



AZƏRBAYCAN ELM FONDU

**Azərbaycan Elm Fondunun
2022-ci il üçün ƏSAS qrant müsabiqəsinin
(AEF-MCG-2022-1(42)) qalibi olmuş
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə aralıq
(rüblük olaraq 1-ci mərhələ)**

ELMİ-TEXNİKİ HESABAT

Layihənin adı: **Dəyişən kütləli kvant dinamik sistemləri ilə təsvir olunan nanostrukturların və mikroiqtsadi hadisələrin tədqiqi**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Cəfərov Elçin İman oğlu**

Qrantın məbləği: **120 000**

Layihənin nömrəsi: **AEF-MCG-2022-1(42)-12/01/1-M-01**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **03 aprel 2023-cü il**

Qrant layihəsinin yerinə yetirilmə müddəti: **12 ay**

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 may 2023-cü il - 01 may 2024-cü il**

Layihənin I mərhələ üzrə (rüb) məbləği:

Hesabatda aşağıdakı məsələlər işıqlandırılmalıdır:

1 Layihənin həyata keçirilməsi üzrə cari rübdə yerinə yetirilmiş **elmi işlər**

Koordinatdan asılı effektiv kütləyə malik yarımkonfaynment harmonik ossilyator modelinin dinamik simmetriya cəbri tərəfimizdən qurulmuşdur.

Biz, $-1 < x < 1$ oblastında Yakobi çoxhədliləri üçün mövcud ortoqonallıq münasibətinin a və b -nin müsbət həqiqi ədədlər olduğu $a < x < b$ oblastında sürüşmüş Yakobi çoxhədliləri üçün modifikasiya olunmuş versiyasının bəzi detallarını müzakirə edərək, qeyd edilən texnikanı koordinatın yalnız müsbət qiymətlərində təyin olunan harmonik ossilyatorvari kvant çuxuru modelinə tətbiq etmişik.

q -deformasiya olunmuş kvant harmonik ossilyator modeli etibarsız satıcı-alıcı əlaqələrinin təsvir edilməsi üçün tətbiq olunmuşdur. Biz belə ehtimal etmişik ki, alıcı tərəfindən yaradılan tələb qanunu q -ossilyator modelinin koordinat fəzasındakı stasionar dalğa funksiyalarının modulunun kvadratı ilə, satıcı tərəfindən yaradılan təklif qanunu isə bu ossilyatorun impuls fəzasındakı stasionar dalğa funksiyalarının modulunun kvadratı ilə ifadə olunur. Daha sonra isə, onların etibarsız əlaqələrinin isə q -deformasiya olunmuş kvant harmonik ossilyatorunun stasionar hallarının Al Salam-Çihara çoxhədliləri ilə ifadə olunan Viqner funksiyası ilə ifadə olunduğunu ehtimal etmişik.

Tərəfimizdən, idarə edilən potensiala malik qeyri-relyativistik kvant sinqulyar ossilyatorunun dəqiq həll olunan modeli qurulmuşdur. Koordinatdan asılı kütlə sabit kütlənin yerinə elə üsulla daxil edilmişdir ki, potensialın şəklini məqsəduyğun qaydada idarə edərək onu müxtəlif dərinliklərə malik kvant çuxuruna çevirmək mümkün olsun.

Biz maraqlı tədqiqat işi həyata keçirərək, mərkəzləşməmiş eksponensial potensial üçün relyativistik Kleyn-Qordon tənliyinin analitik həllərini tapmışıq. Bizim yanaşmamız mərkəzəqaçma həddinin doğru qaydada approksimasiyasını və Nikiforov-Uvarov metodunun tam olaraq tətbiqini özündə birləşdirir.

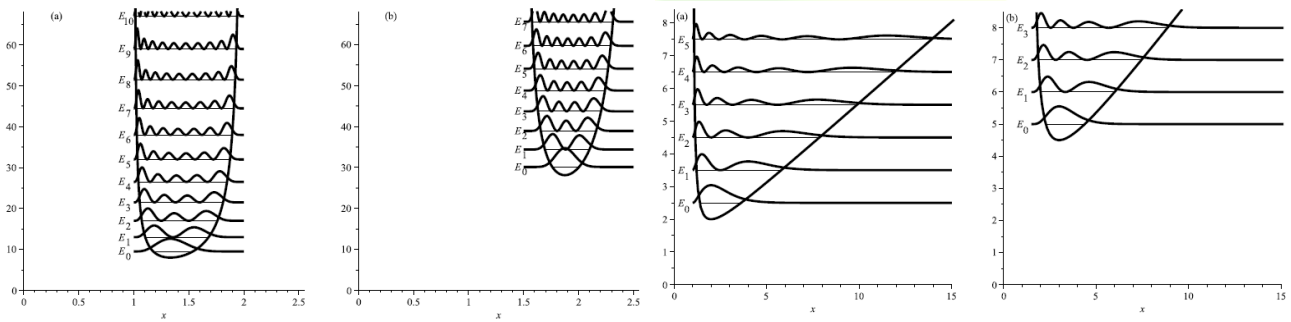
Biz, koordinata görə dəyişən kütləsi vasitəsilə yarım-konfaynment effekti nümayiş etdirən kvant harmonik ossilyatoru modeli üçün, bu modelin Viqner funksiyası vahidlərində yeni faza fəzası təsviri konsepsiyası təklif etmişik. Təklif edilən yeni metod bu tip yarım-konfaynmentkvant sistemi üçün Viqner paylanma funksiyasının dəqiq hesablanma bilməsinə şərait yaradır. Bu metod kvant paylanma funksiyasının təyini zamanı yaranan inteqrandın dağılmasının qarşısını alır və yarım-konfaynment ossilyator modelinin stasionar halları üçün paylanma funksiyasının analitik ifadəsinin hesablanmasına şərait yaradır.

2 Layihənin həyata keçirilməsi üzrə planda nəzərdə tutulmuş işlərin yerinə yetirilmə dərəcəsi (cari rüb üçün, faizlə qiymətləndirməli)

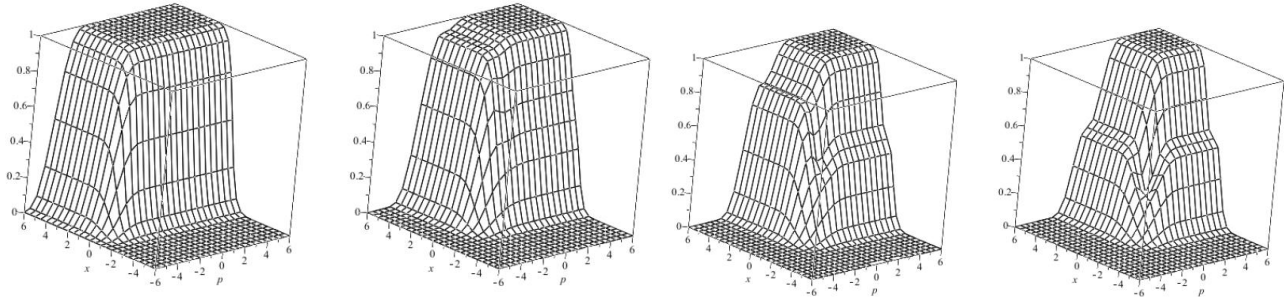
100 faiz

3 Hesabat dövründə alınmış **elmi nəticələr**, onların yenilik dərəcəsi

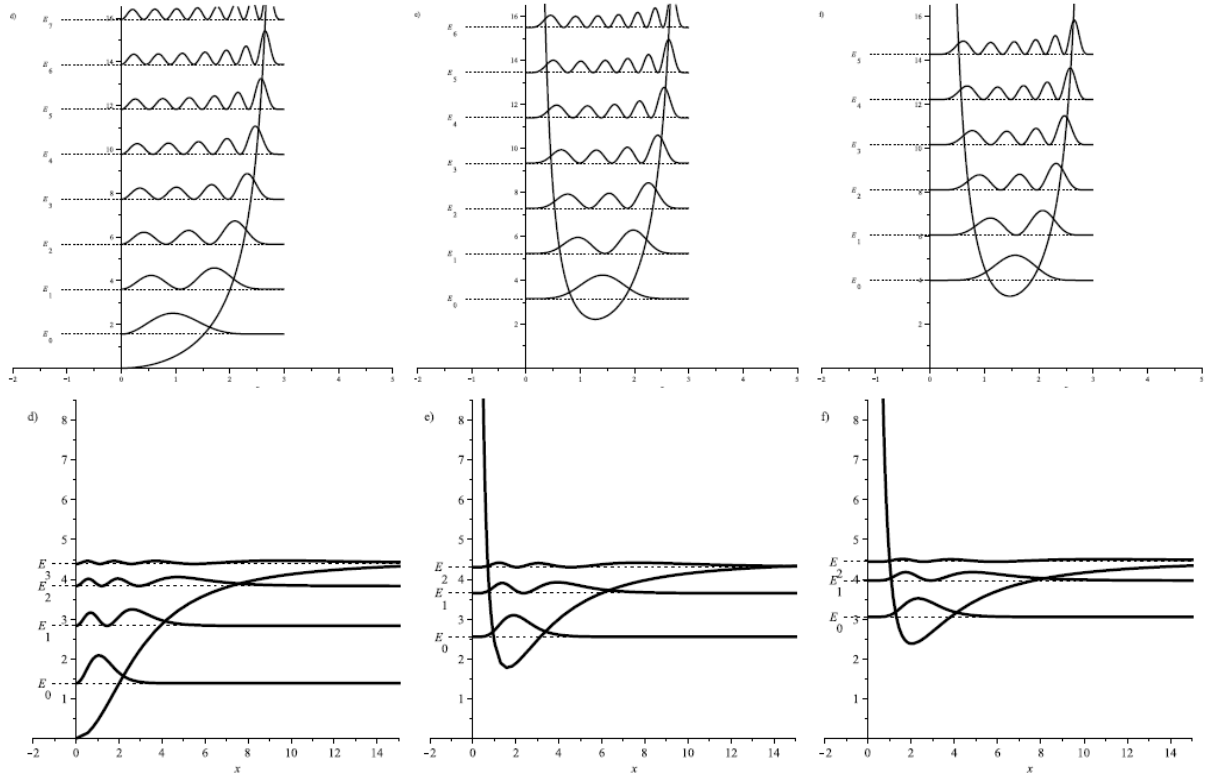
Tədqiq edilən koordinatdan asılı effektiv kütləyə malik yarımkonfaynment harmonik ossilyator modelinin Hamilton operatoru üçün başlanğıc şərt olaraq yaxşı məlum olan faktorizasiya metodunu seçməklə, biz onun dinamik simmetriya cəbrinin üç bazis elementinin aşkar şəkillərini tapmışıq. Bu üç bazis elementləri ilə təsvir olunan cəbr su(1,1) Heyzenberq-Li cəbridir. Müxtəlif xüsusi hallar və bu bazis elementlərdən limit halında qeyri-relyativistik kvant harmonik ossilyatorunun Heyzenberq-Veyl cəbrinə keçid də tərəfimizdən geniş tədqiq edilmişdir.



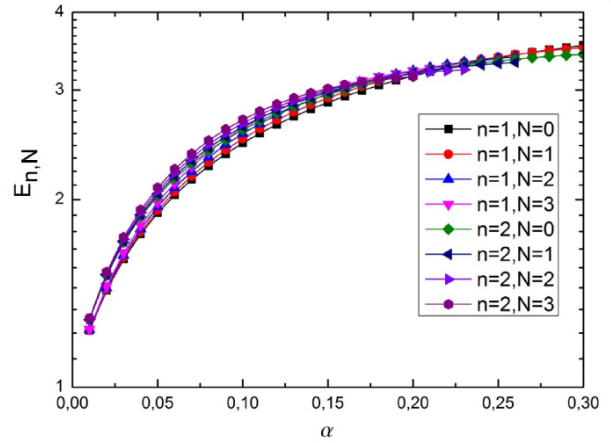
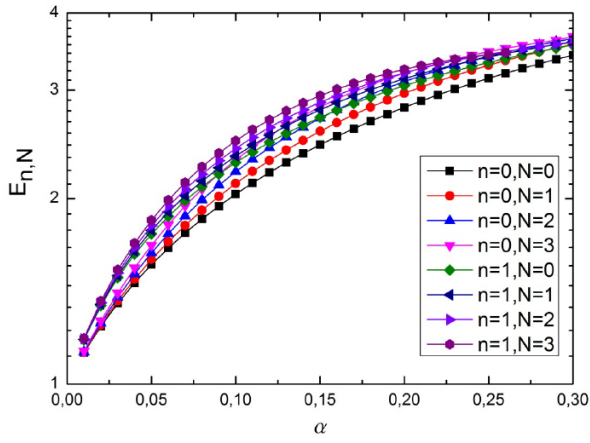
Biz yalnız müsbət qiymətlərində təyin olunan harmonik ossilyatorvari kvant çuxuru məsələsini dəqiq həll etməyə nail olmuşuq və sürüşmüş Yakobi çoxhədliləri vahidində kvant sisteminin dalğa funksiyasının və qeyri-xətti enerji spektrinin aşkar ifadələrini tapmışıq. Yakobi və ümumiləşmiş Lager çoxhədliləri arasında bəzi yeni limit münasibətləri də tərəfimizdən müzakirə edilmişdir. Yuxarıdakı şəkildə, kvant çuxurunu yaradan parametrin müxtəlif qiymətlərində tapılan dalğa funksiyası və enerji spektrinin özlərini necə apardığı nümayiş etdirilir.



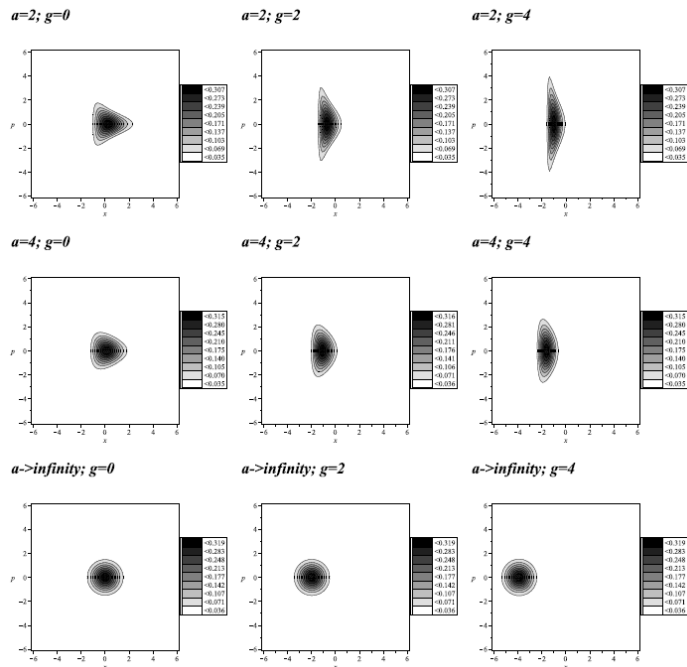
Etibarsız satıcı-alıcı əlaqələrinin təsvir edilməsi üçün istifadə edilən q -deformasiya olunmuş kvant harmonik ossilyator modeli çərçivəsində, biz modelin Al Salam-Çihara çoxhədliləri ilə ifadə olunan Viqner funksiyaşının ilk həyəcanlaşmış halını tədqiq eləmişik və sonlu-fərq diferensiallama parametri və ya onun vasitəsilə təyin olunan q deformasiya parametrinin bu cür etibarsız satıcı-alıcı qarşılıqlı münasibətlərində blef hadisəşinin yaranmasını və münasibəti zədələyən səviyyəşini müəyyən etdiyini nümayiş etdirmişik. Yuxarıdakə şəkildə, q deformasiya parametrinin müxtəlif qiymətlərində satıcı və alıcı münasibətlərinin tarazlıq halı adlanan koordinat başlanğıcı ətrafında blef hadisəşinin necə yaranması nümayiş etdirilir.



Göstərilmişdir ki, idarəedilən potensiala malik qeyri-relyativistik kvant sinqulyar ossilyatorunun dalğa funksiyaşlarının analitik ifadələri 2F1 hiperhəndəsi funksiyaşları və ya Yakobi çoxhədliləri vasitəsilə təsvir olunurlar, diskret enerji spektrləri isə ümumilikdə qeyri-ekvidistantdır. Xüsusi limit halında, potensialın forması ilə yuxarıda qeyd edilən idarəetmə itirildiyi zaman, dalğa funksiyaşları adı kvant sinqulyar ossilyatorunun ümumiləşmiş Lager çoxhədliləri vasitəsilə təsvir olunan dalğa funksiyaşlarını tam olaraq bərpa edirlər. Bu cür limit halında, ənerji spektrləri də kvant sinqulyar ossilyatorunun ekvidistant enerji spektrini tam olaraq bərpa edirlər. Yuxarıdakı şəkillərdə qeyri-relyativistik sinqulyar ossilyatorun müxtəlif idarəolunan versiyaşları nümayiş etdirilir.



Mərkəzləşməmiş eksponensial potensial üçün relyativistik Kleyn-Qordon tənliyinin analitik həlləri olan ümumi radial və bucaq dalğa funksiyaları hesablanmış və göstərilmişdir ki, onlar Yakobi çoxhədlisi ilə ifadə olunublar. Eyni zamanda tərəfimizdən enerji spektrinin də aşkar şəkli tapılmışdır. İxtiyari kvant ədədləri üçün məxsusi qiymətlərin tərəfimizdən aparılan hesablanması potensialın parametrləri və kvant ədələrindən çox həssas asılılığın özünü büruzə etdiyini göstərmişdir. Bundan başqa, biz həm də radial dalğa funksiyası və enerji spektrinin dəqiq limitini də hesablamışıq. Yuxarıdakı şəkillərdə dəqiq analitik ifadəsi tapılan enerji spektrinin bəzi səviyyələrinin mərkəzləşmiş eksponensial potensiala daxil olan α parametridən asılılığı nümayiş etdirilir.



Koordinata görə dəyişən kütləsi vasitəsilə yarım-konfaynment effekti nümayiş etdirən kvant harmonik ossilyatoru modeli üçün həm qəfil yaranan xarici bircins sahənin olduğu və olmadığı hallar Viqner funksiyası ilə təsvir olunan faza fəzasında geniş tədqiq olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, hesablanan Viqner paylanma funksiyasının aşkar şəkli birinci növ Bessel funksiyaları və Lager çoxhədliləri ilə ifadə olunur. Daha sonra, bəzi xüsusi halla və limit münasibətləri də tərəfimizdən tədqiq edilmişdir. Yuxarıdakı şəkildə aşkar ifadəsi tapılan Viqner funksiyasının xarici sahənin və yarım-konfaynment effektinin təsiri altında necə dəyişdiyi nümayiş etdirilir.

4	<p>Layihənin yerinə yetirilməsi zamanı istifadə olunan üsul və yanaşmalar</p>
	<p>Layihə yerinə yetirilərkən apardığımız elmi tədqiqat işlərində bir çox metod və yanaşmadan istifadə etmişik və bu metod və yanaşmalar barəsində “yerinə yetirilmiş elmi işlər” və “alınmış elmi nəticələr” bölmələrində geniş məlumat vermişik. Lakin, burada bir vacib yanaşmanı ayrıca qeyd etmək istəyirik – son yarım ildə layihə çərçivəsində apardığımız bütün tədqiqatlarda həll etdiyimiz məsələlərin sonda təqribi deyil, dəqiq analitik həllərə gəlib çıxması bizim tədqiqatlarımızın başlanğıc şərti və yanaşması olmuşdur.</p>
5	<p>Layihə üzrə elmi nəşrlər (məqalələr, monoqrafiyalar, icmallar, konfrans materialları, tezlilər) (dərc olunmuş, çapa qəbul olunmuş və çapa göndərilmişləri ayrılıqda qeyd etməklə) <i>(surətlərini əlavə etməli!)</i></p>
	<p>Dərc olunmuş məqalələr:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. E.I. Jafarov, S.M. Nagiyev, Exact solution of the position-dependent mass Schrödinger equation with the completely positive oscillator-shaped quantum well potential, Romanian Journal of Physics 68, 111 (2023) https://rjp.nipne.ro/RomJPhys.2023.68.111 2. E.I. Jafarov, S.M. Nagiyev, Dynamical symmetry of a semiconfined harmonic oscillator model with a position-dependent effective mass, Reports on Mathematical Physics 92, 209-225 (2023) https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034487723000708 <p>Çapa qəbul olunmuş məqalələr:</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. E.I. Jafarov, Description of the bluffing phenomenon in the untrusted seller-buyer relationship via the Wigner function of the q-deformed quantum harmonic oscillator model, Studies in Microeconomics (2023) <p>Çapa göndərilmiş məqalələr:</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. S.M. Nagiyev, A.M. Jafarova, E.I. Jafarov, The Wigner function of a semiconfined harmonic oscillator model with a position-dependent effective mass, Journal of Mathematical Physics (2023) 5. Э.И. Джафаров, Ш.М. Нагиев, Квантовый сингулярный осциллятор с потенциалом управляемым зависящей от координаты массой, Теоретическая и Математическая Физика (2023) 6. A.I. Ahmadov, Sh.M. Nagiyev, A.N.Ikot, V.A. Tarverdiyeva, Analytical solutions of the Klein-Gordon equation with non-central potential: exponential type potential plus a ring-shaped potential, Scientific Reports (2023)
6	<p>İxtira və patentlər, səmərələşdirici təkliflər</p> <p style="text-align: center;">yoxdur</p>
7	<p>Layihə üzrə ezamiyyətlər</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Layihə rəhbəri Elçin Cəfərov Bolqarıstanda keçirilən XV “Li Nəzəriyyəsi və Onu Tətbiqləri” adlı Beynəlxalq Seminarda iştirak etmək üçün 18-25 iyun 2023-cü il tarixlərində Bolqarıstan Elmlər Akademiyasının Nüvə Tədqiqatları və Nüvə Enerjisi İnstitutunun dəvəti ilə

	<p>Bolqarıstanın Varna şəhərində elmi ezamiyyətdə olmuşdur.</p> <p>2. Layihə rəhbəri Elçin Cəfərov və layihə icraçısı Aynurə Cəfərova konfaynment effektə malik modellərin faza fəzası ilə bağlı əldə edilən ilkin nəticələrin bu sahədə geniş tədqiqat işi apararı Abdus Salam Beynəlxalq Nəzəri Fizika Mərkəzinin aparıcı elmi tədqiqatçısı Prof. Mikhail Kiselev və digər elmi tədqiqatçılar ilə birbaşa bölüşdürülərək müzakirələr edilməsi səbəbi ilə Abdus Salam Beynəlxalq Nəzəri Fizika Mərkəzinin Kondensə olunmuş Hal və Statistik Fizika Sektorunun koordinatoru Prof. Rosario Fazionun dəvəti ilə 10-19 avqust 2023-cü il tarixlərində İtaliyanın Triest şəhərində elmi ezamiyyətdə olublar.</p> <p>3. Layihə rəhbəri Elçin Cəfərov Özbəkistan Fizika Cəmiyyətinin təşkil edəcəyi seminar da çıxış etmək və Özbəkistanın aparıcı fizikləri ilə əməkdaşlığı gücləndirmək məqsədilə 17-23 sentyabr 2023-cü il tarixlərində Özbəkistan Fizika Cəmiyyətinin dəvəti ilə Özbəkistanın Daşkənd şəhərində elmi ezamiyyətdə olmuşdur.</p>
8	<p>Layihə üzrə elmi ekspedisiyalarda iştirak</p> <p>yoxdur</p>
9	<p>Layihə üzrə digər tədbirlərdə iştirak</p> <p>yoxdur</p>
10	<p>Layihə mövzusu üzrə elmi məruzələr (seminarlar, konfranslar, dəyirmi masalar və s. çıxışlar)</p> <p>1. Layihə rəhbəri Elçin Cəfərov Bolqarıstanda keçirilən XV "Li Nəzəriyyəsi və Onu Tətbiqləri" adlı Beynəlxalq Seminar da iştirak etmiş və 23 iyun 2023-cü il tarixdə "The semiconfined harmonic oscillator with a position-dependent effective mass: exact solution, dynamical symmetry algebra and quasiprobability distribution functions" adlı şifahi məruzə təqdim etmişdir. Məruzənin məqalə versiyası 2024-cü ildə Springer Proceedings in Mathematics and Statistics adlı jurnal da çap ediləcək. Hal-hazırda, məqalə tərtib edilməkdədir.</p> <p>2. Layihə rəhbəri Elçin Cəfərov 17 avqust 2023-cü il tarixdə Abdus Salam Beynəlxalq Nəzəri Fizika Mərkəzinin Luigi Stasi seminar zalında Prof. Mikhail Kiselev tərəfindən təşkil edilən elmi seminar da "The semiconfined harmonic oscillator with a position-dependent effective mass: analytical expressions of the quasiprobability distribution functions" adlı şifahi məruzə təqdim etmişdir.</p> <p>3. Layihə rəhbəri Elçin Cəfərov 21 sentyabr 2023-cü il tarixdə Özbəkistan Fizika Cəmiyyətinin təşkil etdiyi seminar da "Slightly modified orthogonality relation for the Jacobi polynomials and exactly solvable model of the completely positive oscillator-shaped quantum well" adlı şifahi məruzə təqdim etmişdir.</p>
11	<p>Layihə üzrə əldə olunmuş cihaz, avadanlıq və qurğular, mal və materiallar</p> <p>yoxdur</p>
12	<p>Yerli həmkarlarla əlaqələr</p> <p>Layihə icraçıları Şakir Nağıyev və Vəfa Tarverdiyeva Bakı Dövlət Universitetinin professoru Azər Əhmədov ilə uğurlu elmi əməkdaşlıqlarını davam etdirirlər. Bu layihə çərçivəsində ortaq məqalə hazırlanıb elmi jurnal a göndərilmişdir.</p>
13	<p>Xarici həmkarlarla əlaqələr</p>

Layihə icraçıları Şakir Nağıyev və Vəfa Tarverdiyeva Nigeriyanın Port Harcours Universitetinin professoru A.N. Ikot ilə uğurlu elmi əməkdaşlıqlarını davam etdirirlər. Bu layihə çərçivəsində birgə məqalə hazırlanıb "Scientific Reports" elmi jurnalına göndərilmişdir.

Layihə rəhbəri Elçin Cəfərov və layihə icraçısı Şakir Nağıyev Belçikanın Gent Universitetinin professoru Joris Van der Jeugt ilə uğurlu elmi əməkdaşlıqlarını davam etdirirlər. Bu layihə çərçivəsində birgə məqalə hazırlanıb 2023-cü ilin noyabr ayında "Springer Proceedings in Mathematics and Statistics" elmi jurnalına göndəriləcəkdir.

14	Layihə mövzusu üzrə kadr hazırlığı
	<ol style="list-style-type: none"> Layihə icraçısı Aynurə Cəfərova layihə rəhbəri Elçin Cəfərovun elmi məsləhətçiliyi altında konfayment effektinə malik kvant sistemlərinin faza fəzasının qurulması ilə bağlı elmlər doktoru dissertasiyası üzərində işləməyə başlayıb. Layihə icraçısı Aygün Məmmədova layihə rəhbəri Elçin Cəfərovun elmi rəhbərliyi altında "Koordinatdan asılı kütləyə malik kvant sistemlərinin dəqiq həll olunan ossilyator tip konfayment modellərinin müqayisəli tədqiqi" adlı dissertasiya işini artıq bitirmişdir və 2023-cü ilin noyabr ayında fizika üzrə fəlsəfə doktoru adını almaq üçün bu dissertasiya işinin müdafiəsini proseduruna başlayacaqdır. Layihə icraçısı Vəfa Tarverdiyeva Prof. Şakir Nağıyevin rəhbərliyi altında "Bağlı halların kvantmexaniki relyativistik modelləri" adlı dissertasiyası üzərində işləri yekunlaşdırmaq üzrədir. Layihə icraçısı Sənan Paşayev layihə rəhbəri Elçin Cəfərovun elmi rəhbərliyi altında "Korbino diskində Raşba və Dresselhaus spin-orbital qarşılıqlı təsirləri arasında rəqabət və bu rəqabətin cərəyana və termodinamikaya təsiri" adlı dissertasiyası üzərində işləri davam etdirir. Layihə icraçısı Şövqiyyə Əmirova Prof. Şakir Nağıyevin rəhbərliyi altında "Dəyişən kütləli sadə 1D və 3D kvadratik kvant sistemlərinin xassələrinin tədqiqi" adlı dissertasiyası üzərində işləri davam etdirir.
15	Sərgilərdə iştirak
	Yoxdur
16	Təcrübəartırmada iştirak və təcrübə mübadiləsi
	Yoxdur
17	Layihə mövzusu ilə bağlı elmi-kütləvi nəşrlər, kütləvi informasiya vasitələrində çıxışlar, yeni yaradılmış internet səhifələri və s.
	Yoxdur

Layihə rəhbərinin imzası _____ Cəfərov Elçin İman oğlu

Tarix _____ 03 noyabr 2023-cü il

QEYD: bütün hallarda uyğun olan bəndlər doldurulmalıdır.