

KUCHLI GRAVITATSION MAYDONLARDA NURLARNING LINZALANISH JARAYONI

Qurbonazarova S.X.

O'zbekiston milliy universiteti magistranti

<https://doi.org/10.5281/zenodo.8037032>

Gravitatsion maydonlar va nurlarning linzalanish fizikada o'rganilgan ixtisoslashgan sohalardan muhim hisoblanadi. Kuchli gravitatsion maydonlar esa kosmologiya va astrofizikada ahamiyatli bo'lgan muhim mavzulardan biridir. Bu maydonlar o'zining katta massasi va shakli bilan katta ta'sirga ega bo'lib, yulduzlar, galaktikalar va kosmologik ob'ektlar o'rtasidagi harakatlarni belgilaydi.

Nurlar esa elektromagnit maydonlarining aloqador bo'lgan energiya toifasidir. Ular bir qator xususiyatlar bilan ajralib turuvchi bitta spektrni tashkil etadi va bir nechta subtoifalarga bo'linadi, shu jumladan yorug'lik, infraqizil, ko'zgusi va ultrachiziqli nurlar mavjud. Nurlarning gravitatsion maydonlar bilan bog'liq tashqi ta'siri yaxshi tushunilgan emas.

Gravitatsion linzalari (GL) va gravitatsion to'lqinlari (GWs) Eynshteynning umumiy nisbiylik nazariyasi (GR) tomonidan bashorat qilingan asosiy hodisalardir [1]. Ularning mavjudligi tasdiqlangan bo'lsa ham, gravitatsion to'lqinlari yaqinda - 2015 yil 14 sentyabrda LIGO va Virgo hamkorligida aniqlangan [2]. O'shandan beri GTlar keng jamoatchilikka kosmosning ilgari erishib bo'lmaydigan tomonlarini ochib berish (ko'rib chiqish uchun [3-4] ga qarang) va kuchli maydon rejimlarida GRning haqiqiyligini sinab ko'rish qobiliyatini ko'rsatdi [5-6]. Hozirgi vaqtda aniqlangan GTlar qo'shaloq ixcham ob'ektlar (DCOs) populyatsiyasi tomonidan, ya'ni qo'sh neytron yulduzlari (NS-NS), aralash qora tuynuk va neytron yulduz tizimlari (BH-NS) va qo'shaloq qora tuynuklar (BH-BH) birlashishi orqali chiqarilgan. yoki BBHs) [7]. Advanced LIGO-Virgo va KAGRA [8,9] tarmog'ining uchinchi kuzatuvdan (O3) so'ng, hodisalar aniqlandi, ularning aksariyati neytron yulduz tizimlardir. Qo'sh neytron yulduzlarda gravitatsion to'lqin aniqlandi [10] elektromagnit to'lqinlar bilan birga gamma-nurlaridan, optik diapazondan radio diapazongacha [11] u multimessenjer astronomiyasini yuqori darajaga ko'tardi. Qora tuynukning mavjudligi gravitatsion linza yordamida aniqlandi[12]. Shunday qilib, yangi paydo bo'lgan GT astronomiyasi o'zining o'n yildan kamroq vaqt ichida Qo'shaloq yulduzlarlar bilan bog'liq oldingi nazariy bashoratlarni tasdiqladi: ularning ko'pligi; xususiyatlari; ularning evolyutsiyasining oxirgi bosqichlari tafsilotlari, ularning tabiatda mavjudligini ochib berdi. Muxtasar qilib aytganda, qat'iy, ammo sof nazariy hodisalarning ishonchliligi kuchli qo'llab-quvvatlandi. Biroq, kuzatilgan GT signallarida gravitatsiyaviy linzalash uchun hali ham ishonchli dalillar yo'q.

Gravitatsion linzalar - bu yorug'lik, to'lqinlar yoki zarrachalar traektoriyalarini kontsentrlangan massa taqsimotlari yaqinidagi fazo-vaqt egriligi tufayli burish natijasidir (ko'rib chiqish uchun [13] ga qarang). GRga ko'ra, erkin harakatlanuvchi zarralar yoki to'lqinlar geodeziya bo'ylab harakatlanadi, bu egri fazoda endi to'g'ri chiziqli emas. Albatta, xuddi shu printsip elektromagnit (EM) to'lqinlar bilan bir qatorda tortishish to'lqinlari uchun ham amal qiladi. Biroq, hozirgi kunga qadar, EM to'lqinlarining faqat tortishish linzalari, avvaliga kvazarning bir nechta tasvirlari, keyinroq fon galaktikalari yoki galaktikalar klasterlari atrofidagi yorug'lik yo'ylarining kattalashtirilgan va buzilgan tasvirlari sifatida kuzatilgan. Endi gravitatsiya linzalari astrofizika va kosmologiya uchun asosiy vositadir; Ob'ektning massasiga, yorug'likning tarqalishiga va manbadan keladigan yorug'lik linzadan

qanchalik yaqin o'tishiga qarab, turli xil hodisalarni kuzatish mumkin. Ushbu hodisalardan biri zaif linzalar deb ataladigan bir xil linzalar to'plamidan ta'sirlangan manbalar o'rtasida bog'liq bo'lgan shakllarning buzilishidir. Boshqa tomondan, kuchli linzalashda, fon manbai katta oldingi galaktika yoki galaktika klasteri tomonidan fotonlarning tortishish og'ishi tufayli bir nechta tasvirlar sifatida paydo bo'ladi. Galaktika klasterlari kabi eng katta linzalar bo'lsa, biz juda kattalashtirilgan tasvirlarni kutamiz. Bir vaqtning o'zida fon manbasidan chiqarilgan fotonlar galaktikalar uchun daqiqalardan oylargacha va galaktikalar klasterlari uchun nisbiy vaqt kechikishi bilan turli xil tasvirlarda keladi.

EM to'lqinlarining gravitatsion linzalari odatda geometrik optika nuqtai nazaridan tavsiflanadi, ammo gravitatsiya to'lqinlari holatida bu yondashuv har doim ham to'g'ri kelmaydi. Ob'ektivning Shvartsschild radiusi R_S bilan taqqoslanadigan to'lqin uzunligi l GVt uchun diffraksiya effektlari ahamiyatsiz bo'lib qoladi [22,23]. To'lqinga o'xshash effektlar (interferentsiya, diffraksiya) to'lqin optikasi (WO) tavsifiga muvofiq o'rganilishi kerak. Odatda, diffraksiya effektlari $10^8 M$ ($l/1AU$) dan kichik linzalar uchun muhim ahamiyatga ega. So'nggi bir necha o'n yilliklarda gravitatsiyaviy to'lqinlarning linzalanishidagi to'lqin effektlari turli mualliflar tomonidan o'rganilgan, ammo yaqinda jamiyatning yangi avlodi bilan kuzatish imkoniyati tufayli bu sohaga qiziqish qayta tiklandi. yuqori to'lqin uzunliklarida ishlaydigan interferometrlar. Shunday qilib, 2-bo'limda biz GT linzalarining nazariy asoslari bilan tanishamiz. 2.2-bo'limda boshlang'ich nuqta sifatida biz WO rejimini tanladik va mos keladigan chegara sifatida 2.2-bo'limda geometrik optik tavsifni kiritdik. Keyin, 3-bo'limda eng ko'p ishlatiladigan linzalar modellari (nuqta massasi va yagona izotermik sfera) taqdim etiladi va ushbu modellar kontekstida 2-bo'limda nazariy jihatdan kiritilgan miqdorlar haqida xabar beriladi.

Ikkita Kosmik tadqiqotchi (CE) va bitta Eynshteyn teleskopi (ET) ni o'z ichiga olgan yerga asoslangan interferometrlarning uchinchi avlod tarmog'i bilan u juda ko'p miqdordagi BBH GW aniqlashga ega bo'lishi kutilmoqda. masalan, mos ravishda $z = 8$ va $z = 100$ [63] gacha bo'lgan manbalardan kelgan yiliga $\sim 105-106$ hodisa. Elektromagnit tebranishga asoslangan interferometrlarga qo'shimcha ravishda, kosmik interferometrlar boshqa past chastota diapazonlarini o'rganadi. LISA, Lazer Interferometr kosmik antennasi, $\sim 10^{-4}-10^{-1}$ Gts diapazonidagi supermassiv qora tuynuklardan chiqadigan signalni aniqlay oladi. Bunday keng chastota diapazonini qamrab olgan interferometrlar bilan linzali GTlarni aniqlash ko'plab ilmiy izlanishlarni amalga oshirish uchun istiqbolli vositadir. Joriy va kelajakdagi detektorlar uchun kuchli linzali GT natijalari jamlangan. Keyinchalik, keyingi bo'limlar faqat linzali GTlar bilan va ularning EM bilan birgalikda ko'rib chiqilishi mumkin bo'lgan ilmiy muammolar spektriga oid istiqbollarni tavsiflaydi.

References:

1. Einstein, A. Naherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation. In Sitzungsberichte der Koniglich Preussischen Akademie der Wissenschaften; 1916; pp. 688–696. Available online: <http://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/MPIWG:RA6W5W65> (accessed on 2 March 2023).
2. Abbott, B.P.; Abbott, R.; Abbott, T.D.; Abernathy, M.R.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams, T.; Addesso, P.; Adhikari, A.; et al. Observation of Gravitational Waves from a Binary

Black Hole Merger. Phys. Rev. Lett. 2016, 116, 061102. [CrossRef]

3. Coleman Miller, M.; Yunes, N. The new frontier of gravitational waves. Nature 2019, 568, 469–476. [CrossRef]
4. Bailes, M.; Berger, B.K.; Brady, P.R.T. Gravitational-wave physics and astronomy in the 2020s and 2030s. Nat. Rev. Phys. 2021, 3, 344–366. [CrossRef]
5. Abbott, B.P.; Abbott, R.; Abbott, T.D.; Abernathy, M.R.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams, T.; Addesso, P.; Adhikari, R.X.; et al. Tests of General Relativity with GW150914. Phys. Rev. Lett. 2016, 116, 221101. [CrossRef]
6. Abbott, B.P.; Abbott, R.; Abbott, T.D.; Abraham, S.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, A.; Adams, C.; Adhikari, R.X.; Adya, V.; et al. Tests of general relativity with binary black holes from the second LIGO-Virgo gravitational-wave transient catalog. Phys. Rev. D 2021, 103, 122002. [CrossRef]
7. Belczynski, K.; Kalogera, V.; Bulik, T. A Comprehensive Study of Binary Compact Objects as Gravitational Wave Sources: Evolutionary Channels, Rates, and Physical Properties. Astrophys. J. 2002, 572, 407. [CrossRef]
8. Aasi, J.; Abbott, B.P.; Abbott, R.; Abbott, T.; Abernathy, M.R.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams, T.; Addesso, P.; Adhikari, R.X.; et al. Advanced LIGO. Class. Quantum Gravity 2015, 32, 074001. [CrossRef]
9. Acernese, F.A.; Agathos, M.; Agatsuma, K.; Aisa, D.; Allemandou, N.; Allocca, A.; Amarni, J.; Astone, P.; Balestri, G.; Ballardin, G.; et al. Advanced Virgo: A second-generation interferometric gravitational wave detector. Class. Quantum Gravity 2014, 32, 024001. [CrossRef]
10. Abbott, B.P.; Abbott, R.; Abbott, T.D.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adams, T.; Addesso, P.; Adhikari, R.X.; Adya, V.B.; et al. GW170817: Observation of Gravitational Waves from a Binary Neutron Star Inspiral. Phys. Rev. Lett. 2017, 119, 161101. [CrossRef]
11. Coulter, D.; Foley, R.; Kilpatrick, C.T. Swope Supernova Survey 2017a (SSS17a), the optical counterpart to a gravitational wave source. Science 2017, 358, 1556–1558. [CrossRef]
12. Abbott, R.; Abbott, T.; Abraham, S.; Acernese, F.; Ackley, K.; Adams, C.; Adhikari, R.X.; Adya, V.; Affeldt, C.; Agathos, M.; et al. GW190814: Gravitational Waves from the Coalescence of a 23 Solar Mass Black Hole with a 2.6 Solar Mass Compact Object. Astrophys. J. 2020, 896, L44. [CrossRef]
13. y 2019, 36, 225002. [CrossRef]