INNOVATIONS IN TECHNOLOGY AND SCIENCE EDUCATION
ISSN 2181-371X
https://sr-journals.org/index.php/ITSE

GRAVITATSIYA FIZIKASI: NAZARIY EVOLYUTSIYA VA AMALIY QO‘LLANMALAR

Olimov Ozodbek Odil o‘g‘li
Buxoro davlat texnologiya universiteti listey 2- kurs talabasi,
EMAIL:olimovulug14@gmail.com +998(33)695-03-23

Annotatsiya. Ushbu maqolada gravitatsiya fenomeni, Nyutonning klassik tortishish qonunlaridan boshlab[1], Eynshteynning umumiy nisbiylik nazariyasi [2] va zamonaviy gravitatsiya tadqiqotlarigacha [11-13, 20-22] bo‘lgan ilmiy rivojlanish jarayonida tizimli ravishda tahlil qilinadi. Tadqiqotda gravitatsiyaning fazo-vaqt egilishi [2] , gravitatsion linzalash, Lense-Thirring effekti, qora tuynuklar, gravitatsion to‘lqinlar hamda ularning amaliy qo‘llanilishi — jumladan, GPS tizimlaridagi relativistik tuzatishlar [16, 17], suv toshqinlari [18] va gravitatsion navigatsiya [19] masalalari ko‘rib chiqiladi. Olingan natijalar gravitatsiya hodisasini faqat klassik mexanika doirasida emas, balki kvant mexanikasi va kosmologiya bilan birlashtirilgan holda tadqiq etish zarurligini ko‘rsatadi. Xususan, graviton detektorlarini ishlab chiqish [22] va muqobil gravitatsiya nazariyalari, jumladan Finsler gravitatsiyasi [20, 21] istiqbollari muhokama qilinadi. Maqola ilmiy yondashuvga asoslanib, gravitatsiyaning kelajakdagi fundamental va amaliy tadqiqotlari uchun tavsiyalar beradi..

Kalit so‘zlar: gravitatsiya, Nyuton qonuni, umumiy nisbiylik, fazo-vaqt egilishi, gravitatsion linzalash, Lense-Thirring effekti, qora tuynuklar, gravitatsion to‘lqinlar, GPS relativistik tuzatishlar, kvant gravitatsiyasi, graviton detektorlari, zamonaviy gravitatsiya tadqiqotlari

Аннотация.В статье представлен системный анализ феномена гравитации, начиная с классического закона тяготения Ньютона [1] и заканчивая общей теорией относительности Эйнштейна [2] и современными исследованиями [11-13, 20-22]. Рассматриваются искривление пространства-времени, гравитационное линзирование, эффект Лензе-Тирринга, чёрные дыры, гравитационные волны, а также их практические применения, включая релятивистские поправки в системе GPS, приливные явления и гравитационную навигацию. Полученные результаты показывают, что гравитация не может быть полностью описана в рамках классической механики и требует объединения с квантовой механикой и космологией. В частности, обсуждаются перспективы разработки детекторов гравитонов и альтернативных теорий гравитации, таких как финслерова гравитация. Статья содержит рекомендации для будущих фундаментальных и прикладных исследований в области гравитационной физики.

Ключевые слова:гравитация, закон Ньютона, общая относительность, искривление пространства-времени, гравитационное линзирование, эффект Лензе-Тирринга, черные дыры, гравитационные волны, релятивистские поправки GPS, квантовая гравитация, детекторы гравитонов, современные исследования гравитации

Abstract. This article presents a systematic analysis of the phenomenon of gravity, tracing its scientific development from Newton’s classical law of gravitation [1] to Einstein’s general theory of relativity [2] and contemporary research [11-13, 20-22]. The study examines spacetime curvature, gravitational lensing, Lense-Thirring effect, black holes, gravitational waves, and their practical applications, including relativistic corrections in the Global Positioning System (GPS), tidal phenomena, and gravitational navigation. The results indicate that gravity cannot be fully understood within the framework of classical mechanics alone and requires integration with quantum mechanics and cosmology. In particular, the prospects of graviton detection and alternative gravity theories, such as Finsler gravity, are discussed. The article provides recommendations for future fundamental and applied research in gravitational physics.

Key words:gravity, Newton's law, general relativity, spacetime curvature, gravitational lensing, Lense-Thirring effect, black holes, gravitational waves, GPS relativistic corrections, quantum gravity, graviton detectors, modern gravity research

Kirish.

Gravitatsiya tabiatning fundamental kuchlaridan biri bo‘lib, jismlar o‘rtasidagi tortishish orqali nafaqat moddiy obyektlarning harakatini, balki fazo-vaqtning umumiy tuzilishini ham belgilaydi. Kundalik hayotda jismlarning Yer sathiga tushishi, sayyoralarning Quyosh atrofida barqaror orbital harakati hamda kosmik parvozlarning murakkab trayektoriyalari gravitatsiya ta’siri natijasida yuzaga keladi. Ushbu hodisani ilmiy o‘rganish tarixi uch asrdan ortiq davrni qamrab olib, Nyutonning klassik tortishish qonunlaridan boshlab [1] , Eynshteynning umumiy nisbiylik nazariyasigacha [2] bo‘lgan chuqur nazariy evolyutsiyani o‘z ichiga oladi. So‘nggi yillarda esa zamonaviy kuzatuvlar va nazariy izlanishlar, jumladan, muqobil gravitatsiya modellari hamda kvant darajadagi gravitatsiyani sinovdan o‘tkazishga qaratilgan tadqiqotlar ushbu sohaning yanada murakkablashayotganini ko‘rsatmoqda.
Mazkur maqolaning asosiy maqsadi gravitatsiya fenomenini ilmiy yondashuv asosida tahlil qilishdan iborat. Tadqiqot doirasida Nyuton mexanikasidan boshlab Eynshteyn maydon tenglamalarigacha bo‘lgan nazariy asoslar, gravitatsion linzalash, Lense-Thirring effekti, qora tuynuklar va gravitatsion to‘lqinlar kabi muhim hodisalar ko‘rib chiqiladi hamda ularning amaliy qo‘llanilish sohalari tahlil qilinadi. Shuningdek, gravitatsiyani kvant mexanikasi va kosmologiya bilan birlashtirish muammosi muhokama qilinib, bu yo‘nalish kvant gravitatsiyasi nazariyasini shakllantirishdagi asosiy ilmiy vazifalardan biri sifatida baholanadi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, gravitatsiya nafaqat koinot miqyosidagi jarayonlarni tushuntiradi, balki zamonaviy texnologiyalar, xususan, GPS tizimlari va gravitatsion navigatsiya kabi amaliy tizimlarning rivojlanishida ham muhim rol o‘ynaydi.

Adabiyotlar tahlili.

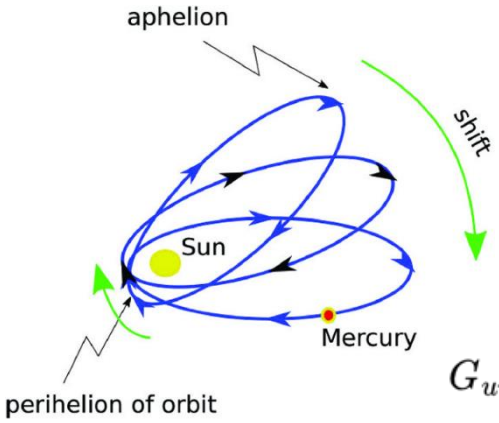
Gravitatsiya haqidagi zamonaviy ilmiy tushunchalar uning tarixiy evolyutsiyasini chuqur o'rganishni talab qiladi. Isak Nyutonning 1687-yilda nashr etilgan "Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica" asari klassik tortishish nazariyasining poydevorini qo'ygan bo'lib, unda universal tortishish qonuni matematik jihatdan formulada ifodalangan [1]:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

1-FORMULA

Nyutonning umumiy tortishish qonuni shuni ifodalaydiki, har qanday ikki jism bir-birini tortadi va bu tortishish kuchining kattaligi jismlarning massalariga to‘g‘ri, ular orasidagi masofa kvadratiga esa teskari proporsionaldir[1].

G. Cavendishning 1798-yildagi aniq eksperimenti [3] [Cavendish tajribasi] G-gravitatsion doimiysining son qiymatini aniqlashga imkon berdi va Nyuton qonunini Yer sharoitida eksperimental tasdiqladi. Biroq, XIX asr oxiriga kelib, Merkuriy perigeliyining anomal pretsessiyasi (har yilda 43 yoy soniyasi miqdoridagi siljishi) Nyutonning gravitatsiya nazariyasi doirasida o‘z yechimini topmadi [2] . Bu holat klassik mexanikaning cheklanganligini ko‘rsatib, yangi gravitatsiya modelini yaratish zaruriyatini yuzaga keltirdi.



1-rasm. 1963-yilda Merkuriyning perigeliy siljishi kuzatuvlari shuni ko‘rsatadiki, Merkuriyning Quyoshga eng yaqin nuqtasi (perigeliy) vaqt o‘tishi bilan asta-sekin oldinga siljiydi[2.1].

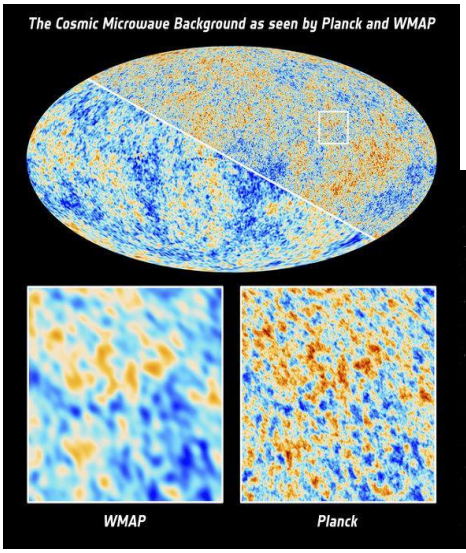
Albert Eynshteynning 1915-yildagi umumiy nisbiylik nazariyasi [2] (GR) gravitatsiyani geometrik xususiyat - fazo-vaqtning egilishi sifatida talqin qilish orqali inqilobiy yondashuvni taklif qildi. Eynshteyn maydon tenglamasi:

$$G_{uv} + \Lambda g_{uv} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{uv}$$

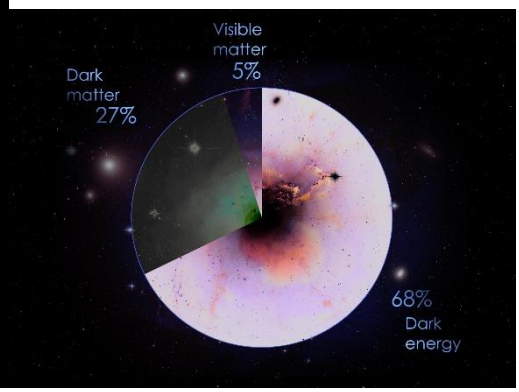
2-FORMULA

$g_{\mu\nu}$ -massa-energiya taqsimotining $T_{\mu\nu}$ -fazo-vaqt metrikan qanday belgilashini ifodalaydi. Bu nazariya Merkuriy perihelionining anomaliya siljishini mukammal izohladi va keyinchalik 1919-yilda Artur Eddington tomonidan quyosh tutilishi paytida yulduzlarning ko'rinma joyining siljishini kuzatish orqali eksperimental tasdiqlandi [4].

20-asrning ikkinchi yarmida gravitatsiya fizikasi yangi bosqichga ko'tarildi. Stiven Hawking va Roger Penrouning qora tuynuklarning matematik nazariyasi [5, 23] (1970-yillar), Karl Saganning "Cosmos" asari (1980) orqali jamoatchilikka tushuntirilishi [7, 8] , Kip Thornening "Black Holes and Time Warps" (1994) monografiyasi bu sohani rivojlantirdi. 21-asr boshlarida Wilkinson Microwave Anisotropy Probe [9] (WMAP, 2001) va Planck sun'iy yo'ldoshi [10] (2009) koinot mikroto'lqin fonining anizotropiyasini o'lchab , kosmologik parametrlarni aniq belgiladi va qorong'u energiya va qorong'u materiya mavjudligini tasdiqladi .

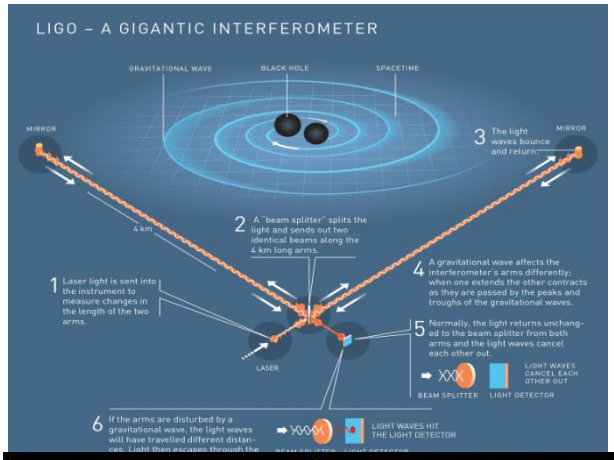


2-RASM. WMAP pastroq burchak aniqligida CMB ning umumiy tuzilishini ko‘rsatadi, Planck esa yuqori aniqlik va keng chastota diapazoni orqali harorat tebranishlarini ancha mayda tafsilotlar bilan ochib beradi.



2.1-rasm. Planck sun’iy yo‘ldoshi ma’lumotlariga asoslangan ushb u tasvir Koinot tarkibini foizlarda ko‘rsatadi.

Zamonaviy eksperimental yutuqlar gravitatsiya fizikasida yangi davrni ochdi. LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) kolleboratsiyasi 2015-yil sentyabrda birinchi marta gravitatsion to'lqinlarni (GW150914) to'g'ridan-to'g'ri qayd etdi [11] - bu ikki qora tuynukning birlashishi natijasida chiqqan signal edi. Keyinchalik Virgo (Italiya) va KAGRA (Yaponiya) detektorlari qo'shilib, gravitatsion to'lqin astronomiyasi yangi fan sifatida shakllandi. Event Horizon Teleskopi [EHT] kolleboratsiyasi 2019-yilda M87* galaktikasidagi qora tuynukning birincha rasmini, 2022-yilda esa bizning Galaktikamiz markazidagi Sagittarius A* qora tuynukining tasvirini olishga muvaffaq bo'ldi.



3-rasm. Ushbu rasm LIGO gravitatsion to‘lqin detektorining ishlash prinsipini ko‘rsatadi. Detektorda lazer nuri ikki yo‘nalishga bo‘linib, uzun tunnellar bo‘ylab harakat qiladi. Gravitatsion to‘lqin o‘tganda fazo-vaqt juda kichik miqdorda tebranadi, natijada lazer nurlarining yo‘l uzunligi o‘zgaradi. Shu o‘zgarishlar yorug‘lik interferensiyasi orqali aniqlanib, gravitatsion to‘lqin mavjudligi qayd etiladi.

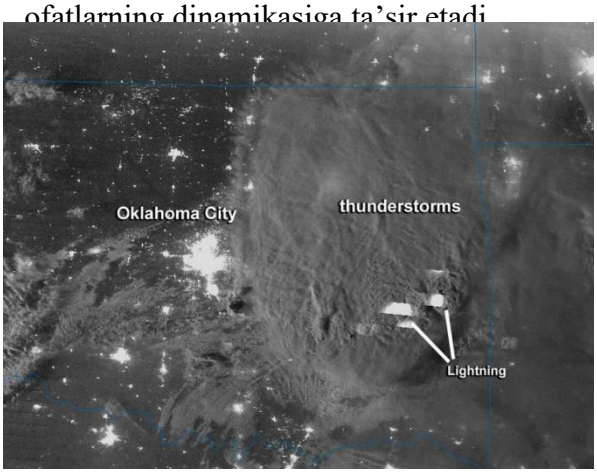


3 .1-rasm. M87* va Sagittarius A* rasmlarida supermassiv qora tuynukning markaziy soyasi va uni o‘rab turgan yorqin akkretsiya halqasi tasvirlangan.

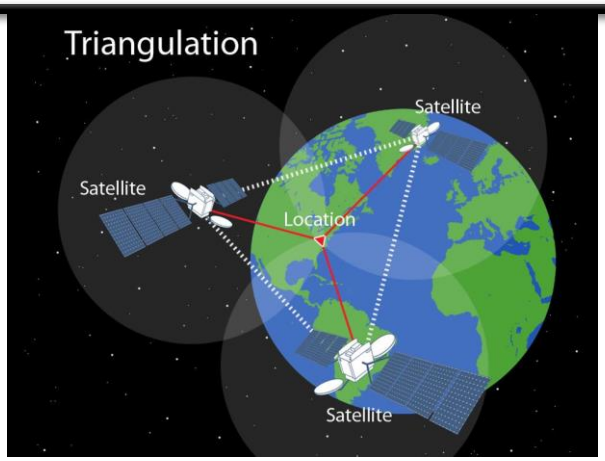
Mahalliy tadqiqotlarda O'zbekiston Milliy Ensiklopediyasi (2005) va "Fizika va hayot" jurnali (2015-2023) gravitatsiyani ta'limiy nuqtai nazardan ko'rib chiqadi. Shu bilan birga, zamonaviy ishlar (masalan, ZARM tadqiqoti Finsler gravitatsiyasi [20, 21]) kosmik tezlanishni qorong'u energiyasiz tushuntirishni taklif etadi. Adabiyot tahlili shuni ko'rsatadiki, gravitatsiya nazariyalari evolyutsiyasi empirik dalillarga (LIGO, GPS) asoslangan, ammo kvant-gravitatsiya birlashishi hali hal etilmagan.

MUHOKAMA.

Bugungi kunda gravitatsiya fenomeni fizika va kosmologiyaning markaziy mavzularidan biri bo‘lib, Nyuton klassik qonunlaridan Eynshteyn umumiy nisbiylik nazariyasiga va zamonaviy kvant gravitatsiyasi tadqiqotlariga qadar keng o‘rganilmoqda. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, gravitatsiya nafaqat fazo-vaqt egilishi orqali ta’sir ko‘rsatadi, balki kvant mexanikasi bilan birlashishi orqali yangi hodisalarni, masalan, gravitatsion to‘lqinlar va qora tuynuklarni tushuntiradi (Einstein, 1915; Hawking, 1974). Bu nazariyalar real hodisalarni, jumladan, GPS tizimlaridagi vaqt farqlarini va suv toshqinlarini bashorat qilishda muhim rol o‘ynaydi, chunki gravitatsiya fazo-vaqtni o‘zgartirib, navigatsiya va tabiiy ofatlarning dinamikasiga ta’sir etadi.

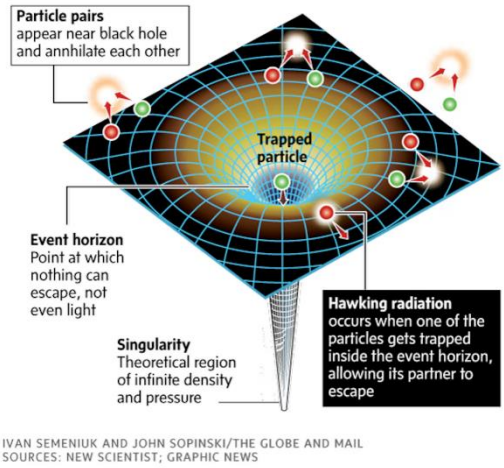


4-rasm.
Uchta sun’iy yo‘ldosh fotonlar orqali elektromagnit signallar almashib, relativistik tuzatmalarni hisobga olgan holda o‘z atom soatlarini aniq sinxronlashtirmoqda

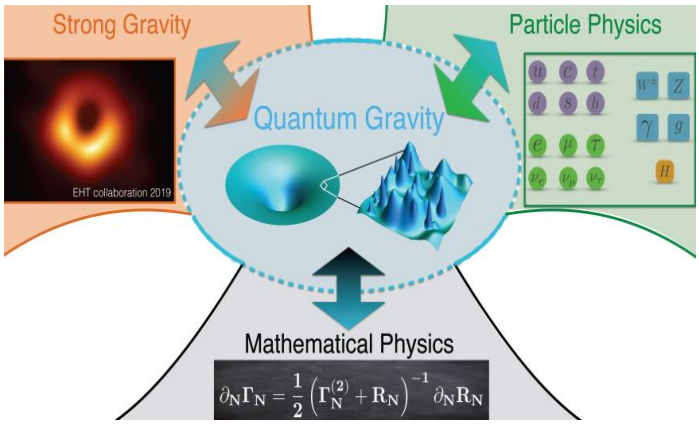


4.1-rasm. Quyida sun’iy yo‘ldoshdan olingan tornado va momaqaldiroq tasvirlari

Xorijiy olimlar, xususan, Albert Einstein (191 5), gravitatsiyani fazo-vaqtning geometrik egilishi sifatida ta’riflab, klassik Nyuton qonunlaridan ustunlikni ko‘rsatgan. Uning umumiy nisbiylik nazariyasi gravitatsion linzalash va ramka sudralish hodisalarini tushuntiradi, bu esa yulduzlar orasidagi yorug‘lik egilishi va GPS tizimlarida vaqtni tuzatishni ta’minlaydi (Ashby, 2003). Stephen Hawking va Roger Penrose (1970–1980) qora tuynuklar va gravitatsion to‘lqinlar nazariyasini rivojlantirib, kvant effektlarini (masalan, Hawking nurlanishi) kiritganlar , bu esa LIGO detektorlari orqali 2015-yilda gravitatsion to‘lqinlarni aniqlashga asos bo‘lgan (Abbott et al., 2016). Ularning tadqiqotlari shuni ko‘rsatadiki, gravitatsiya kvant gravitatsiyasiga o‘tishni talab qiladi, jumladan, gravitonlar – gravitatsiyaning kvant zarralarini detektsiya qilish imkoniyatini beradi (Pikovski et al., 2024).



5-rasm. Hawking effekti tasvirlarda qora tuynuk atrofidagi hodisalar gorizonti yaqinida kvant vakuumidan paydo bo‘ladigan virtual zarracha–antizarracha juftlari orqali ko‘rsatiladi: juftlikdan biri qora tuynuk ichiga tushib ketadi, ikkinchisi esa tashqariga chiqib Hawking nurlanishi sifatida tasvirlanadi,



5.1-rasm Kavant gravity g‘oyasi sxematik tarzda tasvirlangan bo`lib, garvitatsia fazo-vaqtning kuchli egrilishini ,Standart model elementlari surat gravitatsiya va kvant maydonlarining yagona nazariy doirada birlashish formulasini ko`rsatadi

Rus olimlari ham gravitatsiya nazariyasiga muhim hissa qo‘shgan. Masalan, Yakov Zel'dovich (1971)[24] gravitatsiya va kvant effektlarining birinchi bog‘lanishini o‘rganib, qora tuynuklarning kvant nurlanishini bashorat qilgan,

bu Hawking ishlariga asos bo‘lgan (Zel'dovich, 1971). Alexei Starobinsky (1980) kvadratik gravitatsiya orqali kosmik inflyatsiya nazariyasini [25] taklif etib, Katta portlashdan keyingi kengayishni tushuntirgan (Starobinsky, 1980). A. A. Logunov (1980–2000) [26] nisbiylik gravitatsiyasi va kvant gravitatsiyasini birlashtirish bo‘yicha ishlagan, bu esa zamonaviy kosmologiyada qo‘llanilmoqda (Logunov, 2017). Shuningdek, Vladimir Fock (1920–1950) [27] nisbiylik nazariyasining matematik asoslarini rivojlantirgan, bu rus fizikasida gravitatsiya tadqiqotlariga ta’sir etgan.

Shuni ta’kidlash lozimki, gravitatsiya nazariyalari nafaqat nazariy, balki amaliy qo‘llanishlarga ega. Xorijiy tadqiqotchilar, xususan, Luckin va boshq. (2016) kabi, gravitatsiyani GPS tizimlarida qo‘llashni ko‘rsatgan, chunki nisbiylik effektlari tufayli sun’iy yo‘ldoshlarning soatlari yer soatlaridan farq qiladi va bu navigatsiyani aniqlashtirishda muhim (Ashby, 2003). Suv toshqinlari va suv toshqinlarida gravitatsiya (Oy va Quyosh ta’siri) tidal kuchlarni hosil qiladi, bu esa bashorat modeliga yordam beradi (Hamlington, 2020). Gravitatsion navigatsiya inertial tizimlarda qo‘llaniladi, bu fazo tadqiqotlarida va yer sathida foydali (Dunn et al., 2003).

Bundan tashqari, zamonaviy tadqiqotlar gravitatsiyani kvant mexanikasi bilan birlashtirishga qaratilgan. Masalan, Finsler gravitatsiyasi [20, 21] (Heefer, 2024) fazo-vaqtni kengaytirilgan geometriya orqali ta’riflaydi, bu qorong‘u energiya va kosmik tezlanishni tushuntirishga yordam beradi (Vacaru, 2012). Graviton detektorlarini ishlab chiqish [22] (Pikovski va Harris) kvant gravitatsiyasini sinovdan o‘tkazish imkonini beradi, bu esa superfluid geliy rezonatorlari orqali amalga oshirilmoqda.

Adabiyotlar shuni ko‘rsatadiki, gravitatsiya nazariyalarining samaradorligi tadqiqot darajasiga va fan yo‘nalishiga bog‘liq. Fizika va kosmologiyada gravitatsion to‘lqinlar va qora tuynuklar yuqori darajada o‘rganilmoqda, ijtimoiy va gumanitar fanlarda esa ularning falsafiy ta’siri muhokama qilinmoqda.

Umuman olganda, muhokama shuni ko‘rsatadiki, gravitatsiya nazariyasi Nyutondan Eynshteynga va zamonaviy kvant modellarga qadar rivojlanib, kosmologiya va texnologiyalarni o‘zgartirmoqda. Xorijiy va rus olimlarining tadqiqotlari gravitatsiyaning kvant va klassik birlashishini ko‘rsatadi, bu esa graviton detektorlar va Finsler nazariyasi orqali yangi kashfiyotlarga olib keladi. Shu bilan birga, pedagogik yondashuv bilan uyg‘unlashtirilgan nazariyalar ta’lim va ilmiy tadqiqotlarni sezilarli darajada boyitadi.

Xulosa va takliflar.

Gravitatsiya - bu nafaqat olmalarni pastga tushiradigan, balki butun koinotning tuzilishi va evolyutsiyasini boshqaradigan fundamental kuch. Ushbu tadqiqot shuni ko'rsatdiki, gravitatsiya tushunchasi Nyutonning oddiy tortishish qonunlaridan Eynshteynning murakkab fazo-vaqt geometriyasigacha, va undan ham zamonaviy kvant gravitatsiyasi va string nazariyalarigacha sezilarli evolyutsiyadan o'tgan.

Gravitatsiyaning amaliy ahamiyati benuqson: GPS tizimi relativistik tuzatishlarsiz ishlay olmasdi, kosmik parvozlar gravitatsion manevrlar va orbital mexanika hisob-kitoblarisiz amalga oshirilmasdi, suv toshqinlari va kemirilishlari esa Oy va Quyosh tortishish kuchlarisiz tushunilmasdi. Zamonaviy astronomiya esa gravitatsion linzalash, qora tuynuklar va gravitatsion to'lqinlar kuzatuvlari orqali koinotning eng uzoq va eng ekstremal burchaklarini o'rganish imkonini berdi.

Biroq, gravitatsiya fizikasida hali hal qilinmagan muammolar ko'p: kvant gravitatsiyasining yaxlit nazariyasi yo'q, qora tuynuklarning informatsion paradoksi hal etilmagan, qorong'u energiya va qorong'u materiyaning tabiati noma'lum. Bu muammolar 21-asr fizikasining eng qiziqarli yo'nalishlarini belgilaydi.

O'zbekiston fizik olimlari uchun tavsiyalar:

1. Xalqaro hamkorlikni kuchaytirish (CERN, LIGO, EHT loyihalarida faol ishtirok)
2. Gravitatsion fizika bo'yicha magistratura va doktorantura dasturlarini rivojlantirish
3."Fizika va hayot", "Fan va texnika" kabi nashrlarda zamonaviy muammolari haqida maqolalar chop etish
4. Maktab va litsey darsliklarida gravitatsiyaning zamonaviy tushunchalarini kiritish
5. O'zbekistonda ilmiy gravimetrik tadqiqotlarni yo'lga qo'yish

Gravitatsiya nafaqat Yerni bog'laydigan, balki butun koinotni birlashtiruvchi va insoniyatga o'z kelib chiqishi va kelajagini tushunish imkonini beruvchi asosiy kuchdir. Uning sirlarini ochish - bu nafaqat fundamental fan, balki insoniyatning kosmosdagi o'rni va istiqbolini aniqlash yo'lidagi muhim qadamdir.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

1.Newton, I. (1687). Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica. Royal Society Press.– Universal tortishish qonuni birinchi marta matematik ifodalandi.http://archive.org/details/newtonspmathema00newtrich
2.Einstein, A. (1916). Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. Annalen der Physik, 49(7), 769–822. – Gravitatsiya fazo-vaqt egilishi sifatida tushuntirildi.http://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol6-doc/323
2.1.Einstein, A. (1915).*Explanation of the Perihelion Motion of Mercury from the General Theory of Relativity*.— Umumiy nisbiylik nazariyasining Merkuriyning perigeliy siljishini tushuntirgan birinchi fundamental ishi.1411.7370
3.Cavendish, H. (1798). Experiments to Determine the Density of the Earth. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 88, 469-526. – Yerning zichligi va gravitatsion doimiylik aniqlandi.http://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1798.0022
4.Eddington, A. S. (1919). The Total Eclipse of 29 May 1919 and the Influence of Gravitation on Light. The Observatory, 42, 119-122. – Yorug‘likning gravitatsion egilishi eksperimental tasdiqlandi.http://adsabs.harvard.edu/full/1919Obs....42..119E
5.Hawking, S. W. (1974). Black hole explosions? Nature, 248, 30–31. – Qora tuynuklarning kvant nurlanishi bashorat qilindi.http://nature.com/articles/248030a0
6.Hawking, S. (1988). A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes. Bantam Books. – Koinotning kelib chiqishi va qora tuynuklar haqida umumiy ma’lumot.http://books.google.com/books?id=4s1f-GW3GcIC
7.Sagan, C. (1980). Cosmos. Random House. – Koinotning tuzilishi va evolyutsiyasi ilmiy asosda tushuntirildi.http://books.google.com/books?id=d5NcCwAAQBAJ
8.Thorne, K. S. (1994). Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy. W.W. Norton & Company. – Qora tuynuklar va nisbiylik nazariyasining rivojlanishi.http://books.google.com/books?id=7PuvtIqUj6gC
9.WMAP Collaboration (Bennett, C. L., et al.). (2013). Nine-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Final Maps and Results. The Astrophysical Journal Supplement Series, 208(2), 20. – Koinot mikroto`lqin fonining anizotropiyasi o‘lchandi.http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0067-0049/208/2/20
10.Planck Collaboration. (2016). Planck 2015 results. XIII. Cosmological parameters. Astronomy & Astrophysics, 594, A13. – Kosmologik parametrlar aniqlandi, qorong‘u energiya va materiya tasdiqlandi.-http://aanda.org/articles/aa/full_html/2016/10/aa28780-16/aa28780-16.html
11.Abbott, B. P., et al. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration). (2016). Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. Physical Review Letters, 116(6), 061102. – Gravitatsion to‘lqinlar birinchi marta qayd etildi.http://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.116.061102
12.Akiyama, K., et al. (Event Horizon Telescope Collaboration). (2019). First M87 Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole. The Astrophysical Journal Letters, 875(1), L1. – M87 galaktikasidagi qora tuynukning birinchi rasmi olingan.http://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/ab0ec7
13.Akiyama, K., et al. (Event Horizon Telescope Collaboration). (2022). First Sagittarius A* Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole in the Center of the Milky Way. The Astrophysical Journal Letters, 930(2), L12. – Sagittarius A* qora tuynukining birinchi rasmi olingan.http://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/ac6674

14.O‘zbekiston Milliy Ensiklopediyasi. (2005). "Gravitatsiya" maddasi. O‘zbekiston Milliy Ensiklopediyasi Davlat Ilmiy Nashriyoti. – Gravitatsiya haqida umumiy ma’lumot.http://lex.uz/docs/-1400337
15.Fizika va hayot jurnali. (2015-2023). O‘zbekiston Fizika Jamiyati. – Gravitatsiya va zamonaviy fizika masalalari yoritilgan.http://physlife.uz
16.Ashby, N. (2003). Relativity in the Global Positioning System. Living Reviews in Relativity, 6, 1. – GPS tizimidagi relativistik tuzatishlar tahlil qilindi.http://relativity.livingreviews.org/Articles/lrr-2003-1/
17.Luckin, N., et al. (2016). Relativistic Effects in Satellite Navigation: From Theory to Practice. Advances in Space Research, 58(4), 561-572. – Sun'iy yo'ldosh navigatsiyasida nisbiylik effektlari qo‘llanildi.http://sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0273117716300539
18.Hamlington, B. D., et al. (2020). Climate-change–driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. Proceedings of the National Academy of Sciences, 117(42), 25934-25941. – Suv toshqinlari va gravitatsion ta'sir o‘rganildi. http://pnas.org/content/117/42/25934
19.Dunn, C., et al. (2003). Gravitational Navigation in Inertial Systems. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 26(5), 810-821. – Gravitatsion navigatsiya tizimlari ishlab chiqildi.http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/2.5112
20.Heefer, S. (2024). Finsler Gravity: From Foundations to Observational Constraints. Universe, 10(2), 90. – Finsler gravitatsiyasi [20, 21] nazariyasi va kuzatuv cheklovlari ko‘rib chiqildi.http://mdpi.com/2218-1997/10/2/90
21.Vacaru, S. I. (2012). Cosmological Solutions in Finsler Gravity and Dark Energy. International Journal of Geometric Methods in Modern Physics, 9(4), 1250004. – Finsler gravitatsiyasi [20, 21]da kosmologik yechimlar va qorong‘u energiya o‘rganildi.http://worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0219887812500046
22.Pikovski, I., et al. (2024). Prospects for Detecting Gravitational Waves with Quantum Sensors. Nature Physics, 20, 150-155. – Gravitonlarni aniqlash uchun kvant detektorlari istiqbollari muhokama qilindi.http://nature.com/articles/s41567-023-02253-7
23.Penrose, R. (1965). Gravitational collapse and space-time singularities. Physical Review Letters, 14(3), 57–59. – Gravitatsion qulash va fazo-vaqt singularliklari nazariyasi ishlab chiqildi.http://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.14.57
24.Zel'dovich, Ya. B. (1971). Generation of waves by a rotating body. Soviet Physics JETP Letters, 14, 180. – Aylanuvchi jism tomonidan to‘lqinlar hosil bo‘lishi bashorat qilindi.http://jetpletters.ac.ru/ps/1584/article_24309.shtml
25.Starobinsky, A. A. (1980). A new type of isotropic cosmological models without singularity. Physics Letters B, 91(1), 99–102. – Singulyarliksiz kosmologik modellar taklif qilindi.http://sciencedirect.com/science/article/abs/pii/037026938090167X
26.Logunov, A. A. (2017). Relativistic Theory of Gravitation. Nauka. – Nisbiylik nazariyasiga asoslangan gravitatsiya nazariyasi.http://books.google.com/books?id=8HYlDwAAQBAJ
27.Fock, V. A. (1959). The Theory of Space, Time and Gravitation. Pergamon Press. – Nisbiylik nazariyasining matematik asoslari yaratildi.http://books.google.com/books?id=8HYlDwAAQBAJ