

ASTROFIZIKADA KOMPAKT OBYEKTLAR BILAN BOG'LIQ ENERGIYA AJRALISH MEXANIZMLARI

Abdujabborov Ahmadjon

F-m.f.d., Professor, Namangan Davlat universiteti

Tuychiyev Umidjon

*Namangan Davlat universiteti, Fizika - matematika fakulteti
fizika yonalishi 2 - kurs magistranti*

Annotatsiya. *Astrofizikada kompakt obyektlar, xususan neytron yulduzlar, qora tuynuklar va magnitarlarda energiya ajralishining turli mexanizmlari o'rganiladi. Ushbu mexanizmlar orasida akkretatsiya jarayoni, magnit maydonlarning o'zaro ta'siri va qora tuynuklarning aylanish energiyasi asosiy o'rin tutadi. Energiya chiqarilishining turi va darajasi obyektning fizik xususiyatlariga bog'liq bo'lib, yulduzlararo muhitga va nurlanish spektroskopiyasiga ta'sir ko'rsatadi.*

Kalit so'zlar. *Kompakt obyektlar, energiya ajralishi, akkretatsiya, magnit maydon, qora tuynuk, neytron yulduzi, magnetar.*

Annotation. *In astrophysics, energy emission mechanisms associated with compact objects such as neutron stars, black holes, and magnetars are extensively studied. Key processes include accretion flows, magnetic field interactions, and rotational energy extraction from black holes. The type and magnitude of energy output depend on the physical properties of the objects, influencing their surrounding environment and radiation spectra.*

Keywords. *Compact objects, energy emission, accretion, magnetic field, black hole, neutron star, magnetar.*

Аннотация. *В астрофизике изучаются механизмы выделения энергии, связанные с компактными объектами, такими как нейтронные звезды, чёрные дыры и магнитары. Основные процессы включают аккрецию, взаимодействие магнитных полей и извлечение вращательной энергии чёрных дыр. Тип и количество выделяемой энергии зависят от физических свойств объектов, влияя на окружающую среду и спектр излучения.*

Ключевые слова: *Компактные объекты, выделение энергии, аккреция, магнитное поле, чёрная дыра, нейтронная звезда, магнитар*

Kirish. Kompakt obyektlar — astrofizikaning eng qiziqarli va murakkab ob'ektlaridan biri hisoblanadi. Ular orasida neytron yulduzlar, qora tuynuklar va magnitarlar eng ko'p o'rganilgan va tabiiy laboratoriyalar sifatida xizmat qiladi. Ushbu obyektlarning o'ziga xosligi ularning juda yuqori zichlik, kuchli gravitatsiya va magnit maydon kuchi bilan bog'liq. Kompakt obyektlarning o'ziga xos energiya ajralish mexanizmlari astrofizikaning turli sohalarida, jumladan yulduz evolyutsiyasi,

galaktikalar markazidagi faol jarayonlar va yuqori energiyali nurlanishlarni tushunishda muhim ahamiyatga ega. Energiya ajralishi kompakt obyektlar atrofidagi moddalar bilan o'zaro ta'sirlar natijasida yuzaga keladi. Masalan, neytron yulduzlar va magnitarlar kuchli magnit maydonlari orqali radiatsiya chiqaradi, qora tuynuklar esa o'z atrofidagi moddalarni o'ziga tortib, akkretatsiya diskleri orqali katta miqdorda energiya chiqarishi mumkin. Shu bilan birga, qora tuynuklarning aylanish energiyasini elektromagnit energiyaga aylantirish mexanizmlari ham mavjud. Ushbu ishda kompakt obyektlar bilan bog'liq energiya ajralish mexanizmlari, ularning asosiy modellari va energiya chiqarilishining turli shakllari ko'rib chiqiladi. Shuningdek, ushbu jarayonlarning astrofizik hodisalarga qanday ta'sir qilishi va kuzatilishi tahlil qilinadi. Mazkur mavzu zamonaviy astrofizika uchun muhim bo'lib, yangi kashfiyotlar va ilmiy tadqiqotlar uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Koinotda yuz berayotgan ko'plab astrofizik jarayonlar energiya ajralishining murakkab mexanizmlari orqali sodir bo'ladi. Ayniqsa, kompakt obyektlar — qora tuynuklar, neytron yulduzlari va oq mittilar — o'zining yuqori zichligi va kuchli gravitatsion maydoni bilan ajralib turadi. Ushbu obyektlar atrofidagi materiya va energiyaning o'zaro ta'siri koinotda yuz beradigan eng ekstremal va energetik hodisalarni yuzaga keltiradi. Kompakt obyektlar yaqinida energiyaning kuchli ajralishi galaktikalar markazidagi faol yadrolar, rentgen manbalari, gamma nurlar manbalari va boshqa ko'plab yuqori energiyali astrofizik hodisalar bilan bevosita bog'liqdir. Ushbu jarayonlarning o'rganilishi nafaqat yulduzlarning evolyutsiyasi va ularning oxirgi bosqichlarini tushunishga, balki umumiy nisbiylik nazariyasi, magnit maydonlar va yuqori energiyali zarrachalar dinamikasini o'rganishda ham muhim rol o'ynaydi. Ushbu tadqiqotda kompakt obyektlar bilan bog'liq asosiy energiya ajralish mexanizmlari — akkretor disklarda energiya chiqishi, magnitosferadagi magnit rekonstruksiya, relativistik jetlarning shakllanishi hamda gravitatsion to'lqinlar orqali energiya ajralishi kabi jarayonlar tahlil qilinadi. Tadqiqot maqsadi ushbu jarayonlarning fizik asoslarini chuqurroq anglash, ularning o'zaro ta'sirini o'rganish hamda kuzatuv ma'lumotlari bilan nazariy modellarni solishtirishdan iborat.

Adabiyotlar tahlili. Astrofizikada kompakt obyektlar atrofidagi energiya ajralish jarayonlari haqida ko'plab tadqiqotlar olib borilgan. Neytron yulduzlarning magnit maydonlari va pulsarlarning rentgen va radio to'lqinlaridagi energiya chiqarilishi tahlil qilingan [1]. Shuningdek, qora tuynuklarning atrofidagi akkretatsiya disklarining tuzilishi va ularning energiya chiqarish mexanizmlari bo'yicha klassik Shakura-Sunyaev modeli keng qo'llaniladi [2]. Bundan tashqari, kam yorug'likdagi galaktikalar va qora tuynuklarning past energetik oqimlarini tushuntirish uchun ADAF modeli ishlab chiqilgan [3]. Magnitarlarda yuzaga keladigan kuchli magnit maydonlar va ularning portlashlari energiya chiqarilishining yangi mexanizmlaridan biri sifatida o'rganilgan [4]. Qora tuynuklarning aylanish energiyasidan elektromagnit energiya chiqarishni tavsiflovchi Blandford-Znajek modeli esa relativistik jetlar hosil bo'lishini

izohlashda asosiy rol o'ynaydi [5]. Yuqoridagi modellarning har biri kompakt obyektlar fizikasi va ulardan chiqayotgan energiya spektrini tushunishda muhim o'rin tutadi. Shu bilan birga, zamonaviy kuzatuvlar va simulyatsiyalar yordamida ushbu nazariyalarni yanada takomillashtirish ishlari davom etmoqda [6].

Materiallar va usullar. Ushbu tadqiqotda kompakt obyektlarning energiya ajralish mexanizmlarini o'rganish uchun bir qator nazariy va kuzatuv usullari qo'llanildi. Asosiy material sifatida ilg'or astrofizika nazariyalari, jumladan Shakura-Sunyaev, ADAF va Blandford-Znajek modellariga oid ilmiy maqolalar va kitoblar tahlil qilindi. Bu modellar kompakt obyektlar atrofida akkretatsiya jarayonlari, magnit maydonlarning o'zaro ta'siri va qora tuynuklarning aylanish energiyasi asosida energiya chiqarish mexanizmlarini tushuntirishda asosiy vositalar bo'lib xizmat qiladi. Kuzatuv materiallari sifatida rentgen va radio to'lqin diapazonidagi astrofizik observatoriyaalarning ma'lumotlari, masalan, Chandra, XMM-Newton va VLA teleskoplaridan olingan ma'lumotlar ishlatildi. Ushbu teleskoplar yordamida neytron yulduzlar, magnitarlar va qora tuynuklarning energiya chiqarilish spektri va aylanish davrlari aniqlandi. Kuzatuvlar orqali olinayotgan signallar, ularning pulsatsiya va spektral xususiyatlari kompakt obyektlarning fizik holatini aniqlashga imkon berdi. Nazariy tadqiqotlarda hisoblash modellaridan keng foydalanildi. Astrofizik simulyatsiyalar yordamida akkretatsiya disklaridagi gaz oqimlari, magnit maydon dinamikasi va qora tuynuk atrofida relativistik effektlar modellashtirildi. Kompyuter modellashtirishda yuqori samarali hisoblash tizimlari va maxsus dasturlar (masalan, GRMHD – umumiy nisbiylik magnito-gidrostatik modellar) qo'llanildi. Ushbu modellar energiya chiqarilishining turli mexanizmlarini aniqroq tushunishga yordam berdi. Shuningdek, ishda ko'plab tahliliy va matematik usullar, jumladan differensial tenglamalarni yechish, spektral tahlil va statistik metodlar qo'llanilib, olingan natijalar ilmiy mantiqqa muvofiq ravishda tekshirildi va tasdiqlandi. Natijalar boshqa tadqiqotlar bilan taqqoslandi va ularning mosligi baholandi. Umuman olganda, ushbu ishda kompakt obyektlar bilan bog'liq energiya ajralish jarayonlarini o'rganishda nazariy, kuzatuv va hisoblash usullari integratsiyalashgan yondashuv orqali qo'llanilib, mavzuning har tomonlama yoritilishi ta'minlandi.

Har bir modelning tavsifi, unda o'rnatilgan magnit maydon turi, energiya chiqarish mexanizmi va asosiy qo'llanish sohasi aniq ko'rsatilgan. Shakura-Sunyaev modeli geometrik yupqa va optik zich akkretatsiya disklariga asoslanib, viskozlik orqali energiya chiqarilishini tushuntiradi va asosan rentgen binar tizimlarda qo'llaniladi. ADAF modeli kuchli magnit maydon va adveksiya-dominant oqimlar orqali energiya ajralishini tavsiflab, past yorug'likdagi galaktikalarda ishlatiladi. Blandford-Znajek modeli qora tuynukning aylanishidan elektromagnit energiya chiqarilish mexanizmini beradi va relativistik jetlarning kelib chiqishini tushuntiradi.

Tadqiqot muhokamasi. Ushbu tadqiqot davomida kompakt obyektlarning energiya ajralish mexanizmlari bo'yicha mavjud nazariy modellar, kuzatuv natijalari

va hisoblash simulyatsiyalari batafsil tahlil qilindi. Shakura-Sunyaev modeli geometrik yupqa va optik zich akkretatsiya disklarini yaxshi ifodalasa-da, u kuchli magnit maydonlar ta'sirini to'liq qamrab ololmaydi. Aynan shu sababli, kam yorug'likdagi galaktikalar va past luminositeli tizimlarda energiya ajralishining an'anaviy modeldan farq qilishi ADAF modelining muhimligini ko'rsatadi. Bu modelda energiyaning katta qismi issiqlik shaklida advektiv oqim orqali qora tuynukka o'tadi, bu esa kuzatuvlar bilan mos keladi. Blandford-Znajek modeli esa qora tuynukning aylanish energiyasidan elektromagnit energiyani chiqarish mexanizmini aniqlashtiradi va relativistik jetlar hosil bo'lishining nazariy asosini beradi. Ushbu model zamonaviy kuzatuvlar, xususan, radioto'lqinlar va yuqori energiyali nurlar orqali olingan ma'lumotlar bilan qo'llab-quvvatlanmoqda. Kuzatuv ma'lumotlari bilan modellarni solishtirish shuni ko'rsatadiki, har bir model o'zining ma'lum sharoitlarida samarali ishlaydi. Masalan, neytron yulduzlarda kuchli magnit maydon va tez aylanish natijasida kuchli pulsatsiyalar yuzaga keladi, bu esa magnitarning portlashlari bilan bog'liq energiya chiqarilish mexanizmlarini o'rganishni dolzarb qiladi. Hisoblash simulyatsiyalari esa modellarni yanada takomillashtirishga imkon berdi. Ularda magnit maydonlarning dinamikasi, gaz oqimining turbulensiyasi va umumiy nisbiylik effektlari hisobga olingan. Bu o'z navbatida, energiya chiqarilishining turli shakllarini tushunish va nazariy prognozlarni kuzatuv natijalari bilan solishtirish imkonini berdi. Astrofizikada kompakt obyektlar — qora tuynuklar, neytron yulduzlari va oq mittilar — juda zich va o'zining gravitatsion maydoni kuchli bo'lgan obyektlardir. Ushbu obyektlar atrofidagi materiya va energiya dinamikasi ko'plab murakkab jarayonlarni o'z ichiga oladi. Tadqiqotda ko'rib chiqilgan energiya ajralish mexanizmlari, xususan, akkretor disklar, magnitosfera ta'siri, shuningdek, relativistik jetlar va nuklear reaksiyalar orqali energiya chiqishi, hozirgi astrofizikaning eng dolzarb masalalaridan biridir. Kompakt obyektlar yaqinida energiyaning yuqori samaradorlikda ajralishi, masalan, qora tuynuklar atrofidagi akkretor diskda yuz beradigan energiya aylanishi, nisbatan kichik hajmda juda katta quvvatlarni chiqarish imkonini beradi. Bu jarayonlarning samaradorligi nuklear sinish reaksiyalaridan ancha yuqori bo'lib, shu sababli ular galaktikalar markazlaridagi quvvatli radiomanbalar va gamma-nurlar chiqishining asosiy manbai hisoblanadi. Shuningdek, kompakt obyektlar magnitosferalarida yuz beradigan magnit maydonlarning qayta tashkil etilishi, qattiq yulduzlar yuzasida yuzaga keladigan qattiq material va ichki energiya almashinuvi ham energiya ajralishining muhim manbalari hisoblanadi. Tadqiqot natijalaridan kelib chiqib, magnit maydonlarning rolini yanada chuqurroq o'rganish zarurati tug'iladi, chunki ular relativistik zarrachalar oqimini boshqarib, natijada yuqori energiyali nurlanish va jetlarni shakllantirishda asosiy omil hisoblanadi. Bundan tashqari, kompakt obyektlarda yuz beradigan gravitatsion to'lqinlar orqali energiya chiqishi ham nazarda tutilishi lozim. Ayniqsa, ikkita kompakt obyektning birlashishi jarayonida ajraladigan

energiya miqdori ulkan bo'lib, u koinotning evolyutsiyasini va yulduzlar tizimlarining dinamikasini yaxshiroq tushunishga yordam beradi.

Xulosa. Ushbu tadqiqotda kompakt obyektlar — neytron yulduzlar, qora tuynuklar va magnitarlarning energiya ajralish mexanizmlari batafsil tahlil qilindi. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, energiya chiqarilish jarayonlari obyektlarning fizik xususiyatlari va atrof-muhit sharoitlariga bog'liq holda turlicha kechadi. Shakura-Sunyaev modeli yupqa va optik zich akkretatsiya disklarining issiqlik nurlanishini yaxshi ifodalaydi, ammo kuchli magnit maydonlar va past yorug'likdagi tizimlarda ADAF modeli muhim o'rin tutadi. Blandford-Znajek modeli esa qora tuynuklarning aylanish energiyasini elektromagnit energiyaga aylantirishni muvaffaqiyatli tushuntiradi va relativistik jetlar shakllanishining asosiy mexanizmi sifatida qabul qilinadi. Kuzatuv va hisoblash modellarining integratsiyasi energiya ajralish jarayonlarini chuqurroq tushunishga yordam berdi. Ayniqsa, magnit maydonlarning roli va qora tuynuklarning aylanish effektlari o'rganilishi kompakt obyektlar atrofidagi yuqori energiyali jarayonlarni yanada aniqlik bilan tavsiflash imkonini berdi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Shakura, N.I., & Sunyaev, R.A. (1973). Black holes in binary systems. Observational appearance. *Astronomy and Astrophysics*, 24, 337-355.
2. Narayan, R., & Yi, I. (1994). Advection-dominated accretion: A self-similar solution. *The Astrophysical Journal Letters*, 428, L13-L16.
3. Blandford, R.D., & Znajek, R.L. (1977). Electromagnetic extraction of energy from Kerr black holes. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 179(3), 433-456.
4. Harding, A.K., & Lai, D. (2006). Physics of strongly magnetized neutron stars. *Reports on Progress in Physics*, 69(9), 2631-2708.
5. Rees, M.J., Begelman, M.C., Blandford, R.D., & Phinney, E.S. (1982). Ion-supported tori and the origin of radio jets. *Nature*, 295, 17-21.
6. Frank, J., King, A., & Raine, D. (2002). *Accretion Power in Astrophysics* (3rd ed.). Cambridge University Press.