

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

Əlyazması hüququnda

SEYİD-NİSƏ MİRTAĞI QIZI SEYİD-RZAYEVA

KVAZI-İKİÖLÇÜLÜ SİSTEMLƏRDƏ

FRÖLİX POLYARONU

2220.01-Yarımkəçiricilər fizikası

Fizika üzrə elmlər doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim olunan dissertasiyanın

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

BAKI – 2014

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının
Fizika İnstitutunda yerinə yetirilmişdir

Elmi məsləhətçi:

Akademik, fiz.-riy. elm. dok., professor

Haşımzadə F.M.

Rəsmi opponentlər:

AMEA-nın müxbir üzvü, F.r.e.d.

Hüseynov R.R

F.r.e.d., professor

İsmayılov T.H.

F.r.e.d., professor

Mehdiyev N.M.

Aparıcı təşkilat:

Azərbaycan Texniki Universiteti
(«Elektronika» və «Fizika » kafedraları)

Dissertasiyanın müdafiəsi « 26 » noyabr 2014-cü il, saat « 11⁰⁰ » -
də Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun nəznindəki
D01.011 Dissertasiya Şurasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: Bakı ş., H.Cavid pr.131, Az-1143,

Faks: (+99412) 4 47 04 56;

e-mail: director@physics.ab.az

Dissertasiya ilə Azərbaycan MEA Fizika İnstitutunun
elmi kitabxanasında tanış olmaq olar

Avtoreferat « 24 » oktyabr 2014-cü ildə göndərilmişdir.

Dissertasiya Şurasının elmi katibi,
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor

D.H.Arashlı

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Müasir dövrdə bərk cisimlər fizikası sahəsində aparılan eksperimental və nəzəri işlərin əsas tədqiqat obyektləri aşağıölçülü elektron sistemləridir. Bu tip obyektlərə misal olaraq laylı kristalları, kvant çuxurlarını, süni yaradılmış ifrat qəfəsləri, nazik qalınlıqlı müstəvi təbəqələri, heterostrukturları və müxtəlif həndəsi ölçüdə olan nanoboruları göstərmək olar.

Aşağı ölçülü sistemlərə diqqətin artma səbəblərindən biri onların müxtəlif mikro- və nanoelektronika cihazlarında tətbiq olunmasından irəli gəlir. A^3B^5 , Ge və Si əsaslı nanoboruların (NB) alınmasında bir çox nailiyyətlər əldə edilmişdir. V.Ya. Prins və onun həmmüəlliflərinin təklif etdiyi üsulla radiusu və divarlarının qalınlığı istənilən intervalda dəyişdirilə bilən NB-lar alınmışdır .

Sistemin ölçüləri bir və ya onlarla nanometr həddində olduqda baş verən elektron hadisələrinin kvant xarakteri yarımkeçiricilər texnikasında yeni istiqamətin - nanoelektronikanın yaranması üçün imkanlar açmışdır. Kvazi-ikiölçülü sistemlərə diqqətin artmasının əsas səbəbi onların xarici təsirə qarşı özünə məxsus reaksiyası ilə fərqlənməsidir.

Adətən aşağıölçülü elektron sistemin maqnit sahəsinə reaksiyası özünü daha aydın biruzə verir. Məsələn, NB-nun səthində 2-ölçülü elektron qazında Aaronov-Bom ossilyasiyaları müşahidə olunur .

Maqnit sahəsində nano-sistemlərin maraqlı xüsusiyyətlərindən biri də belə obyektlərin ölçülərini və həndəsi quruluşunu dəyişməklə sistemin xassələrinin idarə olunmasıdır. Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, nano-strukturların fiziki xassələri onların həndəsi quruluşuna qarşı çox həssasdır. Məsələn, karbon NB-ları, həndəsi quruluşundan asılı olaraq dielektrik və ya yarımkeçirici olurlar.

Son zamanlar aşağıölçülü yarımmaqnit yarımkeçirici (YMYK) $Hg_{1-x}Mn_xSe$, $Hg_{1-x}Mn_xTe$ kimi maqnit birləşmələrində elektronların kvant səviyyələrinin spin halından asılılığının nəzəri tədqiqinə daha çox diqqət yetirilir. Spin materiallarının alınmasında əldə edilən nailiyyətlər opto-elektronikada spin-orbital qarşılıqlı təsir vasitəsilə optik xassələri tənzimlənən yeni cihazların alınmasını mümkün etmişdir. Belə spin materiallarına misal olaraq 3-qat $Hg_{1-x}Mn_xSe$, $Hg_{1-x}Mn_xTe$ ($0 < x < 1$) kimi maqnit materiallarını qeyd etmək olar.

Nanostrukturlar arasında bizi ən çox maraqlandıran YMYK nanoborulardır. Karbon və müxtəlif yarımkeçirici NB-ların optik və kinetik xassələrini elektron- fonon və elektron-foton qarşılıqlı təsirlərinin tədqiq olunması çərçivəsində daha aydın dərk etmək olur.

YMYK-lər infra-qırmızı opto-elektronikada, günəş fotoelementlərinin və yarımkeçirici lazerlərin hazırlanmasında geniş miqyasda tətbiq olunur. Məsələn, belə birləşmələr əsasında “millimetr diapazonunda” işləyən anizotrop yarımkeçirici ötürücülər yaradılmışdır.

YMYK NB-ın elektron xassələrinin maqnit sahəsində tədqiqi spin elektronikası (spintronika) üçün xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Spin materiallarının alınmasında əldə edilən nailiyyətlər optik xassələri spin orbital qarşılıqlı təsir vasitəsilə tənzimlənən optik cihazların yaranması üçün yeni imkanlar açmışdır. YMYK-lərdə elektronların spin hallarından həm də informasiyanın daşıyıcısı kimi maqnit və maqnit-optik yaddaşın yaranmasında istifadə olunur. Bu sahədə YMYK NB-lar perspektivli tədqiqat obyektini hesab olunur. Bu tip obyektlərdə yükdaşıyıcıların spinlərilə maqnit aşqarlarının ionları arasındakı sp-d mübadilə qarşılıqlı təsiri, hətta zəif maqnit sahəsində spin parçalanmasına və qiçant spin polarizasiyasının yaranmasına səbəb olur. Belə materiallarda maqnit sahəsinin intensivliyini cüzi dəyişməklə alt zonaların spin parçalanmasını tənzimləmək olur.

Maqnit ionlarını kvant məfillərinə, kvant çuxurlarına və kvant nöqtələrinə daxil etməklə (yeritməklə) belə sistemlərdə alt enerji zonalarının spin parçalanmasını artırmaq mümkün olur. Məsələn, müxtəlif $A^2 B^6$ yarımkeçirici birləşmələrin matrisasını Mn ionları ilə aşqarlamaqla hibrid maqnit strukturlarının alınması mümkün olmuşdur .

Maqnit sahəsinin artması ilə maqnit ionları ilə keçirici elektronlar arasındakı sp-d mübadilə qarşılıqlı təsiri də güclənir. sp-d mübadilə qarşılıqlı təsiri YMYK strukturlarda fonon-polyaron hallarının maqnit sahəsində formalaşmasına güclü təsir edir.

Bu işdə ilk növbədə biricins maqnit sahəsində YMYK NB-da elektronların optik fononlarla qarşılıqlı təsirlə bağlı olan polyaron effektləri, həyəcanlanmış elektronların relaksasiya prosesləri və həm də adlarını qeyd etdiyimiz effektlərə ekranlaşmanın təsiri tədqiq edilmişdir. Belə effektlər opto-elektronika sahəsində cihazqayırmada xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

Qeyd edək ki, maqnit sahəsində aşağıölcülü polyar YMYK NB-da elektron-fonon qarşılıqlı təsiri elektron sisteminə məxsus enerji spektrinin

dəyişməsinə və elektronların hal sıxlığının artmasına səbəb olur. Bu da, öz növbəsində, elektron qazının müxtəlif fiziki xassələrində özünü göstərir.

Uzun illər ərzində polyar yarımkeçiricilərdə polyaron effektinin tədqiq sistemin ε_0 əsas enerji halı ətrafında aparılmışdır. Belə hesablamalar polyaronun əsas halının enerji səviyyəsinin sürüşməsinə, keçirici elektronların effektiv kütləsinin artmasını və yürüklüyünün azalmasını təsdiq edirdi.

Lakin elektronların həyəcanlanmış hallarının xarakteri olduqca az tədqiq olunmuşdu və son vaxtlara qədər öyrənilməmiş qalırdı. Bununla belə, ümumi nəzəri mülahizələrdən aydın olurdu ki, polyar yarımkeçiricilərdə optik fononun şüalanması ilə müşayiət olunan keçidlərdə, enerjinin astana qiyməti ətrafında, elektron sisteminin xarakterik xüsusiyyətlərini müəyyən etmək mümkündür. Belə məsələ Conson-Larsen effektindən istifadə etməklə həll edilmişdir.

Maqnit-polyaron Conson-Larsen effektinə görə, maqnit sahəsinin $\omega_{L0} = j\omega_c$ şərti ödənilən qiymətlərində Landau enerji səviyyələri kəsişir və bu səviyyələr arasında rezonans əlaqə yaranır, burada ω_{L0} -optik fononun tezliyi, $\omega_c = eB/cm_e$ -tsiklotron tezlik, B -maqnit sahəsi, m_e - elektronun effektiv kütləsi, j -tam ədəddir. elektron-fonon qarşılıqlı təsirinin nəzərə alınması nəticəsində enerji səviyyələrinin kəsişdiyi nöqtədə cırılaşma aradan qaldırılır.

Keçən əsrin 70-ci illərindən başlayaraq Conson-Larsen effektinə marağın artması aşağıölcülü yarımkeçirici obyektlərdə ölçüylə kvantlanan elektron hallarının yaranması ilə əlaqədardır. Həm massiv, həm də aşağıölcülü sistemlərdə maqnit-polyaron halları maqnit-optik effektlərin tezlik asılılıqlarının formalaşmasında əsas rol oynayır.

Maqnit sahəsində NB strukturlarının maqnit-optik xassələri onların ölçüsündən və materialından (məsələn, YK və ya YMYK) asılı olduğu üçün belə obyektləri fərdi qaydada tədqiq etmək daha məqsədə uyğundur.

İşin əsas məqsədi və tədqiqat obyekti

Dissertasiya işində aparılan araşdırmalarda məqsəd aşağıölcülü sistemlərdə Frölix polyaronun nəzəriyyəsini və maqnit-polyaron effektini maqnit xassəyə malik mühitlər üçün inkişaf etdirməkdir. İnkişaf etdirilmiş ümumi nəzəriyyə $Hg_{1-x}Mn_x$ Se tipli YMYK NB-lara tətbiq olunmuşdur.

Nəzərdə tutulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər qoyulmuşdur:

1. Bircins maqnit sahəsində elektronların spinlərilə lokal maqnit ionları arasındakı $sp-d$ mübadilə qarşılıqlı təsirini və ölçüylə kvantlanmanı nəzərə alaraq bircins maqnit sahəsində YMYK NB-da effektiv kütlə yaxınlaşmasında elektronların enerji spektrinin, elektron-fonon qarşılıqlı təsirinin matrisa elementinin və dielektrik nüfuzluğunun analitik ifadələrinin alınması;

2. Maqnit sahəsində YMYK NB-da $sp-d$ mübadilə qarşılıqlı təsiri və ölçü ilə kvantlanmanı nəzərə almaqla zəif-əlaqəli fonon-polyaronun əlaqə enerjisinin və effektiv kütləsinə olan əlavənin analitik ifadələrinin alınması və onların YMYK NB-nun radiusundan, maqnit sahəsindən asılılıqlarının araşdırılması;

3. Klassik maqnit sahəsində zəif əlaqəli optik fonon-polyaron effektinin YMYK-də tədqiq olunması və fonon-polyaronun əsas xarakterik parametrləri - əlaqə enerjisi, maqnit sahəsinin istiqaməti ilə bağlı olan eninə və uzununa effektiv kütlələləri üçün analitik ifadələrin alınması, onların maqnit sahəsindən və temperaturdan asılılıqlarının tədqiq olunması;

4. Aşağı temperaturlarda $sp-d$ mübadilə qarşılıqlı təsirini və ölçüylə kvantlanmanı nəzərə alaraq, maqnit sahəsində, alt-zonalararası və alt-zonadaxili keçidlərdə YMYK NB-nun səthindəki həyəcanlanmış fonon - polyaronun LO-fonon şüalandırmaqla relaksasiya proseslərinin tədqiq olunması və relaksasiya müddətinin NB-nun radiusundan, maqnit sahəsindən asılılıqlarının araşdırılması;

5. YMYK NB-da $sp-d$ mübadilə qarşılıqlı təsirini nəzərə alaraq ekranlaşma effektinin zəif-əlaqəli Frölix polyaronunun əsas halının enerjisinə və effektiv kütləsinə verdiyi əlavələrin hesablanması və onların nanoborunun radiusundan, maqnit sahəsindən asılılıqlarının araşdırılması;

6. Kvazi-ikiölçülü, sonsuz uzunluqlu polyar YK NB-da elektron sisteminin LO-fononlarla qarşılıqlı əlaqəsi nəticəsində bircins maqnit sahəsində yaranan adi 2-qat, 3-qat maqnit-polyaron hallarının tədqiq olunması və onların enerji spektrlərinin maqnit sahəsindən asılılıqlarının təhlili;

7. Məhdud uzunluqlu YK NB-da adi 2-qat, 3-qat və kombinə olunmuş 2-qat, 3-qat maqnit-polyaronların enerjilərinin maqnit sahəsindən asılılıqlarının araşdırılması;

8. Bircins maqnit sahəsində məhdud uzunluqlu kvazi iki-ölçülü YMYK NB-da yeni 2-qat və kombinə olunmuş 2-qat maqnit-polyaron hallarının araşdırılması, enerji spektrlərinin analitik ifadələrinin alınması və onların maqnit sahəsindən asılılıqlarının təhlili.

Elmi yenilik

1. YMYK NB-da maqnit sahəsinin artması ilə fonon-polyaronun əlaqə enerjisi və effektiv kütləsi azalır. Mübadilə qarşılıqlı təsirini nəzərə almayanda yalnız orbital maqnetizmin hesabına elektronun enerjisi və effektiv kütləsinə olan polyaron əlavələri maqnit sahəsinin artması ilə çox zəif artır.

2. Klassik maqnit sahəsində YMYK-də maqnit sahəsinin artması ilə həm zona, həm də polyaron kütlələri azalır; Polyaron kütlələri uyğun zona kütlələrinə nəzərən polyaron effektivinə görə həmişə artıq alınır.

3. Aşağı temperaturlarda NB-nun radiusunun artması ilə fonon-polyaronun alt-zonalar arasındakı keçidlərdə yaşama müddəti azalır, maqnit sahəsinin artması ilə fonon-polyaronun yaşama müddəti artır.

Alt-zona daxili həyəcanlaşmış fonon-polyaronun yaşama müddəti isə, əksinə olaraq, NB-nun radiusunun artması ilə artır, maqnit sahəsinin artması ilə azalır.

4. Ekranlaşma effekti nəticəsində polyaronun əsas halının əlaqə enerjisinə və effektiv kütləsinə olan polyaron əlavələri əhəmiyyətli dərəcədə azalır.

5. Maqnit-polyaron effektivində maqnit sahəsinə görə rezonans nöqtəsinin vəziyyəti NB-nun radiusundan asılıdır.

6. Sonsuz uzunluqlu YK NB-da 3-qat maqnit-polyaron halları “ $a = r_0 / r_p$ ” (r_0 – NB-nun, r_p – polyaronun radiusudur) parametrinin yalnız rəşional kəsir və ya tam qiymətlərində yaranır.

7. Məhdud uzunluqlu, nazik (ensiz) NB-da adi 2-qat maqnit-polyaronun rezonans nöqtəsində enerji səviyyələrinin parçalanmasının ədədi qiyməti NB-nun radiusundan zəif asılı olub uzunluğunun kvadrat kökü ilə tərs mütənasibdir.

8. Sonsuz uzunluqlu YMYK NB-da maqnit-polyaron effektivində enerji parçalanması effektiv kütlənin hesabına A_0, B_0 mübadilə inteqrallarından asılıdır.

Məhdud uzunluqlu YMYK NB-da kombinə olunmuş 2-qat maqnit-polyaronun enerji səviyyələrinin parçalanması əlavə olaraq nanoborunun uzunluğundan asılıdır.

Görülən işlərin praktiki əhəmiyyəti

Nəzəri hesablamaların nəticələri maqnit sahəsində polyar YMYK NB-da böyük radiuslu optik polyaron effektinə aid eksperimentlərin, o cümlədən, maqnito-optik, tsiklotron-rezonans və infraqırmızı udulma eksperimentlərinin izahında ekranlaşmanın təsirinin nəzərə alınmasında və relaksasiya proseslərinin mexanizminin müəyyənləşdirilməsində istifadə oluna bilər.

Müdafiəyə çıxarılan əsas elmi müddəalar :

1. YMYK NB-da keçirici elektronların maqnit ionlarla mübadilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində fonon-polyaronun əlaqə enerjisinin və effektiv kütləsinin maqnit sahəsindən və NB-nun radiusundan asılılıqları adi yarımkeçiricilərlə müqayisədə həm keyfiyyət, həm də kəmiyyətə kəskin dəyişir. Bu səbəbdən eksperimental nəticələrin təhlilində və eləcə də qiymətləndirilməsində alınan nəzəri nəticələri mütləq nəzərə almaq lazımdır.

2. Mübadilə qarşılıqlı təsirinin hesabına YMYK NB-da maqnit sahəsinin artması ilə elektronun əlaqə enerjisi və effektiv kütləsinə olan polyaron əlavəsi azalır. Mübadilə qarşılıqlı təsiri nəzərə alınmadıqda , yəni yalnız orbital maqnetizm iştirak etdikdə maqnit sahəsinin artması ilə polyaronun əlaqə enerjisi və effektiv kütləsi cüzi artır. Lakin həm mübadilə qarşılıqlı təsiri, həm də orbital maqnetizmi nəzərə aldıqda maqnit sahəsinin artması ilə polyaronun əsas parametrlərinin ədədi qiymətləri azalır.

3. Mübadilə qarşılıqlı təsiri fonon-polyaronun yaşama müddətini hətta zəif maqnit sahələrində əhəmiyyətli dərəcədə dəyişdirir. Alt zona daxili həyəcanlanmış fonon-polyaronun yaşama müddəti maqnit sahəsinin artması ilə alır. Zonalar-arası həyəcanlanmış fonon-polyaronun yaşama müddəti isə maqnit sahəsinin artması ilə artır.

4. Ekranlaşma polyaronun əsas halının əlaqə enerjisini və effektiv kütləsini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Maqnit sahəsində polyaronun əlaqə enerjisinə və effektiv kütləsinə ekranlaşma effektinin təsiri (xüsusilə tədqiqat obyektini YMYK kimi maqnit materialı olduqda) mütləq nəzərə alınmalıdır.

5. Sonsuz uzunluqlu yarımkeçirici NB-da maqnit sahəsində elektronların LO-fononlarla qarşılıqlı əlaqəsi nəticəsində yaranan adi 2-qat və 3-qat maqnito-polyaronların enerji səviyyələrinin parçalanması NB- nun radiusunun artması ilə azalır. 3-qat maqnito-polyaron hallarında mərkəzi səviyyəyə nəzərən enerji səviyyəsinin parçalanması simmetrikdir və

kəşifən səviyyələrin sayı 2-dən 3-ə keçdikdə onlar arasında enerji fərqi də artır.

6. Məhdud uzunluqlu YMYK NB-da adi 2-qat, 3-qat və kombinə olunmuş 2-qat, 3-qat maqnitopolyaronların rezonans nöqtəsinin vəziyyəti əsasən (90%) keçirici elektronların spinləri ilə maqnit ionlarının lokalizə olunmuş spinləri arasındakı mübadilə qarşılıqlı təsiri ilə təyin olunur.

7. Alt zona daxili həyəcanlaşmış fonon-polyaronun yaşama müddəti NB-nun radiusunun artması ilə artır, alt-zonalar arası keçidlərdə yaşama müddəti isə NB-nun radiusunun artması ilə azalır.

Alınan nəticələrin dürüstlüyü: Araşdırılan məsələlərin tədqiqində kvant mexanikasının sınınmış hesablama üsullarından istifadə olunması və həll olunan məsələlərdə xüsusi limit hallarında ədəbiyyatdan məlum olan nəticələrin alınması ilə təsdiq olunur.

İşin sınağı.

Dissertasiyanın materialları aşağıdakı konfrans və seminarlarda müzakirə edilmişdir:

Труды пятой международной научно-технической конференции, Актуальные проблемы физики, 25-27 июня 2008 года; Bakı Dövlət Universiteti, Fizika Problemləri İnstitutu, Fizikanın müasir problemləri III Respublika konfransının materialları, 17-18 dekabr, Bakı-2009, səh.153-154; 17-th International Conference on Ternary and Multinary Compounds, 27-30 September, Baku 2010, p.125(PI-4); 5-th International Conference on Materials Science and Condensed matter Physics, September 13-17, Chisinau-2010, p.63.; Труды XIII Международной конференции. Актуальные проблемы физики твердого тела, г. Ульяновск, 2011, стр. 141-143, 207-208, 209-210, (3 ədəd tezis); 6th International Conference on materials Science and condensed Matter Physics, Chisinau September 11-14, 2012, СМТ 5р.- p.52 and СМТ 8 р.- p.55; Труды XV-ой Международной конференции, Нанооптика, г.Ульяновск-2012, стр.202-203 и 204-205, (2 ədəd) tezis; PO1- PO5, p.84, 18-th International Conference on Ternary and Multinary Compounds 2012, 27-31 August (in the University of Salzburg), page 52.; 6th International Conference on Materials Science and Condensed Matter Physics (MSCMP 2012, 11-14 september), page 55.; Edison 18, Abstract No 1335, МоР-15; 18 the International Conference on Electron dynamics in Semiconductors, Optoelectronics and Nanostructures, Matsue, Japan, July 22-26, 2013.;

Çap olunmuş elmi işlər.

Dissertasiya mövzusu üzrə avtoferatın sonunda siyahısı dərc olunan 37 elmi iş (25 məqalə və 12 tezis) çap olunmuşdur.

Dissertasiyanın quruluşu və həcmi: Dissertasiya işinə giriş, altı fəsil, əsas nəticələr və ədəbiyyat siyahısı daxildir. İşin məzmunu, 53 şəkil və 186 adda ədəbiyyat siyahısı daxil olmaqla 253 səhifədə şərh olunub.

İşin əsas məzmunu

Girişdə mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, dissertasiya işinin məqsədi və həll olunmuş məsələlər göstərilmiş, dissertasiya işinin elmi yeniliklərini təyin edən və müdafiəyə çıxarılan əsas nəticələr, praktiki əhəmiyyəti qeyd olunmuş dissertasiyanın qısa məzmunu şərh edilmişdir.

Birinci fəsildə uzununa maqnit sahəsində YMYK NB-da mübadilə qarşılıqlı təsirinin polyaronun əsas halının enerjisinə və effektiv kütləsinə olan təsiri tədqiq olunur.

Bunun üçün, əvvəlcə biz YMYK NB-nun silindrik səthində xarici maqnit sahəsində keçirici elektronların dalğa funksiyası və enerji spektrinin analitik ifadələrini təyin etmişik.

Biz burada qəbul edirik ki, NB-nun divarlarının qalınlığı onun diametrindən çox kiçikdir. Belə yaxınlaşmada elektron-fonon sisteminin halını təyin edən bütün parametrləri NB-nun divarları daxilində dəyişməz qəbul etmək olar. Effektiv kütlə yaxınlaşmasında keçirici elektronların spinlərilə lokalizə olunmuş Mn maqnit ionlarının spinləri arasındakı mübadilə qarşılıqlı təsirini nəzərə aldıqda keçirici zonadakı elektronların spektri spin \downarrow və spin \uparrow alt zonalarına parçalanır.

Həyəcənlaşma nəzəriyyəindən istifadə edərək YMYK NB-da maqnit sahəsində zəif-əlaqəli fonon-polyaronun əlaqə enerjisinin və effektiv kütləsinə olan əlavənin analitik ifadələri alınmışdır. Hesablamalar, **B** maqnit sahəsinin və **T** temperaturun qiymətlərini məhdudlaşdıran aşağıdakı ümumi şərtlər daxilində aparılmışdır :

$$k_B T < \Delta E, \quad \frac{v_B}{R} < 1 \quad (1.1)$$

polyaronun əlaqə enerjisi (ΔE) və kütləyə əlavə (Δm_{zp}) Meyer funksiyaları G_1 u G_2 vasitəsilə ifadə olunur:

$$\Delta E_{n0} = -\frac{\alpha_F \hbar \omega_L}{2\pi^{3/2}} (M_z/m_e)^{1/2} \sum_{n'} \frac{1}{b_{nn'}} G_1 \quad (1.2)$$

$$\frac{\Delta m_{zp}}{\alpha_F M_z} = -\frac{A_n}{\alpha_F \hbar \omega_L} \frac{m_{zp}}{m_e} \quad (1.3)$$

$$A_n = \frac{\alpha_F \hbar \omega_L}{\pi^{3/2}} (m_e/M_z)^{1/2} \sum_{n'} \frac{1}{b_{nn'}} G_2 \quad (1.4)$$

Burada

$$\frac{1}{M_{z,l}} = \frac{1}{m_e} \frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_g - 3A_0 + B_0}, \quad (1.5)$$

$$G_1 = G_{2,4}^{3,2} \left(\left(\frac{M_z}{m_e} b_{nn'}^2 \alpha^2 \right) \left| 0, \frac{1}{2}, |n-n'|, -|n-n'| \right. \right) \quad (1.6)$$

$$G_2 = G_{2,4}^{3,2} \left(\left(\frac{M_z}{m_e} b_{nn'}^2 \alpha^2 \right) \left| 0, \frac{3}{2}, |n-n'|, -|n-n'| \right. \right) \quad (1.7)$$

$$b_{nn'} = \left[1 - \frac{m_e}{M_1} \alpha^{-2} (n-n') \left(n+n' + \left(\frac{r_B}{R} \right)^2 \right) \right]^{1/2} \quad (1.8)$$

$R = \sqrt{\hbar c / eB}$ – maqnit uzunluğu, $\alpha = r_0 / r_p$, $r_p = \sqrt{\frac{\hbar}{2m\omega_L}}$

$\alpha_F = \sqrt{\frac{m}{2\hbar\omega_L}} \frac{e^2}{\hbar} \left(\frac{1}{\varepsilon_{\infty}} - \frac{1}{\varepsilon_0} \right)$ - Frölix parametridir.

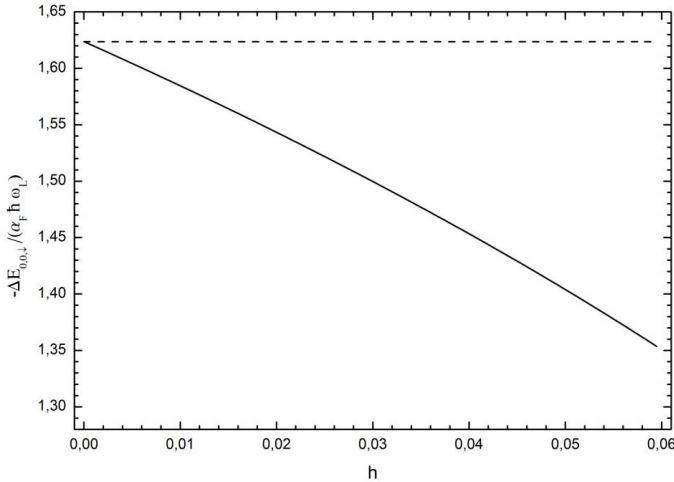
Ədədi hesablamalar $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ YMYK üçün parametrlərin $x = 0.066$, $P = 5.09 \times 10^{-8} \text{ eV sm}$, $N_0\alpha = -0.32 \text{ eV}$, $N_0\beta = 0.92 \text{ eV}$, $\varepsilon_g = 24 \text{ meV}$, $\bar{g} = 2$, $S = 5/2$, $T = 1 \text{ K}$ qiymətlərində aparılmışdır. Burada

$m_e = \frac{3\hbar^2\varepsilon_g}{4P^2}$ - keçirici elektronların effektiv kütləsi, ε_g - maqnit sahəsi

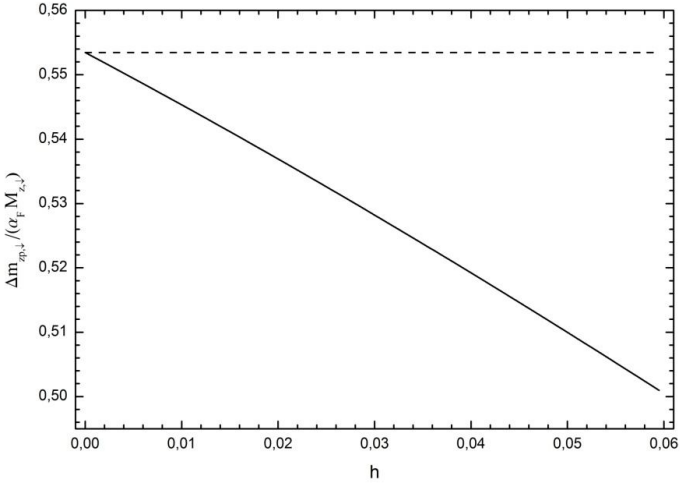
olmadıqda qadağan olunmuş zonanın eni, P-Keyn parametri, A_0 , B_0 - keçirici elektronların spinlərinin lokalizə olunmuş maqnit ionlarının spinlərilə mübadilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində keçirici və valent zonadakı spin parçalanmasını müəyyən edən hədlərdir. $A_0 = \frac{\alpha}{\beta} B_0$,

$B_0 = \frac{1}{6} N_0 x \beta \langle S_z \rangle$, $N_0 x$ -maqnit ionlarının konsentrasiyası, α və β - mübadilə sabitləridir.

Şəkil 1.1-də polyaronun $(-\Delta E_{0,0} / \alpha_F \hbar \omega_L)$ əlaqə enerjisinin və şəkil 1.2-də isə polyaronun $\Delta m_{zp} / \alpha_F M_z$ effektiv kütləsinə verdiyi əlavənin $h = r_p / R$ maqnit sahəsindən asılılıqları verilmişdir.



Şəkil 1.1.



Şəkil 1.2

Burada qırıq xətlərlə mübadilə qarşılıqlı təsirini nəzərə alınmadıqda, bütöv xətlə əyri ilə həmin təsiri nəzərə almaqla fonon-polyaronun kütləsinə əlavə göstərilmişdir.

Şəkillərdən görünür ki, mübadilə qarşılıqlı təsirinin nəzərə alınması maqnit sahəsinin artması ilə polyaronun əlaqə enerjisini və effektiv kütləsinə olan əlavəni azaldır. Fonon-polyaron effektində orbital maqnetizmin iştirakı isə maqnit sahəsinin artması ilə polyaron parametrlərinin cüzi artmasına səbəb olur.

Hesablamalar göstərir ki, həm orbital maqnetizm, həm də mübadilə qarşılıqlı təsiri NB-nun radiusunun artması ilə fonon-polyaron parametrlərinin ədədi qiymətlərinin azalmasına gətirir.

Maqnit sahəsində YMYK NB-da fonon-polyaron hallarına aid aldığımız aşağıdakı nəticələri qeyd edək:

Frölix polyaronu aşağı temperaturlarda mövcud ola bilər. Ədədi qiymətləndirmələr göstərir ki, diametri 20 nm olan NB üçün əlaqə enerjisi 3×10^{-15} erq tərtibindədir. Temperaturun yuxarı sərhəd qiyməti $k_0 T < \Delta E$ şərtindən müəyyən olduğundan, polyaronun mövcud olması üçün $T \ll 20$ K şərti ödənilməlidir.

Keçirici elektronların spinlərinin lokalizə olunmuş maqnit ionlarının spinlərilə mübadilə qarşılıqlı təsirinin hesabına əmələ gələn spin parçalanması adi Zeyeman parçalanmasından 3-tərtib böyükdür.

Mübadilə qarşılıqlı təsiri polyaronun əlaqə enerjisini və effektiv kütləsinə verdiyi əlavəni əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Yalnız orbital maqnetizmin hesabına isə polyaronun əlaqə enerjisi və elektronun effektiv kütləsinə polyaron əlavəsi maqnit sahəsinin artması ilə çox zəif artır.

İkinci fəsildə maqnit sahəsindəki YMYK NB-nun səthində spin \downarrow alt-zonalar arası və alt-zona daxili həyəcanlaşmış fonon-polyaronun optik fonon şüalandırmaqla relaksasiya müddətinin hesablanması məsələsinə baxılmışdır.

Həyəcanlaşmış keçirici elektronların yerləşdi n alt zondan n' altzonalara keçid tezlikləri üçün aşağıdakı ifadə alınmışdır:

$$\frac{1}{\tau_{n,\kappa} \alpha_F \omega_L} = 2 \sum_n \theta[-b_{nn'}^2 + \kappa^2] \left\{ I_{|n-n'|} \left[\left| \left(\kappa + \sqrt{-b_{nn'}^2 + \kappa^2} \right) a \right| \right] K_{|n-n'|} \left[\left| \left(\kappa + \sqrt{-b_{nn'}^2 + \kappa^2} \right) a \right| \right] + I_{|n-n'|} \left[\left| \left(\kappa - \sqrt{-b_{nn'}^2 + \kappa^2} \right) a \right| \right] K_{|n-n'|} \left[\left| \left(\kappa - \sqrt{-b_{nn'}^2 + \kappa^2} \right) a \right| \right] \right\} / \left(2 \sqrt{-b_{nn'}^2 + \kappa^2} \right). \quad (2.1)$$

Burada
$$b_{nn'}^2 = \left(1 - \left(\left(n + \frac{1}{2} \left(\frac{r_0}{R} \right)^2 \right)^2 - \left(n' + \frac{1}{2} \left(\frac{r_0}{R} \right)^2 \right)^2 \right) a^{-2} \right),$$

$\theta[-b_{nn'}^2 + \kappa^2]$ - pilləvari Hevisayd funksiyası, $I_n(z)$, $K_n(z)$ – birinci və ikinci növ modifikasiya olunmuş Bessel funksiyaları,

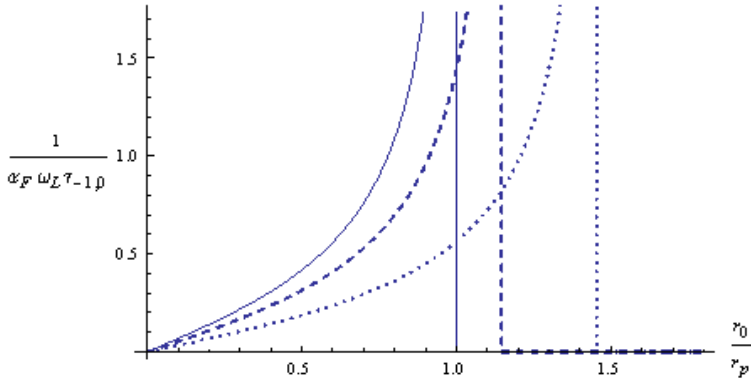
$$\kappa = k r_p; a = \frac{r_0}{r_p}; r_p = \sqrt{\frac{\hbar}{2m\omega_L}} - \text{polyaronun radiusu, } R = \sqrt{\hbar c / eB} -$$

maqnit uzunluğudur.

Fonon polyaronun yaşama müddətini qiymətləndirmək üçün $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ NB-su üçün aparılan ədədi hesablamalarda parametrlərin aşağıdakı qiymətlərindən istifadə olunub:

$x=0.066$, $\hbar\omega_L = 16.8$ meV, $\epsilon_0 = 28.5$, $\epsilon_\infty = 13$, $T = 1$ K, $S = 5/2$,
 $N_0\alpha = -0.32$ eV, $N_0\beta = 0.92$ eV, $\epsilon_g = 24$ meV, $\bar{g}=2$,
 $\hbar = 1.05 \times 10^{-27}$ erq.san, $P = 5.09 \times 10^{-8}$ eV sm, $m_0 = 9.1 \times 10^{-28}$ q, $\kappa = 1.3$,
 $c = 3 \times 10^{10}$ sm /san, $k_0 = 1.38 \times 10^{-16}$ erq / K, $e = 4.8 \times 10^{-10}$ SQSE.

Alt-zonalararası keçidlərdə ən sadə hal kimi $\{-1, 0 \rightarrow 0, 0\}$ prosesində (yəni $\kappa = 0$ olduqda) yaşama müddəti hesablanmışdır. Şəkil 2.1-də maqnit sahəsinin 1, 500, 1000 Oe qiymətlərində həyəcənlanmış elektronun $\{-1, 0 \rightarrow 0, 0\}$ prosesinə uyğun keçid tezliyinin NB-nun radiusundan asılılıqları verilmişdir. Burada bütöv xətlə maqnit sahəsinin $B=10$ Oe, qırıq xətlə $B=500$ Oe, punktirlə isə $B=1000$ Oe qiymətlərinə uyğun əyriilər göstərilib. Şəkildən görüldüyü kimi NB-nun radiusu artdıqca fonon-polyaronun yaşama müddəti azalır. Lakin maqnit sahəsinin artması ilə fonon-polyaronun yaşama müddəti artır.



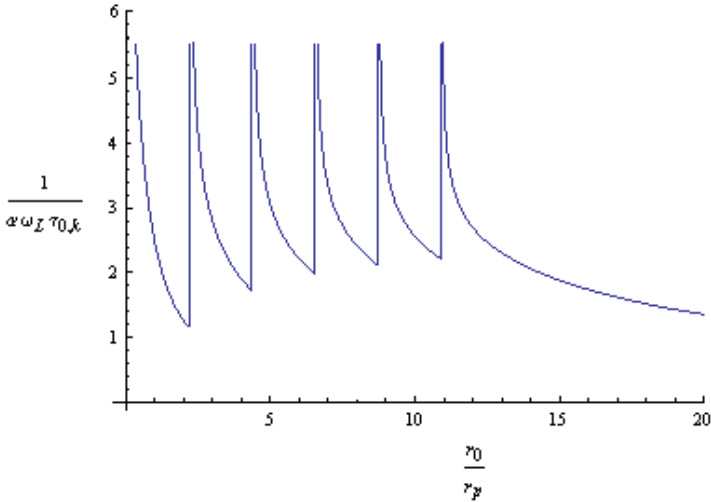
Şəkil 2.1.

LO-fononun enerjisinin alt-zonalararası enerji məsafələrinə bərabər olması şərtindən rezonans nöqtələri təyin olunur. Yaşama müddəti üçün rezonans şərti aşağıdakıdır:

$$a = \sqrt{(n - n') \left(n + n' + \left(\frac{r_b}{R} \right)^2 \right) \frac{\epsilon_g}{4} \left[\frac{3}{\epsilon_g - 3A + 3B} + \frac{1}{\epsilon_g - 3A - B} \right]} \quad (2.2)$$

Əyriyənin müəyyən nöqtədə qırılması (yaşama müddətinin sıçrayışla sonsuzluğa getməsi) rezonans nöqtələrinə uyğundur. Şəkildən aydındır ki, maqnit sahəsinin hər bir qiymətinə uyğun rezonans nöqtəsi vardır. Maqnit sahəsinin artması ilə rezonans nöqtəsi NB-nun radiusunun artması istiqamətində sürüşür. Maqnit sahəsinin 1, 500, 1000 Oe qiymətlərinə uyğun rezonans $a = 1, 1.15, 1.45$ qiymətlərində alınır.

İndi alt-zonadaxili həyəcanlanmış fonon- polyanonun yaşama müddəti məsələsinə baxaq. Şəkil 2.2 -də $\{n = 0, k = 1.1\}$ halındakı polyanonun mümkün aralıq $n' = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \pm 5$ hallarına keçidlərini nəzərə almaqla zonadaxili $\{n = 0, k = 1.1\} \rightarrow \{n = 0, k = 0\}$ keçidində yaşama müddətinin NB-nun radiusundan asılılığı göstərilmişdir.



Şəkil 2.2

Qrafikdə rezonanslar həyəcanlanmış haldan $n' = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \pm 5$ hallarına keçidlərə uyğundur (soldan sağa). Şəkildən görünür ki, a parametrinin 20-yə bərabər qiymətində 5 ədəd rezonans müşahidə etmək olur. Qeyd edək ki, NB-nun radiusunu artırısaq altzonalar arasındakı məsafələr kiçiləcək və daha çox rezonans baş verəcək.

Maqnit sahəsində YMYK NB-da həyəcanlaşmış fonon-polyaronun yaşama müddətinə aid aldığımız aşağıdakı nəticələri qeyd edək:

Adi YK NB-dan fərqli olaraq YMYK NB-da fonon-polyaronun yaşama müddətinə maqnit sahəsi çox güclü təsir edir.

Alt-zonalar arasındakı həyəcanlaşmış fonon-polyaronun yaşama müddəti NB-nun radiusu artdıqca azalır, maqnit sahəsinin artması ilə artır. Maqnit sahəsinin hər bir qiymətinə uyğun rezonans nöqtəsi vardır. Maqnit sahəsinin artması ilə rezonans nöqtəsi NB –nün radiusunun artması istiqamətində sürüşür.

Alt-zona daxili həyəcanlaşmış fonon-polyaronun yaşama müddəti NB-nun radiusu artdıqca artır. NB-nun radiusu artdıqca həyəcanlaşmış fonon-polyaronun yaşama müddətində müşahidə olunan rezonansların sayı artır.

Maqnit sahəsinin artması ilə fonon-polyaronun yaşama müddəti azalır.

Üçüncü fəsilə YMYK NB-nun səthində yerləşən fonon-polyaronların əlaqə enerjisinə və effektiv kütləsinə ekranlaşmanın təsiri tədqiq olunmuşdur. Ekranlaşmanı nəzərə almaq üçün elektron-fonon qarşılıqlı təsir potensialını mühitin dielektrik nüfuzluğuna bölmək lazımdır. Baxılan sistemin dielektrik nüfuzluğu

$$\epsilon_n(\vec{q}, \omega) = \epsilon_0 [1 + V_{0;n}(\vec{q}) \Pi_n(q, \omega)] \quad (3.1)$$

ifadəsi ilə təyin olunur, burada $V_{0;n}(\vec{q})$ - elektron-elektron qarşılıqlı təsirinə ekranlaşmamış Kulon potensialı, ω - xarici sahənin tezliyi, $\Pi_n(\vec{q}, \omega)$ - polyarizasiya operatorudur.

Statik sahədə ($\omega = 0$ olduqda) $V_{0;n-n'}(z)$ aşağıdakı şəkildə ifadə olunur :

$$V_{0;|n-n'|}(z) = \frac{2e^2}{L_z \epsilon_0} I_{|n-n'|}(za) K_{|n-n'|}(za), \quad (3.2)$$

burada $z = q_z r_p$, ϵ_0 - sıfır tezlikdə dielektrik nüfuzluğuna qəfəsin payıdır.

$\Pi_{|n-n'|,\sigma}(q_z, 0)$ polyarizasiya operatoru aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur

$$\Pi_{|n-n'|,\sigma}(z, 0) = -\frac{r_p L_z}{2\pi \hbar^2 z} \times \quad (3.3)$$

$$\times \sum_{n=-n_F, \sigma'}^{n_F, \sigma} M_{z\sigma'} \text{Log} \left[\frac{\left[2\kappa_F z \frac{m_e}{M_{z\sigma'}} - z^2 \frac{m_e}{M_{z\sigma'}} + \frac{m_e}{M_{\perp\sigma'}} a^{-2} (n - n') \left(n + n' + \left(\frac{r_0}{R} \right)^2 \right) \right]}{\left[-2\kappa_F z \frac{m_e}{M_{z\sigma'}} - z^2 \frac{m_e}{M_{z\sigma'}} + \frac{m_e}{M_{\perp\sigma'}} a^{-2} (n - n') \left(n + n' + \left(\frac{r_0}{R} \right)^2 \right) \right]} \right]$$

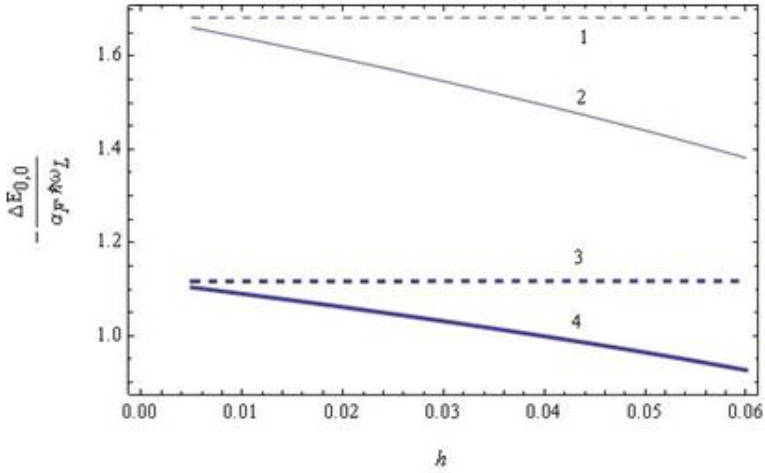
burada k_F Fermi dalğa ədədidir.

Ədədi hesablamalar $T = 1K$ temperaturda, aşağıdakı şərtlər daxilində aparılmışdır:

Fermi səviyyəsi ölçüylə kvantlanmış $n=0$ və $n=-1$ zonaları arasında, spin \uparrow alt zonasından aşağıda yerləşməlidir. Adsız Fermi ədədinin qiymətini vermək üçün burada hesablamaya ζ ədədi daxil edilir: $k_F = 2\zeta/r_p$. ζ ədədi elə seçilir ki, elektronların cırlaşma halı saxlanılsın və polyaronun enerjisi qadağan zonaya düşsün. Başqa sözlə desək ζ kəmiyyətini nə çox kiçik və nə də çox böyük götürmək olmaz. Biz burada $\zeta = 0.1$ seçmişik, bu rəqəm elektronların konsentrasiyasının $n_e = 1.5 \times 10^6 m^{-1}$ qiymətinə uyğundur.

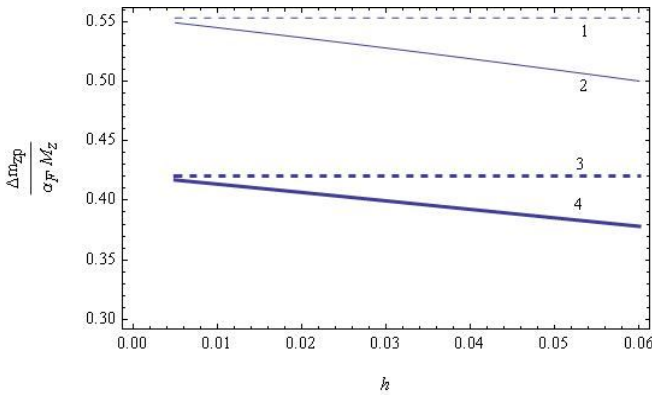
Ədədi hesablamalarda $Hg_{1-x}Mn_xSe$ birləşməsinə aid parametrlərin aşağıda verilən qiymətlərindən istifadə olunmuşdur: $x = 0.066$, $\hbar\omega_L = 16.8 meV$, $\epsilon_0 = 28.5$, $\epsilon_\infty = 13$, $P = 5.09 \times 10^{-8} eV sm$, $N_0\alpha = -0.32 eV$, $N_0\beta = 0.92 eV$, $\epsilon_g = 24 meV$, $\bar{g} = 2$, $S = 5/2$, $r_p = 20.6 nm$.

Şəkil 3.1 və Şəkil 3.2 –də polyaronun əlaqə enerjisinin və effektiv kütləyə polyaron əlavəsinin maqnit sahəsindən asılılıqları $a = r_0/r_p = 1/2$ qiymətində verilmişdir.



Şəkil 3.1

Şəkillərdə 1 əyrisi mübadilə qarşılıqlı təsirinə və ekranlaşmanın nəzərə alınmadığı; 2 əyrisi yalnız mübadilə qarşılıqlı təsirinə nəzərə alındığı; 3 əyrisi yalnız ekranlaşmanın nəzərə alındığı; 4 əyrisi isə həm ekranlaşmanın, həm də mübadilə qarşılıqlı təsirinə nəzərə alındığı hallara uyğundur.



Şəkil 3.2

Şəkillərdən görünür ki, ekranlaşma polyaronun enerjisini və effektiv kütləsinə verdiyi əlavəni nəzərə çarpacaq dərəcədə azaldır. Baxdığımız halda bu azalmalar uyğun olaraq 35% və 25% -dir.

Bu fəsildə alınan nəticələr göstərir ki, YMYK NB-larda polyaronun əlaqə enerjisini və effektiv kütləsinə olan polyaron əlavəsini qiymətləndirmək üçün ekranlaşmanın nəzərə alınması vacibdir.

Dördüncü fəsildə sonsuz uzunluqlu YK NB-da bircins maqnit sahəsində elektronların LO-fononlarla qarşılıqlı əlaqəsi nəticəsində yaranan maqnitopolyaron halları tədqiq olunur.

Polyaron hallarının xarici bircins maqnit sahəsində yaranmasını ilk dəfə Conson və Larsen həcmi InSb yarımkeçiricisində aparılan zonalararası maqnit-optik udulma eksperimentini tədqiq edərkən aşkar etmişlər . Eksperimentdə müşahidə olunan effektdə maqnitopolyaron rezonansı və rezonans zamanı yaranan elektron halına isə maqnitopolyaron deyilir.

Maqnitopolyaron effektinə görə elektronların enerji səviyyələri maqnit sahəsinin müəyyən qiymətində kəşifir. Cırlaşmanın tərtibi isə kəşifən enerji səviyyələrinin sayı ilə müəyyən olunur. 2-qat və 3- qat maqnitopolyaronların enerji spektri cırlaşmış hallar üçün həyəcanlaşma nəzəriyyəsi əsasında hesablanır.

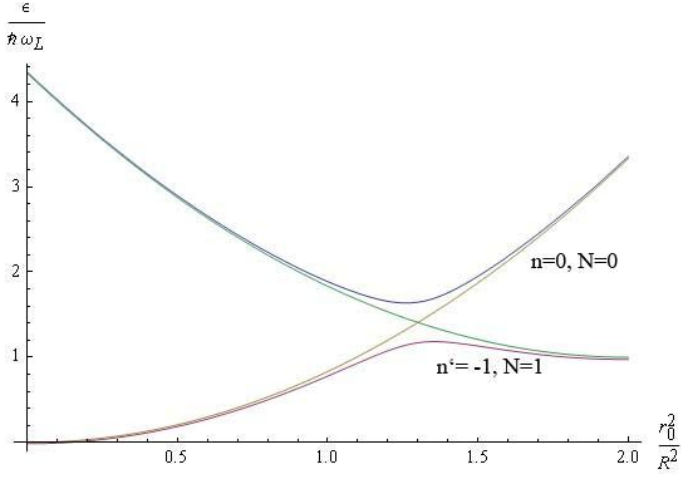
NB-da adi 2-qat maqnitopolyaron məsələsinin həllinə baxaq. Tədqiq olunan sistemdə başlanğıc halda $\mathcal{E}_{n,0}$ enerji səviyyəsində olan elektronun fononla qarşılıqlı təsiri nəticəsində elektron $\hbar\omega_L$ fononunu şüalandırmaqla yeni $\mathcal{E}_{n',0}$ enerji səviyyəsinə keçir.

Səviyyələr arasındakı $(\mathcal{E}_{n,0} - \mathcal{E}_{n',0})$ enerji fərqi elektron-fonon qarşılıqlı təsirinə M_{n-n',q_z,q_\perp} matrisa elementindən kiçik olduqda, yəni

$$\mathcal{E}_{n,0} - \mathcal{E}_{n',0} \ll \left| M_{n-n',q_z,q_\perp} \right| \quad (4.1)$$

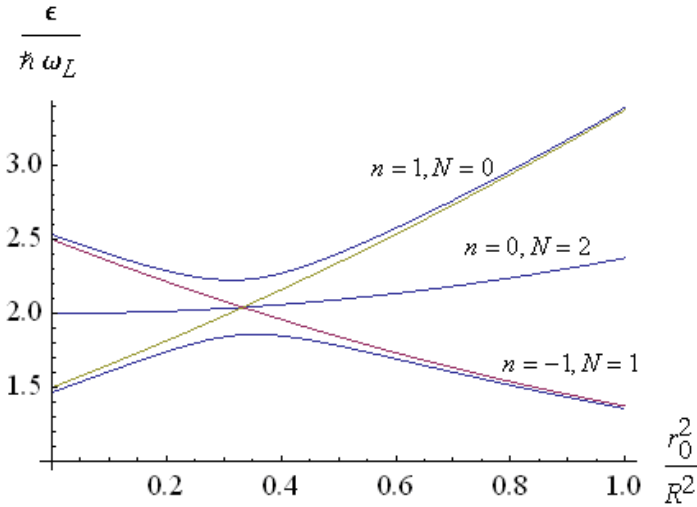
şərti ödənildikdə, bir-birinə yaxın olan enerji səviyyələri arasındakı qarşılıqlı təsir mütləq nəzərə alınmalıdır. Bu halda cırlaşmış hallar üçün tətbiq olunan həyəcanlaşma nəzəriyyəsindən istifadə etməliyik.

Şəkil .4.1-də 2-qat maqnetopolyaronun enerjisinin maqnit sahəsindən asılılığı verilmişdir.



Şəkil 4.1.

Şəkindən görünür ki, maqnit sahəsinin müəyyən qiymətində cırılma aradan qalxır. Rezonans nöqtəsində parçalanmış səviyyələr arasında enerji fərqi $0.29 \hbar \omega_L \approx 10.15 \text{ meV}$ -ə bərabərdir.



Şəkil 4.2.

Şəkil 4.2-də YK NB-da 3-qat maqnitopolyaronun enerji spektrinin maqnit sahəsindən asılılığı göstərilmişdir.

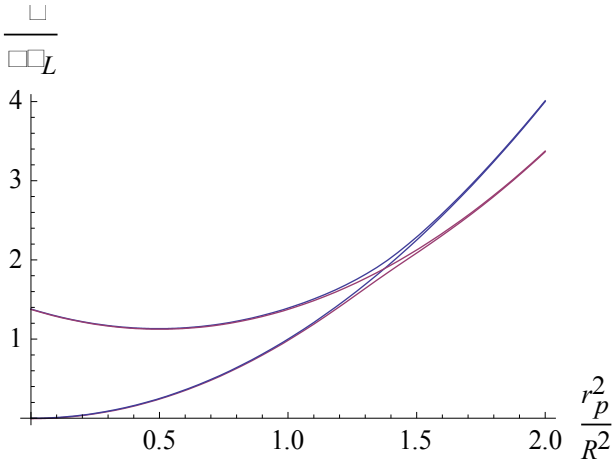
Cırılma nöqtəsində 3-qat maqnitopolyaron üçün maqnitopolyaronun parçalanmış enerji səviyyələri arasında məsafə 12.95 mev-dir. Kəşif enerji səviyyələrinin sayı artdıqca bu səviyyələr arasında enerji fərqi artır.

Bəşinci fəsildə məhdud uzunluqlu YK NB-da bircins maqnit sahəsində elektronların LO-fononlarla qarşılıqlı əlaqəsi nəticəsində yaranan maqnitopolyaron halları tədqiq olunur.

Qarşıya qoyulan məsələnin həlli üçün elektronların YK NB-nun oxu istiqamətində hərəkətini məhdudlaşdıran potensial Hamiltoniana əlavə edilir. Alınan Hamiltoniandan istifadə edərək YK NB-da elektronların enerji spektri və dalğa funksiyaları tapılmışdır. Dalğa funksiyalarından istifadə edərək elektron-fonon qarşılıqlı təsirinin matrisa elementinin ifadəsi alınmışdır.

Məhdud uzunluqlu YK NB-da NB-nun uzunluğunun və radiusunun məhdudlaşmasından irəli gələn 2 sayda kvant ədədi meydana çıxdığı üçün yeni növ maqnitopolyaronlar əmələ gəlir. Belə polyaronları ədəbiyyatda kombinə olunmuş maqnitopolyaron adlandırırlar. Kombinə olunmuş maqnitopolyaronların maraqlı xüsusiyyəti ondadır ki, rezonansa uyğun maqnit sahəsinin ədədi qiyməti adi maqnitopolyaronlarla müqayisədə kiçikdir. Bu isə kombinə olunmuş maqnitopolyaronların eksperimental müşahidəsini asanlaşdırır.

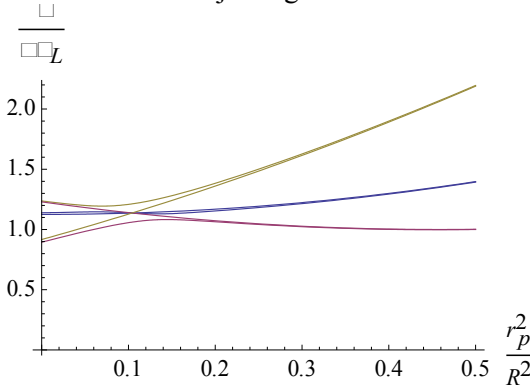
Şəkil 5.1-də GaAs YK NB-da ($m_1 = 0, n_1 = 0, N_1 = 0$) və ($m_2 = -1, n_2 = 1, N_2 = 1$) kvant ədədlərinə uyğun kombinə olunmuş 2-qat maqnitopolyaronun enerjisinin maqnit sahəsindən asılılığı göstərilmişdir. Ədədi hesablamalar parametrlərin $r_0/r_p = 2, R_z/r_p = 4, r_p = 4nm, \alpha_F = 0.071, \hbar\omega_L = 421K, m_e = 0.067m_0$ qiymətlərində aparılmışdır. Burada R_z – NB-nun uzunluğu, n və m – uyğun olaraq, NB-nun uzunluğunun və radiusunun məhdudlaşmasından irəli gələn kvant ədədləri, N – fononların sayıdır; punktir xətlər elektron-fonon qarşılıqlı təsiri nəzərə alınmayanda enerji səviyyələrini, bütöv xətlər isə bu qarşılıqlı təsir nəticəsində parçalanmış maqnetopolyaron hallarının enerjisini göstərir.



Şəkil. 5.1.

Əvvəlki hesablama sxemindən istifadə edib maqnit sahəsində məhdud uzunluqlu YK NB-da 3 enerji səviyyəsinin kəsişməsindən əmələ gələn kombinə olunmuş 3-qat maqneto- polyaron hallarına baxaq.

Şəkil. 5.2-də $m = 0, n = 1, N = 1$; $m = -1, n = 0, N = 1$; $m = 2, n = 0, N = 0$ kvant ədədlərinə uyğun kombinə olunmuş 3-qat maqneto-polyaronun enerji səviyyələrinin maqnit sahəsindən asılılığı verilmişdir. Burada punktir xətlər elektron-fonon qarşılıqlı təsiri nəzərə alınmayanda enerji səviyyələrini, bütöv xətlər isə bu qarşılıqlı təsir nəticəsində parçalanmış maqneto-polyaron hallarının enerjisini göstərir.



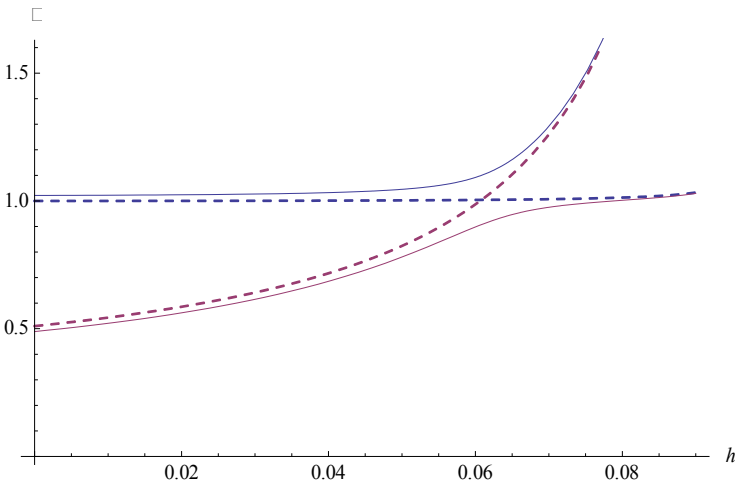
Şəkil. 5.2.

3-qat maqnitopolyaronun enerji səviyyələrinin parçalanmış budaqları rezonans nöqtəsində mərkəzi səviyyəyə nəzərən simmetrikdir. Mərkəzi səviyyədən aşağıda və yuxarıda yerləşən səviyyələr arasında məsafə $0.137\hbar\omega_L \approx 4.795$ meV -ə bərabərdir.

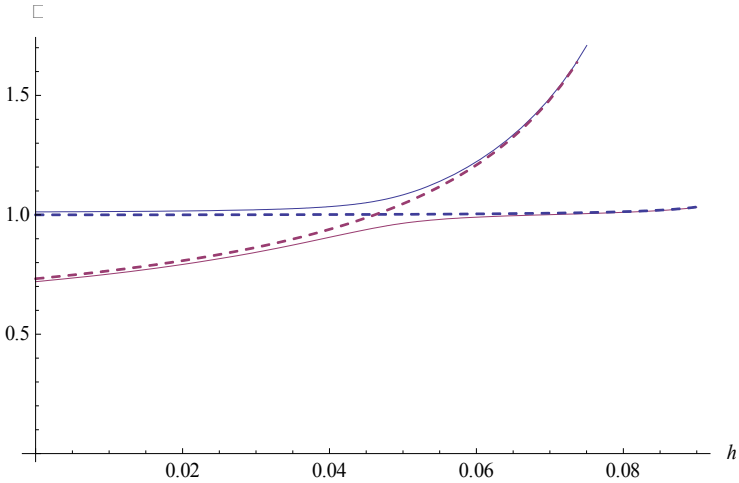
Altıncı fəsildə məhdud uzunluqlu YMYK $Hg_{1-x}Mn_xSe$ ($x = 0.066$) NB-sunda bircins maqnit sahəsində elektronların LO-fononlarla qarşılıqlı əlaqəsi nəticəsində yaranan maqnitopolyaron halları tədqiq olunur.

Şəkil 6.1-də YMYK NB-da ($m_1 = 0, n_1 = 0, N_1 = 0$) və ($m_2 = -1, n_2 = 1, N_2 = 1$) kvant ədədlərinə uyğun kombinə olunmuş 2-qat maqnitopolyaronun enerjisinin maqnit sahəsindən asılılığı göstərilmişdir. Ədədi hesablamalar $r_{10} = 1.4r_p, R_x = 4r_p$ qiymətlərində aparılmışdır.

Şəkil 6.2-də məhdud uzunluqlu YMYK $Hg_{1-x}Mn_xSe$ ($x = 0.066$) NB-sunda ($m_1 = 0, n_1 = 0, N_1 = 0$) və ($m_2 = -1, n_2 = 1, N_2 = 1$) kvant ədədlərinə uyğun kombinə olunmuş 2-qat maqnitopolyaronun enerjisinin maqnit sahəsindən asılılığı göstərilmişdir.



Şəkil 6.1



Şəkil. 6.2

Şəkillərdən görünür ki, məhdud uzunluqlu YMYK $Hg_{1-x}Mn_xSe$ ($x = 0.066$) NB-sunda kombinə olmuş 2-qat maqnitopolýaronun enerji səviyyələrinin kəsişməsi $h = \left(\frac{F}{R}\right)^2$ adsız maqnit sahəsinin 0.0463 qiymətində baş verir. Rezonans nöqtəsində enerji parçalanmasının ədədi qiyməti $0.11 \hbar\omega_L = 3.85$ meV-dir. Enerji parçalanmasının ədədi qiyməti elektron-fonon qarşılıqlı təsiri ilə müəyyən olunur və elektronun spektrindəki diamagnetizm həddindən asılı deyil.

Məhdud uzunluqlu adi 2-qat maqnitopolýaron halından 2-qat kombinə olunmuş maqnitopolýaron halına keçdikdə parçalanmış enerji səviyyələri arasındakı məsafə 6.825 meV-dən 3.85 meV-ə qədər azalır.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

Dissertasiyada aparılan tədqiqatları ümumiləşdirərək aşağıdakı nəticələrə gəlmək olar.

1. YMYK $Hg_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0.066$) NB-sunda zəif əlaqəli fonon-polyaronun əlaqə enerjisi və effektiv kütləsinə polyaron əlavəsi mübadilə qarşılıqlı təsiri hesabına maqnit sahəsinin artması ilə azalır. Yalnız orbital

maqnetizmin hesabına polyaronun əlaqə enerjisi və elektronun effektiv kütləsinə polyaron əlavəsi isə NB-nun radiusunun artması ilə cüzi artır.

2. NB-nun radiusunun artması ilə YMYK NB-nun səthindəki alt-zona daxili həyəcanlaşmış fonon-polyaronun yaşama müddəti artır. Maqnit sahəsinin artması ilə fonon-polyaronun yaşama müddəti azalır.

Zonalar-arası həyəcanlaşmış fonon-polyaronun yaşama müddəti isə alt-zona daxili həyəcanlaşmış fonon-polyarondan fərqli olaraq maqnit sahəsinin artması ilə artır.

3. Həyəcanlaşmış fonon-polyaronun maqnit sahəsində yaşama müddətinin NB –nün radiusundan asılılığının təhlilindən alınır ki, maqnit sahəsinin hər bir qiymətinə uyğun rezonans nöqtəsi vardır. Maqnit sahəsinin artması ilə rezonans nöqtəsi NB-nun radiusunun böyük qiymətlərinə doğru sürüşür.

4. Elektron-fonon qarşılıqlı təsir potensialının ekranlaşması nəticəsində polyaronun əsas halının əlaqə enerjisi və effektiv kütləsinə olan polyaron əlavəsi əhəmiyyətli dərəcədə azalır. Aparılan ədədi hesablamalardan müəyyən edilmişdir ki, maqnit sahəsinin $0.1 Tl$ qiymətində ekranlaşma effekti polyaronun əlaqə enerjisini təqribən 35% və effektiv kütləsini 15% azaldır.

5. Ekranlaşmanın NB-nun radiusundan asılılığının təhlilindən alınmışdır ki, NB-nun radiusunu 10 nm-dən 40 nm-ə kimi artırıqda ekranlaşma effekti polyaronun əsas halının əlaqə enerjisini təqribən 30 % - 15 %, polyaronun effektiv kütləsini isə 25% - 15% azaldır.

6. Maqnito-polyaron effektində enerji parçalanması elektron-fonon qarşılıqlı təsirindən əmələ gəlir. Müəyyən edilmişdir ki, YMYK NB-da 2-qat maqnito-polyaronların enerji səviyyələrinin kəsişmə nöqtəsinin vəziyyəti YMYK-lərdə elektronun effektiv kütləsinin mübadilə qarşılıqlı təsirindən asılılığının hesabına əmələ gəlir və elektron spektrindəki diamaqnetizm həddindən asılı deyil.

Göstərilmişdir ki, məhdud uzunluqlu 2-qat maqnito-polyaron halından kombinə olunmuş 2-qat maqnito-polyaron halına keçdikdə parçalanmış enerji səviyyələri arasındakı fərq 6.825 meV-dən 3.85 meV-ə qədər azalır.

DİSSERTASIYANIN MÖVZUSU ÜZRƏ ƏSAS NƏTİCƏLƏRİN DƏRC OLUNDUĞU ELMİ İŞLƏRİN SİYAHISI

1. Гусейнов Н.М., Сеид-Рзаева С.М. “Квазидвумерный полярон” // Физика Твердого Тела, т.31, в.9, 1989, стр.32-36.
2. Guseinov N.M., Rustamov K.A., Seyid-Rzayeva S.M. “The Polaron Effects and Relaxation of Non-Equilibrium Electrons in the Quasi-Two Dimensional Systems” // Modern Physics Letters B, vol. 5, No. 2, 1991, pp.139-149.
3. Пашабекова У.С, Сеид-Рзаева С.М. ” Электронная диэлектрическая проницаемость бесконечно узкой квантовой ямы бесщелевого полупроводника”// АМЕА-нын Хəбərləri (Fiz.-riyaz. və tex. elmləri ser., fizika və astronomiya), XXV11, № 2, 2007,
4. Сеид-Рзаева С.М., Пашабекова У.С. “Влияние непараболичности на поляронные эффекты в узкощелевых полупроводниках и полуметаллах” //АМЕА-нын Хəбərləri (Fiz.-riyaz. və tex. elmləri ser.,fizika və astronomiya) с. XXV11, 2007, № 5, стр.24-29.
5. Сеид-Рзаева С.М., Пашабекова У.С. “Энергия основного состояния оптического полярона в узкощелевых полумагнитных полупроводниках“ // Труды пятой международной научно-технической конференции. Актуальные проблемы физики, 25-7 июня 2008 года, стр.66-68.
6. Сеид-Рзаева С.М., Пашабекова У.С. , “Поляронные эффекты в узкощелевых полумагнитных полупроводниках“//АМЕА-нын Хəбərləri Fiz.riyaz. və tex. elmləri ser.,Fizika və astronomiya) XXV111, №5, 2008., стр.79-83.
7. Сеид-Рзаева С.М., ”Особенности оптических поляронов в полумагнитных полупроводниках” //АМЕА-нын Хəбərləri, fiz.-riyaz. və tex. elmləri ser.,с. XX1X, №5, 2009., стр.49-53.
8. Сеид-Рзаева С.М., “Поляронные массы электронов в полумагнитных полупроводниках в магнитном поле” // АМЕА, Məruzələr, cild LXV, № 5, 2009., səh.27-32.
9. Seyid-Rzayeva S.M., “Optical polarons in semimagnetic semiconductors” // Fizika, с. XVI, N 2, 2010. Section: En, Series: En, p. 414-417.
10. Seyid-Rzayeva S.M. “Intraband Nonresonant Optical Polaron in Semimagnetic Semiconductors” // Moldavian Journal of the Physical Sciences, Vol.9, No.3-4, 2010, p.261-268.

11. Seyid-Rzayeva S.M “Influence of Exchange Interaction on Phonon-Polaron properties in Diluted Magnetic Semiconductors” // Jpn. J. Appl. Phys.50, 2011, 05FE09-1 –05FE09-3.
12. Ələkbərov O.Z., Seyid-Rzayeva S.M Hüseynova S.S. “Təkdirarlı yarımkeçirici nanoboruda polyaronun effektiv kütləsi” // AMEA-nın Xəbərləri (Fiz.-riyaz. və tex. elmləri ser., fizika və astronomiya) c.XXXI, № 5, 2011, səh.143-149.
13. Alekperov O.Z., Seyid-Rzayeva S.M., Guseynova S.S. “Lifetime of polaron excited state in single shell nanotube” // Fizika, vol. XVII, № 3, Section: En., 2011, səh.27-30.
14. Сеид-Рзаева С.М “Магнетополярный Эффект в Нанотрубке” // Труды XIII международной конференции. Актуальные проблемы физики твердого тела, г.Ульяновск 2011, стр.141-144.
15. Сеид-Рзаева С.М. “Энергия основного состояния и эффективная масса полярона большого радиуса в одностенной нанотрубке.” // ФТТ-2011 Актуальные проблемы физики твердого тела, Сборник Докладов Междуна-родной конференции Минск 2011 г., том 1, стр.59-61.
16. Seyid-Rzayeva S.M.“Influence of the screening effect on polaron energy in a nanotube” // Physica Scripta 85 (2012) 035707, page 1-5.
17. Seyid-Rzayeva S.M. “Phonon-polaron effect in diluted magnetic semiconducting nanotubes” // Low-dimensional systems and nano-structures. Physica E 44 (2012), page 1945-1949.
18. Seyid-Rzayeva S.M. “Resonant magnetopolarons in semiconductor nanotube” // Azerbaijan Journal of Physics “Fizika”, vol. XVI I I, № 2, June 2012, page 8-13.
19. Seyid-Rzayeva S.M. “İçi boş Yarımkeçirici Nanosilindrin Səthində Yerləşən Elektronların Enerjisi üçün Relaksasiya Prosesləri” // AMEA-nın Xəbərləri (Fiz. riyaz. və tex. elmləri ser.,fizika və astronomiya) cild: XXXII, № 5 (2012), səh. 25-30.
20. Seyid-Rzayeva S.M.“Effect of the screening on the polaron mass in semiconductor hollow Nanocylinder” // Moldavian Journal of the Physical Sciences,vol.11, N 3, 2012, En, p.1-7.
21. Seyid-Rzayeva S.M “Yarımmaqnit-Yarımkeçirici Nanoboruda Alt-zona-daxili Həyəcanlaşmış Fonon- polyaronun Yaşama Müddəti” // AMEA Məruzələr (2012), cild: LXVI I I, səh. 66 – 73.
22. Seyid-Rzayeva S.M “Yarımmaqnit Yarımkeçirici Nanoboruda Fonon Polaronun Enerjisinin Relaksasiyası” //AMEA-nın Xəbərləri (Fiz.-

riyaz. və tex. elmləri ser., fizika və astronomiya) cild: XXXII, № 2 (2013), səh.9-25.

23. Сеид-Рзаева С.М. “Релаксация энергии неравновесных электронов в нанотрубке, сформированной свернутой квантовой ямой” // Физика и техника полупроводников том 47, вып.6 (2013), стр.793-796.
24. Seyid-Rzayeva S.M “Effect of screening on the phonon-polaron states in a nanotube of diluted magnetic semiconductor” // Low Temperature Physics, v. 39, No.6, (2013) page 642-648. “Energy Relaxation of Nonequilibrium Electrons in an Nanotube Formed by a Rolled-up Quantum Well”// Semiconductors, v. 47, No. 6, (2013), pp. 804-807.
25. “Məhdud uzunluqlu yarımmaqnit yarımkeçirici nanoboruda kombinə olunmuş yeni rezonans maqnito-fonon polyaron” // Azerbaijan Journal of Physics Fizika, v. XIX No. 2, section: Az (2013), səh. 33-36.

KONFRANS MATERIALLARI

1. Сеид-Рзаева С.М. “Влияние обменного взаимодействия на поляронные массы электронов в полумагнитных полупроводниках” // Fizikanın müasir problemləri III Respublika konfransının materialları, 17-18 dekabr, Bakı-2009, səh.153-154.
2. Seyid-Rzayeva S.M.. “Influence of exchange interaction on properties of optical polaron in ternary semimagnetic compounds”. // 17-th International Conference on Ternary and Multinary Compounds, 27-30 September, Baku 2010, p.125(PI-4).
3. Seyid-Rzayeva S.M. “Intraband nonresonant optical polaron in semimagnetic semiconductors”// 5-th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS SCIENCE AND CONDENCED MATTER PHYSICS, September 13-17, Chisinau-2010, p.63.
4. Сеид-Рзаева С.М.. Магнитополяронный эффект в нанотрубке. Труды XII Международной конференции. Актуальные проблемы физики твердого тела, г. Ульяновск, стр. 207-208, 2011
5. Алекперов О.З., Сеид-Рзаева С.М., Гусейнова С.С.. Особенности процессов релаксации энергии неравновесных электронов полупроводниковой нанотрубке. Труды XII Международной конференции. Актуальные проблемы физики твердого тела, г. Ульяновск, стр.209-210, 2011,
6. Сеид-Рзаева С.М.. Время жизни возбужденного состояния

- фононного полярона на поверхности полумагнитной нанотрубки. Труды XV-той Международной конференции г.Ульяновск-2012, стр. 202-203
7. Сеид-Рзаева С.М. Новый магнетополярный эффект в полумагнитной полупроводниковой нанотрубке. Труды XV-той Международной конференции г.Ульяновск-2012, стр. 204-205.
 8. Seyid-Rzayeva S.M. "Effect of the screening on phonon-polaron binding energy in diluted magnetic semiconductor nanotube" PO1- PO5, p.84, 18-th International Conference on Ternary and Multinary Compounds 2012 27-31, August 2012, po1-po5, page 84 (in the University of Salzburg).
 9. Seyid-Rzayeva S.M. "ELECTRON RELAXATION TIMES DUE TO THE ELECTRON-PHONON INTERACTION ON NANOTUBE SURFACE " - 6th Interntional Conference on Materials Science and Condensed Matter Physics (MSCMP 2012, 11-14 september), page 52.
 10. Seyid-Rzayeva S.M , " EFFECT OF THE SCREENING ON THE POLARON MASS IN SEMICONDUCTOR HOLLOW NANOCYLINDER"-6th Interntional Conference on Materials Science and Condensed Matter Physics (MSCMP 2012 11-14 september), page 55.
 11. Seyid-Rzayeva S.M., APMAS 2013-BOOK OF ABSTRACTS, Antalya, TURKEY, April 24-28, 2013, 3rd International Advances in Applied Physics: «Impact of Screening on the Phonon –Polaron States in a Nanotube of Diluted Magnetic Semiconductor», page 665.
 12. Seyid-Rzayeva S.M. «Phonon-Polaron Life Time in Diluted Magnetic Semiconductor Nanotube» EDISON 18, Abstract No 1335, MoP-15; 18 the International Conference on Electron dynamics in Semiconductors, Optoelectronics and Nanostructures, Matsue, Japan, July 22-26, 2013.

ПОЛЯРОН ФРЕЛИХА В КВАЗИДВУМЕРНЫХ СИСТЕМАХ

РЕЗЮМЕ

Диссертационная работа состоит из двух частей. Первая часть посвящена построению теории основного состояния полярона Фрелиха большого радиуса в полумангнитной полупроводниковой нанотрубке (ПМПП НТ-ке) при наличии однородного магнитного поля в приближении непрерывной диэлектрической среды. В качестве материала нанотрубки рассмотрены тройное полярное соединение $Hg_{1-x}Mn_xSe$ ($x=0.066$).

С учетом межподзонных переходов размерного квантования исследованы влияние $sp-d$ обменного взаимодействия на энергию связи полярона и поляронную добавку к эффективной массе. Показано, что оба параметра полярона с увеличением магнитного поля уменьшаются.

Исследовано влияние $sp-d$ обменного взаимодействия на время жизни возбужденного электрона. Выяснено, что в случае межподзонного возбуждения с увеличением радиуса НТ-ки время жизни полярона уменьшается; с увеличением магнитного поля время жизни полярона увеличивается. Однако, в случае внутри - подзонного возбуждения с увеличением радиуса НТ-ки время жизни полярона увеличивается; с увеличением магнитного поля время жизни полярона уменьшается.

Исследован влияние экранирования электрон-фононного потенциала взаимодействия на поляронные параметры в ПМПП НТ-ке. Показано, что в магнитном поле $B=0.1$ Тл из-за экранирования потенциала электрон-фононного взаимодействия при изменении отношения радиуса НТ-ки к поляронному радиусу в интервале 0.5-2 энергия связи и поляронная добавка к эффективной массе уменьшаются на 30-15% и 25-10 %, соответственно.

Во второй части представлены теоретические исследования возбужденных состояний поляронов в магнитном поле: магнито-поляронных состояний в ПП-вых и ПМ ПП НТ-ках. Магнито -поляроны возникают при резонансных значениях квантующего магнитного поля, направленного вдоль оси НТ-ки вследствие эффекта Джонсона-Ларсена.

Вычислены величины энергетических расщеплений в ПП-вых и ПМПП НТ-ках с бесконечной и конечной длиной для обычных двойных, тройных и комбинированных магнито-поляронов в зависимости от магнитного поля и радиуса НТ.

Показано, что в полупроводниковых НТ-ках для комбинированных магнито-поляронов расщепление уровней увеличивается по сравнению с обычными магнито-поляронами, что создает благоприятное условие для экспериментального наблюдения близко расположенных уровней.

FRELICH POLARON IN QUASI-TWODIMENSIONAL SYSTEMS

SUMMARY

This work consists of two parts. The first part is devoted to development of theory of the basic state of the Frellich polaron of big radius in semimagnetic-semiconductor nanotube (SMSC NT) in presence of homogeneous magnetic field in approximation of the continuous dielectric medium. As a nanotube material the ternary polar compound $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ($x=0.066$) has been used.

Taking into account inter-subband transitions of the dimensional quantization the influence of $sp-d$ exchange interaction on polaron additives to energy and effective mass have been investigated. It is shown that both parameters of the phonon-polaron decrease with increasing of the magnetic field. Influence of $sp-d$ exchange interaction on the lifetime of the excited electron and screening of the electron-phonon potential interaction with account of inter-subband transitions of the dimensional quantization.

It is found that in case of inter-subband transitions with increasing of NT radius, lifetime of the phonon-polaron decreases; but with increasing of the magnetic field lifetime of the phonon-polaron increases. However, it is shown that in case of intra-subband with increasing of NT radius lifetime of phonon-polaron increases; but with increasing of the magnetic field lifetime of the phonon-polaron decreases.

In the magnetic field $H=0.1$ T because of shielding of the electron-phonon interaction potential at change of NT radius value in the range equal 0.5-2, polaron additive to energy and effective mass decrease on 30-15% and 25-10%.

In the second part theoretical investigations of the excited states of polarons are presented - magneto-polarons states in the magnetic field in SC and SMSC NT. Magneto-polarons originate at resonant values of the quantizing magnetic field directed along NT axis due to Johnson-Larsen effect.

Values of energy splitting for a number of usual binary, ternary and combined magneto-polarons with infinite and finite length have been calculated; as well as for a usual binary and combined double magneto-polarons depending on the magnetic field and NT radius.

It is revealed, that in quasi-dimensional semiconductor NT magneto-polaron splitting of the levels increases on quantity between the splitted sites, and as a result, a perfect condition for experimental observation of the close located levels is created.

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ имени академика Г.Б.АБДУЛЛАЕВА

На правах рукописи

СЕИД-НИСА МИРТАГИ КЫЗЫ СЕИД-РЗАЕВА

ПОЛЯРОН ФРЕЛИХА
В КВАЗИДВУМЕРНЫХ СИСТЕМАХ

2220.01-Физика полупроводников

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора наук по физике

БАКУ - 2014

34