

- I. Kirish
- II. Asosiy qism
 - 1. Kvant Gravitatsiyasi
 - 2. Nazariy asoslari va vaqt muammosi
 - 3. Kvant gravitatsiyasi bo'yicha izlanishlar
- III. Xulosa
- IV. Foydalanilgan adabiyotlar

I. Kirish

Kvant gravitatsiyasi - bu kvant mexanikasi va umumiy nisbiylik nazariyasining birlashishini ta'minlashga qaratilgan ilmiy izlanishlar sohasidir. Bugungi kunda kvant gravitatsiyasi, zamonaviy fizikada eng muhim va murakkab masalalardan biri bo'lib, mikroskopik va makroskopik miqyosdagi fizik jarayonlarni bir vaqtda tushuntirishga intiladi. Kvant mexanikasi atomlar va subatomik zarrachalarning xatti-harakatlarini, umumiy nisbiylik esa makroskopik jismoniy tizimlarni, masalan, yulduzlar, sayyoralar va qora tuynuklar kabi gravitatsion tizimlarni muvaffaqiyatli tavsiflaydi. Ammo bu ikki nazariyaning birlashishi hozirgacha aniq yechimga ega bo'lmagan masala bo'lib qolmoqda.

Kvant mexanikasi va **umumiy nisbiylik** nazariyalari o'zaro mos kelmasligi sababli, ularning birgalikda ishlashini tasvirlovchi yagona nazariya mavjud emas. Kvant mexanikasi tasvirlaydigan dunyo mikroskopik miqyosda tasodifiylik va to'liq noaniqlik kabi hodisalar bilan ajralib turadi, holbuki umumiy nisbiylik makroskopik miqyosda, ayniqsa, gravitatsiya kuchlari ta'sirida kattalashuvchi, idealizatsiyalangan deterministik dunyoni taqdim etadi. Shu sababli, ikkala nazariyaning birlashishi nafaqat fizikani chuqurroq tushunishga yordam beradi, balki uni yangi ilmiy nazariyalar va eksperimentlar orqali rivojlantirishga imkon yaratadi.

Kvant gravitatsiyasining dolzarbligi hozirgi kunda ayniqsa yuqori energiya fizikasi va kosmologiya sohalarida sezilmoqda. Masalan, qora tuynuklarning markazidagi holatlar yoki koinotning dastlabki holatidagi hodisalar (Birinci lahza, ya'ni "Big Bang" hodisasi) yuqori energiya va qisqa masofalar bilan bog'liq bo'lib, ularni tasvirlash uchun kvant gravitatsiyasi kerak bo'ladi. Bu hodisalarni tushunish esa ilmiy hamjamiyat uchun juda muhim, chunki ular koinotning ishlashiga oid fundamental savollarga javob topishga yordam berishi mumkin.

Bugungi kunda kvant gravitatsiyasini tushunishning eng muhim muammolaridan biri — **gravitatsiyaning kvant holatlari** va **gravitatsion maydonni kvantlashtirish** masalasi hisoblanadi. Ko'pgina nazariyalar, masalan, **string nazariyasi**, **loop kvant gravitatsiyasi** va **qora tuynuklar atrofidagi kvant effektlari** kabi yangi yondashuvlar, bu masalalarni yechishga harakat qilmoqda. String nazariyasi gravitatsiyani boshqa asosiy kuchlar bilan birlashtirishga intiladi, loop kvant gravitatsiyasi esa gravitatsiyani o'zgaruvchan kvant maydon sifatida ifodalashni maqsad qilgan. Bu nazariyalar yangi fizik tushunchalar va ko'plab matematik modellarga asoslanadi, ammo ularning amaliy tasdiqlanishi hozirgi kunga qadar mavjud emas.

Kvant gravitatsiyasining asosiy yo'nalishlari hozirgi kunda bir nechta asosiy ta'rif va yondashuvlarni o'z ichiga oladi. **String nazariyasi** gravitatsiyani kvantlashtirishning yagona usuli sifatida ko'rib chiqilmoqda. Bu nazariyaga ko'ra, barcha asosiy kuchlar, shu jumladan gravitatsiya, o'zaro bog'langan yagona tizim sifatida ishlaydi va barcha zarrachalar, shu jumladan gravitonlar ham, bir-biriga bog'langan iplar (stringlar) shaklida ifodalanadi. **Loop kvant gravitatsiyasi** esa gravitatsiyani kvant maydon sifatida tasavvur qilishga harakat qiladi va gravitatsion maydonni diskretizatsiya qilish orqali uning kvant holatlarini yaratishga intiladi. Bu yondashuvlar har ikkisi kvant gravitatsiyasi muammosini hal qilish uchun bir nechta yangi kontseptsiyalarni taklif qiladi.

Kvant gravitatsiyasining ilmiy izlanishlaridagi dolzarblik shundaki, uni anglash nafaqat fizik nazariyalarga, balki koinotning rivojlanishi, qora tuynuklar, yulduzlar va boshqalar bilan bog'liq jarayonlarga oid ko'plab savollarga ham javob beradi. Shuningdek, yangi eksperimentlar va nazariyalar orqali kvant gravitatsiyasi muammosini hal qilish koinotning tug'ilishi, rivojlanishi va uning oxirgi holatini tushunishda katta ahamiyat kasb etadi.

Ushbu ishning maqsadi kvant gravitatsiyasining asosiy nazariyalarini va uning zamonaviy fizikadagi o'rnini tahlil qilishdir. Xususan, biz string nazariyasi va loop kvant gravitatsiyasining asosiy prinsiplari va ularning fizikadagi ilovalarini ko'rib chiqamiz. Shuningdek, kvant gravitatsiyasining ilmiy izlanishlari va amaliy qo'llanilishi borasidagi asosiy tendensiyalarni, yangi tajriba va nazariyalarni muhokama qilamiz.

II. Asosiy qism

1. Kvant gravitatsiyasi

Kvant gravitatsiyasi sohasida yagona va umumiy qabul qilingan nazariyalar to'plami mavjud emas. Bu sohada ishlayotgan fiziklarning aksariyati e'tiborini barcha to'rtta o'zaro ta'sirni birlashtirishni maqsad qilgan ulkan dastur — string nazariyasiga qaratadilar. Oz bo'lmagan bir qism fiziklar esa oddiygina tortishish o'zaro ta'sirining kvant nazariyasini ishlab chiqishga qaratilgan loop kvant gravitatsiyasi bilan shug'ullanadi. Bundan tashqari, kvantlashgan nazariyani umuman o'z ichiga olmaydigan yondashuvlar kabi boshqa sohalarda ham muhim ishlar olib borilmoqda. (Bu boradagi nazariy manzarani yaxshi yoritgan yaqinda yozilgan sharhlar orasida Carlip 2001, Smolin 2001, 2003, Penrose 2004 va Oriti tahriri ostidagi 2009 yilgi ishlarni ko'rsatish mumkin). Ammo bu borada umumiy konsensus yo'q, va bunga kamida ikki sabab bor.

Birinchi sabab shundaki, bu nazariyalarda aniq bashoratlar qilish juda qiyin. Ayniqsa, string nazariyasi ko'plab aniq sinovdan o'tkaziladigan bashoratlarning yetishmasligi muammosidan aziyat chekmoqda. Bu nazariyada yerda mavjud bo'lgan fizik jihatdan ahamiyatli holatlarni tanlash uchun yetakchi prinsiplarning yo'qligi sababli juda ko'p sonli asosiy yoki vakuum holatlari mavjud. String nazariyasi jamoasi nazariyada erkin parametrlarning yo'qligidan faxrlanadi (zarrachalar fizikasi standart modelidagi 19 ta erkin parametrga nisbatan), ammo bu muammo to'qqiz fazo o'lchamini biz kuzatayotgan uch fazo o'lchamiga o'zgartirish

bilan bog‘liq holda mavjud vakuumlarning ulkan sonida qaytadan paydo bo‘ladi. Bu vakuumlar alohida string nazariyalari sifatida yoki yagona nazariyaning yechimlari sifatida qaraladi (bu hali noma’lum, chuqurroq nazariyadan kelib chiqqan holda). Biz qanday qilib aynan o‘zimiz yashayotgan vakuumda yashayotganimizni tushuntirishga bo‘lgan urinishlar yaqinda “antropik prinsip”ga murojaat qilishni keltirib chiqardi (Susskind, 2003). Bu prinsip odamlarning (yoki kuzatuvchilarning) mavjudligi, qandaydir ma’noda, bizning ma’lum bir dunyoda yashayotganimizni “tushuntiradi” va vakuum holatlarini faqat ana shunday mavjudotlarni qo‘llab-quvvatlay oladigan holatlar bilan cheklaydi. (Bu borada string nazariyasida antropik mantiqdan foydalanish haqida falsafiy muhokama uchun Weinstein, 2006 va Azhar, 2013 ishlari tavsiya etiladi).

Loop kvant gravitatsiyasi, nazariyaga ko‘ra, ko‘p bashoratlarning yo‘qligidan kamroq aziyat chekadi, va hatto maydon va hajm operatorlarining diskretligi nazariyaning aniq bashorati sifatida ko‘riladi, potensial sinovli natijalar bilan. Ushbu yondashuv tarafdorlari bu nazariyani sinovdan o‘tkazishga ko‘proq mos keladigan va shu sababli ilmiyroq (Popper nuqtai nazaridan; Karl Popper haqidagi maqolaga qarang) ekanini ta’kidlaydilar (Smolin, 2006 ishiga qarang). Ammo, amalda va hatto prinsipial jihatdan, bu miqdorlarni qanday kuzatish mumkinligi hamon noaniq. Plank o‘lchamidagi ta’sirlarni (diskretlik yoki minimal uzunlikni, xususan) kuzatish uchun kosmologik darajaga nazar solish zarurligi haqidagi takliflar yaqinda ilgari surildi. Rovelli va Speziale (2003) minimal uzunlikning mavjudligi Lorentz simmetriyasini buzishini anglatmaydi, deb bahslashdilar (bu xulosa sababiy to‘plam dasturi tarafdorlari tomonidan ham qo‘llab-quvvatlangan). Ularning dalili shundan iboratki, kvant nazariyasi kontekstida simmetriyalar operatorlarning aniq qiymatlari emas, balki o‘rtacha qiymatlariga ta’sir qiladi. Ammo har qanday holatda ham, bu diskretlik natijasining nazariy maqomi ustida savollar qolmoqda. Bu natija faqat kinematik Hilbert fazosidagi operatorlar uchun, ya’ni kalibr bo‘yicha o‘zgaruvchan miqdorlar uchun tasdiqlangan. Bu natija haqiqiy observabllarga (ya’ni, barcha cheklovlarni qanoatlantiruvchi va fizik Hilbert fazosida aniqlangan operatorlarga) taalluqli ekanligi ochiq savol bo‘lib qolmoqda. Bu muammoni hal qilish uchun tegishli ravishda kalibrlangan (modda orqali) Dirak observabllaridan foydalanishni taklif qilgan Dittrich va Thiemann (2009) ishlariga qarang.

Hatto bu muammo hal qilinsa ham, fazoning diskretligi haqidagi dalillarni kuzatishning ko‘plab yondashuvlarni ajratishda qanday yordam berishi yana bir muammodir. Bu va bog‘liq masalalar haqida falsafiy muhokama uchun shu jumladan, taklif qilingan diskretlik Lorentz invariantligini buzadimi yoki yo‘qmi degan savol o‘rtaga tashlangandi

2. Nazariy asoslari va vaqt muammosi

Kvant gravitatsiya muammosiga oid barcha yondashuvlar tortishish va kvantlashgan moddalar o‘rtasidagi munosabat haqida biror narsani aytish kerakligini tan oladi. Ushbu turli yondashuvlarni umumiy nisbiylik va kvant maydon nazariyasiga berilgan nisbiy ahamiyatga qarab tasniflash mumkin. Ba’zi yondashuvlar umumiy nisbiylikni tuzatish kerak, kvant maydon nazariyasi esa odatda qo‘llaniladi deb

hisoblaydi, boshqalari esa kvant maydon nazariyasini muammoli deb, umumiy nisbiylikni esa ko'proq universal maqomga ega deb qaraydi. Yana boshqalari ushbu nazariyalarni teng muomala bilan ko'rib chiqadi, ehtimol ularni chuqurroq nazariyaning turli chegaralari sifatida baholaydi. Kvant tortishish bo'yicha ilk tadqiqot kunlaridan boshlab, kvant maydon nazariyasi va umumiy nisbiylikni birlashtirish ularning mos ravishda paydo bo'ladigan singulyarlik muammolarini (birinchisi maydonlarning yuqori chastotadagi yomon xatti-harakatlaridan kelib chiqadi, ikkinchisi esa ba'zi tortishish qulashlaridan) bartaraf etishga xizmat qilishi mumkinligi ko'p marta taklif qilingan. Ushbu umid hozirgi yondashuvlarning ko'pchiligidagi asoslangan deb hisoblanadi. Rojer Penrouz hatto tortishish va kvant nazariyasini birgalikda ko'rib chiqish kvant o'lchov muammosini hal qilishi mumkin deb ta'kidlagan (qarang: Penrouz 2001; shuningdek, kvant nazariyasidagi falsafiy masalalar bo'limidagi o'lchov muammosiga oid maqolani). Penrouzning taklifining asosiy g'oyasi oddiy: ba'zi jismning massa markazining to'lqin-paket tarqalishi sodir bo'lganda, ushbu to'lqin-paket bilan bog'liq fazo-vaqt tuzilmasida ko'proq noaniqlik paydo bo'ladi va bu to'lqin-funksiyaning uzoq qismlarining birligini buzadi. Penrouz taklif qilgan tortishish induksiyalangan qulashni kvant nazariyasining o'zi keltirib chiqaradigan dekoherentsiya tufayli yuzaga keladigan samarali qulashdan ajratishda qiyinchiliklar mavjud — Joy Kristian (2005) kosmologik masofalardan kelib chiqadigan neytrino turlari nisbatlaridagi tebranishlarni kuzatish orqali atrof-muhit dekoherentsiyasining aralash ta'sirini bartaraf etishni taklif qilgan.

Eng mashhur ikki yondashuv string nazariyasi va halqali kvant tortishish nazariyasi bo'lib qolmoqda. Birinchisi kvant tortishishga oid yondashuvga misol bo'lib, bunda tortishish maydoni kvantlashmaydi; aksincha, kvantlashadigan alohida nazariya umumiy nisbiylik (shuningdek, boshqa o'zaro ta'sirlar) bilan past energiyalarda mos keladi. Ikkinchisi esa (cheklangan) kanonik kvantlashni o'z ichiga oladi, garchi odatiy geometrodinamik, metrikka asoslangan o'zgaruvchilardan farqli ravishda o'zgaruvchilar tanloviga asoslangan umumiy nisbiylikning bir versiyasidan foydalansa ham. Keyingi bo'limlarda ularning asosiy tafsilotlarini ko'rib chiqamiz

String Nazariyasi

Turli nomlar bilan tanilgan string nazariyasi, superstring nazariyasi va M-nazariya (kvant tortishish nazariyasi sifatida) o'zining ildizlarini, bilvosita, kamida 1930-yillardan boshlab kuzatilgan bir fikrga borib taqaladi: klassik umumiy nisbiylik maxsus nisbiylikning tekis Minkovski fazo-vaqtida tarqaluvchi massasiz "spin-ikki" maydon nazariyasiga juda o'xshaydi 2012; Gasperini va Maharana 2008, string nazariyasining ilk tarixiga oid maqolalar to'plamlari; Rickles, 2014, string nazariyasining dastlabki kunlariga oid konseptual tarix; Rovelli, 2001b va 2006, kapsul tarix; Greene, Ushbu kuzatish "spin-ikki" nazariyani kvantlashtirish orqali kvant tortishish nazariyasini shakllantirishga qaratilgan dastlabki urinishlarga olib keldi. Ammo ushbu nazariya perturbativ renormalizatsiyalanadigan emasligi, ya'ni cheksizliklarni yo'q qilib bo'lmazligi ma'lum bo'ldi. Ushbu muammoni bartaraf etish uchun klassik nazariyani o'zgartirishga qilingan urinishlar boshqa muammoga, ya'ni no-unitarlikka olib keldi va bu yondashuv 1970-yillarning o'rtalarigacha samarali bo'lmadi, o'shanda bir o'lchamli "stringlar" nazariyasi kuchli o'zaro

ta'sirni tushuntirish uchun ishlab chiqilgan edi. Bu nazariya tortishishni o'z ichiga olgan yagona nazariyaning asosini taqdim etdi, chunki stringning tebranish rejimlaridan biri massasiz spin-ikki zarracha (graviton)ga mos keldi.

String nazariyasining dastlabki va hali ham dolzarb g'oyasi oddiy kvant maydon nazariyasining nuqtaviy zarrachalarini (masalan, fotonlar, elektronlar) bir o'lchamli uzaytirilgan obyektlar, ya'ni stringlar bilan almashtirishdan iborat edi. Weingard, 2001 va Witten, 2001, konseptual doiraning umumiy ko'rinishlari uchun Ushbu nazariyaning dastlabki rivojlanishida stringlarning uch o'lchamli fazodan ko'ra kattaroq o'lchamlarda "yashashi" talab etilishi aniqlandi. Fermionlarni ham, bozonlarni ham o'z ichiga olgan string nazariyalari to'qqiz fazo va bitta vaqt o'lchamida shakllantirilishi kerak. Stringlar ochiq yoki yopiq bo'lishi mumkin va o'ziga xos kuchlanishga ega bo'lib, shuning uchun vibratsiya spektriga ega. Vibratsiyaning turli rejimlari turli zarrachalarga mos keladi, ulardan biri graviton bo'lib, u tortishish o'zaro ta'sirlarini uzatishga mas'ul massasiz spin-2 zarrachadir. Ushbu nazariyalarning afzalligi shundaki, ular perturbativ renormalizatsiyalanadi, ya'ni matematik jihatdan hisoblashlar osonroq amalga oshiriladi. Fiziklar uchun perturbativ nazariya deyarli muqarrar vosita bo'lib, bu ijobiy hol deb hisoblanadi.

String nazariyasi so'nggi yillarda bir qancha kichik "inqilob"larni boshdan kechirdi, ulardan biri turli dualitet munosabatlarining kashf qilinishi edi. Bu dualitetlar fizik jihatdan har xil ko'rinuvchi string nazariyalarini — I-turi, IIA, IIB, (geterotik) $SO(32)$ va (geterotik) $E_8 \times E_8$ — bir-biriga va o'n bir o'lchovli supertortishish nazariyasiga bog'laydi. Ushbu bog'liqliklarning kashf etilishi barcha string nazariyalari aslida bitta asosiy nazariyaning jihatlari ekanligi haqida gipoteza paydo bo'lishiga olib keldi. Bu nazariyaga "M-nazariya" nomi berildi (garchi M-nazariya ba'zan o'n bir o'lchovli supertortishishning past energiya chegarasi bo'lgan noma'lum nazariyani tavsiflash uchun ham ishlatiladi). Dualitetlarning biri, S-dualitet, shuni anglatadiki, kuchli bog'lanishdagi bitta nazariya (yuqori energiya tavsifi) zaif bog'lanishdagi boshqa nazariya bilan fizik jihatdan ekvivalentdir (fizik simmetriyalar, korrelyatsiya funksiyalari va barcha kuzatiladigan mazmun bo'yicha). Shu tariqa, barcha nazariyalar o'zaro bog'liq bo'lsa, ular bitta chuqurroq nazariyaning jihatlari bo'lishi kerak. Ammo hozirgacha ushbu nazariyani muvaffaqiyatli shakllantirishning iloji bo'lmadi: uning mavjudligi, hattoki tabiati ham hali taxmin darajasida qolmoqda.

Dualitetlar bilan bog'liq masalalar yaqinda faylasuflar tomonidan qiziqish uyg'otdi, chunki ular standart falsafiy masalalar, masalan, aniqlanmaslik, konventsionalizm va emergentlik/reduksiya kabi masalalar bilan aniq bog'liq. Aloqa shundan iboratki, dual juftlik (nazariyalar)da kuzatiladigan ekvivalentlik mavjud, lekin ular orasida radikal fizik (va matematik) farqlar bor. Ushbu farqlar fazoviy tuzilmalarning o'lchamlari yoki topologik xususiyatlari kabi turli xil ko'rinishi darajasida bo'lishi mumkin. Bu ba'zi fiziklarni, fazo-vaqtning fundamental emasligi va past energiyalarda kuzatiladigan fazo-vaqtning emergent hodisa ekanligi haqida gapirishga olib kelgan. Bu eng aniq *AdS/CFT dualitet* kontekstida ko'rinadi, bunda o'n o'lchovli string nazariyasi to'rt o'lchovli gauge nazariyasi bilan kuzatiladigan ekvivalent deb topiladi — bu ba'zan "gauge/tortishish" dualiteti deb ataladi, chunki string nazariyasi tortishishni o'z ichiga oladi (barcha string

nazariyalari gravitonlarni o'z ichiga oladi), gauge nazariyasi esa yo'q. Ushbu tavsiflar o'rtasida ekvivalentlik mavjud bo'lganligi sababli, ularning hech biri fundamental emas deb aytish ma'qul bo'ladi, va shuning uchun ular tasvirlayotgan fazo-vaqtlar ham fundamental emas; bu esa past energiyalarda kuzatiladigan fazo-vaqtning emergent hodisa ekanligini anglatadi (Vistarini, 2013).

Bunday dual juftliklarni ikki nazariyaning (gauge nazariyasi va tortishish nazariyasi) yanada umumlashgan kvant nazariyaning klassik chegaralari sifatida ko'rish mumkin. Bu holatda, klassik emergent tuzilmalar nazariyalarning klassik chegaralari bo'lgan maxsus gauge simmetriyalari va erkinlik darajalarini ham o'z ichiga oladi. Ammo ushbu fazo-vaqtlar va gauge simmetriyalari paydo bo'ladigan yanada fundamental nazariya (va u tasvirlaydigan fizik tuzilma) mazmunini tushunish muammosi mavjud.

Falsafiy jihatdan, dual juftliklarni fizik ma'noda haqiqatan ham farqli yoki shunchaki bir nazariyaning notatsion varianti sifatida ko'rish kerakmi degan katta savol bor. "Nazariyalar lug'ati" haqida gapirish ikkinchi yondashuvni yanada qabul qilinadigan qilib ko'rsatadi va fizik talqinni tanlashning konvensional bo'lishini anglatadi. Ammo nazariyalarni notatsion variantlar sifatida ko'rsak, unda nazariy individuasiyani (ajralishini) anglashimiz xiralashadi, chunki dual juftliklar har xil dinamika va erkinlik darajalarini o'z ichiga oladi (Polchinski, 2014).

String nazariyasining yana bir muammosi shundaki, u ko'plab alohida nazariyalar yig'indisidan iborat ko'rinadi (dualitetlar ba'zi nazariyalarni birlashtirsa-da, ular turli vakillikda bitta nazariya ekanligini isbotlash qiyin). Bu "nazariyalar landshafti" degan tushunchaga olib keladi. Muammo shundaki, bu juda katta imkoniyatlar maydonidan qanday qilib bizning dunyomizni ifodalovchi string nazariyasiga o'tish mumkin? Bu "antropizm" masalalarini keltirib chiqaradi, chunki dunyoni kuzatib, o'zimizning asosiy xususiyatlarimizni hisobga olishimiz kerak (Kane, 2021).

Kanonik va Loop Kvant Tortishish Nazariyasi

String nazariyasi va boshqa "kovariant" yondashuvlardan farqli o'laroq, bu yo'nalish egri fazo-vaqtni massasiz spin-ikki maydon nazariyasi orqali tekis fon geometriyasining samarali o'zgartirilishi sifatida qaraydi. Kanonik kvant tortishish dasturi to'liq fazo-vaqt o'lchamini o'ziga xos maydon sifatida ko'radi va uni to'g'ridan-to'g'ri kvantlashtirishga urinadi. Ammo fazo-vaqtning o'zi uch o'lchovli bo'laklar (follatsiyalar) to'plamiga bo'linadi, ularning har birida fazoviy geometriya aniqlanadi. Texnik jihatdan, ish umumiy nisbiylikni "kanonik" yoki "Hamiltonian" shaklida yozishdan boshlanadi, chunki nazariyalarni ushbu shaklda yozgandan so'ng kvantlashtirish ancha osonlashadi (Kuchar, 1993; Belot va Earman, 2001)

Kanonik kvant gravitatsiyasi masalasiga oid barcha yondashuvlar "vaqt muammosi" deb ataluvchi masalani bir yoki boshqa shaklda duch keladi (Kuchar, 1992 va Isham, 1993 bu borada hali ham mukammal sharhlardir; Rickles, 2006, bu mavzuga falsafiy nuqtai nazardan yondashadi). Bu muammo umumiy nisbiylikning diffeomorfizm-invariantligini saqlab qolishdan kelib chiqadi — bu jarayonda fon manifold koordinatalari hech qanday fizik ma'noga ega bo'lmaydi. Natijada, fazoviy zamonning ko'rib chiqilayotgan "kesimlari" vaqtni o'z ichiga oladi, xuddi makonni o'z ichiga olgani kabi. Kanonik shaklda diffeomorfizm invariantligi cheklovlarda aks etadi, va odatda "vaqt" deb ataluvchi o'zgaruvchining ma'lumotlarga kiritilishi

super-Gamiltonian cheklovining mavjudligida aks etadi. Aynan shu cheklov bilan bog'liq qiyinchiliklar vaqt muammosini keltirib chiqaradi.

Kanonik asosda umumiy nisbiylikni kvantlashtirishga urinishlar kanonik o'zgaruvchilarni uch o'lchamli metrikalar ustidagi kvadrat-integrallanuvchi funksiyalar kabi mos holat bo'shlig'ida operatorlarga aylantirish va qandaydir tarzda cheklovlar bilan ishlash orqali amalga oshiriladi. Cheklovlarga ega nazariyani kvantlashtirishda ikki xil yondashuv mavjud. Oddiy ravishda o'lchov nazariyalarida qabul qilinadigan yondashuv, cheklovlarni kvantlashtirishdan oldin hal qilishdan iborat bo'lib, faqat haqiqiy erkinlik darajalari kvant nazariyasiga o'tkaziladi. Bu "o'lchovni aniqlash" deb ataluvchi jarayonning turli usullari mavjud, lekin ularning barchasi maxsus shartlarni qo'llash orqali ortiqcha erkinlik darajalarini yo'q qilishni o'z ichiga oladi. Umumiy nisbiylikda o'lchovni aniqlash "fizik" ma'lumotlar (fazoviy koordinatalar) bilan bog'liq bo'lgan va vaqt koordinatasiga nisbatan rivojlanadigan maxsus koordinata tizimini belgilash bilan teng keladi. Bu, hatto klassik darajada ham qiyin, chunki har qanday maxsus o'lchovning foydaliligi va hatto ishlatilishi, odatda, tenglamalar yechimining xususiyatlariga bog'liq bo'ladi, bu esa, albatta, dastlab izlanayotgan narsadir. Ammo kvant nazariyasida natijaviy nazariya o'lchov tanlovidan mustaqil bo'lmasligi mumkinligi bilan bog'liq qo'shimcha muammolar mavjud. Bu klassik nazariyada haqiqiy, o'lchov-invariant kuzatiladiganlarni aniqlash muammosi bilan chambarchas bog'liq (Torre, 2005, Internet-resurslar bo'limida keltirilgan)

Kanonik kvant gravitatsiyada afzal ko'riladigan yondashuv — cheklovlarni kvantlashtirishdan keyin qo'yish. Bu Dirakning "cheklovli kvantlashtirish" usuli bo'lib, unda cheklovlar o'zlari operator sifatida ko'rib chiqiladi va "fizik" holatlar ψ ushbu tenglamalarning yechimlari bo'lishi talab qilinadi:

$$A\psi = 0$$

. Yuqorida aytib o'tilganidek, vaqt muammosi super-Gamiltonian cheklovi bilan bog'liq. Super-Gamiltonian H klassik nazariyada vaqt bo'yicha evolyutsiyani ifodalash uchun javobgar, ammo cheklovli kvantlashtirish nazariyasidagi unga mos keluvchi ifoda

$$H\psi = 0$$

tizimning haqiqiy fizik holatlari umuman rivojlanmaydi: vaqt (t) mavjud emas, degan taassurotni beradi. Kvant nazariyasi biror narsaning — bu holatlar yoki kuzatiladigan kattaliklar bo'lishi mumkin — vaqt bo'yicha evolyutsiyasini qanday va qaysi ma'noda ifodalashini tushunishga harakat qilish vaqt muammosining mohiyatini tashkil qiladi (bu haqida batafsil quyida keltirilgan).

3. Kvant gravitatsiyasi bo'yicha izlanishlar

Kvant gravitatsiya sohasida kelishmovchiliklarning sabablaridan biri shundaki, ushbu yo'nalishda eksperimentlar mavjud emas, va to'g'ridan-to'g'ri yoki bilvosita dalil bo'lishi mumkin bo'lgan kuzatuvlar juda kam. Bu, qisman, nazariy bashoratlarning yo'qligi bilan bog'liq, chunki qayerga yoki nimaga qarashni bilmasdan kuzatish testini ishlab chiqish qiyin. Bundan tashqari, kvant gravitatsiyasining ko'pchilik nazariyalari klassik nisbiylikdan faqat energiyaning

10^{19} GeV tartibida farqlanishini bashorat qiladi. (Qiyoslash uchun, Fermilab'dagi proton-proton to'qnashuvlari taxminan 10^3 GeV energiyaga ega).

Zarrachalar fizikasi bo'yicha tadqiqotlar ko'pincha katta zarracha tezlatkichlaridan yig'ilgan ma'lumotlarni tahlil qilish orqali olib borilsa, gravitatsiya shu qadar zaifki, kvant gravitatsiyasi ta'sirlarini o'rganish uchun zarur energiya darajalarini hosil qilishga qodir bo'lgan tajribalarni amalga oshirish realistik emas. Bunga hatto galaktika hajmidagi zarracha tezlatkich ham yetarli bo'lmas edi. (Batafsil aytganda, gravitatsiyaning zaifligini elektromagnit o'zaro ta'sirning kuchi bilan taqqoslash mumkin. Elektron elektromagnit maydon bilan 10^{-2} kuch bilan bog'lanadi, massaning gravitatsiya maydoniga bog'lanish kuchi esa 10^{-22} ga teng)

R. Feynmanning (1963) misoliga ko'ra, vodorod atomidagi proton va elektron o'rtasidagi gravitatsion o'zaro ta'sir elektronning to'lqin funksiyasini Koinot yoshining 100 barobaridan oshiq vaqt davomida atigi 43 arksekundga siljishiga olib keladi! Shu sababli kvant gravitatsiyasi nazariyotchilar uchun yanada murakkab masala bo'lib qolmoqda.

Loop kvant gravitatsiyasi kabi nazariyalar orqali kuzatish natijalarini chiqarishga harakat qilinmoqda. Bu nazariya ma'lum bashoratlar beradi (Amelino-Camelia, 2003; Mattingly, 2005). Shunga qaramay, kvant gravitatsiyasining eng mashhur "testi" hali kuzatilmagan hodisa – qora tuynuklarning Xoking radiatsiyasi bilan bog'liq. Bekenshteynning (1973) oldingi ishlari asosida Xoking (1974) qora tuynuklar energiya chiqarishini bashorat qilgan. Ushbu energiya qora tuynuklarning gravitatsion "temperaturasi"ga bog'liq bo'lib, u massasi, burchak momenti va zaryadiga proporsionaldir. Ushbu temperatura bilan bog'liq entropiya mavjud, va kvant gravitatsiyasi nazariyasi qora tuynukning massasi, burchak momenti va zaryadi bir xil bo'lgan mikroholatlari sonini hisoblash imkonini berishi kerak.

Strunalar nazariyasi va loop kvant gravitatsiyasi ushbu entropiyani har xil usullar bilan hisoblashda muvaffaqiyatli bo'ldi. Strunalar nazariyasi bu hisob-kitobni ekstremalga yaqin qora tuynuklar uchun amalga oshiradi, loop kvant gravitatsiyasi esa umumiy qora tuynuklar uchun to'g'ri natija beradi, lekin faqat umumiy koeffitsiyentga qadar. So'nggi paytlarda sabablilik to'plami (causal set) yondashuvi ham to'g'ri qiymatni olishga muvaffaq bo'ldi. Agar Xoking effekti haqiqiy bo'lsa, bu moslik ushbu nazariyalardan birini yoki bir nechtasini qo'llab-quvvatlaydi.

Erik Kyuriyel (2001) ushbu usulni, ya'ni Bekenshteyn-Xoking natijasini nazariyaning haqiqiy ma'lumotlar asosidagi tajriba natijasiga o'xshash tarzda baholashni tanqid qilgan. Qora tuynuk fizikasi kvant gravitatsiyasi uchun sinov maydoni sifatida ishlatilgan bo'lsa-da, Bekenshteyn-Xoking natijasi empirik fakt sifatida qaralmaydi. Ammo bu yetarlicha pishib yetilgan ramka, ya'ni egrilikdagi fazoviy vaqtga asoslangan kvant maydon nazariyasidan kelib chiqqan kuchli xulosa. Shunday qilib, nazariya yaratish jarayonida bunday xulosalar nazariyalarni yo'naltiruvchi cheklovlar sifatida xizmat qilishi mumkin. Bunday cheklovlar xilma-xildir va hammasi ham empirik ma'lumot shaklida emas – fikriy tajribalar bunga bir misoldir. Kvant gravitatsiyasi kontekstida nazariyalar yaratishda kelishilgan cheklovlar bo'lishi juda muhim.

IV. Xulosa

Kyuriyel, shuningdek, kvant gravitatsiyasi yondashuvlarining ilmiy ahamiyatini baholash borasida jiddiyroq yondashuvni taklif qiladi. Eleganslik va izchillik nazariyaning xususiyatlari bo'lishi mumkin, lekin ularni ilmiy deb atash mumkin emas. Shu bilan birga, strunalar nazariyasi va loop kvant gravitatsiyasi hali past energiya darajasida kuzatilgan olamni to'liq aks ettiruvchi natijalarni bera olgani yo'q. Loop kvant gravitatsiyasi uchun asosiy muammo umumiy nisbiylik nazariyasini past energiya chegarasida aks ettirishdir. Strunalar nazariyasida esa standart zarracha fizikasi modeli va umumiy nisbiylikni aks ettirish katta qiyinchilik tug'diradi.

Kvant gravitatsiyasi bo'yicha tadqiqotlar formal, eksperimental va kontseptual qiyinchiliklar kombinatsiyasidan aziyat chekmoqda. Kvant gravitatsiyasi nazariyasini topish zarurati bo'ladimi yoki yo'qmi, bu jarayon davom etishi aniq, va muammoni hal qilish uchun formal, eksperimental va kontseptual mutaxassisliklarning teng kombinatsiyasi zarur bo'ladi. Buni inobatga olgan holda, va kvant gravitatsiyasi bo'yicha tadqiqotlar nazariy fizikaning markaziy o'rinlaridan birini egallaganini hisobga olib, fizika falsafachilari (va umumiy ilm-falsafachilar) kvant gravitatsiyasi muammosining markaziy tafsilotlari va bu muammoni hal qilishga intilayotgan asosiy yondashuvlar bilan yaxshilab tanishishlari maqsadga muvofiqdir. Bundan tashqari, kvant gravitatsiyasi bo'yicha tadqiqotlar bir nechta an'anaviy falsafiy tadqiqot sohalarini jonlantirish potentsialiga ega, shu jumladan nazariyalar tuzilishi, tanlanishi va asoslanishi haqidagi an'anaviy tushunchalarimiz; makon, vaqt, moddalar va sababiyat tabiatini o'rganish; shuningdek, butunlay yangi xususiyatlarga ega bo'lgan yangi emergent hodisalar bo'yicha amaliy misol keltiradi.

V. Foydalanilgan adabiyotlar

Amelino-Camelia, G., 2003, "Quantum gravity phenomenology".

Horowitz, G., 2000, "Quantum gravity at the turn of the millennium".

Polchinski, J., 2002, "M-theory: uncertainty and unification".

Rovelli, C., 2001b, "Notes for a brief history of quantum gravity", (Centre De Physique Théorique, University of Marseilles).

Greene, B., 1997, "String Theory on Calabi-Yau Manifolds"

Smolin, L., 2003, "How far are we from the quantum theory of gravity?".

Susskind, L., 2003, "The anthropic landscape of string theory".

Sorkin, R., 2003, "Causal sets: discrete gravity", (Notes for the Valdivia Summer School).

Torre, C., 2005, "Observables for the polarized Gowdy model".

Wüthrich, C., 2004, "To quantize or not to quantize: fact and folklore in quantum gravity".

