

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ
Ներկայարարյան Սոնա Խաչատրյանի

**ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՑԹԱՅԻՆ ՊԼԱՋՄՈՆՆԵՐԻ ՏԵՂԱՑՆԱՑՄԱՆ
ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԱՆՀԱՄԱՍԵՌ ՄԵՏԱՂԱԿԱՆ
ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐՈՒՄ**

Ա.04.03 - «Ռադիոֆիզիկա» մասնագիտու թյամբ
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտու թյո լ ն ների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատեսախոսու թյան սեղմագիր

ԵՐԵՎԱՆ – 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Неркараян Сона Хачатуровна

ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОНОВ В
НЕОДНОРОДНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности

01.04.03 – "Радиофизика"

ЕРЕВАН – 2017

Ատենախոսուող անթեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում

Գիտական ղեկավար՝ \$.մ .գ .դ . դոցենտ Ա . Ժ . Բաբաջանյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ \$.մ .գ .դ ., պրոֆեսոր Ա . Ժ . Մուրադյան
\$.մ .գ .դ ., պրոֆեսոր Ժ . Ս . Գևորգյան

Առաջատար կազմակերպողներն են՝ ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և
Էլեկտրոնիկայի ինստիտուտ

Պաշտպանուողները կայանալու է 2017թ. դեկտեմբերի 23-ին ժամը 12:00-ին Երևանի պետական համալսարանի 049 ֆիզիկայի մասնագիտական խորհրդի նիստում (հասցե՝ 0025 Երևան, Ա. Մանուկյան 1):

Ատենախոսուող անըկարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:
Սենզորներն առաքված է 2017թ. նոյեմբերի 21-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար՝  \$.մ .գ .թ ., դոցենտ
Վ . Պ . Զալանթարյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете
Научный руководитель: д.ф.м.н., доцент А. Ж. Бабаджанян

Официальные оппоненты: д.ф.м.н., профессор А. Ж. Мурадян
д.ф.м.н., профессор Ж. С. Геворгян

Ведущая организация: Институт радиофизики и электроники НАН РА

Защита диссертации состоится 23-го декабря 2017 г. в 12:00 часов, на заседании специализированного совета 049 по физике при Ереванском государственном университете (адресс: 0025 Ереван, ул. А. Манукяна 1).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.
Автореферат разослан 21-го ноября 2017г.

Ученый секретарь специализированного совета:  к.ф.м.н., доцент
В . П . Калантарян

Աշխատանքի արդիականությունը

Անցիալ դարի ինստուկցիան թվականներին, երբ այլևս իրողությունն էր դարձել էլեկտրոնային սարքերի նանոմետրական չափերում տեղայինացումը, արդիական դարձավ դրան տրամաբանորեն հաջորդող մյուս խնդիրը՝ նույն սահմաններում տեղայինացնել նաև լուսային ազդանշանը: Այս ճանապարհին հանդես եկող ամենակզբունքային խոչնդոտը, պիքային պրոցեսների կարևոր առանձնահատկություններից մեկը հանդիսացող դիֆրակցիոն սահմանն է, որն արգելում է ազատ լույսը տեղայինացնել իր պիքի երկարություննից զգալիորեն ավելի փոքր սահմաններում: Շուտով այս ուղղությամբ զբաղվող հետազոտողներին պարզ դարձավ, որ խնդրի հաղթահարման առավել արդյունավետ ուղին մակերևութային պլազմոն պոլյարիտոնների (ՄՊ) արտասովոր հատկությունների օգտագործումն է: Այլքների այս տեսակը ձևավորվում է մետաղում էլեկտրոնային գազի հավաքական տատանումների և էվանեսցենտային էլեկտրամագնիսական դաշտերի փոխամածայնեցված տարածման արդյունքում՝ համատեղելով ֆոտոնային և պլազմոնային հատկությունները: Հատկանշական է, որ այս պիքները բնութագրող դիսպերսիոն առնչությունները, որոշակի իրավիճակներում, չեն արգելում զգալիորեն փոքրացնել պիքի երկարությունը՝ դիֆրակցիոն սահմանը տեղափոխելով նանոմետրական տիրույթ: Այսպիսով նանոմետրական չափերում լույսի տեղայինացման հնարավորության բացահայտումը հետազոտությունների լայն ասպարեզ բացեց այնպիսի կարևոր ուղղություններում, ինչպիսիք են՝ ինֆորմացիայի արագագործ մշակման տարրային հենքի ստեղծումը, մակերևութին ադսորբցված առանձին մոլեկուլների նույնականացումն ու տեղորոշումը, գերզգայուն քիմիական և կենսաբանական սենսորների ստեղծումը և այլն:

Շրջադարձային էր, փորձարարական հետազոտությունների արդյունքում բացահայտված, անթափանց մետաղական էկրանի վրա բացված պիքի երկարություննից փոքր չափեր ունեցող անցքերի կամ ճեղքերի միջով արտասովոր մեծ չափով լույսի անցման երևույթը: Առաջացած մեծ հետաքրքրությունը պայմանավորված էր նրանով, որ անցած հզորության արժեքը չէր համապատասխանում նախնիներում կատարված տեսական

կանխատեսուումներին և Էապես գերազանցում էր անմիջականորեն անցքին ընկած հզորությունը: Դրան հաջորդած տեխնոլոգիական առաջընթացը հնարավորություն տվեց ստեղծել ֆոտոդետեկտորներ սպեկտրի ինֆրակարմիր տիրույթում՝ ֆոտովոլտայիկ սարքեր և գազային սենսորներ:

Պլազմոնային կառուցվածքների ամենահրապուրիչ առանձնահատկություններինց մեկը լուսային էներգիան նանոմետրական սահմաններում տեղայինացնելու ընդունակությունն է: Պլազմոնային նանոֆոկուսացման այս երևույթը սովորաբար իրականացվում են օգտագործելով կոնաձև մետաղական ուղղորդող նանոմետրական կառուցվածքներ, ինչպիսիք են կոնաձև մետաղական ձողը, սուր մետաղական սեպը, դիելեկտրիկ տակդիրի վրա մետաղական թաղանթի կոնաձև գազաթը և երկու մետաղական միջավայրերը բաժանող սեպաձև նանոճեղքը: Մետաղ-դիելեկտրիկ բաժանման սահմանին ձևավորվող ՄՊՊ-ները, իրենց արտասովոր հատկություններին շնորհիվ, կարող են այլ ընտրանքային ուղի հանդիսանալ երկրային պայմաններում սև խոռոչի մոդելավորման համար: Յաճախ, մետաղական մակերևույթների մեջ սահմանափակված ՄՊՊ-ի տարածումը նկարագրվում է արդյունաբար բեկման ցուցիչով: Վերջինիս մեծությունը Էապես կախված է ինչպես մետաղական պատերի դիելեկտրիկ թափանցելիությունից, այնպես էլ նրանց միջև ընկած հեռավորությունից: Մասնավորապես, պատերի միջև հեռավորության փոքրացմանը զուգընթաց, աճում է արդյունաբար բեկման ցուցիչը: Այս հանգամանքը լավ նախադրյալներ է ստեղծում պլազմոնային սև խոռոչի իրականացման համար, քանի որ արդի տեխնոլոգիաները հնարավորություն են տալիս նանոմետրական ճշտությամբ կառուցել մետաղ-դիելեկտրիկ-մետաղ փոփոխվող միջուկի հաստությամբ համակարգեր:

Սպրտան ճառագայթման ղեկավարվող փոփոխության իրականացումը քվանտային էլեկտրոնիկայի հիմնական խնդիրներից է: Քվանտային դիպրլային ճառագայթիչների (ՔԴՃ), ինչպիսիք են մոլեկուլները կամ կիսահաղորդչային քվանտային կետերը և մետաղական նանոմասնիկների (ՄՆՄ) միջև կապը օպտիկական տիրույթում թույլ է տալիս կառավարել էլեկտրամագնիսական էներգիայի հոսքը և ընկած է արագ գարգացող քվանտային պլազմոնիկայի հիմքում:

Նանոօպտիկայի բնագավառում վերջին հաջողություները՝ մասնավորապես մետաղական նանոկառուցվածքի (հաճախ անվանում են նանոանտենաներ) և մեկ մոլեկուլի փոխադրեցում վերաբերող փորձերը, իրենք են հանդիսանում այս ոլորտի զարգացման համար: ՔԴՃ-ՄՆՄ փոխադրեցում վերաբերվող ամենաքննարկվող երևույթը \$I\$ ուրեցեցեցիոն ճառագայթման փոփոխությունն է (ուժեղացում և մարում), որը որոշվում է ճառագայթային և ոչ ճառագայթային մարումների արագությունների հարաբերության փոփոխությամբ: Այս երևույթը արդյունավետ միջոց է մակերևույթին ադսորբցված մոլեկուլների և ստոմների նույնականացման և տեղորոշման համար:

Ատենախոսություն նպատակը

Ատենախոսություն հիմնական նպատակը նանոմետրական չափերով օպտիկական օպտոէլեկտրոնային և սպեկտրասկոպիկ սարքերի տարրային հենքն ապահովող ֆիզիկական պրոցեսների հետազոտումն է, որոնք հանդես են գալիս մետաղական թաղանթում բացված խոռոչի մերձակայքում, մետաղ-դիէլեկտրիկ-մետաղ և քվանտային դիպոլային ճառագայթիչ/մետաղական նանոմասնիկ համակարգերում:

Գիտական նորույթը

Աշխատանքում առաջին անգամ բացահայտվել է մետաղական թաղանթում բացված խոռոչի մերձակայքում հանկելյան գլանային ֆունկցիաներով նկարագրվող դեպի խոռոչ զուգամիտող և տարամիտող ՄՊՊ-ների ձևավորումը և դրանց դերը խոռոչով լույսի արտասովոր անցման պրոցեսում:

Ցույց է տրվել, որ հավող մետաղական գնդերի մերձակայքում ՄՊՊ-ային ճառագայթը շարժվում է սպիրալաձև հետադժով՝ իրականացնելով անկում դեպի հպման կետը: Այստեղ ՄՊՊ-ը նթացքը ակներևաբար համանման է սև խոռոչի մերձակայքում լուսային ճառագայթի վարքին, ուստի երկրայն պայմաններում հնարավորություն է ստեղծվում մոդելավորել բացառապես ոչ երկրային իրավիճակ:

Դիէլեկտրիկական հարթ մակերևույթին ադսորբցված մոլեկուլի \$I\$ ուրեցեցեցիայի հզորության զգալի աճը մետաղական սուր գագաթի առկայության պայմաններում թույլ է տալիս որոշել նրադիրքը և նույնականացնել այն:

Գործնական արժեքը

Ատենախոսությունը ունում առաջին գլխում քննարկվող նախնական խոռոչով լույսի արտասովոր անցման երևույթը կարող է կիրառվել լույսի ուղղորդված փունջ ձևավորող համակարգերում, մակերևութային ուժեղացված գծային և ոչ գծային սպեկտրոսկոպիայում, ինչպես նաև գերզգայուն քիմիական և կենսաբանական սենսորներ ստեղծելիս:

Երկրորդ գլխում քննարկվող լուսային ազդանշանի նախնական չափերում տեղայինացման հնարավորությունը մետաղ-դիէլեկտրիկ-մետաղ երկրաչափական կառուցվածքներում, ինֆորմացիայի արագագործ մշակման տարրային հենքի ստեղծման ուղիներին է:

Երրորդ գլխում հետազոտվող մոլեկուլի ռելաքսացման դինամիկայի կառավարման եղանակը, բացի ընձեռնած տեղորոշման և նույնականացման հնարավորություններին, կարևոր դեր ունի նաև քվանտային համակարգիչներում՝ որպես առանձնացված ֆոտոնների ճառագայթման կառավարելի աղբյուր:

Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները

- Բարակ, անթափանց մետաղական թաղանթում բացված խոռոչի մերձակայքում կարող են ձևավորվել Յանկելյան ֆունկցիաներով նկարագրվող տարամիտվող և գուգամիտող ՄՊՊ-ներ, որոնք ընկնող լույսի հետ որպես դիպուկային ճառագայթիչ փոխազդվելով՝ խոռոչում ապահովում են պիքային դաշտերի արտասովոր բարձր արժեքներ և թափանցելիություն:
- Մետաղական գնդերի հպման կետին, որոշակի թիրախային հեռավորությունից սկսած կամայական ուղղությամբ դեպի թիրախն ուղղված ՄՊՊ ճառագայթը շարժվելով սպիրալաձև և հետագծով ամբողջությամբ կլանվում է՝ կատարելով անկում դեպի կենտրոն: Լույսի վերահսկելի ծուղակ ծառայող այս համակարգը հանդիսանում է սև խոռոչի պարզագույն մոդել:

- Քվանտայ ին դիպուլ այ ին ճ առագայ թիչը զննող մետաղական կոնաձև գազայթի ստեղծած հակադարձ կապը կոնի ծնիչի տրված անկյամբ պայմանավորված հաճախություներին ներդրող թույլ մասնավորված է ֆլուորեսցենցիայի կտրուկ ան, որի արդյունքում հնարավոր է որոշել դիէլեկտրիկի մակերևույթին ադսորբցված մոլեկուլի տեղը և նույնականացնել այն:

Աշխատանքի ներկայացումը

Աշխատանքի արդյունքները ներկայացվել են SPIE Photonics Europe (Բրյուսել, Բելգիա, 2010), International Symposium on Optics and Its Applications (OPTICS-2011) (Երևան – Աշտարակ, Յայաստան, 2011), “IONS” (Նեսապոլ, Իտալիա, 2012) միջազգային գիտաժողովներում, “Optics & its Applications” (Երևան – Աշտարակ, Յայաստան, 2016), , ԵՊՀ ԳԲՀ ռադիոֆիզիկայի և հեռահաղորդակցության ամբիոնի սեմինարներում, ԵՊՀ ուսանողական գիտական ընկերության 2015 և 2016 թվականների գիտաժողովներում:

Հրատարակումները

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները տպագրվել են 8 գիտական աշխատանքներում, որոնց ցուցակը ներկայացված է սեղմագրի վերջում:

Ատենախոսության կառուցվածքը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, երեք գլխից, եզրակացությունից, 142 անուն գրականության ցանկից: Ատենախոսության ընդհանուր ծավալը 113 էջ է, որում առկա է 35 նկար:

Աշխատանքի բովանդակությունը

Ներածությունում ներկայացված է աշխատանքի արդիականությունը, ձևակերպված են նպատակներն ու խնդիրները, պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները, աշխատանքի գիտական նորոյթը և գործնական արժեքը:

Առաջին գլխում հետազոտվել են ՄՊՊ դաշտի գրգռման, տարածման և մարման առանձնատկությունները բարակ,

անթափանց մետաղական թաղանթում բացված խոռոչի մերձակայքում:

§1.1 պարագրաֆը նվիրված է լույսի արտասովոր անցման երևույթի նկարագրությանն ու տեսական մոդելների վերլուծությանը: Ներկայացվել են երևույթի փորձնական բացահայտման ժամանակագրությանը և դրան հաջորդած տարատեսակ կառուցվածքներում երևույթի հանդես գալու հնարավորություններին ու առանձնահատկություններին նվիրված հետազոտությունների շարքը: Քննարկվել է դիֆրակցիայի տեսության սահմաններում մշակված դասական մոդելների հետ ստացված արդյունքների համապատասխանության հարցը և վերլուծվել են առավել ապաստված կիսափայլ վրահիմնված նոր մեթոդները:

§1.2 պարագրաֆում ներկայացվում են ՄՊՊ-ների հնարավոր դերը լույսի արտասովոր անցման պրոցեսում այդ խնդրի հետ կապված քննարկումները և փորձնական արդյունքների վերլուծությանը: Քննարկվում են նաև, ՄՊՊ-ների մասնակցությանը, լույսի արտասովոր անցման երևույթի առանձնահատկությունները խոռոչների պարբերական համակարգում:

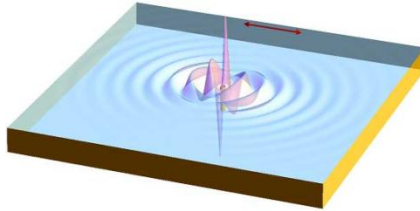
§1.3 պարագրաֆը նվիրված է ՄՊՊ-ների Յանկելյան տիպի գլանային ֆունկցիաներով նկարագրվող դաշտերի գրգռմանը և տեղայնացմանը մետաղական նանոանցքի շրջակայքում՝ էլեկտրամագնիսական ալիքի նորմալ անկման պայմաններում: ՈՒսումնասիրվել է մետաղի մակերևույթին բացված նանոանցքի շրջակայքում ՄՊՊ-ի Յանկելյան տիպի դաշտի ձևավորման հարցը: Խնդիրը քննարկված է գլանային կոորդինատական համակարգում (ρ, φ, z) , որի հաշվարկման սկիզբը համընկնում է ոսկու մակերևույթին բացված նանոանցքի կենտրոնի հետ, իսկ z առանցքը ուղղահայաց է այդ մակերևույթին: Դիէլեկտրիկը զբաղեցնում է $z > 0$ կիսատարածությունը՝ ε_d դիէլեկտրիկ թափանցելիությամբ, իսկ մետաղը, որը պարունակում է r շառավղով նանոանցք, գտնվում է $\varepsilon_m = \varepsilon'_m + i\varepsilon''_m$ ($\varepsilon'_m < 0$) դիէլեկտրիկ թափանցելիությամբ $z < 0$ կիսատարածությունում: Դիէլեկտրիկի տիրույթում ($z > 0$ և $\rho > r$) ձևավորվում են երկու տեսակի՝ դեպի կենտրոն գուգամիտվող և տարամիտվող

ալիքներ, որոնք նկարագրվում են Յանկելի առաջին և երկրորդ կարգի H_n նկցիաներով՝

$$E_{zn}^{(1,2)} = D \left[H_n^{(1,2)} \left(\rho \sqrt{k_d^2 + \chi_d^2} \right) \right] \cos n\varphi e^{-(\chi_d z + i\omega t)}, \quad (1)$$

Այստեղ $H_n^{(1,2)}$ -ը Յանկելի առաջին և երկրորդ կարգի H_n նկցիաներն են, $k_d^2 = \epsilon_d \frac{\omega^2}{c^2}$, իսկ D -ն և χ_d -ն հաստատուններ են, որոնք որոշվում են երկու միջավայրերի բաժանման սահմանին ($z = 0$) դաշտի տանգենցիալ բաղադրիչների անընդհատությամբ: ՄՊՊ-ի էլեկտրական դաշտի z -բաղադրիչի իրական մասի՝ $Re(E_z)$ -ի եռաչափ տեսքը բերված է նկ. 1-ում:

ՄՊՊ Յանկելյան տիպի դաշտը դիպոլային բնույթ ունի և տարածվում է ընկնող ալիքի բևեռացման ուղղությամբ (նկարում պատկերված է կարմիր գծով): Նկար 1-ից երևում է, որ նանոանցքի անմիջական շրջակայքում հանկելյան տիպի դաշտի մոդերը կտրուկ աճում են նանոանցքի անմիջական շրջակայքում և նրանց մի մասը ակտիվ են և կարող են փոխազդել մակերևույթին ընկնող լույսի հետ:



Նկ. 1: ՄՊՊ-ի Յանկելյան տիպի էլեկտրական դաշտի z -բաղադրիչի եռաչափ տեսքը՝ ոսկու մակերևույթին բացված նանոանցքի շրջակայքում: Ծրջապատող միջավայրը օդն է: Սլաքը ցույց է տալիս ընկնող լույսի բևեռացման ուղղությունը:

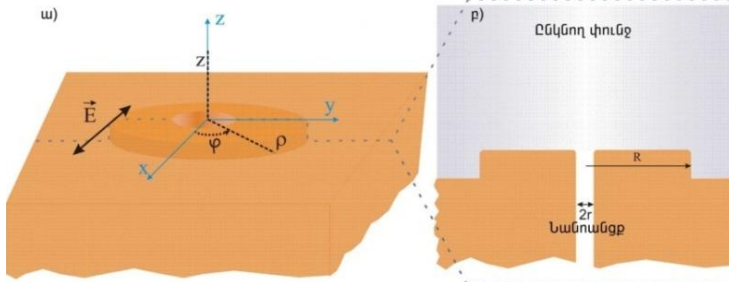
Չուգամիտող Յանկելյան տիպի ՄՊՊ-ի հզորության հարաբերությունը ընկնող ալիքի հզորության խտությանը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\sigma_0(r, \lambda) = \frac{\pi^2 c^2}{4 \omega^2} \frac{(\epsilon_m')^2 \sqrt{\epsilon_d} \sqrt{|\epsilon_m| - \epsilon_d}}{|\epsilon_m| (|\epsilon_m| + \epsilon_d)^2 (\sqrt{|\epsilon_m|} + \sqrt{|\epsilon_m| - \epsilon_d})^2} \left| H_n^{(1)}(k_{SP} r) k_{SP} r \right|^2: \quad (2)$$

Մեծ ալիքի երկարությունների համար, երբ $\epsilon_d \ll |\epsilon_m|$ և փոքր նանոանցքերի դեպքում ($r k_{SP} \ll 1$), (2) բանաձևը պարզեցվում է՝

$$\sigma_0 = \frac{c^2 (\epsilon_m'')^2 \sqrt{\epsilon_d}}{4\omega^2 |\epsilon_m'|^{7/2}} \quad (3)$$

Այստեղ $\sigma_0(r, \lambda)$ -ը կտրուկ նվազում է $|\epsilon_m'|$ -ի աճին զուգընթաց, քանի որ նվազում է ՄՊՊ-ի էլեկտրական դաշտի արժեքը:



Նկ. 2: (ա) Նանոանցք պարունակող մետաղական սկավառակի սխեմատիկ կառուցվածքը և կառուցվածքի եռաչափ տեսքը: (բ) Կառուցվածքի լայնակական հատույթը: ՄՊՊ-ները գեներացվում են սկավառակի մակերևույթին, որը սահմանափակված է սկավառակի ներքին (r) և արտաքին (R) շառավղերի միջև մակերևույթին բացված նանոանցքի շրջակայքում:

Նարագրված է թե ինչպես է ՄՊՊ-ի դաշտ գեներացվում մետաղի սահմանափակ տիրույթում՝ նանոանցքի շուրջ մետաղի սահմանափակումով: ՄՊՊ դաշտի գրգռումը դիտարկելիս կատարվում է հետևյալ երկու մոտարկումները. առաջին, սկավառակի բարձրությունը պետք է բավարար լինի նրա հենքային տիրույթից ՄՊՊ-ների ներթափանցումը բացառելու համար, երկրորդ, սկավառակի ներքին և արտաքին եզրագոտիները չպետք է լինեն սրույթ ունենրով՝ նրանցից ցրված լույսի հետևանքով հավելուրդային ՄՊՊ դաշտի գրգռումը բացառելու համար: Այս դեպքում $\sigma(R, r, \lambda)$ -ի համար ստացվում է հետևյալ արտահայտությունը՝

$$\sigma(R, r, \lambda) = \sigma_0(r, \lambda) \frac{|H_1^{(2)}(k_{SPP}R)k_{SPP}R - H_1^{(2)}(k_{SPP}r)k_{SPP}r|^2}{|H_1^{(2)}(k_{SPP}r)k_{SPP}r|^2} \quad (4)$$

$\frac{\sigma(R, r, \lambda)}{\sigma_0(r, \lambda)}$ հարաբերությունը հաստատուն օսցիլյացաների է ենթարկվում ՄՊՊ-ի ալիքի երկարության պարբերությամբ: Առավելագույն արժեքը ստացվում է այն դեպքում, երբ սկավառակի արտաքին շառավղի դը հավասարվում է ՄՊՊ-ի մակերևույթով տարածման երկարությանը՝ L_{SPP} -ին: Այս դեպքում հարաբերության արժեքը երկու կարգով առավել է հարթ մետաղ մետաղական մակերևույթի անսահմանափակ

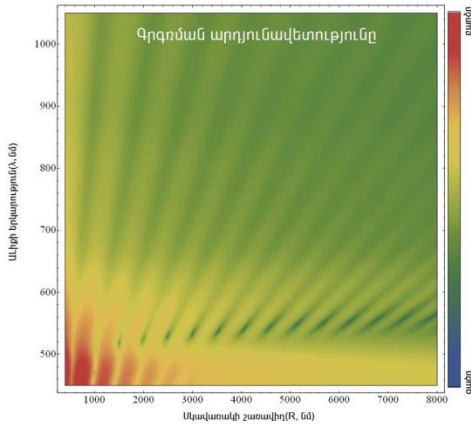
լուսավորության հետ համեմատած: Արագ օսցիլյոսկոպիաների
 Լայնույթը ունի նույն վարքը ինչ $\frac{\sigma(R,r,\lambda)}{\sigma_0(r,\lambda)}$ հարաբերությանը՝
 այն աճում է սկավառակի շառավղին գուգրնթաց, մինչ
 շառավղի՝ ՄՊ-ի տարածման երկարությանը հավասարվելը,
 այնուհետև վազում է շառավղի մեծացման ընթացքում:

ՄՊ-ի դաշտի գրգռման արդյունավետությանը՝ η -ն
 որոշվում է դաշտի հզորության և գրգռման մակերեսի
 հարաբերությամբ: Յազվի առնելով այն հանգամանքը, որ
 $\sigma(R,r,\lambda)$ -ը համեմատական է Յանկելյան տիպի ՄՊ դաշտի
 հզորությանը, ապա որպես գրգռման արդյունավետությանը
 կարող ենք դիտարկել հետևյալ հարաբերությանը՝

$$\eta(R,r,\lambda) = \frac{\sigma(R,r,\lambda)}{\pi(R^2-r^2)} \tag{5}$$

Տատանողական բնույթը և ճառագայթման արդյունավետության
 նվազումը սկավառակի շառավղի մեծացմանը գուգրնթաց
 պայմանավորված է ՄՊ Յանկելյան դաշտի տանգենցյալ
 բաղադրիչի նմանատիպ պահվածքով: Մեծ ալիքի
 երկարության ներքին համար գրգռման արդյունավետությանը
 նվազում է, ինչպես նաև թուլանում են տատանումները:

Ուժեղ կլանումը մեծացնում է ՄՊ-ի գրգռման
 արդյունավետությանը, սակայն սահմանափակում է այն
 մետաղի ներսում՝ թույլ չտալով տարածվել մեծ
 հեռավորության ներքին վրա (Նկ. 3): Այդ պատճառով
 արդյունավետությանը ավելի կտրուկ կնվազի որպես
 ֆունկցիա սկավառակի շառավղից փոքր ալիքի
 երկարության ներքին համար քան երկար ալիքների դեպքում:



Նկ. 3: Ճառագայթման արդյունավետության կախվածությունը սկավառակի շտապողից և ալիքի երկարությունից: Առանցքը ներկայացված է ռոգարիթմական մասշտաբով:

Առենախտսուռության երկրորդ գլուխը նվիրված է ՄՊՊ-ների գերֆոկուսացման երևույթի հնարավոր դրսևորումների վերլուծությանը, որի հիման վրա հետագոտվել է ՄՊՊ-ների օգնությանը երկրային պայմաններում սև խոռոչի մոդելի ստեղծման հնարավորությունները:

§2.1 պարագրաֆում ներկայացվում է ՄՊՊ-ների գերֆոկուսացման երևույթը: Մի շարք երկրաչափական կառուցվածքներում տարածվելու ընթացքում կարող է էսպես նվազել ՄՊՊ-ի ալիքի երկարությունը, այնպես որ դիֆրակցիոն երևույթները չեն խոչնդոտում նրատղայինացմանը շատ փոքր տիրույթներում և ալիքային դաշտերի արտասովոր աճին: Վերլուծվում են այն ֆիզիկական իրավիճակները, երբ առաջանում է ՄՊՊ-ների գերֆոկուսացման երևույթը:

§2.2 պարագրաֆում վերլուծվում է մակերևութային ալազմոնների վարքը մետաղ-մեկուսիչ-մետաղ կառուցվածքներում: Այս կառուցվածքը պարզագույնն է ալազմոնային ալիքատարների դասում, ուր հանդես են գալիս լուսային ադանշանը նանոմետրական տիրույթ տեղափոխելու հնարավորությունները: Ներկայացվում են կառուցվածքում ՄՊՊ-ների տարածման երկարության և արդյունարար բեկման ցուցիչի կախվածությունը մեկուսիչ շերտի հաստությունից:

Վերլուծվում է այլ ազմոնային ևլ իքատարների նկարագրության համար առավել հաճախ կիրառվող, ադիաբատիկ մոտարկման վրա հիմնված, հաշվարկման անալիտիկ մեթոդը:

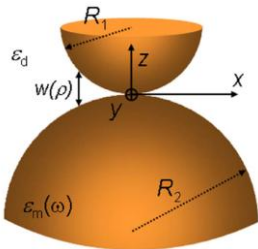
§2.3 պարագրաֆը նվիրված է V-տիպի ակոսածև ալիքատարի առանձնահատկությունների նկարագրությանն ու դրանում ակոսի բացվածքի անկյան փոքրացման հետևանքով գերֆոկոնսացման երևույթի հանդես գալուն:

§2.4 պարագրաֆը ատենախոսության երկրորդ գլխում առանցքային դեր ունի և նվիրված է սև խոռոչի ալիքազմոնային մոդելի ստեղծման հնարավորությանը: Ինչպես հայտնի է, սև խոռոչը տարածության մի տեղամաս է, ուր վիթխարի գրավիտացիոն դաշտի առկայությունը ստիպում է բոլոր նյութական օբեկտներին և նույնիսկ լույսին ոչ թե շեղել իրենց շարժման հետագիծը, այլ սպիրալաձև հետագծով անկում կատարել դեպի կենտրոն՝ դեպի դաշտը ծնող աղբյուրը: Երկնային պրոցեսները նմանակող օպտիկական համակարգերը մեծ գիտական հետաքրքրություն են ներկայացնում ինչպես լույսի և նյութի փոխազդեցության հիմնարար հետազոտությանն ենթակետից, այնպես էլ կիրառական տեսանկյունից՝ ծառայելով որպես լույսի վերահսկելի ծուղակ [1-3]: Սկսած որոշակի թիրախային հեռավորությունից, կամայական ուղղությամբ դեպի թիրախն ուղղված ճառագայթումը ամբողջությամբ կլանող համակարգը կարելի է անվանել օպտիկական սև խոռոչ, եթե կլանումն իրականանում է հաճախության ներքին լայն տիրույթում: Մետաղ-դիէլեկտրիկ բաժանման սահմանին ձևավորվող ՄՊՊ-ները, իրենց արտասովոր հատկությունների շնորհիվ, կարող են այլընտրանքային ուղի հանդիսանալ երկրային պայմաններում սև խոռոչի մոդելավորման համար:

Այս պարագրաֆում ցույց է տրվել, որ հավող մետաղական գնդերի համակարգը հաջողությամբ կարող է ծառայել այդ նպատակին: Այստեղ դեպի համան կետը հեռավորությունից կախված հակադարձ քառակուսային օրենքով աճող արդյունարար բեկման ցուիչը ստիպում է ՄՊՊ ճառագայթին սպիրալաձև հետագծով անկում կատարել դեպի կենտրոն: Հատկանշական է, որ չնայած մետաղական պատերի կողմից ալիքային էներգիայի զգալի կլանմանը, կենտրոնի մերձակայքում կուտակվող էներգիան անսահմանափակորեն աճում է: Հասկանալի է, որ երևույթը տեղի ունի ճառագայթի

անկման թիրախային հռեավորության սահմանային արժեքից փոքր արժեքների դեպքում: Արդյունքում ձևավորվում է երկչափ պլազմոնային սև խոռոչ: Ի տարբերություն հարդևանոգևդերի միջև, գերֆոկուսացման հետևանքով, լուսային էներգիայի կուտակման երևույթին [4], այստեղ մենք գործունենք միկրոսկոպական չափերով, պիքի երկարությունը զգալիորեն գերազանցող գնդերի հետ, ինչը վճռական դեր է խաղում պլազմոնային սև խոռոչի ձևավորման պրոցեսում: Դասանշանակում է, որ այս դեպքում կարիք չկա դիֆրակցիոն ցանցերի, կամ այլ սարքերի միջոցով հասնել ՄՊՊ-ների գրգռման, ինչն անխուսափելի է հավող նանոգլանների դեպքում:

Դիտարկում ենք երկու հավող գնդերից կազմված համակարգ, որոնց R_1 և R_2 շառավիղները էապես մեծ են ընկնող ճառագայթման պիքի λ երկարությունից (տես Նկ. 4):



Նկ 4: Դիելեկտրիկում ներդրված երկու հավող մետաղական գնդերից կազմված համակարգ՝ համապատասխանաբար ϵ_d և ϵ_m դիելեկտրիկական թափանցելություններով:

Պրոցեսի ըմբռնման նպատակով, նպատակահարմար է խնդրին անդրադառնալ երկրաչափական օպտիկայի սահմաններում օգտագործվող ճառագայթի ընթացքը նկարագրող բնութագրիչներն: Այս դեպքում ՄՊՊ ճառագայթի հետագիծը որոշվում է Ֆերմաի սկզբունքից, որը կենտրոնահամաչափ դաշտում Բուգեռի բանաձևի տեսքն է ստանում [5].

$$q(\rho)p(\varphi)\sin\alpha = \gamma: \tag{6}$$

Այստեղ $q(\rho)$ -ն ՄՊՊ-ի պիքային թիվն է, γ հաստատունը որոշվում է \mathbf{b} թիրախային հռեավորությամբ (տես Նկ. 5(a))՝ $\gamma = kb$: Օգտագործելով ճառագայթի դիֆերենցիալ հավասարումը

բևեռային կորդինատային համակարգում [5], կենտրոն անկում կատարող ՄՊՊ ճառագայթի համար կստանանք.

$$\frac{d\rho}{d\varphi} = -\frac{\rho}{b} \sqrt{\rho^2 + \frac{4R}{k} \sqrt{\frac{\varepsilon_d}{|\varepsilon_m|}} - b^2}. \quad (7)$$

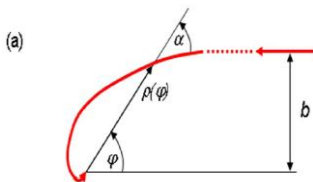
Ինտեգրումից հետո կստանանք.

$$\rho(\varphi) = \begin{cases} \frac{\beta}{\operatorname{sh}\left(\frac{\beta\varphi}{b}\right)}, & b < b_{cr}, \quad \beta = \sqrt{b_{cr}^2 - b^2}, \\ \frac{-\beta}{\sin\left(\frac{\beta\varphi}{b}\right)}, & b > b_{cr}, \quad \beta = \sqrt{b^2 - b_{cr}^2}, \end{cases} \quad (8)$$

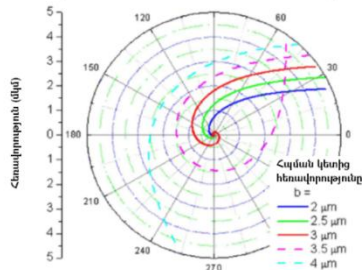
որտեղ b_{cr} -ը կրիտիկական թիրախային հեռավորությունն է՝

$$b_{cr} = \sqrt{\frac{4R}{k} \sqrt{\frac{\varepsilon_d}{|\varepsilon_m|}}}. \quad (9)$$

Վերջինս պատահարների հորիզոնի շառավիղն է [1-3,6] և բաժանում է այն ՄՊՊ ճառագայթները, որոնք սպիրալ աճ և հետագծով անկում են կատարում կենտրոն:



(b) Ոսկե գնդի հարթ մակերևույթ $\lambda = 800 \text{ nm}$, $R = 100 \mu\text{m}$, $b_{cr} = 3.216 \mu\text{m}$

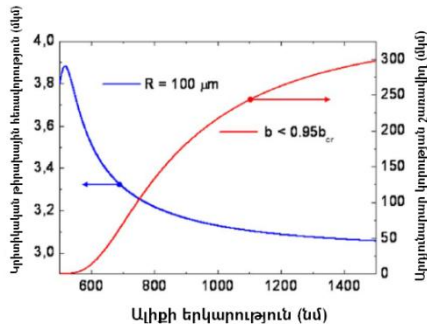


Նկ 5: Ճեղքային ալլագմոն պլյարիտոնների հետագծերը: (ա) Բևեռային կորդինատային համակարգ որտեղ ճառագայթը գտնվում է հավան կետից b հեռավորության վրա: (բ) 800 նմ ալիքի երկարության, 100 μm շառավիղով ոսկե գնդի և հարթ մակերևույթի հավան դեպքում ճառագայթի հետագիծը ոսկու աղյուսակային հաստատունի համար:

Նկար 5-ում բերված են համապատասխան հետագծերը և համակարգի բնութագրիչները:

Փորձում իրականանալի թիրախային հեռավորության արժեքներ, որոնք ապահովում են ալիքային դաշտի ուժեղացում, կարելի է ստանալ միայն b_{cr}^2 -ի բավականաչափ մեծ

արժեքների դեպքում, ինչին կարելի է հասնել միայն մակերևույթի կորույթի շառավղի մեծացման շնորհիվ: Նկար 6-ում պատկերված է թիրախային հեռավորության կրիտիկական արժեքի և $b < 0,95b_{cr}$ դեպքում մետաղի մակերևույթների արդյունաբար կորույթի շառավղի սահմանային արժեքը կախվածությունը և՛ ալիքի երկարությունից, օգտագործելով ոսկու բեկման ցուցիչի աղյուսակային արժեքները [7]: Չատկանշական է, որ ալիքի երկարության աճին զուգընթաց թիրախային հեռավորության կրիտիկական արժեքը նվազում է, իսկ արդյունաբար կորույթի շառավղի սահմանային արժեքը՝ աճում:



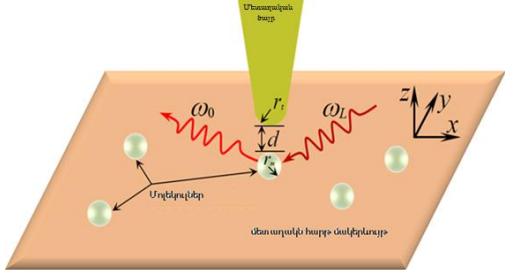
Նկ 6: Թիրախային հեռավորության կրիտիկական արժեքի և $b < 0,95b_{cr}$ դեպքում մետաղի մակերևույթների արդյունաբար կորույթի շառավղի սահմանային արժեքը կախվածությունը և՛ ալիքի երկարությունից՝ օգտագործելով ոսկու բեկման ցուցիչի աղյուսակային արժեքները:

Առենախոսության երրորդ գլխում հետազոտվում է էլեկտրամագնիսական էներգիայի հոսքի կառավարման ուղիները՝ ՔԴճ, ինչպիսիք են մոլեկուլները կամ քվանտային կետերը և ՄՄ կապի պայմաններում, սպեկտրի օպտիկական տիրույթում:

§3.1 պարագրաֆը նվիրված է լույս-ՔԴճ ռեզոնանսային փոխազդեցության ամսօրնահատկությունների ներկայացմանը, այն ուղեկցող տարբեր պրոցեսների վերլուծությանը և դրանց նկարագրության համար անհրաժեշտ անալիտիկ մոդելների կիրառման հնարավորություններին:

§3.2 պարագրաֆում վերլուծվում է ռելաքսացիոն պրոցեսների դիսամիկան քվանտային ճառագայթիչ-մետաղական նանոմասնիկ ռեզոնանսային կապած համակարգում: Նանոօպտիկայի բնագավառում վերջին հաջողություները՝ մասնավորապես մետաղական նանոկառուցվածքների (համախանվանում են նանոանտենաներ) և մեկ մոլեկուլի փոխազդեցությանը վերաբերող փորձերը, խթան են հանդիսանում էլեկտրամագնիսական էներգիայի հոսքի կառավարման ուղիների բացահայտման համար [8-9,10]: ԶԴՏ-ՄՄ փոխազդեցությանը վերաբերվող ամենաքննարկվող էֆֆեկտը \$I\$ ուրեցեցեցիոն ճառագայթման փոփոխությունն է (ուժեղացում և մարում), ինչն անմիջականորեն պայմանավորված է համակարգի ռելաքսացման արագությանը:

§3.3 պարագրաֆը նվիրված է մետաղական գազաթի առկայության պայմաններում, \$I\$ ուրեցեցեցիայի ուժեղացման միջոցով, մոլեկուլի նույնականացմանը և տեղորոշմանը: Եռամակարդակ ԶԴՏ-ի և կոնաձև մետաղական գազաթից կազմված համակարգը սխեմատիկորեն ներկայացված է Նկ. 7-ում:



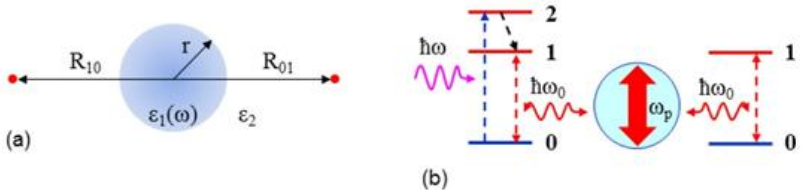
Նկ 7. Եռամակարդակ ԶԴՏ և կոնաձև մետաղական ծայր համակարգի սխեմատիկ պատկերը:

Ենթադրվում է որ արտաքին մղումն ապահովող լազերը ԶԴՏ-ին իր հիմնական 0 մակարդակից տեղափոխում է գրգռված 2 մակարդակ, որտեղից առանց ճառագայթման անցում է օպտիկապես ակտիվ 1 մակարդակ և ω_{10} համախոսության վրա $1 \rightarrow 0$ մակարդակ անցման ժամանակ գրգռում է պլազմոնային տատանումներ: Դա թույլ է տալիս առանձնացնել 1 մակարդակի գրգռման ընթացքը, որը կախված չի մետաղական գազաթի առկայությունից, 1 մակարդակի ռելաքսացիոն ընթացքից, որի

փոփոխումը թԴՏ և մետաղական գազաթ փոխազդեցության շնորհիվ այս աշխատանքի հիմնական իմաստն է: Ֆիզիկապես նմանատիպ վիճակ կարելի է իրականացնել նաև երկմակարդականի թԴՏ-ում մեկ կամ երկու ֆոտոնների իմպուլսային գրգռմամբ:

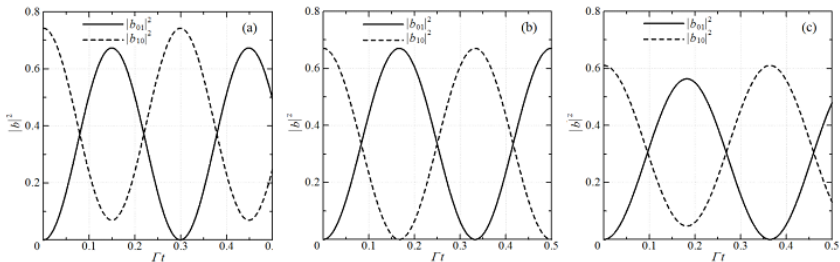
Հանդես եկող թԴՏ-ի արագ ռելաքսացման պրոցեսը կարելի է դիտարկել որպես ինքնաստիպողական անցում գրգռված վիճակից հիմնական վիճակի, որի արդյունքում ձևավորվում է մետաղական գազաթի հետհետադարձ կապ: Իրականում այդ դաշտը իրենից ներկայացնում է իմպուլս, որը ապահովում է թԴՏ-ի անցում հիմնական վիճակի: Համակարգում ռելաքսացիայի ընթացքը ունի աստիճանաձև վարքագիծ և հենց դրանով էլ էական տարբերվում է ընդունված էքսպոնենցիալ վարքագծից: Այս երևույթը կարելի է դիտել ռեզոնանսային որոշակի փոքր հաճախություներին հատվածներում մետաղական գազաթի տրված անկյան դեպքում: ԹԴՏ-ի հայտնաբերումը տեղի է ունենում \$I\$ ու որոշեցնեցիափ աճի արդյունքում, երբ մետաղական գազաթը մոտեցնում ենք մակերևույթին զետեղված թԴՏ-ին: Այսպես պրոցեսի հաճախային ընտրողականության շնորհիվ կարելի է տեսնել որոշակի սպեկտրով թԴՏ-ի \$I\$ ու որոշեցնեցիափ աճ որն էլ հենց թույլ է տալիս նույնականացնել և որոշել նրանց տեղը:

§3.4 պարագրաֆում քննարկվում են Ռաբիի տատանման առանձնահատկությունները տեղայինացված պլազմոն պոլյարիտոնով կապված թԴՏ համակարգում: Դիտարկվող թԴՏ-ները գտնվում են միևնույն առանցքի վրա՝ մետաղական գնդի կենտրոնից համապատասխանաբար R_{10} և R_{01} հեռավորությունների վրա (Նկ. 8 (a)):

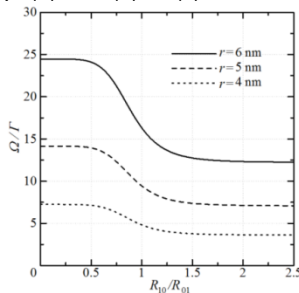


Նկ 8 ԹԴՏ-ՄՄ համակարգի (a) սխեմատիկ պատկերը և (b) էներգետիկ մակարդակները:

Դիցուկ սկզբնական պահին առաջին թՂԾ-ն գտնվում է E_1 գրգռված էներգետիկ մակարդակում, իսկ երկրորդը հիմնական էներգետիկ մակարդակում: ԹՂԾ-Մետաղական գունդ-ԹՂԾ համակարգում տեղի է ունենում գրգռման էներգիայի տատանումներ մի թՂԾ-ից մյուսը (Նկ. 8 (b)): Տատանման ընթացքը բնակեցվածություն ունից կախված տարբեր R_{01}/R_{10} հարաբերությունների դեպքում ներկայացված է Նկ. 9-ում: Ընդ որում վերաբնակեցվածությունը ավելի հագեցած է $R_{01} = R_{10}$ դեպքում (Նկ. 9 (b)): Նշենք նաև, որ էներգիայի արձակման ժակնակը էապես փոքր է մի թՂԾ-ի ռելաքսացման ժամանակից: R_{10}/R_{01} արժեքի մեծացման և ՄՄ-ի շառավղի փոքրացման հետ Ռաբիի տատանումների հաճախությունը փոքրանում է (Նկ. 10):



Նկ.9: ԹՂԾ-ի բնակեցվածության հավանականությունը ունը առաջացած վիճակներում ֆունկցիա նորմալիզացված ժամանակից $|b(t)|^2$ ($|b_{01}|^2$, հոծ գծով, $|b_{10}|^2$, կետագծերով) R_{10}/R_{01} ֆիքսված գործակիցների համար (a) 0.9, (b) 1, (c) 1.1:



Նկ 10: Ռաբի տատանումների հաճախությունների կախումը R_{01}/R_{10} գործակիցից տարբեր ՄՄ-ի շառավղիների դեպքում:

Այս սպիտակ թղթ-ների հետ ՄՆՄ-ի հետ ուժեղ կապված համակարգի տեսական վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ Ռաբիի տատանումների հաճախությունը էապես կախված է համակարգի չափերից, ՄՆՄ-ի շառավղից և միջավայրի դիէլեկտրիկ թափանցելիությունից: Այս պրոցեսը կարելի է գրանցել \$L\$ ու որոշեցնել այն սպեկտրոսկոպիայում՝ ճառագայթման պիկերի դիրքերի որոշմամբ: Պլազմոնների առկայությամբ պայմանավորված ուժեղ կապը հանդիսանում է կարևոր բաղադրիչ ապագայի քվանտային սխեմաների համար և կարող է կարևոր դեր խաղալ կենսաբանական սենսորների ստեղծման ճանապարհին:

ԵՆԴԱԿՍՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

1. Առաջին անգամ բացահայտվել է մետաղական թաղանթում բացված խոռոչի մերձակայքում Յանկելյան գլանային \$F\$ ու կլիպտիկ տրոպոլ նկարագրվող դեպի խոռոչ զուգամիտող և տարամիտող ՄՊՊ-ների ձևավորումը և դրանց դերը խոռոչով լույսի արտասովոր անցման պրոցեսում: Ընկնող լույսի հետ որպես դիպոլային ճառագայթիչ փոխազդվելով՝ խոռոչում ապահովում են ալիքային դաշտերի արտասովոր բարձր արժեքներ: Երևույթը կարող է կիրառվել լույսի ուղղորդված փունջ ձևավորող համակարգերում, մակերևութային ուժեղացված գծային և ոչ գծային սպեկտրոսկոպիայում, ինչպես նաև գերզգայուն քիմիական և կենսաբանական սենսորներ ստեղծելիս:
2. Ցույց է տրվել, որ հավող մետաղական գնդերի մերձակայքում ՄՊՊ-ային ճառագայթը շարժվում է սպիրալաձև հետագծով, իրականացնելով անկում դեպի հալման կետը: Այստեղ ՄՊՊ-ի ընթացքը ակներևաբար համանման է սև խոռոչի մերձակայքում լուսային ճառագայթի վարքին, ուստի երկրայն պայմաններում հնարավորություն է ստեղծվում մոդելավորել բացառապես ոչ երկրային իրալիճակ: Մետաղական գնդերի հալման կետից, որոշակի թիրախային հեռավորությունից սկսած կամայական ուղղությամբ դեպի թիրախ ուղղված ՄՊՊ ճառագայթը շարժվելով սպիրալաձև հետագծով ամբողջությամբ կլանվում է՝ կատարելով անկում դեպի կենտրոն:
3. Դիէլեկտրիկական հարթ մակերևույթին ադսորբցված մոլեկուլի \$F\$ ու որոշեցնել այն հզորության զգալի աճը

մետաղական սուր գագաթի անկայուն թյան պայմաններում թույլ է տալիս որոշել ով նրա դիրքը և նույն ժամանակացույցն էրևում յոթ կարևոր դեր ունի նաև քվանտային համակարգի չներում՝ որպես անսնունդ ֆոտոնների ճառագայթման կառավարելի աղբյուր:

4. ԶԴԾ-ների հետ ՄՄ-ի հետ ուժեղ կապված համակարգի տեսական վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ Ռաբիի տատանումների համախոսությունը էապես կախված է համակարգի չափերից, ՄՄ-ի շառավղից և միջավայրի դիելեկտրիկ թափանցելիությունից: Այս պրոցեսը կարելի է գրանցել ֆլուորեսցենսային սպեկտրոսկոպիայում՝ ճառագայթման փկերի դիրքերի որոշմամբ: Պլազմոնների անկայուն թյամբ պայմանավորված ուժեղ կապը հանդիսանում է կարևոր բաղադրիչ ապագայի քվանտային սխեմաների համար և կարող է կարևոր դեր խաղալ կենսբանական սենսորների ստեղծման ճանապարհին:

Յղված գրականություն

1. E. E. Narimanov and A. V. Kildishev, “*Optical black hole: broadband omnidirectional light absorber*”, Appl. Phys. Lett., 2009, 95, 041106.
2. Q. Cheng, T. J. Cui, W. X. Jiang, and B. G. Cai, “*An omnidirectional electromagnetic absorber made of metamaterials*”, New J. Phys., 2010, 12 063006.
3. D. A. Genov, S. Zhang, and X. Zhang, “*Mimicking celestial mechanics in metamaterials*”, Nat. Phys., 2009, 5, 687-692.
4. A. I. Fernandez-Dominguez, S. A. Maier, and J. B. Pendry, “*Collection and concentration of light by touching spheres: a transformation optics approach*”, Phys. Rev. Lett., 2010. 105, 266807.
5. M. Born and E. Wolf, “*Principles of Optics*”, Cambridge, 1985.
6. D. A. Genov, Nat. Photon. , 2011 5, 76.
7. M.I. Stockman, “*Nanofocusing of optical energy in tapered plasmonic waveguides*”, Phys. Rev. Lett. 2004, 93, 137404.
8. P. Anger, P. Bharadwaj and L. Novotny, “*Enhancement and quenching of single-molecule fluorescence*”, Phys. Rev. Lett., 2006, 96, 113002.
9. S. Kuhn, U. Håkanson, L. Rogobete and V. Sandoghdar, “*Enhancement of single-molecule fluorescence using a gold nanoparticle as an optical nanoantenna*”, Phys. Rev. Lett., 2006, 97, 017402.
10. J. N. Farahani, D. W. Pohl, H.-J. Eisler, and B. Hecht, “*Single quantum dot coupled to a scanning optical antenna: a tunable superemitter,*” Phys. Rev. Lett., 2005, 95, 017402.

Հրատարակված աշխատանքների ցանկ

1. Nerkararyan, S.; Nerkararyan, Kh.; Janunts, N.; Pertsch, T. "Generation of Hankel-type surface plasmon polaritons in the vicinity of a metallic nanohole" *Physical Review B*, vol. 82, Issue 24, id. 245405 (2010).
2. Khachatur V Nerkararyan, Sona Kh. Nerkararyan, Sergey I Bozhevolnyi; "Plasmonic black-hole: broadband omnidirectional absorber of gap surface plasmons" *Opt Lett*. 2011 Nov 15;36 (22):4311-4313, 22089547.
3. S. Kh. Nerkararyan, A. Zh. Babajanyan, "Specifications of Rabi oscillations in the quantum emitters systems coupled to the localized plasmon polaritons", *Уч. записки ЕГУ, сер. Физика и Математика*, 2016, no. 2, 48–52.
4. S. Kh. Nerkararyan, "Identification of molecules through the fluorescence enhancement by a metal tip", *J. Contemp. Phys.* (2016) 51: 265.
5. S. Nerkararyan, K.V. Nerkararyan, N.A. Janunts, T. Pertsch "Excitation and propagation of Hankel type surface plasmon polaritons on a metal film with a subwavelength aperture", *SPIE Photonics Europe*, Brussels, Belgium, 12–16 April 2010.
6. Kh. Nerkararyan, S. K. Nerkararyan (Armenia); S. I. Bozhevolnyi, "Plasmonic black hole", *International Symposium on Optics and Its Applications (OPTICS-2011)*, *Journal of Physics: Conference Series Volume 350*, Yerevan and Ashtarak, Armenia 5-9 September 2011.
7. Khachatur V. Nerkararyan, Sona Kh. Nerkararyan, Sergey I. Bozhevolnyi "Plasmonic black-hole: broadband omnidirectional absorber of gap surface plasmons", *Thesis IONS'12*, *International conference of OSA Network of students – Naples, Italy*, on 4-7 July 2012.
8. S. Nerkararyan, A. Babajanyan, Kh. Nerkararyan, "The Resonant Coupling of the Quantum Dots in the Environment of Metal Nanoparticle at Optical Frequencies", *Conf. on IRPhE 2016*, Yerevan, Armenia, p. PH-9.

ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОНОВ В НЕОДНОРОДНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

АННОТАЦИЯ

Основной целью диссертации является исследование процессов, обеспечивающих элементную базу оптических, оптоэлектронных и спектроскопических приборов нанометрических размеров, которые

проявляются в окрестности раскрытой в металлической пленке дырки, в системах металл-диэлектрик-металл и квантовый дипольный излучатель-металлическая наночастица.

Впервые выявлен процесс формирования сходящихся и расходящихся поверхностных плазмон поляритонов (ППП) в окрестности раскрытой в металлической пленке дырки, описываемых цилиндрическими функциями Ганкеля и определена их роль в процессе экстраординарного прохождения света через дырку. В дырке взаимодействующего с падающим светом в качестве дипольного излучателя формируются необычно высокие значения волновых полей. Явление может быть применено в системах формирующих направленный пучок света, в линейной и нелинейной усиленной, поверхностной спектроскопии, а также при создании сверхчувствительных химических и биологических сенсоров.

Показано, что в окрестности соприкасающихся шаров ППП-ий луч двигается по спиральной траектории, осуществляя поворот на точку касания. Здесь ход ППП аналогичен поведению светового луча в окрестности черной дыры и, следовательно, в земных условиях появляется возможность моделировать исключительно неземную ситуацию. Начиная с определенного значения прицельного расстояния от точки касания металлических шаров, направленный к мишени луч ППП двигаясь по спиральной траектории полностью поглощается, совершая поворот на центр.

В присутствии острой металлической вершины, заметное возрастание мощности флуоресценции молекулы адсорбированной на плоской поверхности диэлектрика, позволяет определить положение молекулы и

идентифицировать ее. Явление также имеет важное значение в квантовых компьютерах, в качестве источника излучения изолированных фотонов.

Теоретический анализ системы сильно связанных с металлической наночастицей квантовых дипольных излучателей показывает, что частота Раби осцилляций существенно зависит от размеров системы, радиуса наночастицы, и диэлектрической проницаемости окружающей среды. Процесс можно зарегистрировать с помощью флуоресцентной спектроскопии, определяя положения пиков излучения. Обусловленная наличием плазмонов сильная связь, является важным составляющим квантовых схем будущего и может сыграть важную роль на пути создания биологических сенсоров.

THE SPECIFICATION OF SURFACE PLASMONS LOCALIZATION IN NONHOMOGENEOUS METALLIC STRUCTURES

ABSTRACT

The main purpose of the thesis is the investigation of the processes to provide the elemental base for optical, optoelectronic, and spectroscopic nanometer devices that appears in the vicinity of a hole in a metal film, in metal-insulator-metal and a quantum emitting dipole - metal nanoparticle systems.

For the first time determined the process of formation of the outgoing and diverging surface plasmon polaritons (SPP) in the vicinity of the hole in the metal film, described by the cylindrical function of the Hankel and defined the role of SPP in the process of extraordinary light transmission through a hole. In the hole

interacting with the incident light as a dipole emitter unusually high intensity wave fields are formed. The phenomenon can be applied in systems forming a directional beam of light, in the linear and nonlinear amplified surface spectroscopy, and also in the creation of high-sensitive chemical and biological sensors.

It is shown that in the boundary of contacting sphere the beam of SPP moves by a spiral trajectory, falling down at the contact point. Here, the movement of SPP is similar to the behavior of a light beam in the vicinity of a black hole and, consequently, there is a possibility to simulate an exclusively unearthly situation under terrestrial conditions. Starting from a certain value of the target distance from the point of touching of the metal spheres, the beam of the SPT, directed toward the target, moving completely along the spiral trajectory, is completely absorbed, falling down on the center.

In the presence of an metallic tip, a valuable increasement of the fluorescence power from a molecule adsorbed on a planar surface of dielectric, makes it possible to determine the position of the molecule and identify it. The phenomenon is also important in quantum computers, as the source of radiation of isolated photons.

A theoretical analysis of the system of quantum emitting dipole strongly coupled to the metal nanoparticle, shows that the frequency of the Rabi oscillations essentially depends on the size of the system, on radius of the nanoparticle, and on the permittivity of the surrounding medium. The process can be detected by fluorescence spectroscopy, by determining the positions of the radiation peaks. The strong coupling due to the presence of plasmons is an important component of the future quantum schemes and can play an important role in the development of biological sensors.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'L. S.', located in the bottom right corner of the page.

