilan bog‘liqligini ko‘rsatadi. Tadqiqot davomida kuzatilgan yana bir muhim holat — bu obyektlar nurlanishining spektral tahlilidir. Spektral chiziqlar orqali modda tarkibi, harorati, zichligi va ionlanish darajasi aniqlanadi. Bu ma’lumotlar modelga kiritilganda, kuzatuvlar bilan nazariy prognozlar orasidagi tafovut minimal darajaga

`

tushadi. Shu bilan birga, ayrim hodisalarda (masalan, magnitar portlashlari yoki GRB — gamma portlashlari) mavjud nazariy modellar izoh bera olmaydigan chetga chiqishlar aniqlangan. Bu holat, ehtimol, hali to‘liq o‘rganilmagan fizik hodisalar — masalan, kvant gravitatsiyasi yoki fazoviy egri chiziqliklar — bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin

Xulosa. Olib borilgan tadqiqotlar natijasida shuni aytish mumkinki, astrofizik kompakt obyektlar — xususan, neytron yulduzlar va qora tuynuklar — atrofida yuzaga keladigan yuqori energetik jarayonlar zamonaviy astrofizikaning eng muhim va dolzarb yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Ushbu obyektlar koinotdagi eng zich va ekstremal sharoitlarga ega bo‘lib, ularning atrofidagi fazoda yuz beradigan fizik jarayonlar nafaqat fundamental nazariyalar, balki amaliy kuzatuvchi astrofizika uchun ham katta ahamiyatga ega. Tadqiqotda aniqlanishicha, akkretatsiya jarayoni kompakt obyektlar atrofida energiya ishlab chiqarishning asosiy manbai bo‘lib, modda ushbu obyektlarga yaqinlashgan sari gravitatsion energiyaning issiqlik va elektromagnit nurlanishga aylanishi kuzatiladi. Ayniqsa, bu jarayon kuchli rentgen va gamma nurlanishi bilan kuzatiladigan ikkilik tizimlarda yaqqol namoyon bo‘ladi. Shuningdek, relativistik jetlarning shakllanishi va ularning magnit maydon bilan bog‘liq mexanizmlari astrofizik hodisalarning katta miqyosdagi ta’sirini o‘rganishda muhim o‘rin tutadi. Jetlar moddaning fazoda yuqori tezlikda harakatlanishini ta’minlab, galaktikalararo muhitga energiya olib chiqadi. Bu jarayonlar, ayniqsa, faol galaktika yadrolari va kvazarlar faoliyatini tushunishda asosiy kalit vazifasini bajaradi. Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, mavjud nazariy modellar (masalan, Shakura–Sunyaev diski, Blandford–Znajek jarayoni) amaldagi kuzatuvlar bilan yuqori darajada mos keladi. Shu bilan birga, ayrim ekstremal holatlar — masalan, gamma portlashlar yoki magnitar portlashlari — hali to‘liq tushuntirib berilmagan va kelajakdagi tadqiqotlar uchun ochiq masala bo‘lib qolmoqda. Umuman olganda, ushbu ishda astrofizik kompakt obyektlar atrofida yuzaga keladigan yuqori energiyali jarayonlar nazariy, kuzatuvchi va model asosida chuqur o‘rganildi. Olingan natijalar

`

kelajakdagi tadqiqotlar uchun nazariy asos yaratadi, shuningdek, zamonaviy teleskopik kuzatuvlar, gravitatsion to‘lqinlar astronomiyasi va yuqori energiyali astrofizika sohasidagi izlanishlarga muhim hissa qo‘shadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Frank, J., King, A., Raine, D. Accretion Power in Astrophysics. – 3rd ed. – Cambridge: Cambridge University Press, 2002. – 398 p.
2. Shakura, N.I., Sunyaev, R.A. Black holes in binary systems. Observational appearance // Astronomy and Astrophysics. – 1973. – Vol. 24. – P. 337–355.
3. Lewin, W.H.G., van der Klis, M. (Eds.) Compact Stellar X-ray Sources. – Cambridge: Cambridge University Press, 2006. – 716 p.
4. Duncan, R.C., Thompson, C. Formation of very strongly magnetized neutron stars: implications for gamma-ray bursts // Astrophysical Journal. – 1992. – Vol. 392. – L9–L13.
5. Blandford, R.D., Znajek, R.L. Electromagnetic extraction of energy from Kerr black holes // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 1977. – Vol. 179. – P. 433–456.
6. Rees, M.J. Black Hole Models for Active Galactic Nuclei // Annual Review of Astronomy and Astrophysics. – 1984. – Vol. 22. – P. 471–506.
7. Abbott, B.P. et al. Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger // Astrophysical Journal Letters. – 2017. – Vol. 848. – L12.
8. Misner, C.W., Thorne, K.S., Wheeler, J.A. Gravitation. – San Francisco: W.H. Freeman, 1973. – 1279 p.

`