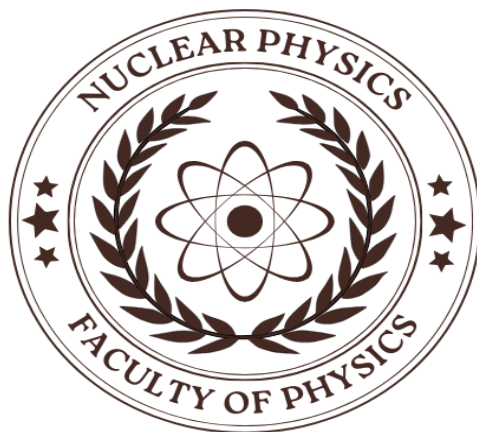


O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA'LIM, FAN VA
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

MIRZO ULUG'BEK NOMIDAGI
O'ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

FIZIKA FAKULTETI
YADRO FIZIKASI KAFEDRASI



Atom fizikasi fanidan

MUSTAQIL ISH

De Broglie va Bohm talqini

Talaba: F-2203 guruh talabasi Kamoliddinova Madina

O'qituvchi: yadro fizikasi kafedrasi dotsenti – Muqaddas Mamayusupova

Toshkent – 2024

Mundarija

KIRISH

ASOSIY QISM

1. De Broyl-Bohm nazariyasi
2. Ikki tirqishli tajriba
3. Nisbiylik

XULOSA

Foydalanilgan manbalar

Kirish.

De Broyl-Bom nazariyasi [a] kvant mexanikasining talqini bo'lib , u to'lqin funksiyasidan tashqari , hatto kuzatilmaganda ham zarrachalarning haqiqiy konfiguratsiyasi mavjudligini ta'kidlaydi.

Barcha zarrachalar konfiguratsiyasining vaqt o'tishi bilan evolyutsiyasi yo'naltiruvchi tenglama bilan aniqlanadi . Vaqt o'tishi bilan to'lqin funksiyasining evolyutsiyasi Shredinger tenglamasi bilan berilgan . Nazariya Lui de Broyl (1892-1987) va Devid Bom (1917-1992) sharafiga nomlangan.

Asosiy qism.

1. De Broyl-Bohm nazariyasi

Nazariya deterministik va aniq nolokaldir : har qanday zarrachaning tezligi ko'rib chiqilayotgan barcha zarrachalarning konfiguratsiyasiga bog'liq bo'lgan boshqaruvchi tenglamaning qiymatiga bog'liq.

O'lchovlar - bu nazariya tomonidan tavsiflangan kvant jarayonlarining alohida holati bo'lib, u kvant mexanikasining boshqa talqinlari kabi bir xil kvant bashoratlarini beradi. Nazariyada " o'lchov muammosi " yo'q , chunki zarralar har doim aniq konfiguratsiyaga ega. De Broyl-Bom nazariyasidagi tug'ilish qoidasi postulat emas. To'g'rirog'i, bu nazariyada ehtimollik zichligi va to'lqin funksiyasi o'rtasidagi bog'liqlik teorema maqomiga ega bo'lib, alohida postulat natijasi bo'lib, to'lqin funksiyasini boshqaruvchi asosiy tamoyillarga qo'shimcha bo'lgan " kvant muvozanati gipotezasi "dir. Nazariyaning bir nechta ekvivalent matematik formulalari mavjud .

De Broyl-Bom nazariyasi quyidagi postulatlariga asoslanadi:

Konfiguratsiya mavjud koordinatalar bilan tasvirlangan koinot , bu konfiguratsiya maydonining elementi . Uchuvchi-to'lqin nazariyasining turli versiyalari uchun konfiguratsiya maydoni boshqacha. Misol uchun, bu pozitsiyalar maydoni bo'lishi mumkin ning zarralar, yoki maydon nazariyasi bo'lsa, maydon konfiguratsiyasi maydoni . Konfiguratsiya yo'naltiruvchi tenglamaga muvofiq rivojlanadi (spin=0 uchun)

$$m_k \frac{dq^k}{dt}(t) = \hbar \nabla_k \operatorname{Im} \ln \psi(q, t) = \hbar \operatorname{Im} \left(\frac{\nabla_k \psi}{\psi} \right) (q, t) = \frac{m_k \mathbf{j}_k}{\psi^* \psi} = \operatorname{Re} \left(\frac{\hat{\mathbf{P}}_k \Psi}{\Psi} \right),$$

Bu yerda ehtimollik oqimi yoki ehtimollik oqimi, va impuls operatori hisoblanadi . Bu yerga, Shredinger tenglamasiga ko'ra rivojlanadigan kvant nazariyasidan standart kompleks qiymatli to'lqin funksiyasi

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(q, t) = - \sum_{i=1}^N \frac{\hbar^2}{2m_i} \nabla_i^2 \psi(q, t) + V(q) \psi(q, t).$$

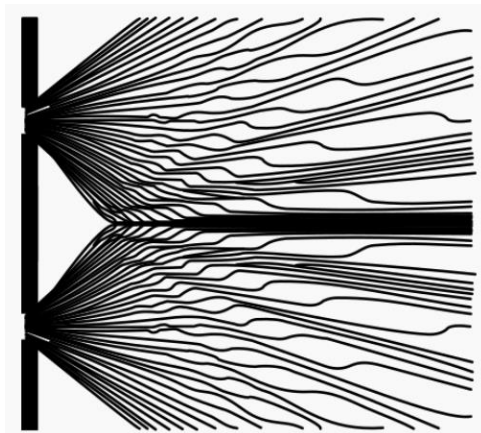
Bu Gamilton operatori bilan har qanday kvant nazariyasi uchun nazariyaning spetsifikatsiyasini yakunlaydi

$$H = \sum \frac{1}{2m_i} \hat{p}_i^2 + V(\hat{q}).$$

Konfiguratsiya bo'yicha taqsimlanadi bir lahzada , va shuning uchun bu hamma vaqt uchun amal qiladi. Bunday holat kvant muvozanati deb ataladi. Kvant muvozanati bilan bu nazariya standart kvant mexanikasi natijalariga mos keladi.

Garchi bu oxirgi munosabat tez-tez nazariyaning aksiomasi sifatida taqdim etilgan bo'lsa-da, Bom uni 1952 yilgi asl maqolalarida statistik-mexanik dalillardan kelib chiqqan holda taqdim etgan. Bomning 1954 yildagi qog'ozi, unda ular harakatga keltiruvchi stokastik suyuqlik tebranishlarini kiritdilar. kvant nomuvozanatdan kvant muvozanatiga o'tishdagi asimptotik relaksatsiya jarayoni

2.2. Ikki tirqishli tajriba



Ikki tirqishli tajribadan o'tayotgan elektron uchun Bom traektoriyalari. Xuddi shunday naqsh ham bitta fotonlarning zaif o'lchovlaridan ekstrapolyatsiya qilingan.

Ikki yoriqli eksperiment to'lqin-zarracha dualligining illyustratsiyasidir . Unda zarrachalar nuri (masalan, elektronlar) ikkita tirqishi bo'lgan to'siqdan o'tadi. Agar detektor ekrani to'siqning orqa tomonida joylashgan bo'lsa, aniqlangan zarrachalar naqshida ekranga ikkita manbadan (ikkita tirqish) keladigan to'lqinlarga xos bo'lgan interferentsiya qirralari ko'rsatiladi; ammo interferentsiya sxemasi ekranga kelgan zarrachalarga mos keladigan alohida nuqtalardan iborat.

Tizim ikkala to'lqin (interferentsiya naqshlari) va zarrachalarning (ekrandagi nuqtalar) xatti-harakatlarini namoyish etayotganga o'xshaydi.

Agar bu tajriba bitta tirqish yopiladigan tarzda o'zgartirilsa, hech qanday interferentsiya ko'rinishi kuzatilmaydi. Shunday qilib, ikkala tirqishning holati yakuniy natijalarga ta'sir qiladi. Bundan tashqari, zarracha qaysi yoriqdan o'tganligini aniqlash uchun tirqishlardan birida minimal invaziv detektorga ega bo'lishi mumkin. Bu bajarilgandan so'ng, shovqin naqshlari yo'qoladi.

De Broyl-Bom nazariyasida to'lqin funksiyasi ikkala tirqishda ham aniqlanadi, lekin har bir zarracha aniq belgilangan traektoriyaga ega bo'lib, u tirqishlardan aynan bittasidan o'tadi.

Detektor ekranidagi zarrachaning oxirgi holati va zarracha o'tadigan tirqish zarrachaning boshlang'ich holati bilan belgilanadi. Bunday boshlang'ich pozitsiyani eksperimentator bilib bo'lmaydi yoki boshqara olmaydi, shuning uchun aniqlash naqshida tasodifiylik ko'rinishi mavjud.

Bomning 1952 yilgi maqolalarida u Nyuton tenglamalariga kiritilganda, ikki bo'lakdan oqib o'tadigan zarralarning traektoriyalarini beradigan kvant potentsialini yaratish uchun to'lqin funksiyasidan foydalangan. Darhaqiqat, to'lqin funksiyasi o'ziga xalaqit beradi va zarrachalarni kvant potentsiali bo'yicha shunday boshqaradiki, zarralar interferensiya halokatli bo'lgan hududlardan qochadi va interferensiya konstruktiv bo'lgan hududlarga tortiladi, natijada interferentsiya sxemasi paydo bo'ladi. detektor ekrani.

Zarrachaning bir tirqishdan o'tishi aniqlanganda xatti-harakatini tushuntirish uchun shartli to'lqin funksiyasining rolini va uning to'lqin funksiyasining qulashiga olib kelishini tushunish kerak; bu quyida tushuntirilgan. Asosiy g'oya shundan iboratki, aniqlashni ro'yxatdan o'tkazuvchi muhit konfiguratsiya maydonida ikkita to'lqin paketini samarali ravishda ajratib turadi.

2.3.Nisbiylik

Uchuvchi-to'lqin nazariyasi aniq nolokal bo'lib, u maxsus nisbiylik nazariyasiga ziddir. Ushbu muammoni hal qilishga harakat qiladigan "Bomga o'xshash" mexanikaning turli kengaytmalari mavjud. Bomning o'zi 1953 yilda bitta zarracha uchun Dirak tenglamasini qanoatlantiruvchi nazariyaning kengaytmasini taqdim etdi. Biroq, bu ko'p zarralar holati uchun kengaytirilmadi, chunki u mutlaq vaqtdan foydalangan.

Bom nazariyasining Lorents-invariant kengaytmalarini yaratishga qiziqish 1990-yillarda paydo bo'ldi; qarang: Bohm and Hiley: The Undivided Universe va undagi havolalar. Yana bir yondashuv Dürr va boshqa tomonidan berilgan, ular Bohm-Dirac modellari va fazo-vaqtning Lorentz-invariant foliatsiyasidan foydalanadilar.

Shunday qilib, Dürr va boshqalar. (1999) qo'shimcha tuzilmani kiritish orqali Bom-Dirak nazariyasi uchun Lorentz o'zgarmasligini rasmiy ravishda tiklash mumkinligini ko'rsatdi. Ushbu yondashuv hali ham fazo-vaqtning o'zgarishini talab qiladi. Garchi bu nisbiylikning standart talqiniga zid bo'lsa-da, afzal ko'rilgan ko'rinish, agar kuzatilmasa, nisbiylik bilan empirik ziddiyatlarga olib kelmaydi. 2013 yilda Dürr va boshqalar. zarur bo'lgan foliyatsiyani to'lqin funksiyasi bilan kovariativ tarzda aniqlash mumkinligini taklif qildi.

Nolokallik va afzal ko'rilgan barglar o'rtasidagi munosabatni quyidagicha yaxshiroq tushunish mumkin. De Broyl-Bom nazariyasida nolokallik bir zarraning tezligi va tezlashishi barcha boshqa zarralarning lahzalik holatiga bog'liqligi sifatida namoyon bo'ladi. Boshqa tomondan, nisbiylik nazariyasida oniylik tushunchasi o'zgarmas ma'noga ega emas. Shunday qilib, zarrachalarning traektoriyalarini aniqlash uchun qaysi fazo-vaqt nuqtalarini bir lahzalik deb hisoblash kerakligini belgilaydigan qo'shimcha qoida kerak. Bunga erishishning eng oddiy yo'li - fazo-vaqtning afzal Kengaytmalarko'rilgan qatlamini qo'lda joriy qilishdir, shunday qilib ko'katning har bir yuqori yuzasi teng vaqtning gipersurfasi belgilaydi.

Dastlab, de-Broyl-Bom nazariyasida bozonlarni nisbiy jihatdan tasvirlashning qiyinchiliklarini hisobga olib, foton traektoriyalarining tavsifini berish imkonsiz deb hisoblangan. 1996 yilda Partha Ghose Daffin-Kemmer-Petiau tenglamasidan boshlab spin-0 va spin-1 bozonlarining relyativistik kvant-mexanik tavsifini taqdim etdi va massiv bozonlar va massasiz bozonlar (demak, fotonlar) uchun Bom traektoriyalarini belgilab berdi . 2001 yilda Jan-Per Vije Bom mexanikasi yoki Nelson stoxastik mexanikasi doirasida zarrachalar traektoriyasi nuqtai nazaridan yorug'likning aniq tavsifini olish muhimligini ta'kidladi. O'sha yili Ghose ma'lum holatlar uchun Bom foton traektoriyalarini ishlab chiqdi. Keyinchalik zaif o'lchovli tajribalar bashorat qilingan traektoriyalarga to'g'ri keladigan traektoriyalarni berdi. Ushbu eksperimental topilmalarning ahamiyati bahsli.

Chris Dewdney va G. Horton Bohmning kvant maydoni nazariyasining nisbiy kovariant, to'liqinfunksional formulasini taklif qildi va uni tortishish kuchini kiritish imkonini beruvchi shaklga kengaytirdi.

Nikolić ko'p zarrachali to'liqin funksiyalarining Bom talqinining Lorents-kovariant formulasini taklif qildi. U kvant nazariyasining umumlashtirilgan relyativistik-invariant ehtimollik talqinini ishlab chiqdi, bunda endi kosmosdagi ehtimollik zichligi emas, balki fazo-vaqtdagi ehtimollik zichligi. U bu umumlashtirilgan ehtimollik talqinidan de Broyl-Bom nazariyasining relativistik-kovariant versiyasini yaratish uchun fazo-vaqtni afzal ko'rgan foliatsiyani kiritmasdan foydalanadi. Uning ishi, shuningdek, Bohm talqinining maydonlar va satrlarni kvantlashtirishga qadar kengayishini o'z ichiga oladi.

Roderik I. Sutherland Sidney universitetida uchuvchi to'liqin va uning beables uchun Lagrangian formalizmi bor . U Yakir Aharonovning retrokasual zaif o'lchovlariga asoslanib, ko'p zarrachalarning chalkashligini maxsus relyativistik usulda konfiguratsiya maydoniga ehtiyoj sezmasdan tushuntiradi. Asosiy g'oya 1950-yillarda Kosta de Beauregard tomonidan nashr etilgan va Jon Kramer

tomonidan o'zining tranzaktsion talqinida fon Neumannning kuchli proyeksiya operatori o'lchovlari o'rtasida mavjud bo'lgan o'lchovlardan tashqari foydalanilgan.

Sazerlendning Lagrangiani uchuvchi to'lqin va beables o'rtasidagi ikki tomonlama harakat reaksiyasini o'z ichiga oladi. Shuning uchun, bu kvant nazariyasining signalsiz teoremlarini buzadigan yakuniy chegara shartlariga ega bo'lgan post-kvant statistik bo'lmagan nazariyadir.

Maxsus nisbiylik fazo-vaqt egriligi yo'qolganda umumiy nisbiylikning cheklovchi holati bo'lgani kabi, statistik chalkashliksiz signalizatsiya kvant nazariyasi ham Born qoidasi bilan reaksiya o'rnatilganda post-kvant ta'sir-reaksiya Lagranjining cheklovchi holatidir. nolga teng va yakuniy chegara sharti integrallanadi.

Spinni kiritish uchun to'lqin funksiyasi kompleks vektor qiymatli bo'ladi. Qiymat fazosi aylanma fazo deb ataladi; spin-1/2 zarra uchun spin bo'shlig'ini olish mumkin

Yo'naltiruvchi tenglama murakkab vektorlarni kompleks sonlarga kamaytirish uchun spin bo'shlig'idagi ichki mahsulotlarni olish orqali o'zgartiriladi. Shredinger tenglamasi Pauli spin atamasini qo'shish orqali o'zgartiriladi :

$$\frac{d\mathbf{Q}_k}{dt}(t) = \frac{\hbar}{m_k} \operatorname{Im} \left(\frac{(\psi, D_k \psi)}{(\psi, \psi)} \right) (\mathbf{Q}_1, \dots, \mathbf{Q}_N, t),$$

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi = \left(- \sum_{k=1}^N \frac{\hbar^2}{2m_k} D_k^2 + V - \sum_{k=1}^N \mu_k \frac{\mathbf{S}_k}{\hbar s_k} \cdot \mathbf{B}(\mathbf{q}_k) \right) \psi,$$

Bu yerda

- m_k , e_k , M_k ning massasi, zaryadi va magnit momenti - zarracha

— S_k -tegishli aylanish operatori – zarrachaning spin fazosi

— s_k - ning spin kvant soni k – zarracha

- A -vektor potentsiali hisoblanadi

Stokastik elektrodinamika (SED) kvant mexanikasining de Broyl-Bom talqinining kengaytmasi bo'lib, elektromagnit nol nuqtali maydon (ZPF) boshqaruvchi uchuvchi

to'lqin sifatida markaziy rol o'ynaydi . SEDga zamonaviy yondashuvlar, marhum Gerxard Grössing atrofidagi guruh tomonidan taklif qilinganlar kabi, to'lqin va zarrachaga o'xshash kvant effektlarini yaxshi muvofiqlashtirilgan favqulodda tizimlar sifatida ko'rib chiqadi. Ushbu paydo bo'lgan tizimlar nolnuqtali maydon bilan taxmin qilingan va hisoblangan subkvant o'zaro ta'sirlari natijasidir.

Dürr va boshqalarda mualliflar yaratish va yo'q qilish operatorlari bilan ishlash uchun de Broyl-Bom nazariyasining kengaytmasini tasvirlaydilar , ular “Qo'ng'iroq tipidagi kvant maydon nazariyalari” deb atashadi. Asosiy g'oya shundan iboratki, konfiguratsiya maydoni har qanday zarrachalar sonining barcha mumkin bo'lgan konfiguratsiyalarining (ajratilgan) maydoniga aylanadi. Vaqtning bir qismi uchun tizim belgilangan miqdordagi zarrachalar bilan boshqaruvchi tenglama ostida deterministik ravishda rivojlanadi. Ammo stokastik jarayon ostida zarralar yaratilishi va yo'q qilinishi mumkin. Yaratilish hodisalarining taqsimlanishi to'lqin funktsiyasi bilan belgilanadi. To'lqin funktsiyasining o'zi har doim to'liq ko'p zarrali konfiguratsiya maydonida rivojlanadi.

Hrvoje Nikolić zarralarni yaratish va yo'q qilishning sof deterministik de Broyl-Bom nazariyasini taqdim etadi, unga ko'ra zarrachalar traektoriyalari uzluksizdir, lekin zarrachalar detektorlari zarrachalarning haqiqiy yaratilishi yoki yo'q qilinishi sodir bo'lganda ham zarralar yaratilgan yoki yo'q qilingandek harakat qiladi. sodir bo'lmaydi.

De Broyl-Bom nazariyasini egri kosmosga (matematik tilda Riman manifoldlari) kengaytirish uchun bu tenglamalarning barcha elementlari, masalan, gradientlar va laplaslar mantiqiy ekanligini ta'kidlash kifoya . Shunday qilib, biz yuqoridagi kabi bir xil shaklga ega bo'lgan tenglamalardan foydalanamiz. Shredinger tenglamasining evolyutsiyasini to'ldirishda topologik va chegaraviy shartlar qo'llanilishi mumkin.

Spinli egri fazodagi de Broyl-Bom nazariyasi uchun spin fazosi konfiguratsiya fazosi ustida vektor to'plamiga aylanadi va Shredinger tenglamasidagi potentsial bu

fazoda harakat qiluvchi mahalliy o'z-o'zini qo'shuvchi operatorga aylanadi. Spin bilan relativistik holatda de Broyl-Bom nazariyasi uchun maydon tenglamalari burilish bilan egri fazo-vaqtlar uchun ham berilishi mumkin.

De Broyl va Bomning kvant mexanikasining sababiy talqini keyinchalik Bom, Vijje, Xiley, Valentini va boshqalar tomonidan stokastik xususiyatlarni qamrab olgan holda kengaytirildi. Bom va boshqa fiziklar, shu jumladan Valentini, Born qoidasining bog'lanishini ko'rishadi ehtimollik zichligi funksiyasiga

Bu asosiy qonun emas, balki Shredinger tenglamasi bo'yicha vaqt rivojlanishi davomida tizimning kvant muvozanatiga erishganligi natijasidir. Ko'rsatish mumkinki, muvozanatga erishilgandan so'ng, tizim keyingi evolyutsiya davomida shunday muvozanatda qoladi: bu Shredinger evolyutsiyasi bilan bog'liq bo'lgan uzluksizlik tenglamasidan kelib chiqadi.

Bunday muvozanatga birinchi navbatda erishiladimi yoki yo'qligini ko'rsatish unchalik oson emas.

Antoni Valentini de Broyl-Bohm nazariyasini kengaytirilgan signalning nolokalligini o'z ichiga oladi, bu chalkashlikda kodlangan xabarni "qulfni ochish" uchun ikkilamchi klassik "kalit" signalisiz mustaqil aloqa kanali sifatida foydalanishga imkon beradi. Bu pravoslav kvant nazariyasini buzadi, lekin xaotik inflyatsiya nazariyasining parallel koinotlarini printsiptial jihatdan kuzatilishi mumkin bo'lgan fazilatga ega.

Valentini nazariyasi de Broyl-Bom nazariyasidan farqli o'laroq, to'lqin funksiyasi evolyutsiyasi ham ontologik o'zgaruvchilarga bog'liq. Bu beqarorlikni, yashirin o'zgaruvchilarni "sub-kvantl issiqlik o'limi" dan chiqarib yuboradigan teskari aloqa aylanishini keltirib chiqaradi. Natijada paydo bo'lgan nazariya chiziqli va unitar bo'lmagan bo'ladi. Valentinining ta'kidlashicha, kvant mexanikasi qonunlari paydo bo'ladi va klassik dinamikada termal muvozanatga o'xshash "kvantmuvozanati" ni tashkil qiladi, shuning uchun boshqa "kvant muvozanatsiz" taqsimotlari printsiptial

jihatdan kuzatilishi va ishlatilishi mumkin, buning uchun statistik bashoratlar. kvant nazariyasi buzilgan. Kvant nazariyasi juda kengroq nochiziqli fizikaning maxsus holati bo'lib, unda mahalliy bo'lmagan (o'ta yorug'lik) signalizatsiya mumkin bo'lgan va noaniqlik printsipli buzilishi mumkin bo'lgan fizika munozarali .

Oddiy kvant nazariyasiga ko'ra, zarrachaning spinini yoki qutblanishini bevosita o'lchash mumkin emas ; o'rniga, bir yo'nalishdagi komponent o'lchanadi; bitta zarrachadan olingan natija 1 bo'lishi mumkin, ya'ni zarracha o'lchash moslamasi bilan tekislangan yoki -1, ya'ni teskari yo'nalishda tekislangan. Polarizator tomonidan 1-holatda bo'lish uchun tayyorlangan zarralar ansambli keyingi qurilmada 1-holatda qutblanganlikni o'lchaydi. Birinchi o'tishga burchak ostida o'rnatilgan polarizator orqali yuborilgan qutblangan ansambl nisbiy moslashuvga bog'liq bo'lgan ehtimollik bilan 1 ning ba'zi va ba'zilari -1 qiymatlariga olib keladi. Buni to'liq tushuntirish uchun SternGerlach tajribasiga qarang .

De Broyl-Bom nazariyasiga ko'ra, aylanish tajribasining natijalarini eksperimental o'rnatish haqida ma'lumotsiz tahlil qilib bo'lmaydi. O'rnatishni o'zgartirish mumkin, shunda zarrachaning traektoriyasi ta'sirlanmaydi, lekin bir o'rnatishga ega bo'lgan zarracha aylanish sifatida qayd etiladi, boshqa o'rnatishda esa u pastga aylanadi. Shunday qilib, de Broyl-Bom nazariyasi uchun zarrachaning spini zarrachaning ichki xossasi emas; Buning o'rniga spin, ta'bir joiz bo'lsa, zarrachaning spinni o'lchash uchun foydalaniladigan muayyan qurilmaga nisbatan to'lqin funksiyasida. Bu ba'zan kontekstuallik deb ataladigan va operatorlar haqidagi sodda realizm bilan bog'liq bo'lgan narsaning tasviridir. Sharhlash ma'nosida o'lchov natijalari tizim va uning muhitining deterministik xususiyati bo'lib, u eksperimental o'rnatish haqidagi ma'lumotlarni o'z Natijalarichiga oladi, shu jumladan birgalikda o'lchangan kuzatuvlar konteksti; hech qanday ma'noda tizimning o'zi klassik fizikada bo'lgani kabi o'lchanadigan xususiyatga ega emas.

Xulosa

Quyida de Broyl-Bom nazariyasini tahlil qilish natijasida paydo bo'lgan natijalarning ba'zi diqqatga sazovor joylari keltirilgan. Eksperimental natijalar kvant

mexanikasining barcha standart bashoratlari bilan mos keladi, chunki ular mavjud. Ammo standart kvant mexanikasi "o'lchovlar" natijalarini muhokama qilish bilan chegaralangan bo'lsa-da, de Broyl-Bom nazariyasi tizimning dinamikasini tashqi kuzatuvchilarning aralashuvisiz boshqaradi.

Standart kvant mexanikasi bilan kelishishning asosi zarralar bo'yicha taqsimlanadi. Bu kuzatuvchining nodonligining bayonoti: dastlabki pozitsiyalar statistik taqsimot bilan ifodalanadi, shuning uchun deterministik traektoriyalar statistik taqsimotga olib keladi

Foydalanilgan manbalar

1. Wikipedia.uz
2. ResearchGate.com

3. Pilot-to'lqinli gidrodinamika" 2021 yil 18 martda Wayback Machine Bushda arxivlangan , JWM, Suyuqlik mexanikasining yillik sharhi , 2015 yil