



OLIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

MIRZO ULUG'BEK NOMIDAGI

O'ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI

FIZIKA FAKULTETI

F-2201 GURUH TALABASI

SHODMONOVA YULDUZ

MUSTAQIL ISHI

MAVZU: Einstein-Podlosky-Rosen paradoksi

Bajardi: Y. Shodmonova

Tekshirdi: M. Mamayusupova

MUNDARIJA

I.Kirish.....	3
II.Asosiy qism	4
2.1. A. Einstein, B.Podlosky va N.Rosen.....	4
2.2. Einstein-Podlosky-Rosen paradoksi	6
2.3. EPR paradoksini rivojlanishi.....	12
III. Xulosa.....	18
IV. Foydalanilgan adabiyotlar.....	19

I.Kirish

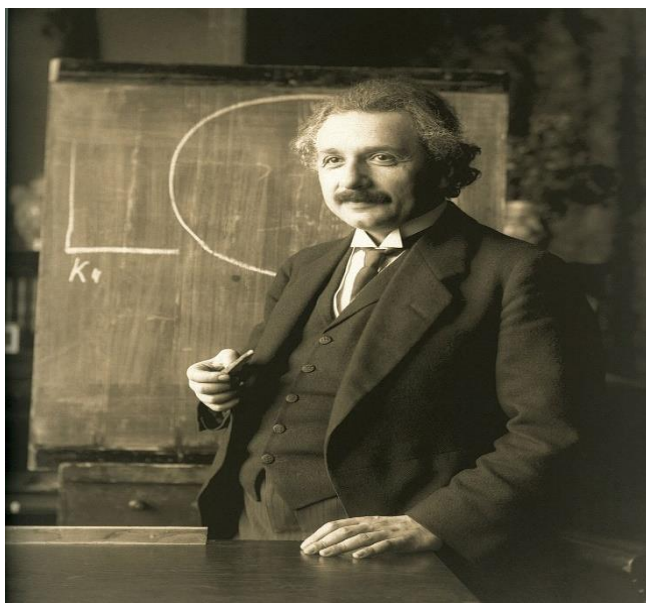
Eynshteyn, Podolskiy va Rozen paradoksi (EPR paradoksi) 1935 yilda Albert Eynshteyn, Boris Podolskiy va Nathan Rozen tomonidan taklif qilingan. Ushbu paradoks kvant mexanikasining asosiy tamoyillaridan biriga, ya'ni kvant o'lchovlari va kvant bog'lanishiga qarshi chiqadi. EPR paradoksining asosiy nuqtasi shundaki, kvant mexanikasi, ayniqsa, bog'langan kvant tizimlarida, klassik fizikadagi "mahalliylik" va "realizm" tushunchalarini buzadi. Paradoks quyidagi holatga asoslangan:

1. Kvant bog'lanishi: Agar ikki zarra bir-biriga bog'langan bo'lsa, ularning holatlari bir-biridan mustaqil emas. Bitta zarra o'lchanganida, ikkinchi zarra holati ham darhol aniqlanadi, hatto ular bir-biridan uzoqda bo'lsa ham.
2. Mahalliylik: Klassik fizika nazariyalarida ma'lum bir hodisa faqat uning atrofidagi mahalliy omillarga bog'liq bo'lishi kerak. Eynshteyn, Podolskiy va Rozen bu prinsipni o'zlarining paradokslarida muhokama qilganlar.
3. Realizm: Ular shuni ta'kidlagan ediki, agar biz zarra holatini o'lchamasak, u holda zarra haqiqatan ham biror holatda bo'lishi kerak.

EPR paradoksi shuni ko'rsatadiki, agar kvant mexanikasi to'g'ri bo'lsa, unda mahalliylik yoki realizm tamoyillari buziladi. Eynshteyn bu holatni "masofaviy ta'sir" deb atagan va bu kvant mexanikasining to'liq emasligini anglatadi deb hisoblagan.

II.Asosiy qism

2.1. A. Einstein, B.Podlosky va N.Rosen



Albert Einstein (talaffuzi: Albert Eynshteyn; (14.03.1879 – 18.04.1955) nemis va yahudiy fizik-nazariyotchisi, barcha zamonlarning eng buyuk va eng katta ta'sirga ega fizik olim. U nisbiylik nazariyasi asoschisi, maydon kvant nazariyasi va statistik fizika

asoschilaridan biri. Nisbiylik va kvant mexanikasi zamonaviy fizikaning

ikkita ustunidir. Uning nisbiylik nazariyasidan kelib chiqqan $E=mc^2$ Massa-energiya ekvivalenti formulasi „*dunyodagi eng mashhur tenglama*“ deb nomlangan.



Boris Podolsky 1896-yil 29-iyun (yangi usul bo'yicha)da Taganrogda, Yakov Veniaminovich Podolsky va Yelizaveta Parnaxtan oilasida tug'ilgan. Ilmiy qiziqishlari sohalari — kvant elektromagnetizm, kvant mexanika, magnit gidrodinamikasi, amaliy matematika va biofizika. V. Fok va P. Dirak bilan birgalikda 1932-yilda ko'p vaqtli formalizmni ishlab chiqqan va kvant elektromagnetizmining nisbiylikka

mos keluvchi shaklini yaratgan. U, shuningdek, nozik tuzilish doimiysi rolini

o'rgangan. 1935-yilda Albert Eynshteyn, Boris Podolsky va Nathan Rosen birgalikda "Fizik haqiqatni kvant mexanik tasviri to'liq deb hisoblanishi mumkinmi?" (Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?) nomli maqolani nashr qilgan. Eynshteynning yordamchisi Nathan Rosen va hamkori Boris Podolsky bilan olib borgan uzoq davom etgan munozaralari ushbu maqolaga asos bo'lgan va maqola Amerika ilmiy jurnali Physical Reviewda uchala muallifning imzosi bilan chiqdi. Ushbu maqolada birinchi marta keltirilgan kvant mexanika haqida o'ylab ko'rilgan tajriba, keyinchalik "EPR paradoksi" nomini oldi va bu kvant mexanikasining tushunilishi va talqin qilishida muhim rol o'ynadi. U "Fundamentals of Electrodynamics" monografiyasining (1969) ham muallifi bo'lib, bu kitobni



Kaiser S. Kunz bilan birgalikda yozgan.

Nathan Rosen (22 mart 1909, Bruklin, Nyu-York — 18 dekabr 1995, Xayfa, Isroil) — amerikalik va isroillik nazariy fizik.

U Eynshteyn - Podol'skiy - Rozen paradoksining "uchlik" a'zosi sifatida tanilgan bo'lib, Albert Eynshteyn bilan umumiy nisbiylik nazariyasi, kvant mexanikasi va kosmologiya bo'yicha ba'zi masalalar bo'yicha hamkorlik qilgan. Ilmiy faoliyatining boshida, 1934-1936 yillarda, u Prinstdagi Yuqori Tadqiqotlar Institutida A. Eynshteynning assistenti bo'lib ishlagan. Albert Eynshteyn bilan hamkorlik qilgan, kvant mexanikasini asoslash va umumiy nisbiylik nazariyasida jismlarning o'zaro ta'siri masalalari bilan shug'ullangan. Xususan, u Eynshteyn-Podol'skiy-Rozen paradoksining yaratuvchisi va "uchinchi shaxs" sifatida mashhur bo'lgan. 1935 yilda Eynshteyn va Nathan Rozen umumiy nisbiylik nazariyasining ba'zi asosiy muammolari bo'yicha maqolalar chop etganlar.

1935 yilda A. Eynshteyn va Nathan Rozen ma'lum sharoitlarda ikki faza va vaqt hududini o'zaro bog'lash uchun doimiy kanal paydo bo'lishi mumkinligini ta'kidlashgan. Bunday tor kanallar, ya'ni bo'yin shaklidagi strukturalar orqali, uzoq masofada joylashgan va o'zaro bog'lanishi mumkin bo'lgan hududlarni bir-biriga ulashishi mumkin. Bu prognoz qilingan effekt "Eynshteyn-Rozen ko'prigi" deb nomlandi. Grafik ko'rinishda bu, o'sha davrda "qora tuynuk" atamasi hali mashhur bo'lmaganida, qora tuynukning o'zining aksida o'xshardi.

2.2. Einstein-Podlosky-Rosen paradoksi

1935 yilda Eynshteyn, Podolskiy va Rozen (EPR) mashhur "EPR paradoksini" yaratdilar (Eynshteyn va boshq. (1935)). Bu dalil, bashorat qilinganidek, bir-biri bilan mukammal o'zaro bog'liq pozitsiya va momentga ega bo'lgan ikkita fazoviy ajratilgan zarralarga taalluqlidir. Kvant mexanikasi tomonidan Mexanika, bu ko'pchilik fiziklar tomonidan qabul qilingan falsafalarning to'g'ridan-to'g'ri e'tiroziga olib keldi, bundan tashqari, EPR paradoksi hozirda kvant texnologiyasining asosi hisoblangan chalkashlik kontseptsiyasiga keskin e'tibor qaratdi. Uning katta ahamiyatiga qaramay, dastlabki EPR Gedankenexperimentini bevosita amalga oshirish uchun nisbatan kam ish qilingan. Ko'pgina nashr etilgan munozaralar Bell (1964) tomonidan teoremlarni sinovdan o'tkazishga qaratilgan bo'lib, uning ishi EPRdan olingan, ammo boshqa o'lchovlar to'plami bilan shug'ullanadigan yanada qattiqroq testlarni taklif qilgan. Ushbu Kollokviumning maqsadi - boshqa nuqtai nazarni berish. Biz EPRning asl maqolasiga qaytamiz va EPR paradoksining hozirgi nazariy va eksperimental holati va oqibatlarini tahlil qilamiz: mustaqil ish organi sifatida. Paradoks bu: "aslida haqiqat bo'lishi mumkin bo'lgan bema'ni yoki o'ziga qarama-qarshi bo'lgan bayonot yoki taklif". EPR xulosasi mahalliy realizm faraziga asoslangan edi va shuning uchun EPR argumenti mahalliy realizm va kvant mexanikasining to'liqligi o'rtasidagi qarama-qarshilikni aniq ko'rsatadi. Shuning uchun buni Shredinger (1935b), Bom (1951), Bell (1964) va Bom va Aharonov (1957) "paradoks" deb atashgan. EPR mahalliy realizm haqiqiy bo'lishi kerakligi

haqidagi o'z davrining ustun fikrini oldi. Ular bu asosdan kvant mexanikasi to'liq bo'lmasligi kerakligini ta'kidladilar. Keyinchalik Bell (1964) tomonidan taqdim etilgan tushunchaga ko'ra, EPR argumenti eng yaxshi mahalliy realizm asoslaridan kelib chiqadigan muammolarning birinchi namoyishi sifatida qaraladi. EPRning maqsadi kvant mexanikasiga qaraganda "yaxshiroq" nazariyani izlashga undash edi. Biroq, EPR hech qachon kvant mexanikasining to'g'riligiga shubha qilmagan, faqat uning to'liqligi. Ular shuni ko'rsatdiki, agar biz mahalliy realizm deb ataydigan farazlar to'plami tasdiqlansa, kvant mexanikasi to'liq bo'lmasligi kerak. Bellning keyingi faoliyati tufayli biz endi EPR bilmagan narsani bilamiz: mahalliy realizm, "ko'pchilik ishlaydigan olimlarning real falsafasi" (Klauzer va Shimoni (1978)) o'zi so'roq ostida. Shunday qilib, EPR taklifining eksperimental amalga oshirilishi kvant nolokalligi bilan chambarchas bog'liq bo'lgan chalkashlik turini namoyish qilish usulini beradi. Ular tomonidan nazarda tutilgan mahalliy realistik nazariya mavjud bo'lmasligi ma'nosida EPR "noto'g'ri" edi. Biroq, EPR o'z maqolalarida aniqlagan narsa mahalliy realizm va kvant mexanikasining to'liqligi o'rtasidagi nomuvofiqlik edi. Shunday qilib, biz ushbu binolardan kamida bittasini tark etishimiz kerak. Bu aqlli, tushunarli va to'g'ri edi. Shuning uchun EPR qog'ozi kvant mexanikasini miqdoriy ma'noda klassik voqelikdan to'liq nazariya sifatida ajratish usulini taqdim etadi. EPR argumentining xulosalari faqat zarrachalarning pozitsiyalari va momentlari o'rtasidagi ma'lum korrelyatsiyalar eksperimental tarzda tasdiqlanishi mumkin bo'lgan taqdirdagina tuzilishi mumkin. EPR ishi, Bellning ishiga o'xshab, eksperimental namoyishni talab qiladi, chunki ko'rib chiqilayotgan kvant holatlari jismoniy jihatdan mos kelmaydi deb taxmin qilish mumkin, yoki kvant mexanikasining o'zi noto'g'ri. Asl EPR taklifining mukammal korrelyatsiyasini tayyorlash mumkin emas. Buning o'rniga, biz xulosa qilingan Geyzenberg noaniqlik printsipli - "EPR tengsizligi" ning buzilishi juda amaliy ekanligini ko'rsatamiz. Ushbu EPR tengsizliklari deterministik bo'lmagan vaziyatga umumlashtirilgan mahalliy realizmning to'liqligi bilan mos kelmasligini tekshirish uchun yo'l beradi. Kvant mexanikasi EPR tengsizligini buzish EPR paradoksining namoyishidir.

Xulosa qilib aytganda, EPR tajribalari Bell tajribalariga muhim qo'shimcha bo'ladi degan xulosaga kelamiz. Bell teoremasining xulosalari kuchliroq bo'lsa-da, EPR yondashuvi ko'proq turli xil jismoniy tizimlar uchun qo'llaniladi. Ko'pgina Bell testlari alohida natijalarga ega bo'lgan bitta fotonni hisoblash o'lchovlari bilan chegaralangan bo'lsa, so'nggi EPR tajribalarida doimiy o'zgaruvchan natijalar va yuqori aniqlash samaradorligi mavjud. Bu massiv zarralar va makroskopik tizimlarni o'z ichiga olgan yangi rejimlarda kvant nolokalligini sinovdan o'tkazish imkoniyatlariga olib keladi. Shunisi e'tiborga loyiqki, kvant axboroti sohasida yangi ilovalar amalga oshirilishi mumkin. Ushbu Kollokviumda biz EPRning asosiy maqolasi nazariyasini bayon qilamiz, shuningdek, so'nggi nazariy va eksperimental yutuqlar haqida umumiy ma'lumot beramiz. Biz EPR tengsizliklarining rivojlanishini va ularni spin va amplituda o'lchovlari uchun EPR paradoksini aniqlash uchun qanday qo'llash mumkinligini muhokama qilamiz. Vu va Shaknov (1950), Freedman va Klauzer (1972), Aspect va boshqalarning dastlabki spin EPR tajribalari uchun cheklovchi omil. (1981) va boshqalar aniqlash samaradorligining pastligi edi, bu esa, ehtimollar tanlangan sanoqlar ansambli yordamida taxmin qilinganligini anglatadi. Bundan farqli o'laroq, so'nggi paytlarda o'tkazilgan EPR tajribalari, EPR paradoksining chigallashishini beruvchi shartlarsiz, talabga binoan ishlab chiqarish uchun butun ansambl bo'ylab o'lchangan amplitudali korrelyatsiya haqida xabar beradi; sabab-ajralish hali erishilmagan bo'lsa-da. Biz birinchi bo'lib Ou va boshqalar tomonidan amalga oshirilgan ushbu tajribalarning metodologiyasi va rivojlanishini batafsil bayon qilamiz. EPR taklifining eksperimental amalga oshirilishi har doim chigallikni nazarda tutadi va biz chalkashlik, EPR paradoksi va Bell teoremasi o'rtasidagi munosabatni tahlil qilamiz. Kelajakka qarab, biz massiv zarralar bilan bog'liq so'nggi tajribalar va takliflarni ko'rib chiqamiz, ular xona haroratida aylanish tajribalaridan tortib, ultrasovuq Bose-Eynshteyn kondensatlarining kvadraturalarini EPR bilan bog'lash bo'yicha takliflarga. Ushbu yangi EPR tajribalarining bir qator mumkin bo'lgan ilovalari allaqachon taklif

qilingan, masalan, kvant kriptografiyasi va kvant teleportatsiyasi sohalarida. Eynshteyn -**Podolskiy-Rozen (EPR) paradoksi** fiziklar Albert Eynshteyn , Boris Podolskiy va Natan Rozen tomonidan taklif qilingan fikrlash tajribasi bo'lib , u

k

v

ant mexanikasi tomonidan taqdim etilgan jismoniy voqelikning tavsifi to'liq

Fikrlash tajribasi keyinchalik chigallashgan holat sifatida ma'lum bo'ladigan holatda tayyorlangan bir juft zarrachani o'z ichiga oladi . Eynshteyn, Podolskiy va Rozen shuni ta'kidladilarki, bu holatda birinchi zarrachaning holati o'lchangan bo'lsa, ikkinchi zarrachaning holatini o'lchash natijasini oldindan aytish mumkin. Agar buning o'rniga birinchi zarraning impulsi o'lchangan bo'lsa, ikkinchi zarraning impulsini o'lchash natijasini oldindan aytish mumkin edi. Ularning ta'kidlashicha, birinchi zarrachaga qilingan hech qanday harakat boshqasiga bir zumda ta'sir qila olmaydi, chunki bu nisbiylik nazariyasiga ko'ra imkonsiz bo'lgan yorug'likdan tezroq ma'lumot uzatilishini o'z ichiga oladi . Ular keyinchalik "Haqiqatning EPR mezoni" deb nomlanuvchi printsipga murojaat qilishdi, unda quyidagilar belgilandi:

"Agar tizimni hech qanday tarzda bezovta qilmasdan, biz aniqlik bilan (ya'ni, birlikka teng ehtimollik bilan) fizika qiymatini bashorat qila olsak. miqdor bo'lsa, u holda bu miqdorga mos keladigan haqiqat elementi mavjud." Shundan kelib chiqib, ular ikkinchi zarracha har ikkala miqdorni o'lchashdan oldin ham joylashuvi, ham impulsning aniq qiymatiga ega bo'lishi kerak degan xulosaga kelishdi. Ammo kvant mexanikasi bu ikki kuzatiladigan narsani mos kelmaydigan deb hisoblaydi va shuning uchun ikkalasi uchun bir vaqtning o'zida qiymatlarni hech qanday tizim bilan bog'lamaydi. Shunday qilib, Eynshteyn, Podolskiy va Rozen kvant nazariyasi haqiqatning to'liq tavsifini bermaydi degan xulosaga kelishdi.

y

“Paradoks qog'ozi”

d

i

.

"Eynshteyn-Podolskiy-Rozen paradoksi" yoki "EPR" atamasi 1934 yilda Eynshteyn fashistlar Germaniyasining yuksalishidan qochib , Ilg'or tadqiqotlar

i
n
s
t
i
t
u
t
i
g
a
E
P
R
o
k
'
v
s
a
h
n
i
t
l
m
g
e
a
x
n
a
i
n
d
i
a
k
n
a
s
k
i
e
n
y
i
i

EINSTEIN ATTACKS QUANTUM THEORY

Scientist and Two Colleagues
Find It Is Not 'Complete'
Even Though 'Correct.'

SEE FULLER ONE POSSIBLE

Believe a Whole Description of
'the Physical Reality' Can Be
Provided Eventually.

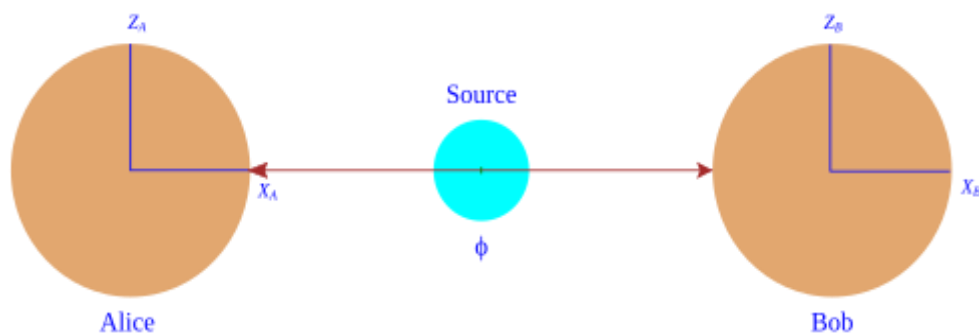
The New York Times gazetasining
1935 yil 4 may sonidagi EPR paradoks
qog'oziga oid maqola sarlavhasi

Garchi EPR hujjati ko'pincha Eynshteyn qarashlarining aniq ifodasi sifatida qabul qilingan bo'lsa-da, u birinchi navbatda Eynshteyn va Rozen bilan ilg'or tadqiqotlar institutida muhokamalar asosida Podolskiy tomonidan yozilgan. Keyinroq Eynshteyn Ervin Shredingerga shunday dedi: "Bu men xohlaganchalik yaxshi chiqmadi; aksincha, asosiysi, aytganda, rasmiyatchilik bilan bo'g'ilib qolgan edi".^[8] Eynshteyn keyinchalik o'zining mahalliy realistik g'oyalari to'g'risida individual ma'lumot berishni davom ettiradi. EPR qog'ozi Physical Reviewda paydo bo'lishidan biroz oldin, The New York Times bu haqda "Eynshteyn Kvant nazariyasiga hujum qilmoqda" sarlavhasi ostida yangilik chop etdi. Podolskiydan iqtibos keltirgan hikoya Eynshteynni g'azablantirdi, u Timesga shunday deb yozdi: "Sizning 4-maydagi soningizdagi "Eynshteyn kvant nazariyasiga hujum qiladi" maqolasiga asoslangan har qanday ma'lumot sizga ruxsatsiz berilgan. Bu mening Ilmiy masalalarni faqat tegishli forumda muhokama qilishning o'zgarmas amaliyoti va men dunyoviy sohada bunday masalalar bo'yicha har qanday e'lonning oldindan nashr etilishini rad etaman. bosing."

2.3. EPR paradoksini rivojlanishi

Bom varianti

1951 yilda Devid Bom EPR fikrlash tajribasining variantini taklif qildi, unda o'lchovlar EPR tomonidan ko'rib chiqilgan pozitsiya va momentum o'lchovlaridan farqli o'laroq, mumkin bo'lgan natijalarning diskret diapazoniga ega. juftlari yordamida tushuntirish mumkin. Aytaylik, bizda elektron-pozitron juftlarini chiqaradigan manba bor, elektron *A* manziliga yuboriladi, bu erda Elis ismli kuzatuvchi bor va pozitron *B* manziliga yuboriladi, bu erda Bob ismli kuzatuvchi bor. Kvant mexanikasiga ko'ra, biz manbamizni shunday tartibga solishimiz mumkinki, har bir chiqarilgan juftlik spin singleti deb ataladigan kvant holatini egallaydi. Shunday qilib, zarralar o'ralgan deb aytiladi. Buni ikkita holatning kvant superpozitsiyasi sifatida ko'rish mumkin, biz ularni I holat va II holat deb ataymiz. I holatda elektron z o'qi ($+z$) bo'ylab yuqoriga, pozitron esa z o'qi ($-z$) bo'ylab pastga qaragan spinga ega. II holatda elektron spin $-z$, pozitron esa spin $+z$ ga ega. U holatlar superpozitsiyasida bo'lgani uchun spin singletidagi har ikkala zarrachaning aniq spin holatini o'lchamasdan turib bilib bo'lmaydi.



Elektron-pozitron juftlari bilan o'tkazilgan EPR fikrlash tajribasi. Manba (markaz) zarralarni ikkita kuzatuvchiga, elektronlarni Alisaga (chapda) va pozitronlarni Bobga (o'ngda) yuboradi, ular spin o'lchovlarini amalga oshiradi.

Endi *Elis* z o'qi bo'ylab aylanishni o'lchaydi. U ikkita mumkin bo'lgan natijadan birini olishi mumkin: $+z$ yoki $-z$. Aytaylik, u $+z$ ni oldi. Norasmiy tarzda aytganda, tizimning kvant holati I holatga tushadi. Kvant holati tizimda bajarilgan

har qanday o'lchovning ehtimoliy natijalarini belgilaydi. Bunday holda, agar Bob keyinchalik z o'qi bo'ylab spinni o'lchasa, $u - z$ ni olishining 100% ehtimoli bor. Xuddi shunday, agar Elis $-z$ ni olsa, Bob $+z$ ni oladi. Z o'qini tanlashda alohida narsa yo'q: kvant mexanikasiga ko'ra, spinning yagona holati x yo'nalishiga ishora

q

i

l

u

v

c

h

Faraz qilaylik, Elis z -spinni o'lchadi va $+z$ ni oldi, shunda kvant holati I holatga tushadi. Endi, z -spinni ham o'lchash o'rniga, Bob x -spinni o'lchadi. Kvant mexanikasiga ko'ra, tizim I holatda bo'lganda, Bobning x -spin o'lchovi $+x$ hosil qilish ehtimoli 50% va $-x$ ning 50% ehtimoli bo'ladi. Bob

haqiqatda o'lchovni amalga oshirmaguncha, qanday natija paydo bo'lishini Bell teoremasi oldindan aytib bo'lmaydi. Shuning uchun, Bobning pozitroni Elis elektroni bilan bir 1964-yilda Jon Styuart Bell o'sha davrdagi hayratlanarli vaziyatni o'rganuvchi xil o'q bo'ylab o'lchanganida aniq spinga ega bo'ladi, lekin perpendikulyar o'qda maqola nashr etdi: bir tomondan, EPR paradoksi go'yoki kvant mexanikasi nolokal o'lchanganida uning spini bir xil tasodifiy bo'ladi. Go'yo Elis apparatidan ma'lumot oqanligini ko'rsatdi va yashirin o'zgaruvchan nazariya bu nolokallikni davolay (yorug'likdan tezroq) tarqalib, Bobning pozitronini tegishli o'qda aniq aylanishga blishini taklif qildi. Boshqa tomondan, Devid Bom yaqinda birinchi muvaffaqiyatli majbur qilganga o'xshaydi.

yashirin o'zgaruvchilar nazariyasini ishlab chiqdi, ammo u qo'pol nolokal xususiyatga ega edi. Bell yashirin o'zgaruvchilar yordamida nolokallik muammosini hal qilish mumkinmi yoki yo'qligini o'rganishga kirishdi va birinchi navbatda paradoksning EPR va Bom versiyalarida ko'rsatilgan korrelyatsiyalar haqiqatan ham mahalliy ma'lumotlarda tushuntirilishi mumkinligini aniqladi. yashirin o'zgaruvchilar bilan yo'l va ikkinchidan, paradoksning o'z variantida ko'rsatilgan korrelyatsiyalar bo'lishi mumkin emas. har qanday mahalliy yashirin o'zgaruvchilar nazariyasi bilan izohlanadi. Bu ikkinchi natija Bell teoremasi deb nomlandi.

g

s

Birinchi natijani tushunish uchun JJ Sakurai tomonidan keyinroq kiritilgan o'yinchoq yashirin o'zgaruvchan nazariyani ko'rib chiqing manba tomonidan chiqarilgan kvant spin-singlet holatlari aslida "haqiqiy" jismoniy holatlarga ega bo'lgan taxminiy tavsiflardir. z -spin va x -spin uchun aniq qiymatlar. Ushbu "haqiqiy" holatlarda Bobga boradigan pozitron har doim Elisga ketadigan elektronga qarama-qarshi spin qiymatlariga ega, ammo qiymatlar butunlay tasodifiydir. Masalan, manba tomonidan chiqarilgan birinchi juftlik $(+z, -x)$ Elisga va $(-z, +x)$ Bobga, keyingi juftlik $(-z, -x)$ Elisga va $(+)$ bo'lishi mumkin. $z, +x)$ Bobga" va boshqalar. Shuning uchun, agar Bobning o'lchov o'qi Elisnikiga to'g'ri keladigan bo'lsa, u Elis olgan narsaning teskarisini oladi; aks holda, u teng ehtimollik bilan "+" va "-" ni oladi.

Bell shuni ko'rsatdiki, bunday modellar faqat Elis va Bob bir xil o'qda yoki perpendikulyar o'qlarda o'lchovlarni amalga oshirganda, yagona korrelyatsiyani takrorlashi mumkin. Ularning o'qlari orasidagi boshqa burchaklarga ruxsat berilgandan so'ng, mahalliy yashirin o'zgaruvchan nazariyalar kvant mexanik korrelyatsiyasini takrorlay olmaydi. "Bell tengsizliklari" deb nomlanuvchi tengsizliklar yordamida ifodalangan bu farq printsiplial jihatdan tajribada tekshirilishi mumkin. Bellning maqolasi nashr etilgandan so'ng, Bellning tengsizliklarini sinab ko'rish uchun turli xil tajribalar o'tkazildi, xususan, 1980-yillarda hozirgi kunga qadar o'tkazilgan barcha tajribalar kvant mexanikasining bashoratlari muvofiq xatti-harakatlarni topdi. Vaziyatning hozirgi ko'rinishi shundan iboratki, kvant mexanikasi Eynshteynning har qanday maqbul jismoniy nazariya "mahalliy realizm" ni bajarishi kerak degan falsafiy postulatiga mutlaqo ziddir. Kvant mexanikasining Bell tengsizliklarini buzishi kvant mexanikasi asosidagi har qanday yashirin o'zgaruvchan nazariya mahalliy bo'lmasligi kerakligini ko'rsatadi; Bu kvant mexanikasining *o'zi* mahalliy emasligini anglatadimi yoki yo'qmi - bu davom etayotgan munozarali masala.

Matematik formula

EPR paradoksining Bom varianti spinning kvant mexanik formulasi yordamida matematik tarzda ifodalanishi mumkin . Elektron uchun spin erkinlik darajasi ikki o'lchovli kompleks vektor fazosi V bilan bog'liq bo'lib , har bir kvant holati bu fazodagi vektorga mos keladi. S_x , S_y va S_z bilan belgilangan x , y va z yo'nalishi bo'yicha spinga mos keladigan operatorlarni Pauli matritsalarini yordamida ifodalash mumkin :

$$S_x = \frac{\hbar}{2} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad S_y = \frac{\hbar}{2} \begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix}, \quad S_z = \frac{\hbar}{2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix},$$

Qayerda $\hbar$ kamaytirilgan Plank doimiysi (yoki Plank doimiysi 2π ga bo'lingan).

S_z ning xos holatlari sifatida ifodalanadi

$$|+z\rangle \leftrightarrow \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad |-z\rangle \leftrightarrow \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

va S_x ning xos holatlari sifatida ifodalanadi

$$|+x\rangle \leftrightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad |-x\rangle \leftrightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}.$$

Elektron-pozitron juftining vektor fazosi , elektron va pozitron vektor f

$$| \psi \rangle_z = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(|+z\rangle \otimes |-z\rangle - |-z\rangle \otimes |+z\rangle \right),$$

o
Bu erda o'ng tomondagi ikkita atama biz yuqorida I va II holat deb atagan narsadir.
l

Yuqoridagi tenglamalardan shuni ko'rsatish mumkinki, spin singlini ham shunday yozish mumkin

$$| \psi \rangle_n = -\frac{1}{\sqrt{2}} \left(|+x\rangle \otimes |-x\rangle - |-x\rangle \otimes |+x\rangle \right),$$

i
Bu erda o'ng tomondagi atamalar biz Ia holati va IIa holati deb ataganmiz.
n

g

Paradoksni ko'rsatish uchun biz Elisning S_z (yoki S_x) o'lchovidan so'ng, Bobning S_z (yoki S_x) qiymati yagona aniqlanganligini va Bobning S_x (yoki S_z) qiymati bir xil tasodifiy ekanligini ko'rsatishimiz kerak. Bu kvant mexanikasidagi o'lchov tamoyillaridan kelib chiqadi. S_z o'lchanganda, tizim holati S_z ning xos vektoriga tushadi. Agar o'lchov natijasi $+z$ bo'lsa, bu o'lchovdan so'ng darhol tizim holati yiqilib tushishini anglatadi

$$|+z\rangle \otimes |-z\rangle = |+z\rangle \otimes \frac{|+x\rangle - |-x\rangle}{\sqrt{2}}.$$

Xuddi shunday, agar Elisning o'lchov natijasi $-z$ bo'lsa, holat ga tushadi

$$|-z\rangle \otimes |+z\rangle = |-z\rangle \otimes \frac{|+x\rangle + |-x\rangle}{\sqrt{2}}.$$

ikkala tenglamaning chap tomoni S_z ning Bob pozitronidagi o'lchovi endi aniqlanganligini ko'rsatadi, u birinchi holatda $-z$ yoki ikkinchi holatda $+z$ bo'ladi. Tenglamalarning o'ng tomoni shuni ko'rsatadiki, Bob pozitronidagi S_x o'lchovi har ikkala holatda ham har birining ehtimoli $1/2$ bo'lgan $+x$ yoki $-x$ ni qaytaradi.

III. Xulosa

EPR paradoksi ta'rifi odamni biroz chalg'itadi. Chunki unda zarrachaning birdaniga ikkita xossasi – impuls va joylashuvi haqida so'z ochiladi. Bu esa noaniqliklar tamoyili to'g'risida ham albatta yodga soladi. Lekin, agar gap faqat bitta parameter haqida borganida, EPR paradoksining mohiyati o'zgarmagan bo'lar edi. Shryodinger aynan shunga ishora qilib, bu kabi fikriy tajribaning mohiyati birdaniga ikkkita parametrni o'lchasdan emas, balki, parameter haidagi axborotni bir laxzada uzatish borasida ekanini ta'kidlagan edi, Bunga javoban Eynshteyn “ buni menga qizig'i yo'q “ – deb javob bergan.

IV. Foydalanilgan adabiyotlar

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Einstein%E2%80%93Podolsky%E2%80%93Rosen_paradox

Google Scholar

1. [*Colloquium: The Einstein-Podolsky-Rosen paradox: From concepts to applications.* MD Reid, PD Drummond, WP Bowen...](#) - Reviews of Modern ..., 2009 – APS
2. JS Bell - Physics Physique Fizika, 1964 – APS
3. [CD Cantrell, MO Scully](#) - Physics Reports, 1978 - Elsevier