AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI
akademik H.M.Abdullayev adına FİZİKA İNSTİTUTU

Əlyazması hüququnda

SVETLANA İBRAHİM QIZI QULİYEVA

RELYATİVİSTİK KVANT ZƏRRƏCİYİNİN XARİCİ LOKAL VƏ QEYRİ-LOKAL BİRCİNS SAHƏLƏRDƏ HƏRƏKƏTİ

2212.01 – Nəzəri fizika

Fizika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

Bakı – 2015

Dissertasiya işi Azərbaycan MEA akademik H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor **Ş.M.Nağıyev**

Rəsmi opponentlər fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor **H.S.Orucov**

fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor **M.M. Mirabutalıbov**

Aparıcı təşkilat: Bakı dövlət Uviversitetinin
"Nəzəri fizika" kafedrası

Dissertasiyanın müdafiəsi 27 may 2015-ci il saat 11^{00}-da Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının akademik H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən D01.011 Dissertasiya Şurasının iclasında olacaq.

Ünvan: Az-1143, Bakı ş., H.Cavid pr., 131.
E-mail: director@physics.ab.az

Dissertasiya ilə AMEA akademik H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutunun elmi kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat "24" aprel 2015-ci ildə göndərilmişdir.

Dissertasiya şurasının elmi katibi,
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor D.H.Araslı

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Makroskopik cisimlərin bütün fiziki və kimyəvi xassələri onları təşkil edən mikrozərrəciklərin (atom və molekulların, atom nüvələrinin və elementar zərrəciklərin) xassələri və hərəkət qanunları ilə müəyyən olunur. Mikrozərrəciklər kvant sistemləridir, onların xassələri və hərəkətləri kvant nəzəriyyəsi ilə təsvir olunur. Kvant nəzəriyyəsi relyativistik və qeyri-relyativistik olmaqla iki yerə bölünür.

Sürətləndiricilərdə zərrəciklərin enerjilərinin artması materiyanın quruluşunu getdikcə daha kiçik məsafələrdə tədqiq etmək üçün imkanlar yaradır. Relyativistik oblastda çoxzərrəcikli nüvələrin qarşılıqlı təsir proseslərini və adronların kvark-qlüonların rabitəli halları kimi təsvir edilməsi məsələlərini müasir elementar zərrəciklər və nüvə fizikasının fundamental problemlərinə aid etmək olar. Bu daxili quruluşları adron-adron və adron-lepton səpilmə reaksiyalarında, hətta orta enerjili mezon fabriklərində relyativistik effektlərin özünü büruzə verdiyi nuklon-nuklon qarşılıqlı təsirlərində fenomoloji olaraq nəzərə almaq lazım gəlir ki, bunun üçün də müxtəlif relyativistik modellərdən istifadə olunur. Bu cür modellər qurmaq üçün cürbəcür relyativistik dalğa tənliklərindən istifadə olunur.

Təqdim olunan dissertasiya işi aktual bir mövzuya – relyativistik sonlu-fərq kvant mexanikasının həll metodlarının inkişaf etdirilməsinə, sonlu-fərq kvant mexanikasının bəzi dəqiq həll olunan modellərinin qurulmasına və onların xassələrinin tədqiqinə həsr olunmuşdur. Dissertasiyanın işində xarici bircins sahədə qeyri-relyativistik kvant zərrəciyinin hərəkəti məsələlərinin həm relyativistik hala, həm də qeyri-lokal bircins sahə halına ümumiləşməsinə baxılmışdır. Bununla yanaşı, relyativistik hal üçün evolyusiya operatoru metodu təklif olunmuşdur.

Bircins sahəyə xətti potensial uyğundur. Xətti potensial fizikanın müxtəlif sahələrində geniş tətbiq olunur. Kvant zərrəciyinin bircins qravitasiya və elektrik sahələrində hərəkəti elmi əhəmiyyət kəsb edir. Kvark modelinin köməyilə adronların kütlə spektrinin təyinində də istifadə olunan əsirləyici (konfaynmentedici) potensiallardan biri məhz xətti potensialdır.

Digər tərəfdən artıq 30 ildən çoxdur ki, qeyri-relyativistik kvant mexanikasının 1932-ci ildə Viqner tərəfindən təklif olunmuş faza təsviri nəzəri fizikanın müxtəlif sahələrində geniş istifadə olunmaqdadır.

Kvant mexanikasının faza təsvirinin əsas riyazi aləti $F^f(p,x,t)$ – kvant paylanma funksiyalarıdır. Nəzəri olaraq sonsuz sayda kvant paylanma funksiyası daxil etmək olar. Viqner funksiyası ilə yanaşı, onlara Husimi, Kirkvud (antistandart nizamlanmış), Qlauber-Suderşan (normal nizamlanmış) paylanma funksiyaları və s. daxildir. Kvant mexanikasının Şredinger təsvirində mərkəzi rolu dalğa funksiyası oynadığı kimi, faza təsvirində mərkəzi rol kvant paylanma funksiyalarına məxsusdur.

Sistemin kvant paylanma funksiyaları ilə təsvir olunan halları klassik hallara ən yaxın olan hallardır. Faza təsvirində həm sistemin kvant halları üçün, həm də müşahidə olunan kəmiyyətlər üçün faza fəzasında yalnız adi funksiyalardan istifadə olunur.

Yuxarıda dediklərimizdən aydın olur ki, relyativistik sonlu-fərq kvant mexanikasının yeni modelləri üçün faza təsvirlərinin qurulması və tədqiq edilməsi nəzəri fizikanın həm maraqlı, həm də aktual problemlərindən biridir.

Dissertasiya işində xarici lokal və qeyri-lokal bircins sahədə relyativistik kvant zərrəciyi üçün kvant paylanma funksiyalarının aşkar şəkillərinin hesablanması məsələsi də qarşıya qoyulmuşdur.

Dissertasiya işinin məqsədi və vəzifələri. Təqdim olunan dissertasiya işinin məqsədi dəqiq həll olunan qeyri-relyativistik kvant zərrəciyinin bircins sahədə hərəkəti məsələsini relyativistik sonlu-fərq kvant mexanikası çərçivəsində relyativistik hala, həmçinin qeyri-lokal sahə halına ümumiləşdirmək, onların xassələrini tədqiq etmək və faza təsvirlərini qurmaqdan ibarətdir. Bunun üçün qarşıya aşağıdakı məsələlər qoyulmuşdur:

1. Relyativistik kvant zərrəciyinin lokal bircins sahədə hərəkətinin tədqiqi.
2. Lokal bircins sahə olduqda relyativistik konfiqurasiya fəzasında və Lobaçevski impuls fəzasında relyativistik zərrəciyin dalğa funksiyalarının aşkar şəkillərinin, tamlıq və ortoqonallıq şərtlərinin alınması.
3. Lokal bircins sahədə relyativistik zərrəciyin propaqatorlarının və faza təsvirinin qurulması.
4. Relyativistik kvant zərrəciyinin qeyri-lokal bircins sahədə hərəkətinin tədqiqi.
5. Qeyri-lokal bircins sahə olduqda relyativistik konfiqurasiya fəzasında və Lobaçevski impuls fəzasında relyativistik zərrəciyin dalğa funksiyalarının aşkar şəkillərinin alınması, tamlıq və ortoqonallıq şərtlərinin alınması.
6. Qeyri-lokal bircins sahədə relyativistik zərrəciyin propaqatorlarının və faza təsvirinin qurulması. Sərbəst zərrəciklər və bircins sahədə zərrəcik üçün qeyri-lokal relyativistik Şredinger tənliyinin həllərinin qurulması.
7. Alınmış ifadələrin qeyri-relyativistik limitlərinin hesablanması.

İşin elmi yeniliyi:

1. Dissertasiyada ilk dəfə olaraq xarici lokal bircins sahədə relyativistik kvant zərrəciyi üçün sonlu-fərq hərəkət tənliyi dəqiq həll edilmiş, həm relyativistik konfiqurasiya, həm də impuls fəzalarında dalğa funksiyalarının xassələri öyrənilmiş, evolyusiya operatoru qurulmuşdur.
2. Lokal bircins sahədə relyativistik zərrəcik üçün propaqatorlar, Viqner və standart nizamlanmış kvant paylanma funksiyalarının aşkar şəkilləri tapılmışdır.
3. Qeyri-lokal bircins sahədə relyativistik kvant zərrəciyinin hərəkəti üçün sonlu-fərq tənliyi dəqiq həll edilmiş, dalğa funksiyaları tapılmışdır.
4. Qeyri-lokal bircins sahədə relyativistik zərrəcik üçün propaqatorlar, Viqner və standart nizamlanmış kvant paylanma funksiyaları qurulmuşdur. Sərbəst zərrəcik üçün və xarici sahədə zərrəcik üçün qeyri-lokal relyativistik Şredinger tənliyinin həlləri tapılmışdır.
5. Alınmış relyativistik ifadələrin $c \to \infty$ limitləri hesablanmışdır.

İşin nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. İşdə dalğa funksiyaları üçün alınmış ifadələr elementar zərrəciklərin, relyativistik nüvələrin və sonlu-fərq kvant dinamik sistemlərinin müxtəlif fiziki xarakteristikalarının (məsələn, adronların kütlə spektrləri, keçid ehtimalları, enerji səviyyəsinin eni, parçalanma ehtimalları) hesablanmasında, həmçinin adron-adron və adron-lepton toqquşma proseslərində adronların dalğa funksiyalarının seçilməsində istifadə oluna bilər. İşdə Viqner funksiyası və digər kvant paylanma funksiyaları üçün verilmiş ifadələr sonlu-fərq sistemlərinin, qəfəs üzərində kvant fiziki sistemlərin xassələrini öyrənərkən tətbiq oluna bilər. Eyni zamanda, dissertasiyada sonlu-fərq tənliklərin təklif olunmuş həll metodları nəzəri və riyazi fizikanın məsələlərinin həllində yararlı ola bilər.

Alınmış nəticələrin doğruluğu və etibarlılığı. Dissertasiyada verilmiş nəticələrin doğruluğu və etibarlılığı onunla sübut olunur ki, həmin nəticələr nəzəri və riyazi fizikanın, xüsusi funksiyalar nəzəriyyəsinin, diferensial və sonlu-fərq tənliklərin həlli metodlarının köməyilə alınmışdır. Bundan başqa onların müxtəlif limit hallarında və xüsusi hallarda elmi ədəbiyyatda məlum olan ifadələrlə üst-üstə düşməsi ilə sübut olunur.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Relyativistik kvant zərrəciyinin xarici lokal bircins sahədə dəqiq həll olunan sonlu-fərq modeli qurulmuşdur. Modelin konfiqurasiya və impuls fəzalarında dalğa funksiyalarının və propaqatorlarının aşkar şəkilləri tapılmışdır.

2. Relyativistik kvant zərrəciyinin xarici qeyri-lokal bircins sahədə dəqiq həll olunan modeli qurulmuşdur. Modelin konfiqurasiya və impuls fəzalarında dalğa funksiyaları və propaqatorları müəyyən edilmişdir.

3. Xarici lokal bircins sahədə relyativistik kvant zərrəciyi modeli üçün Viqner paylanma funksiyası və standart nizamlanmış paylanma funksiyası tapılmışdır.

4. Xarici bircins sahədə relyativistik kvant zərrəciyinin qeyri-lokal modeli üçün faza təsviri qurulmuşdur.

5. Sərbəst zərrəcik üçün və xarici bircins sahədə zərrəcik üçün qeyri-lokal Şredinger tənliyinin həlləri tapılmışdır.

İşin aprobasiyası. Dissertasiyanın materialları Respublika elmi konfranslarında müzakirə olunmuşdur:

- AMEA Fizika İnstitutunun seminarlarında;
- AMEA aspirant və dissertantlarının elmi konfranslarında (Bakı, 2009 və 2012);
- AMEA Radiasiya problemləri İnstitutunun elmi konfransında (Bakı, 2011);
- BDU-nun «Fizikanın problemləri» elmi konfransında (Bakı, 2008).

Nəşrlər. Dissertasiya işinin mövzusuna dair 9 elmi iş (5 məqalə və 4 konfrans materialı) dərc olunmuşdur. O cümlədən xarici indeksləşdirilmiş jurnalda (Phys. Lett A) – 1, respublikadaxili jurnallarda – 4 məqalə və həmçinin respublika elmi konfranslarında və AMEA aspirant və dissertantlarının konfrans materiallarında 4 məqalə çap olunmuşdur.

Dissertasiyanın quruluşu və həcmi. Dissertasiya işi Girişdən, 3 fəsildən, əsas nəticələrdən, istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Dissertasiya işində istinad olunan 92 adda mənbədən ibarət ədəbiyyat siyahısı da daxil olmaqla iş 134 səhifəni əhatə edir.

İŞİN QISA MƏZMUNU

Girişdə dissertasiyanın elmi mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, işin məqsədi, elmi yeniliyi, nəzəri və praktiki əhəmiyyəti şərh edilmişdir. Burada həmçinin dissertasiyada baxılan məsələlər haqqında mövcud nəzəri işlərin qısa xülasəsi verilmişdir.

Birinci fəsildə relyativistik kvant zərrəciyinin xarici lokal bircins sahədə modeli qurulmuş və tədqiq edilmişdir. Baxılan model relyativistik sonlu-fərq kvant mexanikası çərçivəsində formulə edilmişdir. Sistemin dalğa funksiyaları və propaqatorları relyativistik konfiqurasiya x və p-impuls təsvirlərində təyin olunmuşdur. Dalğa funksiyalarının ortoqonallıq və tamlıq şərtləri verilmişdir. Alınmış relyativistik ifadələrin müxtəlif limit ($c \to \infty$ limiti, $F \to 0$ limiti) hallarına baxılmışdır.

§1.2 və §1.3-də zərrəciyin xarici bircins sahədə birölçülü hərəkəti haqqındakı kvant-mexaniki məsələ relyativistik hala ümumiləşdirilmişdir.

§1.2-də məsələ p- impuls təsvirində, §1.3-də isə relyativistik konfiqurasiya x- təsvirində tədqiq edilmişdir.

Relyativistik halda impuls fəzası $p_0^2 - p^2 = m^2c^2, p_0 > 0$ kütlə hiperbolasında reallaşmış Lobaçevski fəzasıdır.

p- və x- fəzaları arasında keçid relyativistik Furye çevirməsilə verilir

$$\psi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hbar}} \int \xi(p, x)\phi(p) d\Omega_p \,, \tag{1}$$

burada

$$\xi(p,x) = \left(\frac{p_0 + p}{mc} \right)^{ix/\lambda\!\!\!^{-}} \equiv e^{ix\chi/\lambda\!\!\!^{-}} \,, \tag{2}$$

$$d\Omega_p = mcd\chi \,.$$

İmpuls təsvirində relyativistik kvant zərrəciyinin xarici lokal bircins sahədə hərəkəti

$$(E - E_p)\phi(p) = -\frac{i\lambda\!\!\!^{-}F}{c} E_p \frac{d}{dp} \tag{3}$$

tənliyilə və ya

$$\left(-i\lambda\!\!\!^{-}F \frac{d}{d\chi} + mc^2 ch\chi \right) \phi(p) = E\phi(p) \tag{4}$$

tənliyilə təsvir olunur.

Qeyri-relyativistik limitdə $(c \to \infty)$ (4) tənliyi uyğun qeyri-relyativistik Şredinger tənliyinə keçir.

(4) tənliyini həll edərək, p- impuls təsvirində relyativistik kvant zərrəciyinin dalğa funksiyasını taparıq:

$$\phi_E(p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hbar F}} e^{\frac{i}{\lambda\!\!\!^{-}F}(E\chi - mc^2 sh\chi)} \tag{5}$$

Qeyd edək ki, (5) funksiyaları ortoqonaldır və tam funksiyalar sistemi əmələ gətirir, yəni,

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi_E^*(p)\Phi_{E'}(p)d\Omega p = \delta(E-E') \tag{6a}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi_E^*(p')\phi_E(p)dE = \frac{1}{mc}\delta(\chi-\chi') \cdot \tag{6b}$$

Dalğa funksiyasının modulunun kvadratı sabitdir

$$W(p) = |\phi_E(p)|^2 = \frac{1}{2\pi\hbar F} \ ,$$

başqa sözlə, zərrəcik fəzanın istənilən nöqtəsində ola bilər və bu ehtimallar bir-birinə bərabərdir. Zərrəciyin enerji spektri kəsilməzdir $E \in (-\infty;\infty)$.

$\phi_E(p)$ dalğa funksiyası düzgün qeyri-relyativistik limitə malikdir.

Relyativistik konfiqurasiya fəzasında kvant zərrəciyinin xarici lokal bircins sahədə hərəkəti aşağıdakı sonlu-fərq tənliyi ilə təsvir olunur:

$$[mc^2 ch(i\lambda\partial x) - Fx]\psi(x) = E\psi(x). \tag{7}$$

Bu tənliyin həlli iki üsulla tapılmışdır və göstərilmişdir ki, relyativistik konfiqurasiya x- təsvirində dalğa funksiyasının aşkar ifadəsi

$$\psi_E(x) = \frac{1}{\pi\hbar\sqrt{F}} e^{\frac{\pi}{2\lambda}(x+E/F)} K_{i(x+E/F)/\lambda}\left(\frac{mc^2}{\lambda F}\right) \tag{8}$$

kimidir, burada $K_\nu(z)$ Makdonald funksiyasıdır. $\psi_E(x)$ funksiyasın $x \to \pm\infty$ limitlərində asimptotik davranışları tapılmışdır.

$\psi_E(x)$ dalğa funksiyaları aşağıdakı ortoqonallıq və tamlıq şərtlərini ödəyir

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi_E^*(x)\psi_{E'}(x)dx = \delta(E-E'),$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi_E^*(x)\psi_E(x')dE = \delta(x-x'). \tag{9}$$

(9) –u isbat etmək üçün əvvəlcə isbat etmişik ki,

$$\lim_{z\to 0} K_{ix}(z) = \pi\delta(x).$$

Qeyd edək ki, (8) $\psi_E(x)$ dalğa funksiyası düzgün $c \to \infty$ limitinə malikdir və bu zaman Makdonald funksiyası üçün maraqlı limit münanibətin alırıq:

$$\lim_{a\to\infty} a e^{\frac{\pi}{2}(a^3+ab)} K_{i(a^3+ab)}(a^3) = \pi\sqrt[3]{2}Ai\left(-\sqrt[3]{2}b\right) \qquad (10)$$

§1.4–də (7) tənliyinə uyğun olaraq evolyasiya operatoru qurulmuşdur. Tərifə görə $|\psi(t)>$ hal vektorunun zamana görə evolyusiyası (təkamülü) $\hat{U}(t)$ evolyusiya operatorunun köməyilə təyin olunur, yəni

$$|\psi(t)> = \hat{U}(t)|\psi(0)>,$$

burada $|\psi(0)>$ başlanğıc hal vektorudur. Onun aşkar şəkli x- təsvirində

$$U(x,t) = e^{\frac{iFt}{\hbar}x} \exp\left[\sigma_1 ch(i\lambda\!\!\!^{-}\partial_x) + \sigma_2 sh(i\lambda\!\!\!^{-}\partial_x)\right] \qquad (11a)$$

kimi, p- təsvirində isə

$$U(p,t) = e^{-2izsh(Ft/2mc)sh\left(\chi - \frac{Ft}{2mc}\right)} e^{-\frac{Ft}{mc}\partial_\chi} \qquad (11b)$$

kimidir, burada

$$\sigma_1 = -\frac{imc^2}{\hbar}\int_0^t ch\left(\frac{Ft'}{mc}\right)dt', \quad \sigma_2 = -\frac{imc^2}{\hbar}\int_0^t sh\left(\frac{Ft'}{mc}\right)dt',$$

$$z = mc^2/\lambda\!\!\!^{-}F.$$

Evolyusiya operatorunu bilmək hərəkət tənliyini həll etməyə ekvivalentdir.

Evolyusiya operatoru (11) düzgün qeyri – relyativistik limitə malikdir

$$\lim_{c\to\infty} U(x,t) = e^{\frac{imc^2}{\hbar}t} U_N(x,t) \qquad (12a)$$

və

$$\lim_{c\to\infty} U(p,t) = e^{-\frac{imc^2}{\hbar}t} U_N(p,t) \qquad (12b)$$

Hesabamalar göstərir ki,

$$U_N(x,t) = \exp\left[\frac{iFt}{\hbar}(x - \frac{Ft^2}{6m})\right]\exp\left[\frac{it}{2m}\left(\hbar\partial_x^2 - Ft\partial_x\right)\right]$$

və

$$U_N(p,t) = \exp\left[-\frac{it}{2m\hbar}\left(\frac{F^2t^2}{3m} - Ftp + p^2\right)\right]e^{-Ft\partial_P}.$$

Evolyusiya operatorunu bilərək, sistemin Qrin funksiyalarını (propaqatorlarını) hesablaya bilərik, çünki propaqator bu operatorun nüvəsidir.

Bundan başqa U və U^{-1} operatorlarının köməyilə hərəkət inteqrallarını qurmaq olar

$$\hat{x} = \overline{U}xU^{-1} = x + \lambda z\left[ch\left(\frac{Ft}{mc} + i\lambda\partial_x\right) - ch\left(i\lambda\partial_x + \frac{Ft}{2mc}\right)\right] \tag{13a}$$

$$\hat{p} = UpU^{-1} = mcsh\left(i\lambda\partial_x + \frac{Ft}{2mc}\right) . \tag{13b}$$

Onların qeyri-relyativistik limitləri belədir

$$\lim_{c\to\infty}\hat{x} = x + \frac{i\hbar}{m}\partial_x + \frac{Ft^2}{2m},$$

$$\lim_{c\to\infty}\hat{p} = -i\hbar\partial_x - Ft .$$

Bu fəsildə biz xarici lokal bircins sahədə relyativistik zərrəciyin sonlu-fərq modelini ətraflı öyrəndik, dalğa funksiyalarını və evolyusiya operatorlarını qurduq, onların $c\to\infty$ limit hallarına baxdıq.

İkinci fəsildə relyativistik kvant zərrəciyinin xarici qeyri-lokal bircins sahədə modeli qurulmuş və tədqiq edilmişdir. Baxılan model qeyri-lokal qarşılıqlı təsirlərin nəzəriyyəsinə aid olub, bu oblastda dinamik kvant sistemlərinin xassələrinin izahında tətbiq oluna bilər. Sistemin dalğa funksiyaları həm relyativistik konfiqurasiya x-fəzasında, həm də impuls p-fəzasında təyin olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, qeyri-lokal qarşılıqlı təsir qeyri-relyativistik limitdə (c→∞) yox olur. Bu o deməkdir ki, qarşılıqlı təsirin qeyri-lokal xarakteri relyativistik təbiətə malikdir. Bundan başqa sistem üçün propaqator və Viqner funksiyası qurulmuş, onların c→∞ limit halları alınmışdır.

§2.1 xülasə xarakterlidir. Burada lokal və qeyri-lokal qarşılıqlı təsirlər və onların fizikada rolu haqında məlumat verilmiş və qeyd olunmuşdur ki, lokal qarşılıqlı təsir yaxına təsir prinsipinin, qeyri-lokal qarşılıqlı təsir isə uzağa təsir prinsipinin ($x \le \ell$ oblastında) reallaşmasıdır, burada ℓ - fundamental uzunluqdur.

§2.2-də relyativistik sonlu-fərq kvant mexanikası çərçivəsində xarici qeyri-lokal bircins sahə modeli daxil edilmişdir. Təklif olunan qeyri-lokal məsələ dəqiq həll olunandır. Dəqiq həll olunan məsələlərin, istər relyativistik kvant mexanikası məsələləri arasında, istərsə də qeyri-relyativistik kvant mexanikası məsələləri arasında özünə məxsus yeri var. Onlar bir çox digər problemlərin həllərinin, üzərində qurulduğu bünövrə rolunu oynamaqla yanaşı, həm də simmetriya baxımından, tətbiq olunan yaxınlaşmaların əsaslandırılması baxımından böyük əhəmiyyətə malikdir.

Relyativistik konfiqurasiya x-fəzasında kvant zərrəciyinin hərəkəti sonlu-fərq inteqral tənliklə təsvir olunur:

$$(H_0 - E)\psi(x) = \int_{-\infty}^{\infty} V(x, x'; E)\psi(x')dx', \tag{14}$$

burada $V(x, x'; E)$ – qeyri-lokal qarşılıqlı təsirin potensial enerjisidir və ümumi halda E- enerjisindən asılıdır. Bu tənlik qeyri-lokal tənlikdir, çünki (14) tənliyində funksiyaların qiyməti təkcə x-nöqtəsindən deyil, həm də fəzanın müəyyən oblastının nöqtələrindən asılıdır. (14)-də inteqrallama məhz bu fəza oblastı üzrə aparılır.

Qeyri-lokal bircins sahənin konkret bir relyativistik modelini qurmaq üçün (14) tənliyində p- təsvirinə keçək və $k_p = 2mcsh\left(\frac{\chi}{2}\right)$ dəyişəni daxil edək

$$\left[\frac{k_p^2}{2m} + V\left(k_p, \partial_{k_p}\right)\right]\phi(k_p) = e\phi(k_p) \tag{15}$$

$$e = E - mc^2$$

Relyativistik (15) tənliklə qeyri-relyativistik tənlik arasındakı oxşarlıqdan istifadə edərək, indi təbii olaraq qeyri-lokal bircins sahənin aşağıdakı modelini yaza bilərik:

$$V(k_p, \partial_{k_p}) = -i\hbar F \frac{d}{dk_p} = -i\lambda F \frac{1}{ch\left(\frac{\chi}{2}\right)} \frac{d}{d\chi}. \tag{15a}$$

Beləliklə, qeyri-lokal (15a) bircins sahəsində relyativistik kvant zərrəciyinin hərəkəti

$$\left(mc^2 ch\chi - i\lambda F \frac{1}{ch(\chi/2)} \frac{d}{d\chi}\right)\phi(\chi) = E\phi(\chi) \tag{16}$$

tənliyilə təsvir olunacaqdır. Bu tənliyin həlli

$$\phi_E(k_p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hbar}} e^{\frac{i}{\hbar F}\left(ek_p - \frac{k_p^3}{6m}\right)}. \tag{17}$$

(17) dalğa funksiyaları sistemi ortoqonal və tamdır, yəni

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi_E^*(k_p)\phi_{E'}(k_p) ch\left(\frac{\chi}{2}\right) d\Omega_p = \int_{-\infty}^{\infty} \phi_E^*(k_p)\phi_{E'}(k_p) dk_p = \delta(E - E'), \tag{18a}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi_E^*(k_p)\phi_E(k'_p) dE = \delta(k_p - k'_p) = \frac{1}{mcch\left(\frac{\chi}{2}\right)} \delta(\chi - \chi') \tag{18b}$$

Beləliklə, biz qeyri-lokal bircins sahədə relyativistik kvant zərrəciyinin p-impuls təsvirində hərəkət tənliyini həll edərək, dalğa funksiyalarının aşkar şəklini tapdıq və göstərdik ki, onlar, birincisi, ortoqonal və tam sistem əmələ gətirir, ikincisi, düzgün qeyri-relyativistik limitə malikdir. Zərrəciyin belə sahədə enerji spektri kəsilməz olub, $E \in (-\infty; \infty)$ qiymətlərini alır.

§2.3-də relyativistik kvant zərrəciyinin hərəkətinə koordinat təsvirində baxılmışdır. Xarici qeyri-lokal bircins sahədə kvant zərrəciyi relyativistik sonlu-fərq kvant mexanikası çərçivəsində konfiqurasiya x-təsvirində (14) inteqral tənliyini ödəyir. Qeyri-lokal $V(x, x', E)$ potensial enerjisi

$$V(x, x') = -\frac{Fx'}{\lambda ch\left[\frac{\pi(x - x')}{\lambda}\right]} \tag{19}$$

ifadəsinə malikdir. Bu funksiya qeyri-relyativistik limitdə lokal şəkil alır, yəni

$$\lim_{c\to\infty} V(x, x') = Fx\delta(x - x'). \tag{20}$$

İndi (19)-u (14)-də yerinə yazaraq, alınan tənliyi həll etsək, relyativistik x-fəzasında zərrəciyin $\psi_E(x)$ dalğa funksiyasını tapmış olarıq:

$$\psi_E(x) = \frac{2}{\pi\lambda\sqrt{F}} e^{izsh\left(\frac{3i\lambda}{2}\partial_x\right)} e^{-\frac{\pi x}{\lambda}} K_{2ix/\lambda}(a). \tag{21}$$

Burada aşağıdakı işarələmələr qəbul edilmişdir:

$$z = \frac{mc^2}{3\lambda F}, \quad a = \frac{2E - mc^2}{\lambda F}.$$

(21)-də sonlu-fərq operatorunun təsvirini hesablasaq, dalğa funksiyası sonsuz

$$\psi_E(x)=\frac{2}{\pi ƛ\sqrt{F}}e^{-\frac{\pi x}{ƛ}}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\left(\frac{iz}{2}\right)^n}{n!}\sum_{k=0}^{n}(-1)^k C_n^k K_{2ix/ƛ-6(n-2k)}(a) \qquad (22)$$

cəmi şəklində yazıla bilər, burada C_n^k – binomial əmsallardır.

§2.5 relyativistik qeyri-lokal Şredinger tənliyi ilə təsvir olunan zərrəciyin bircins sahədə hərəkətinin tədqiqinə həsr olunmuşdur.

Relyativistik zərrəciyin hərəkət tənliyi belədir:

$$i\hbar\partial_t\psi(x,t)=[H_0(x)-Fx]\psi(x,t)\ . \qquad (23)$$

Burada qeyri-lokal sərbəst Hamilton operatoru

$$H_0(x)=c\sqrt{m^2c^2-ƛ^2\partial_x^2}$$

relyativistik $H_0(p)=c\sqrt{m^2c^2+p^2}=cp_0$ enerji operatorudur.

Əvvəlcə sərbəst zərrəciyə baxılmış (F=0) və göstərilmişdir ki, bu halda dalğa funksiyası

$$\psi_0(x,t)=A_0\int_{-\infty}^{\infty}\varphi_0(p)e^{-\frac{ic}{\hbar}p_0t+\frac{ipx}{\hbar}}dp\ , \qquad (24)$$

şəklində göstərilə bilər, burada $\varphi_0(p)$- ixtiyari funksiyadır. $\varphi_0(p)$- ni seçməklə müxtəlif hallar ala bilərik. $\varphi_0(p)=const/p_0$ seçimi (23) tənliyinin (F=0) Lorens - invariant həlli verir:

$$\psi_0(x,t)=A_0J(x,t), \qquad (25)$$

$$J(x,t)=-i\pi\,\mathrm{sgn}\,tH_0^{(m)}\left(\frac{\sqrt{c^2t^2-x^2}}{ƛ}\right),\quad |ct|>|x|,$$

$$=2K_0\left(\frac{\sqrt{x^2-c^2t^2}}{ƛ}\right),\quad |x|>|ct|\ .$$

(24)-də $\varphi_0(p)=const$ götürsək,

$$\psi_0(x,t) = A_0 \frac{i\hbar}{c} \partial_t J(x,t).$$

Burada həmçinin zərrəciyin propaqatoru üçün aşağıdakı ifadə alınmışdır:

$$K_0(x_2, x_1; t) = \frac{i}{2\pi c} \theta(t) \partial_t J(x_2 - x_1, t).$$

$F \neq 0$ olduqda, (23) tənliyinin həm x-, həm də p- təsvirlərində həlləri evolyusiya operatoru metodunun köməyilə tapılmışdır:

$$\psi(x,t) = \hat{U}(x,t)\upsilon(x), \tag{26a}$$

$$\phi(x,t) = \hat{U}(p,t)\varphi(p), \tag{26b}$$

burada

$$\hat{U}(x,t) = e^{-\frac{i}{\hbar}[H_0(x) - Fx]t} = e^{\frac{iFxt}{\hbar}} e^{-\frac{ic}{\hbar}\alpha_x}$$

$$\hat{U}(p,t) = e^{-\frac{i}{\hbar}[H_0(p) - i\hbar F \partial_p]t} = e^{\frac{ic\alpha_p}{\hbar}} e^{-Ft\partial_p}.$$

$$\alpha_x = \int_0^t \sqrt{m^2c^2 + (i\hbar\partial_x - Ft')^2}\, dt',$$

$$\alpha_p = \int_0^t \sqrt{m^2c^2 + (p - Ft')^2}\, dt'.$$

Propaqatorlar üçün də ifadələr alınmışdır.

Üçüncü fəsildə relyativistik sonlu-fərq kvant mexanikası çərçivəsində xarici lokal və qeyri-lokal bircins sahələrdə hərəkət edən zərrəciyin kvant paylanma funksiyaları qurulmuş, onların $c \to \infty$ limit hallarına baxılmışdır. Həmçinin baxılan dinamik sistem üçün müxtəlif təsvirlərdə (koordinat, impuls, qarışıq və energetik) propaqatorlar hesablanmışdır.

§3.1-də müqayisə üçün xarici bircins sahədə hərəkət edən qeyri-relyativistik kvant zərrəciyi üçün faza təsviri qurulmuş, §3.2-də isə propaqatorların aşkar şəkilləri tapılmışdır.

§3.3 relyativistik sərbəst zərrəcik və xarici lokal bircins sahədə hərəkət edən relyativistik zərrcik üçün faza təsvirləri qurulmuşdur. Relyativistik kvant paylanma funksiyalarının ifadələri relyativistik sonlu-fərq kvant mexanikası ilə qeyri-relyativistik kvant mexanikası arasındakı analogiyaya əsaslanaraq aşağıdakı kimi təyin olunmuşdur

$$W(p,x)=\frac{1}{2\pi\lambda}\int_{-\infty}^{\infty}\phi_E^*(\chi_1)\phi_E(\chi_2)e^{ix\chi'/\lambda}d\chi', \qquad (27a)$$

və ya

$$W(p,x)=\frac{1}{2\pi\lambda}\int_{-\infty}^{\infty}\psi_E^*(x_1)\psi_E(x_2)e^{\varepsilon\, ix'\chi/\lambda}dx', \qquad (27b)$$

burada $\chi_{1,2}=\chi\pm\chi'/2,\ x_{1,2}=x\mp x'$.

Nəticədə Viqner funksiyası (27) aşağıdakı ifadəyə bərabər olur:

$$W(p,x)=\frac{mc}{\pi^2\hbar^2F}e^{\frac{\pi(x+E/F)}{\lambda}}K_{\frac{2i(x+E/F)}{\lambda}}(2zch\chi). \qquad (28)$$

$z=mc^2/\lambda F$. (28) Viqner funksiyası lazımi şərtləri ödəyir:

$$\int_{-\infty}^{\infty}W(p,x)d\Omega_p=|\psi_E(x)|^2,$$

$$\int_{-\infty}^{\infty}W(p,x)dx=|\phi_E(\chi)|^2,$$

lakin enerjinin kəsilməz spektrinə uyğun olduğuna görə $\int_{-\infty}^{\infty}W(p,x)d\Omega_p dx=\infty$ ikiqat inteqralı dağılır. Bundan başqa Makdonald və Eyri funksiyaları arasındakı (10) limit münasibətinin köməyi ilə göstərmək olar ki, relyativistik Viqner funksiyası $W(p,x)$ düzgün qeyri-relyativistik limitə malikdir:

$$\lim_{c\to\infty}W(p,x)=W_N(p,x).$$

İndi Viqner funksiyasının sərbəst zərrəcik limitinə baxaq:

$$\lim_{F\to 0}W(p,x)=\frac{1}{2\pi\hbar}\delta\left(mc^2\left(ch\chi-ch\chi_p\right)\right).$$

Bu paraqrafda xarici lokal bircins sahədə relyativistik kvant zərrəciyinin Kirkvud paylama funksiyası təyin olunmuşdur: lokal bircins sahədə relyativistik kvant zərrəciyi üçün propaqator

$$F^S(p,x)=\frac{mc}{2\pi^2\hbar^2F}\exp\left\{\frac{i}{\lambda}\left[\left(x+\frac{E}{F}\right)\left(\frac{\pi}{2}+\chi\right)-\frac{mc^2}{F}sh\chi\right]\right\}K_{\frac{i(x+E/F)}{\lambda}}\left(\frac{mc^2}{\lambda F}\right). \qquad (29)$$

§3.4-də xarici lokal bircins sahədə relyativistik kvant zərrəciyi üçün propaqatorlar (Feynman amplitudları) qurulmuşdur. Onlar sistemin evolyusiya operatorunun uyğun təsvirdə matrisa elementleridir. Məsələn, konfiqurasiya x-təsvirində

$$K(x_2,t_2;x_1,t_1) = < x_2 | U(t_2,t_1) | x_1 > .$$

Dalğa funksiyalarının aşkar şəkillərini bilərək, biz propaqatorları tapa bilərik.

İmpuls təsvirində

$$K(p_2,t_2;p_1,t_1) = \theta(t_2-t_1)\int_{-\infty}^{\infty}\phi_E(p_2)\phi_E^*(p_1)e^{-\frac{i}{\hbar}E(t_2-t_1)}dE .$$

Bu inteqralın hesablanması aşağıdakı nəticəni verir:

$$K(p_2,t_2;p_1,t_1) = \theta(t_2-t_1)e^{\frac{imc^2}{\lambda F}(sh\chi_2 - sh\chi_1)}\delta\left(mc(\chi_2-\chi_1) - F(t_2-t_1)\right). \tag{30}$$

Asanlıqla göstərmək olar ki, (30) propaqatoru düzgün qeyri-relyativistik limitə malikdir, yəni

$$\lim_{c\to\infty}K(p_2,t_2;p_1,t_1) = e^{\frac{imc^2}{\hbar}(t_2-t_1)}\theta(t_2-t_1)e^{-i\frac{p_2^3-p_1^3}{6m\hbar F}}\delta\left(p_2-p_1-F(t_2-t_1)\right).$$

(30) –un sərbəst zərrəcik limiti ($F \to 0$) üçün alırıq

$$\lim_{F\to 0}K(p_2,t_2;p_1,t_1) = \theta(t_2-t_1)e^{-\frac{imc^2}{\hbar}(t_2-t_1)}\delta\left(mc(\chi_2-\chi_1)\right).$$

Propaqator x- təsvirində

$$K(x_2,t_2;x_1,t_1) = \theta(t_2-t_1)\int_{-\infty}^{\infty}\psi_E(x_2)\psi_E^*(x_1)e^{-\frac{i}{\hbar}E(t_2-t_1)}dE$$

kimi təyin oluna bilər və ikinci növ Hamilton funksiyası ilə ifadə olunur.

$$K(x_2,t_2;x_1,t_1) = \\ = \frac{\theta(t_2-t_1)}{2i\lambda}e^{\frac{\pi}{2\lambda}(x_2-x_1)}e^{i\frac{F(x_2+x_1)(t_2-t_1)}{2\hbar}}H^{(2)}_{i(x_2-x_1)/\lambda}\left(\frac{2mc^2}{\lambda F}sh\left(\frac{F(t_2-t_1)}{2mc}\right)\right) . \tag{31}$$

Qeyd edək ki, ($F \to 0$) olduqda bu ifadə sərbəst relyativistik kvant zərrəciyinin konfiqurasiya təsvirində propaqatoru ilə üst-üstə düşür:

$$\lim_{F\to 0}K(x_2,t_2;x_1,t_1) = \frac{\theta(t_2-t_1)}{2i\lambda}e^{\frac{\pi}{2\lambda}(x_2-x_1)}H^{(2)}_{i(x_2-x_1)/\lambda}\left(\frac{mc^2}{\hbar}(t_2-t_1)\right).$$

Uzun hesablamalardan sonra göstərmək olar ki, (31) propaqatoru düzgün qeyri-relyativistik limitə malikdir.

$$\lim_{F\to 0} K(x_2,t_2;x_1,t_1) = e^{-i\frac{mc^2}{\lambda}(x_2-x_1)} \cdot \sqrt{\frac{m}{2\pi i\lambda(t_2-t_1)}}\cdot$$

$$\cdot\theta(t_2-t_1)\exp\left\{\frac{i}{\hbar}\left[\frac{m(\chi_2-\chi_1)^2}{2(t_2-t_1)}+\frac{1}{2}F(x_2+x_1)(t_2-t_1)\cdot\frac{F^2(t_2-t_1)^3}{24m}\right]\right\}.$$

Beləliklə, bu yarımfəsildə biz xarici bircins sahədə kvant zərrəciyi haqqındakı məsələni relyativistik hala ümumiləşdirdik. Bizim model sonlu-fərq tənliyi ilə təsvir olunur və dəqiq həll olunur. Biz dalğa funksiyalarının, kvant paylanma funksiyalarının və propaqatorun həm x-, həm də p-təsvirlərində aşkar şəkillərini tapdıq. Onlar düzgün qeyri-relyativistik ($c\to\infty$) və sərbəst zərrəcik ($F\to 0$) limitlərinə malikdirlər.

Biz hesab edirik ki, qeyri-relyativistik halda olduğu kimi (məsələn, bax [89]), baxdığımız relyativistik model də kvant mexanikasında və zərrəciklər fizikasında geniş tətbiqlər tapacaqdır.

§3.5-də xarici qeyri-lokal bircins sahədə relyativistik kvant zərrəciyi üçün paylanma funksiyaları və propaqatorlar təyin olunmuşdur.

Relyativistik kvant zərrəciyinin qeyri-lokal bircins sahədə (19) dalğa funksiyalarının aşkar şəkilini (21) bilərək, zərrəciyin kvant paylanma funksiyalarını qura bilərik.

Nəticədə Viqner paylama funksiyası üçün aşağıdakı inteqral təsviri alırıq:

$$W(p,x)=\frac{mc}{4\pi^2\hbar^2F}e^{iz_1 sh\left(\frac{3i\lambda}{2}\partial_x\right)}\int_{-\infty}^{\infty}e^{ia_1 sh\left(\frac{\chi'}{4}\right)+\frac{ix\chi'}{\lambda}}d\chi',$$

burada belə işrələmələr qəbul olunmuşdur:

$$z_1=2zch\left(\frac{3\chi}{2}\right),\quad a_1=\frac{2E-mc^2}{\lambda F}.2ach\left(\frac{\chi}{2}\right).$$

İnteqral hesablandıqdan sonra

$$W(p,x)=\frac{2mc}{\pi^2\hbar^2F}e^{iz_1 sh\left(\frac{3i\lambda}{2}\partial_x\right)}e^{\frac{-2\pi x}{\lambda}}K_{4ix/\lambda}(a_1). \qquad (32)$$

Bura daxil olan sonlu-fərq operatorunun təsirini hesablayaraq Viqner funksiyası üçün sonsuz cəm alarıq:

$$W(p,x)=$$

$$=\frac{2mc}{\pi^2\hbar^2F}e^{-\frac{2\pi x}{\lambda\!\!\!^-}}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\left(-iz_1ch\frac{3\chi}{2}\right)^n}{n!}\sum_{k=o}^{n}(-1)^kC_n^kK_{4ix/\lambda\!\!\!^- -6(n-2k)}\left(2ach\left(\frac{\chi}{2}\right)\right) \tag{33}$$

Biz indi Kirkvud paylanma funksiyasını quraq. Nəticə belədir:

$$F^S(p,x)=\frac{mc}{\pi^2\hbar^2\sqrt{F}}e^{izsh\left(\frac{3i\lambda\!\!\!^-}{2}\partial_x\right)}e^{-\pi x/\lambda\!\!\!^-}K_{2ix/\lambda\!\!\!^-}(a)e^{\frac{i}{\hbar F}\left(ek_p-\frac{k_p^3}{6m}\right)}. \tag{34}$$

Qeyri-lokal bircins sahədə hərəkət edən relyativistik zərrəciyin bir nöqtədən digərinə keçid amplitudları rolunu propaqatorlar oynayır. Dalğa funksiyalarını bilərək, qeyri-lokal bircins sahədə relyativistik kvant zərrəciyinin propaqatorlarını hesablaya bilərik. Impuls təsvirində propaqatorun ifadəsi

$$K(p_2,t_2;\,p_1,t_1)=$$

$$=\theta(t_2-t_1)e^{iz\left[sh\left(\frac{3}{2}\chi_1\right)-sh\left(\frac{3}{2}\chi_2\right)\right]-\frac{imc^2}{2\hbar}(t_2-t_1)}\delta\left(2mc\left(sh\frac{\chi_2}{2}-sh\frac{\chi_1}{2}\right)-F(t_2-t_1)\right). \tag{35}$$

Asanlıqla göstərmək olar ki, (35) ifadəsi $c\to\infty$ limitində xarici bircins sahədə qeyri-relyativistik kvant zərrəciyinin propaqatoru ilə üst-üstə düşür, yəni

$$\lim_{c\to\infty}K(p_2,t_2;p_1,t_1)=K_N(p_2,t_2;p_1,t_1).$$

İndi (35) ifadəsinin sərbəst zərrəcik limitinə ($F\to 0$) baxaq:

$$\lim_{F\to 0}K(p_2,t_2;p_1,t_1)=K_0(p_2,t_2;p_1,t_1),$$

$$K_0(p_2,t_2;p_1,t_1)=\theta(t_2-t_1)e^{-\frac{imc^2}{\hbar}(ch\chi_1-1)(t_2-t_1)}\delta\left(2mc\left(sh\frac{\chi_2}{2}-sh\frac{\chi_1}{2}\right)\right). \tag{36}$$

Eyni zamanda $c\to\infty$ limitində K_0 üçün düzgün ifadə alırıq:

$$\lim_{c\to\infty}K_0(p_2,\,t_2;p_1,\,t_1)=\theta(t_2-t_1)e^{-\frac{ip_1^2}{2m}(t_2-t_1)}\delta(p_2-p_1). \tag{37}$$

Beləliklə, biz qeyri-lokal bircins sahədə relyativistik kvant zərrəciyi modeli üçün məsələni dəqiq həll etdik, dalğa funksiyalarının həm x-, həm də p-təsvirlərində aşkar şəklini tapdıq. Təklif etdiyimiz model üçün faza təsvirini inkişaf etdirdik, kvant paylanma funksiyalarını qurduq, propaqatorların ifadələrini aldıq.

Bütün relyativistik ifadələrin qeyri-relyativistik limitlərini ($c \to \infty$) aldıq və sərbəst zərrəcik limit halını ($F \to 0$) müəyyən etdik.

Alınmış nəticələr, o cümlədən dalğa funksiyaları, Viqner və digər kvant paylanma funksiyaları üçün verilmiş ifadələr elementar zərrəciklər sisteminin, relyativistik nüvələrin və sonlu-fərq kvant sistemlərinin müxtəlif xarakteristikalarını (spektrini, keçid ehtimallarını, dalğa funksiyalarını və s.) həmçinin klassik nəticələrə kvant və relyativistik əlavələri (düzəlişləri) nəzəri və praktik hesablayarkən faydalı ola bilər. Bundan başqa dissertasiyada relyativistik ifadələrin qeyri-relyativistik limitlərinin hesablanması sonlu-fərq tənliklərin verilmiş həll metodları, müxtəlif riyazi fizika məsələlərinin həllində tətbiq oluna bilər.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

Dissertasiyada alınmış əsas nəticələr aşağıdakılardır:

1. Xarici lokal bircins sahədə relyativistik kvant zərrəciyinin sonlu-fərq modeli təklif olunmuşdur. Həm relyativistik konfiqurasiya x-təsvirində, həm də p-impuls təsvirində sistemin kəsilməz enerji spektrinə uyğun dalğa funksiyaları tapılmışdır. Göstərilmişdir ki, alınmış ifadələr düzgün qeyri-relyativistik limitə malikdirlər.

2. Xarici qeyri-lokal bircins sahədə relyativistik kvant zərrəciyinin sonlu-fərq modeli təklif olunmuşdur. Həm relyativistik konfiqurasiya x-təsvirində, həm də p-impuls fəzasında sistemin kəsilməz enerji spektrinə uyğun dalğa funksiyaları tapılmışdır. Göstərilmişdir ki, relyativistik ifadələr düzgün $c \to \infty$ limitinə malikdirlər və qeyri-lokallıq qeyri-relyativistik limitdə aradan qalxır, yəni relyativistik təbiətə malikdir.

3. Xarici lokal bircins sahədə relyativistik kvant zərrəciyi modelinin faza təsviri qurulmuşdur. Sistemin Viqner funksiyası və Kirkvud paylanma funksiyası üçün analitik ifadələr alınmışdır. Relyativistik ifadələrin qeyri-relyativistik limitləri hesablanmışdır.

4. Xarici qeyri-lokal bircins sahədə relyativistik kvant zərrəciyi modelinin faza təsviri qurulmuşdur. Sistemin Viqner funksiyasının və Kirkvud funksiyasının analitik şəkilləri təyin edilmişdir.

5. Xarici lokal və qeyri-lokal sahələrdə relyativistik kvant zərrəciyi modelləri üçün həm relyativistik konfiqurasiya x-təsvirində, həm də p-impuls təsvirində evolyusiya operatoru, həmçinin propaqatorlar qurulmuşdur. Relyativistik ifadələrin qeyri-relyativistik limitləri hesablanmışdır.

6. Sərbəst zərrəcik üçün və xarici bircins sahədə zərrəcik üçün qeyri-lokal relyativistik Şredinger tənliyinin həlləri tapılmışdır.

Dissertasiya işinin mövzusu üzrə çap olunmuş elmi əsərlər:

1. Нагиев Ш.М., Джафарова К.Ш., Кулиева С.И., Релятивистская квантовая частица под действием зависящей от времени силы / Gənc alimlərin elmi konfransı, II Respublika İnnovativ İdeya Yarmarkası çərçivəsində Gənc alimlərin elmi konfransı Bakı, 25-27 iyul, 2012-ci il, s. 42-46.
2. Nagiyev Sh.M., Guliyeva S.I., Relativistic quantum particle in a homogeneons extermal field // Phys. Lett. A, 2009, Vol. 373, pp. 2810-2813.
3. Nağıyev Ş.M., Quliyeva S.İ., Bircins sahədə relyativistik kvant zərrəciyinin Viqner paylanma funksiyası / AMEA Radiasiya problemləri İnstitutu, Alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadənin perspektivləri, Respublika konfransı, Bakı 1-2 iyun, 2011-ci il, s.73-75.
4. Нагиев Ш.М., Джафарова К.Ш., Кулиева С.И., Движение релятивистской квантовой частицы в однородном поле / BDU, Fizika problemləri İnstitutu, «Fizikanın müasir problemləri» II Respublika konfransı, Bakı, 28-29 noyabr, 2008-ci il, s. 59-62.
5. Quliyeva S.İ. Relyativistik kvant zərrəciyinin qeyri-lokal bircins sahədə hərəkəti / AMEA aspirantlarının elmi konfransı, Bakı, iyun 2009-cu il, səh 66-70.
6. Nagiyev Ş.M., Quliyeva S.İ., Qeyri-lokal Şredinger tənliyi və relyativistik kvant zərrəciyi bircins sadədə, Azərbaycan Texniki Universiteti, Elmi əsərlər, cild2, №2, 2014, səh. 153-157.
7. Нагиев Ш.М., Джафарова К.Ш., Кулиева С.И., Движение релятивистской квантовой частицы в однородном поле // FİZİKA, 2009, c. XV, №2, s.190-194.
8. Nağıyev Ş.M., Cəfərova K.Ş., Quliyeva S.İ. Bəzi birölçülü relyativistik sistemlər üçün kvant paylanma funksiyaları // AJP Fizika, 2011, C. 27, s.10-15.
9. Nağıyev Ş.M., Quliyeva S.İ. Relyativistik kvant zərrəciyi xarici qeyri-lokal bircins sahədə // AJP Fizika, 2014, C. 1

СВЕТЛАНА ИБРАГИМ кызы КУЛИЕВА

ДВИЖЕНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ КВАНТОВОЙ ЧАСТИЦЫ ВО ВНЕШНИХ ЛОКАЛЬНЫХ И НЕЛОКАЛЬНЫХ ОДНОРОДНЫХ ПОЛЯХ

РЕЗЮМЕ

Диссертационная работа посвящена построению и исследованию конечно-разностных моделей, описывающих движение релятивистической квантовой частицы во внешних локальных и нелокальных однородных полях.

В диссертации получены следующие основные результаты:

1. Во внешнем локальном однородном поле была предложена конечно-разностная модель релятивистской квантовой частицы. Найдены релятивистская конфигурация как x-изображений, так и p-импульс изображений волновых функций соответствующих системе с непрерывным энергетическим спектром. Было показано, что полученные выражения имеют правильный нерелятивистский предел.

2. Во внешнем нелокальном однородном поле была предложена конечно-разностная модель релятивистской квантовой частицы Найдены релятивистская конфигурация как x-изображений, так и p-импульс изображений волновых функций соответствующих системе с непрерывным энергетическим спектром. Было показано, что релятивистские выражения имеют правильный $c \to \infty$ предел при этом нелокальность и нерелятивность исчезают, то есть обладают релятивистской природой.

3. Во внешнем локальном однородном поле было установлено фазовое описание релятивистской квантовой частицы. Выведены аналитические выражения для функции Вигнера и функции распределения Кирквуда системы. Были подсчитаны нерелятивистские пределы релятивистских выражений.

4. Во внешнем нелокальном однородном поле было установлено фазовое описание релятивистской квантовой частицы. Выведены аналитические выражения для функции Вигнера и функции распределения Кирквуда системы.

5. Во внешних локальных и нелокальных полях для моделей релятивистской квантовой частицы были построены релятивистская конфигурация x-изображений, оператор эволюции p-импульс изображений, а также пропагаторы. Были подсчитаны нерелятивистские пределы релятивистских выражений.

6. Найдены решения нелокального релятивистского уравнения Шредингера для свободной частицы и для частицы во внешнем однородном поле.

SVETLANA IBRAHIM kizi GULIYEVA

THE MOVEMENT OF A RELATIVISTIC QUANTUM PARTICLE IN EXTERNAL LOCAL AND NONLOCAL HOMOGENEOUS FIELDS

SUMMARY

The dissertation work is devoted to construction and research of the finite-difference models describing the movement of a relativistic quantum particle in external local and nonlocal homogeneous fields.

In the dissertation the following main results are received:

1. In an external local homogeneous field the finite-difference model of a relativistic quantum particle was offered. A relativistic configuration both of x - images, and p-impulse images of wave functions corresponding to system with continiuous energy spectrum are found. It was shown that the received expressions have the correct nonrelativistic limit.

2. In an external nonlocal homogeneous field the finite-difference model of a relativistic quantum particle was offered. A relativistic configuration both of x- images, and a p-impulse images of wave functions corresponding to the system with continuous energy spectrum are found.It was shown that relativistic expressions have the correct $c \to \infty$ limit, thus nonlocality and a nonrelativistic disappear, i.e. they is possess the relativistic nature.

3. In an external local homogeneous field the phase description of a relativistic quantum particle was established. Analytical expressions for Vigner's function and function of distribution of Kirkwood of system were received. The nonrelativistic limits of relativistic expressions were counted.

4. In an external nonlocal homogeneous field the phase description of a relativistic quantum particle was established. Analytical expressions for Vigner's function and function of distribution of Kirkwood of system were received.

5. In external local and nonlocal fields for models of a relativistic quantum particle were constructed a relativistic configuration x - images, the operator of evolution of p-impulse images and also propagators. The nonrelativistic limits of relativistic expressions were counted.

6. The solutions of relativistic Schrodinger equation for a free particle and for a particle in external homogeneous field were found.

Сифариш № 12. Тиражы 100 нцсхя

Азярбайъан МЕА Эеолоэийа və Geofizika
Институту
«Нафта-Пресс» няшриййаты,
Бакы, Щ.Ъавид пр. 119, Тел.: 539-39-72

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ имени академика Г.М. Абдуллаева

На правах рукописи

СВЕТЛАНА ИБРАГИМ кызы КУЛИЕВА

ДВИЖЕНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ КВАНТОВОЙ ЧАСТИЦЫ ВО ВНЕШНИХ ЛОКАЛЬНЫХ И НЕЛОКАЛЬНЫХ ОДНОРОДНЫХ ПОЛЯХ

2212.01 – теоретическая физика

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора философии по физике

БАКУ – 2015