

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ, ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ ՍՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ  
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՍԱՐԳՍՅԱՆ ԱՆՈՒՇ ՎԱՀԱԳՆԻ

ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ՈՐՈՇ  
ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ՍՖԵՐԻԿ ՀԱՄԱՉԱՓՈՒԹՅԱՄԲ  
ՄԻՋԱՎԱՅՐԵՐՈՒՄ

Ա.04.07 - «Կոնդենսացված վիճակի ֆիզիկա»  
մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական  
գիտությունների թեկնածուի զիտական աստիճանի հայցման  
ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ - 2024

---

THE MINISTRY OF EDUCATION, SCIENCE, CULTURE AND SPORT OF RA  
YEREVAN STATE UNIVERSITY

SARGSYAN ANUSH

SOME FEATURES OF ELECTROMAGNETIC RADIATION IN  
SPHERICALLY-SYMMETRIC MEDIA

Thesis for the degree of Candidate of Physical and Mathematical Sciences  
Speciality 01.04.07 - “Condensed Matter Plasma”

ABSTRACT

YEREVAN - 2024

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկայի կիրառական  
պրոբլեմների ինստիտուտում

Գիտական ղեկավար՝ ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Լ. Շ. Գրիգորյան  
Պաշտոնական  
ընդդիմախոսներ՝ ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Կ.Գ. Թրունի  
ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Ս. Բ. Դաբագով

Առաջատար «ԶԵՆԴԼ» Սինքրոտրոնային  
կազմակերպություն՝ հետազոտությունների ինստիտուտ

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2024թ. հուլիսի 5-ին ժամը 14:30-  
ին Երևանի պետական համալսարանում գործող Ֆիզիկայի 049 Մասնագիտական  
խորհրդի նիստում:

Հասցե՝ 0025 Երևան, Ալեք Մանուկյան փ. 1, ԵՊՀ

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2024թ. հունիսի 5-ին:

Մասնագիտական խորհրդի  
գիտական քարտուղար

ֆիզ.-մաթ. գիտ. թեկնածու  
Վ.Պ. Քալանթարյան

The thesis theme is approved at the Institute of Applied Problems of Physics NAS RA.

Scientific supervisor: Doctor of Phys. Math. Sciences, Prof. L. Sh. Grigoryan

Official opponents: Doctor of Phys. Math. Sciences, Prof. K. G. Trouni  
Doctor of Phys. Math. Sciences, Prof. S. B. Dabagov

Leading organization: CANDLE Synchrotron Research Institute

The defense of the thesis will take place at 14:30 on July 05, 2024, during the session of the  
Specialized Council 049 of Physics at the Yerevan State University.

Address: 1 Alex Manoogian Street, 0025 Yerevan, Armenia.

The thesis is available in the Yerevan State University library.

The abstract was distributed on 05 June, 2024.

Scientific secretary of  
the Specialized Council

Candidate of Phys. Math. Sciences  
V. P. Kalantaryan

## ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ՆԿԱՐԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

**Աշխատանքի արդիականությունը:** Վերջին տասնամյակների ընթացքում նկատելիորեն աճել է հետաքրքրությունը միջավայրի հետ փոխազդող լիցքավորված մասնիկների ճառագայթային պրոցեսների նկատմամբ: Միջավայրի առկայությունը էապես ազդում է ռեյաստիվիստական մասնիկների մակաձած էլեկտրամագնիսական դաշտի հատկությունների վրա հանգեցնելով ճառագայթման նոր տեսակների ձևավորման: Վերջիններիս օրինակներ են Չերենկովյան ճառագայթումը (ՉՃ), անցումային ճառագայթումը, դիֆրակցիոն ճառագայթումը և այլն: Ճառագայթման նշված տեսակների շարքում ՉՃ-ի ուշագրավ հատկությունները [1] հանգեցրել են նրա կիրառությունների լայն բազմազանության, ինչով էլ պայմանավորված է ՉՃ-ի ինտենսիվության և անկյունահաճախային բնութագրերի կառավարմանն ուղղված ուսումնասիրությունների կարևորությունը: Նանոֆիզիկայի, ֆոտոնային բյուրեղների և մետանյութերի սինթեզման բնագավառներում վերջին գիտական նվաճումները նոր հեռանկարներ են բացում ՉՃ-ի կիրառությունների ընդլայնման իմաստով: Մշակվել են տեխնոլոգիաներ, որոնք հնարավորություն են տալիս ստանալ էլեկտրամագնիսական առանձնահատուկ բնութագրերով նյութեր: Առանձնակի հետաքրքրություն են ներկայացնում այնպիսի նյութերը, որոնց դիէլեկտրական և մագնիսական թափանցելիությունները հաճախությունների որոշակի տիրույթում միաժամանակ ընդունում են բացասական արժեքներ (կրկնակի բացասական կամ ձախ մետանյութեր) [2]: Հետազոտության մեկ այլ կարևոր ուղղություն է ՉՃ-ի բնութագրերի վրա միջավայրերի բաժանման սահմանների ազդեցության ուսումնասիրությունը: Հետազոտություններ են կատարվել սահմանների հարթ, գլանային, սֆերիկ և այլ ավելի բարդ երկրաչափություններում: ՀՀ ԳԱԱ ՖԿՊԻ-ում վերջին երեք տասնամյակների ընթացքում կատարված հետազոտությունները (տես, օրինակ, [3-8]), որոնք հիմնված են Գրինի ֆունկցիայի մեթոդով Մաքսվելի հավասարումների ճշգրիտ լուծումների վրա վկայում են, որ միջավայրերի գլանային և սֆերիկ համաչափությամբ սահմանների ազդեցությունը տարբեր հետազոտելով շարժվող ռեյաստիվիստական լիցքավորված մասնիկների կողմից մակաձած էլեկտրամագնիսական դաշտի բնութագրերի վրա կարող է լինել խիստ էական, իսկ որոշ դեպքերում կրել ռեզոնանսային բնույթ: Ատենախոսությունում ներկայացված խնդիրները հանդիսանում են վերոհիշյալ հետազոտությունների շարունակությունը:

**Աշխատանքի նպատակը:** Ատենախոսությունում ներկայացված հետազոտությունների հիմնական նպատակն է՝ բացահայտել տարբեր հետազոտելով շարժվող լիցքավորված մասնիկների/թանձրուկների, կամ դրանց շղթաների ճառագայթման առանձնահատկությունները հարթ և սֆերիկ համաչափությամբ բաժանման սահմաններով միջավայրերում: Լուծվել են հետևյալ խնդիրները.

- Դիտարկվել է հաղորդիչ գնդի վրա էլեկտրամագնիսական ալիքների ցրման ժամանակ մեծ լայնությամբ մակերևութային ալիքների մակաձման երևույթը:

- Հետագոտվել են ռեյատիվիստական լիցքավորված մասնիկի մակաձած էլեկտրամագնիսական դաշտի առանձնահատկությունները, երբ այն հատում է կիսաանվերջ հաղորդիչ միջավայրի հարթ սահմանը, կամ անցնում է վակուումում գտնվող վերջավոր հաստությամբ հաղորդիչ թիթեղով՝ նրա մակերևույթներին ուղղահայաց:
- Ուսումնասիրվել է վակուումում գտնվող դիէլեկտրական կամ հաղորդիչ գնդի կենտրոնով անցնող լիցքավորված մասնիկի/մասնիկների թանձրուկների շղթայի ճառագայթումը:
- Հետագոտվել է դիէլեկտրական, կոմպոզիտ կամ հաղորդիչ գնդի շուրջը, նրա հասարակածային հարթությունում հավասարաչափ պտտվող լիցքավորված մասնիկի ճառագայթման անկյունա-հաճախային բաշխումը:
- Դիտարկվել է մթնոլորտում ուղղորդված հարվածող ալիքների տարածման ժամանակ 1-10 կՀց հաճախությունների տիրույթում ակուստիկ և էլեկտրամագնիսական ալիքների ճառագայթման երևույթը և այդ ընթացքում 1-2 ՄՀց հաճախություններով էլեկտրամագնիսական ալիքների մակաձաման հնարավորությունը:

**Գիտական նորույթը:** Ատենախոսության մեջ ներառված ուսումնասիրությունների հիմնական գիտական նորույթը՝ էլեկտրամագնիսական տարբեր պրոցեսների (հաղորդիչ գնդի վրա էլեկտրամագնիսական ալիքների ցրման, դիէլեկտրական/հաղորդիչ գնդի կենտրոնով անցնող էլեկտրոնային թանձրուկների շղթայի մակաձած ճառագայթման, դիէլեկտրական/հաղորդիչ գնդի հասարակածային հարթության մեջ պտտվող լիցքի կամ լիցքերի շղթայի ճառագայթման) վրա միջավայրերի բաժանման սֆերիկ սահմանների հնարավոր ռեզոնանսային ազդեցության բացահայտումը և այդ երևույթի ակնառու հիմնավորումն է: Կարևոր են նաև կիսաանվերջ/կամ վերջավոր հաղորդիչ միջավայրի հարթ սահմանը հատող լիցքավորված մասնիկի կողմից մեծ լայնությամբ մակերևույթային էլեկտրամագնիսական տատանումների մակաձաման հնարավորության բացահայտումը, ինչպես նաև մթնոլորտում ուղղորդված հարվածող ալիքների տարածման ժամանակ 1-10 կՀց տիրույթում ակուստիկ և էլեկտրամագնիսական ալիքների ճառագայթման հետ մեկտեղ, 1-2ՄՀց հաճախություններով էլեկտրամագնիսական ալիքների մակաձաման հնարավորության հիմնավորումը:

### **Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները**

1. Հաղորդիչ գնդի վրա էլեկտրամագնիսական ալիքների ցրման ժամանակ՝ խնդրի պարամետրերի որոշակի արժեքների դեպքում՝ կարող են մակաձավել մեծ լայնությամբ մակերևույթային ալիքներ:
2. Ուղղագիծ հավասարաչափ շարժվող լիցքավորված մասնիկը կարող է մակաձել մեծ լայնությամբ մակերևույթային էլեկտրամագնիսական տատանումներ, երբ հատում է ա) հաղորդիչ կիսաանվերջ միջավայրի և վակուումի հարթ սահմանը, այդ սահմանին

ուղղահայաց կամ բ) հարթ գուգահեռ պատերով հաղորդիչ թիթեղը՝ մակերևույթին ուղղահայաց:

3. Վակուումում գտնվող դիէլեկտրական կամ հաղորդիչ գնդի կենտրոնով անցնող ռեյատիվիստական լիցքավորված մասնիկի կամ մասնիկների թանձրուկների շղթան խնդրի պարամետրերից կախված՝ հաճախության որոշակի «ռեզոնանսային» արժեքների դեպքում առաքում է մեծ ինտենսիվությամբ, քվազիկոհերենտ ճառագայթում:
4. Հաղորդիչ կամ դիէլեկտրական գնդի շուրջը՝ նրա հասարակածային հարթության մեջ հավասարաչափ պտտվող ռեյատիվիստական լիցքավորված մասնիկը պտտման որոշակի (ռեզոնանսային) հաճախությունների դեպքում, գնդի մակերևույթին (կամ ներսում) մակածում է էլեկտրամագնիսական դաշտի մեծ լայնությամբ տատանումներ, ինչն ուղեկցվում է ինտենսիվ ճառագայթմամբ:
5. Մթնոլորտում ուղղորդված հզոր հարվածող ալիքի տարածման ընթացքում 1-10 կՀց տիրույթում ակուստիկ և էլեկտրամագնիսական ալիքների ճառագայթման հետ մեկտեղ կարող են մակածվել նաև 1-2 ՄՀց հաճախություններով էլեկտրամագնիսական ալիքներ՝ ինչը հետևանք է հարվածող ալիքի ազդեցության հետևանքով առաջացած պլազմայի էլեկտրոնների կոհերենտ սինքրոտրոնային ճառագայթման:

**Գործնական արժեքը:** Ատենախոսությունում ներկայացված հետազոտությունները (մասնավորապես հարթ սահմանը կամ գունդը հատող կամ գնդի շուրջը պտտվող լիցքավորված մասնիկների/թանձրուկների ճառագայթման երևույթի ուսումնասիրումը) կարող են նպաստել գիգա-տերահերցային հաճախությունների տիրույթում կառավարվող բնութագրերով, մոնոքրոմատիկ, մեծ ինտենսիվությամբ էլեկտրամագնիսական ճառագայթման աղբյուրների մշակմանը և այդ ճառագայթման կիրառությունների շրջանակի ընդլայնմանը: Հաղորդիչ գնդի վրա էլեկտրամագնիսական ալիքների ռեզոնանսային ցրման երևույթը կարող է կիրառվել օդում մետաղական մասնիկների հայտնաբերման և մթնոլորտի աղտոտվածության գնահատման նպատակներով: Հարվածող ալիքի տարածման ընթացքում առաջացող հավանական ճառագայթումը կարող է կիրառվել գերձայնային թռչող օբյեկտների բացահայտման մեթոդների մշակման նպատակով:

**Աշխատանքի ներկայացումը:** Ատենախոսության հիմնական արդյունքները զեկուցվել են միջազգային գիտաժողովներում, ինչպիսիք են՝ "Electron, Positron, Neutron and X-ray Scattering under the External Influences", Yerevan-Meghri: 2015, 2017, 2019, 2021, 2023; International Symposium "Radiation from Relativistic Electrons in Periodic Structures", RREPS 2017, 2019, 2023; International Conference "Charged and Neutral Particles Channeling Phenomenon", Channeling 2018, 2023; "International Scientific School - Conference on Acoustophysics named after Academician A. R. Mkrtchyan", 2022, 2023:

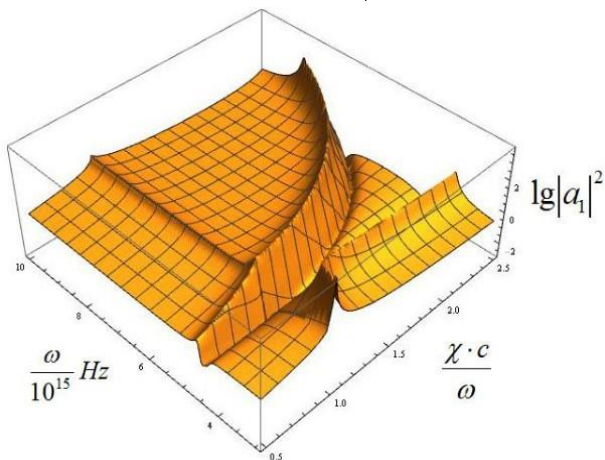
**Հրապարակումները:** Ատենախոսության հիմնական արդյունքները տպագրվել են թվով

**Ատենախոսության կառուցվածքը:** Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, չորս գլուխներից, ամփոփումից և 123 անուն պարունակող հղումների ցանկից: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը կազմում է 105 էջ՝ ներառյալ 29 նկարները: Յուրաքանչյուր գլուխ սկսվում է նախաբանով, որտեղ համառոտ ներկայացված է տվյալ գլխում քննարկվող խնդրի արդի վիճակը և ավարտվում է ամփոփմամբ, որտեղ ներկայացված է տվյալ գլխի հիմնական եզրահանգումները:

**ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ**

**Ներածությունում** ներկայացված է ատենախոսության թեմայի արդիականությունը, ձևակերպված են աշխատանքի նպատակները, գիտական նորույթը, գործնական արժեքը, ինչպես նաև պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները:

**Առաջին գլխում** հետազոտված են լիցքավորված մասնիկների էլեկտրամագնիսական դաշտի առաձևահատկությունները միջավայրերի բաժանման սահմանները հատելիս: Սկզբում դիտարկված է  $q$  լիցքով մասնիկ, որը ուղղահայաց հատում է տարբեր դիէլեկտրական և մագնիսական թափանցելիություններով երկու միջավայրերի բաժանման հարթ սահմանը: Բերված են էլեկտրական դաշտերի արտահայտությունները սահմանակցող միջավայրերում: Թվային վերլուծությունը կատարված է վակուումի հետ սահմանակցող կիսասանվերջ դիէլեկտրական միջավայրի համար: Միջավայրի  $\epsilon_2(\omega)$  դիէլեկտրական թափանցելիությունը նկարագրված է Դրուդե-Լորենց-Չոմերֆելդի ընդհանրացված բանաձևով: Եթե  $z = 0$ -ն բաժանման սահմանն է, իսկ միջավայրը համապատասխանում է  $z < 0$  տիրույթին, ապա էլեկտրական դաշտի Ֆուրյե բաղադրիչում սահմանի առկայությամբ պայմանավորված ներդրումը  $z > 0$  տիրույթում ներկայացվում է  $E_{mb}(\omega, \vec{\chi}; z) = iqa_1 e^{-i\omega\tau_1 z/c} / (2\pi^2 \omega)$  տեսքով, որտեղ  $\omega$ -ն անկյունային արագությունն է,  $\vec{\chi}$ -ն ալիքային վեկտորի պրոյեկցիան է  $z$  առանցքին ուղղահայաց հարթությունում և  $\tau_1 = \sqrt{1 - \chi^2 c^2 / \omega^2}$ : Ցույց է տրված, որ բաժանման սահմանին մոտ

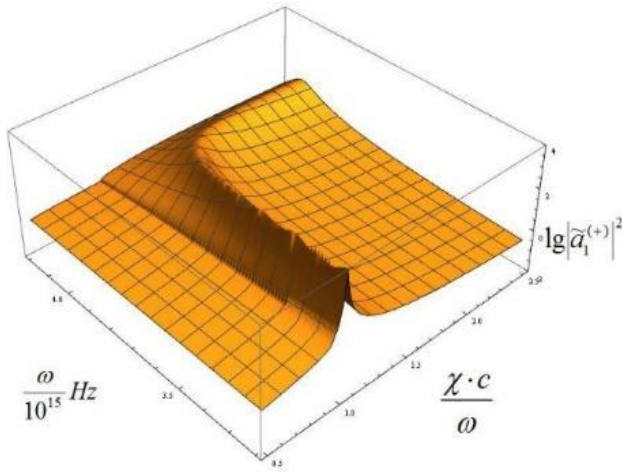


տիրույթում կարող են առաջանալ էլեկտրամագնիսական դաշտի մեծ լայնույթով տատանումներ, որոնց լայնույթը էքսպոնենցիալ նվազում է սահմանից հեռանալուն զուգընթաց (տես նկար 1):

Նկար 1. Էլեկտրական դաշտի լայնույթը բնութագրող  $|a_1|^2$  ֆունկցիայի կախվածությունը  $\omega$  հաճախությունից և  $\chi$  ալիքային թվից:

Նշված տատանումները նկարագրում են

սահմանի երկայնքով տարածվող մակերևութային ալիքներ հաճախությունների  $\varepsilon'_2(\omega) = \text{Re}(\varepsilon_2(\omega)) < 0$ ,  $\omega > \chi c$  տիրույթում: Թվային հաշվարկները կատարվել են ոսկին նկարագրող  $\varepsilon_2(\omega)$  դիսպերսիոն օրենքի և  $E_e = 2$  ՄԷՎ էներգիայով էլեկտրոնի համար: Նման խնդիր դիտարկվել է նաև համասեռ միջավայրում ընկղմված և  $0 \leq z \leq d$  տիրույթում տեղայնացված  $\varepsilon_2(\omega)$  թափանցելիությամբ  $d$  հաստությամբ թիթեղի դեպքում: Էլեկտրական դաշտի Ֆուրյե բաղադրիչում թիթեղով պայմանավորված ներդրումը  $z > d$  տիրույթում ներկայացվում է  $E_{\text{pl}}(\omega, \vec{\chi}; z) = iq\tilde{a}_1^{(+)} e^{-i\omega\tau_1(z-d)/c} / (2\pi^2\omega)$  տեսքով: Նկար 2-ում բերված է թվային հաշվարկների օրինակ  $|\tilde{a}_1^{(+)}|^2$  ֆունկցիայի՝ հաճախությունից և  $\chi$  ալիքային թվից կախվածության համար  $d = 200$  նմ հաստությամբ թիթեղում: Ինչպես և նախորդ խնդրում, թիթեղի նյութի դիէլեկտրական թափանցելիության համար ընտրված է ոսկուն բնորոշ դիսպերսիոն օրենքը, իսկ ճառագայթող մասնիկի՝ էլեկտրոնի էներգիան վերցված է 2 ՄԷՎ:

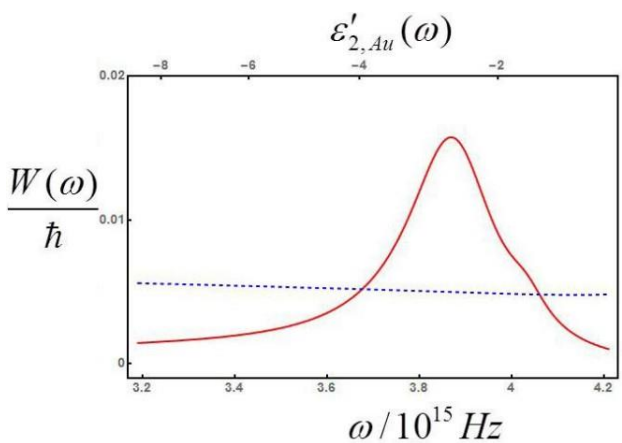


Նկար 2. Թիթեղում էլեկտրամագնիսական տատանումների լայնույթը բնութագրող  $|\tilde{a}_1^{(+)}|^2$  ֆունկցիայի կախվածությունը հաճախությունից և ալիքային թվից:

Ներկայացված արդյունքները վկայում են, որ թիթեղի մակերևութին էլեկտրամագնիսական դաշտի տատանումների լայնույթը, պարամետրերի որոշակի արժեքների

դեպքում կարող է ընդունել շատ մեծ՝ «ռեզոնանսային» արժեքներ:

Քննարկված անվերջ հարթ սահմաններով խնդիրներում և հաճախային նշված տիրույթներում առաքվում են միայն մակերևութային ալիքներ: Ծավալային ալիքները բացակայում են: Ստացված արդյունքների հնարավոր կիրառությունների բացահայտման նպատակով՝ դիտարկված են տարբեր վերջավոր չափերով թիրախներ հատող մասնիկի դեպքերը՝ մասնավորապես  $\varepsilon_2(\omega)$  դիէլեկտրական թափանցելիությամբ գնդի կենտրոնով

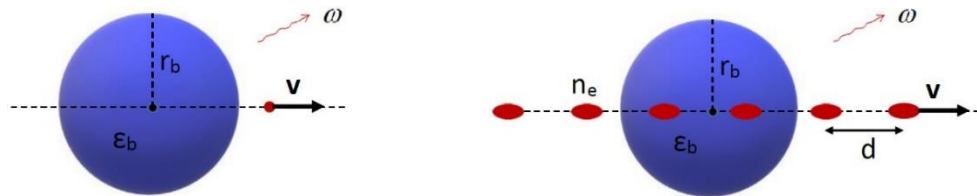


անցնող  $\nu$  արագությամբ մասնիկի ճառագայթումը:

Նկար 3. 2 MeV էներգիայով էլեկտրոնի ճառագայթման էներգիայի սպեկտրալ խտությունը՝ ա) 100 նմ շառավղով գնդի կենտրոնով անցնելիս (հոծ գիծ) և բ) 200 նմ հաստությամբ հարթ թիթեղը հատելիս (կետագիծ):

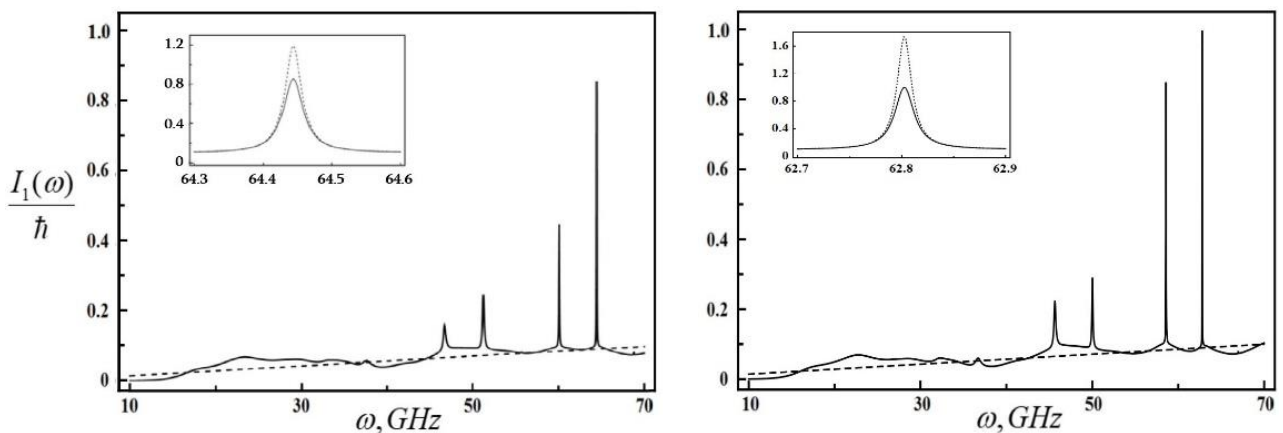
Նկար 3-ում ներկայացված են 2 ՄԷՎ էներգիայով էլեկտրոնի ճառագայթման էներգիայի սպեկտրալ բաշխումը՝ 100 նմ շառավղով ոսկե գնդի կենտրոնով անցնելիս (հոծ գիծ) և 200 նմ հաստությամբ ոսկե հարթ թիթեղը հատելիս (կետագիծ): Գնդի ծավալը շատ ավելի փոքր է, քան թիթեղի ծավալը և կարելի էր ակնկալել, որ գնդի դեպքում ճառագայթումը պետք է ավելի թույլ լինի, քան թիթեղի դեպքում: Նկար 3-ում բերված կորերի տեսքը հաստատում է այս հանգամանքը, բացառությամբ  $4 \cdot 10^{15}$  Հց «ռեզոնանսային» հաճախության մոտ տիրույթի: Դա բացատրվում է նրանով, որ հաճախությունների այդ տիրույթում գնդի մակերևույթին մակաձվում են էլեկտրամագնիսական դաշտի մեծ լայնությունով տատանումներ, ինչը հանգեցնում է մասնիկի կողմից ինտենսիվ ճառագայթման:

Հետագոտված են դիէլեկտրական գնդի կենտրոնով անցնող էլեկտրոնի և էլեկտրոնային թանձրուկների շղթայի (տես՝ նկար 4) մակաձված ճառագայթման սպեկտրալ և սպեկտրալ-անկյունային բաշխումները:



Նկար 4. Վակուումում գտնվող դիէլեկտրական գնդի կենտրոնով հաստատուն արագությամբ անցնող մասնիկը (ձախից) և էլեկտրոնային թանձրուկների շղթան (աջից):

Նկար 5-ի ձախ մասում ներկայացված է վակուումում գտնվող  $r_b = 4$  սմ շառավղով քվարցե գնդի (դիէլեկտրական թափանցելիությունը  $\epsilon_b = 3.78(1 + 0.0001i)$ ) կենտրոնով անցնող 2 ՄԷՎ էներգիայով էլեկտրոնի ճառագայթած էներգիայի սպեկտրալ խտությունը: Նկարի աջ մասում համեմատության համար բերված է  $\epsilon_b = 4(1 + 0.0001i)$  դիէլեկտրական թափանցելիությամբ գնդի կենտրոնով անցնելու դեպքը:

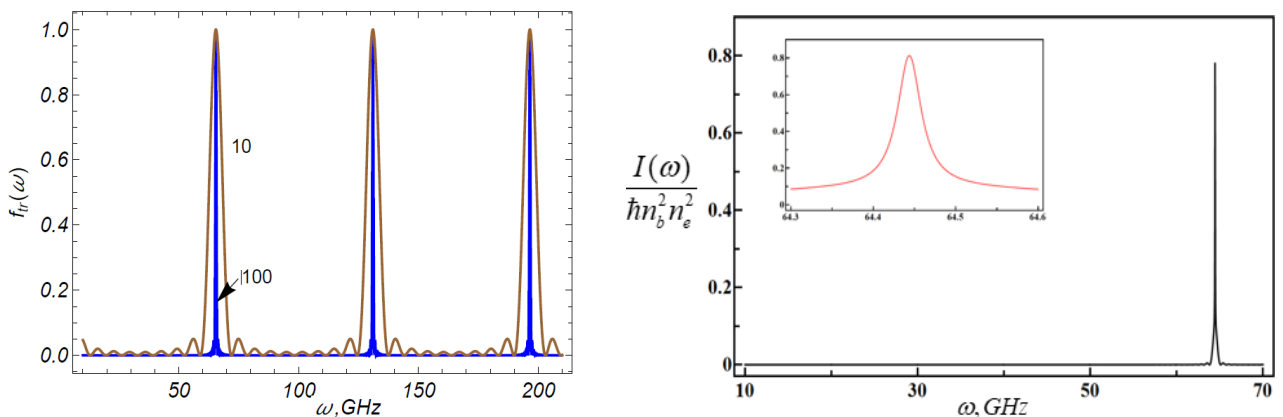


Նկար 5. Հավասարաչափ շարժվող էլեկտրոնի ճառագայթած էներգիայի սպեկտրալ բաշխումը քվարցե գնդի (ձախից) և  $\epsilon_b = 4(1 + 0.0001i)$  դիէլեկտրական թափանցելիությամբ գնդի (աջից) կենտրոնով անցնելու դեպքերում:



Գրաֆիկների վրա կետագծերով ներկայացված են նույն էներգիայով էլեկտրոնի ճառագայթման էներգիայի սպեկտրալ խտությունը  $\varepsilon = \text{Re } \varepsilon_b$  դիէլեկտրական թափանցելիությամբ համասեռ միջավայրում շարժվելիս, ենթադրելով, որ ճառագայթումը մակածվել է գնդի տրամագիծին հավասար երկարությամբ հետագծի հատվածից: Ինչպես երևում է բերված գրաֆիկներից գնդով անցնելու դեպքում՝ ի տարբերություն համասեռ թափանցիկ միջավայրով շարժվելու դեպքի, ճառագայթման էներգիայի սպեկտրալ բաշխումում դիտվում են հաճախությունների նեղ տիրույթներ («ռեզոնանսային» հաճախություններ), որտեղ էներգիայի սպեկտրալ խտությունը մոտ 10 անգամ ավելի մեծ է քան հարևան տիրույթներում, որտեղ այն մոտ է անվերջ միջավայրում շարժվելու դեպքին: Նկար 5-ի աջ և ձախ կողմերում պատկերված գրաֆիկների համեմատումից պարզ է դառնում, որ դիէլեկտրական թափանցելիության իրական մասի մեծացման դեպքում հաճախության «ռեզոնանսային» արժեքները փոքրանում են, իսկ էներգիայի համապատասխան սպեկտրալ խտությունը մեծանում է:

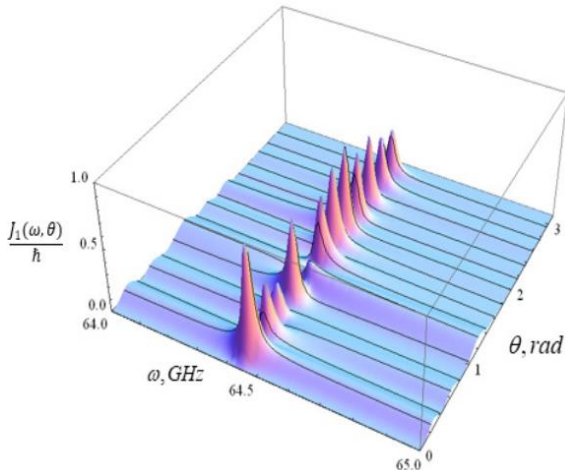
Դիտարկված է դիէլեկտրական գնդի կենտրոնով անցնող էլեկտրոնային թանձրուկների շղթայի ճառագայթումը (տես նկար 4 և 6): Շղթայի ճառագայթման էներգիայի սպեկտրալ խտությունը ներկայացվում է  $I(\omega) = F(\omega)I_1(\omega)$  տեսքով, որտեղ  $I_1(\omega)$ -ն սպեկտրալ խտությունն է մեկ մասնիկի դեպքում և  $F(\omega) = n_e n_b [1 + (n_e n_b - 1) f_e(\omega) f_r(\omega)]$ : Այստեղ  $n_e$ -ն էլեկտրոնների թիվն է թանձրուկում,  $n_b$ -ն՝ թանձրուկների թիվը,  $f_e(\omega)$ -ն և  $f_r(\omega)$ -ն՝ կոհերենտության գործակիցներն են առանձին թանձրուկի և շղթայի համար: Հաշվարկում վերցված է  $f_e(\omega) = e^{-\omega^2 \sigma^2 / v^2}$ : Ցույց է տրված, որ թանձրուկների չափերի և դրանց միջև եղած հեռավորության որոշակի արժեքների դեպքում, մեկ մասնիկի հաշվարկով ճառագայթված էներգիան կարող է լրացուցիչ ավելանալ ի հաշիվ թանձրուկում մասնիկների ճառագայթման քվազիկոհերենտության՝ ինչը տեղի ունի երբ թանձրուկի չափերը շատ փոքր են ալիքի երկարությունից, և շղթայում թանձրուկների ճառագայթման քվազիկոհերենտության՝ ինչը ապահովվում է թանձրուկների հեռավորության ընտրությամբ: Նկար 6-ի աջ մասում վերցված է  $n_b = 100$ ,  $\sigma = 0.1$  սմ:



Նկար 6. Չափից՝ թանձրուկների շղթայի կոհերենտության գործակցի  $f_r(\omega)$  կախվածությունը հաճախությունից երբ  $E_e = 2$  ՄէՎ,  $d = 2.78$  սմ,  $n_b = 10, 100$ : Աջից՝ թանձրուկների շղթայի ճառագայթած էներգիայի սպեկտրալ խտությունը հաված քվարցե

գնդի դեպքում:

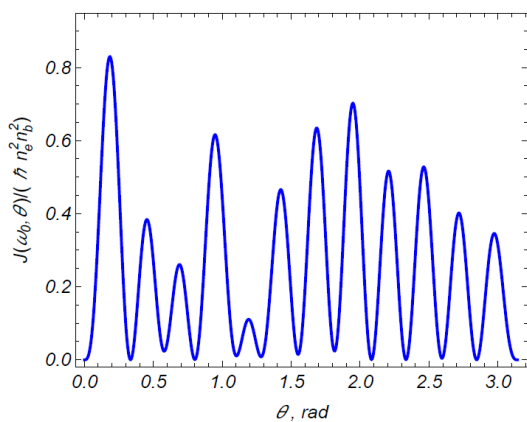
Նշված խնդիրներում հետազոտված է նաև ճառագայթման էներգիայի անկյունային բաշխումը: Նկար 7-ում բերված է ճառագայթման էներգիայի սպեկտրալ-անկյունային խտությունը մեկ էլեկտրոնի համար,  $J_1(\omega, \theta)$ , որտեղ  $\theta$ -ն ճառագայթման տարածման ուղղության կազմած անկյունն է մասնիկի արագության հետ:



Նկար 7. Դիէլեկտրական գնդի կենտրոնով անցնող էլեկտրոնի ճառագայթած էներգիայի սպեկտրալ-անկյունային բաշխումը հաճախությունների նեղ տիրույթում:

Ճառագայթման անկյունային բաշխվածությունը և ունի ռեզոնանսային բնույթ (տես նաև նկար 8): Ռեզոնանսային հաճախությունների դեպքում դեպի առաջ ուղղված ( $0 \leq \theta < \pi/2$ )

ճառագայթման էներգիան էապես մեծ չէ դեպի հետ ուղղված ( $\pi/2 < \theta \leq \pi$ ) ճառագայթման էներգիայից՝ ինչը հետևանք է այն բանի, որ գնդի ներսում ձևավորված Չերենկովյան ճառագայթումը մինչև գնդից դուրս գալը բազմաթիվ անգամներ անդրադառնում է նրա մակերևույթից:



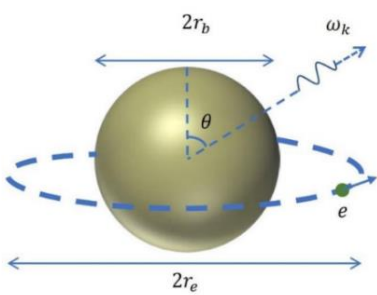
Նկար 8. Քվարցե գնդի կենտրոնով անցնող էլեկտրոնների շղթայի ճառագայթած էներգիայի անկյունային բաշխվածությունը հաճախության ռեզոնանսային արժեքի դեպքում:

**Ներկրորդ գլխում** հետազոտված են հաղորդիչ գնդի վրա էլեկտրամագնիսական ալիքների ցրման առաձևահատկությունները: Բերված է անհամասեռ կենրոնահամաչափ միջավայրում էլեկտրամագնի-

սական ալիքների տարածումը բնութագրող հիմնական հավասարումների ճշգրիտ լուծումը, երբ միջավայրի պարամետրերը կախված են միայն շառավղային կոորդինատից: Մաքսվելի հավասարումների լուծման հիմքում ընկած է էլեկտրամագնիսական դաշտի վեկտորական պոտենցիալի վերլուծությունն ըստ սֆերիկ ֆունկցիաների: Ներկայացված է կամայական չափեր ունցող հաղորդիչ ոչ մագնիսակտիվ նյութից բաղկացած գնդի վրա էլեկտրամագնիսական ալիքների ցրումը նկարագրող հավասարումների ճշգրիտ լուծումը, որի համար օգտագործվել է Գրինի ֆունկցիայի մեթոդը: Հավասարումները բերվում են մեկ վեկտորական հավասարման, որը նկարագրում է էլեկտրամագնիսական ալիքի տարածումը կենտրոնահամաչափ, անհամա-

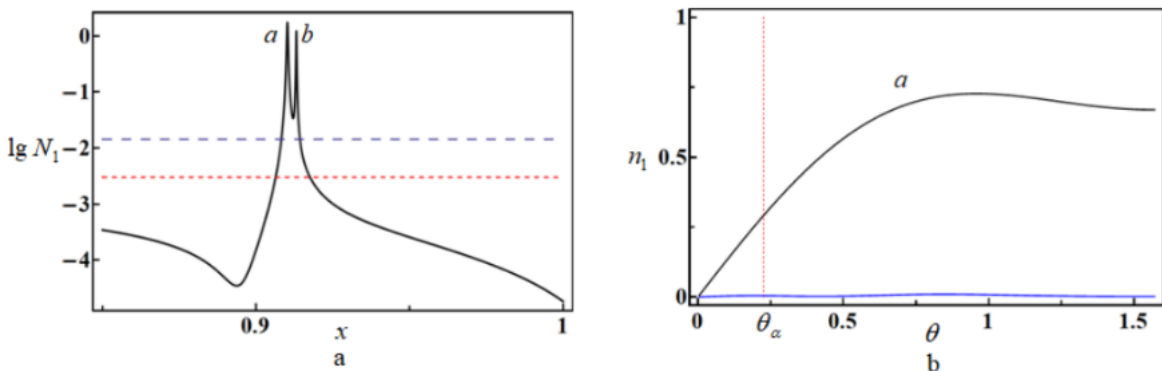
սեռ միջավայրում: Դիէլեկտրական թափանցելիության կախվածությունը շառավղային կոորդինատից ներկայացում է Հնիսայդի ֆունկցիայով, ինչի շնորհիվ ինտեգրալային հավասարումը բերվում է ավելի պարզ հանրահաշվական հավասարման: Տրված է ոչ իդեալական հաղորդիչ գնդի վրա հարթ էլեկտրամագնիսական ալիքի ռեզոնանսային ցրման երևույթի ակնառու բացատրությունը՝ մասնավորապես օգտագործելով առաջին գլխում ներկայացված հաղորդիչ գունդը հատող մասնիկի ճառագայթման առանձնահատկությունները: Քննարկված են դիտարկված խնդիրների հնարավոր կիրառությունները, մասնավորապես՝ նանոլազերի մշակման և ստեղծման նպատակներով՝ ինչպես նաև մթնոլորտի աղտոտվածության ուսումնասիրության հետ կապված խնդիրներում:

**Երրորդ գլխում** հետազոտված են հաղորդիչ կամ դիէլեկտրական գնդի շուրջը՝ նրա հասարակածային հարթությունում պտտվող էլեկտրոնի մակաձած էլեկտրամագնիսական դաշտի առանձնահատկությունները:



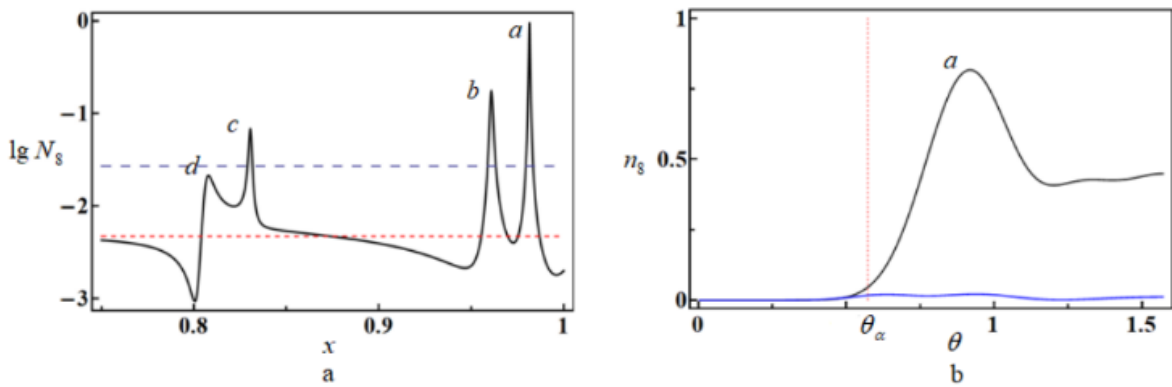
Նկար 9. Խնդրի երկրաչափությունը՝ գնդի շուրջը հավասարաչափ պտտվող էլեկտրոն:

Բերված են  $\varepsilon$  դիէլեկտրական թափանցելիությամբ և համասեռ թափանցիկ միջավայրում գտնվող  $r_b$  շառավղով դիէլեկտրական գնդի շուրջը պտտվող մասնիկի կողմից մեկ պարբերության ընթացքում  $n$ -րդ հարմոնիկի վրա ճառագայթած ֆոտոնների  $N_k$  թիվը և դրանց անկյունային բաշխվածությունը,  $n_k(\theta)$ , նկարագրող բանաձևերը: Ներկայացված են այդ բանաձևերով կատարված թվային հաշվարկների արդյունքները՝ ստրոնցիումի տիտանատից, հալված քվարցից և տեֆլոնից գնդերի համար:



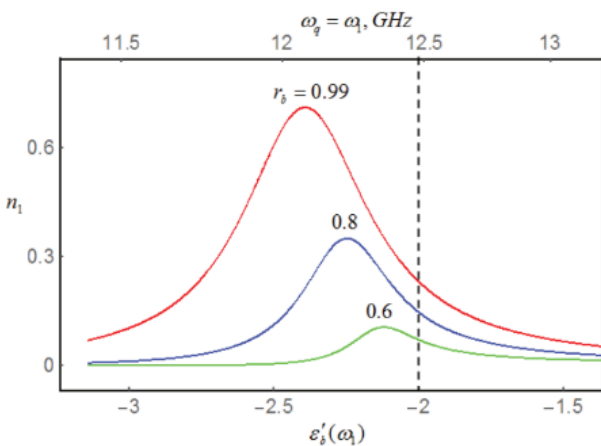
Նկար 10. Չափից՝ մեկ պարբերության ընթացքում ստրոնցիումի տիտանատից պատրաստված  $r_e = 1.54$  սմ շառավղով գնդի շուրջը պտտվող  $E_e = 0.54$  ՄէՎ էներգիայով էլեկտրոնի առաքած քվանտների թվի կախվածությունը  $x = r_b / r_e$  հարաբերությունից, աջից՝ համապատասխան անկյունային բաշխումը, երբ՝  $x = x_a = 0.91024$ :

Ստորոնցիում տիտանատի համար ( $\epsilon = 231(1 + 0.00019i)$ ) նկար 10-ում բերված արդյունքները վկայում են, որ խնդրի պարամետրերի որոշակի (ռեզոնանսային) արժեքների դեպքում գնդի շուրջը պտտվող էլեկտրոնը առաջին հարմոնիկի վրա առաքում է 100-ավոր անգամներ ավելի շատ քվանտներ, քան թափանցիկ անվերջ միջավայրում (կապույտ կետագիծը նկար 10-ում) կամ վակուումում (կարմիր կետագիծը) պտտվելիս: Դա պայմանավորված է նրանով, որ գնդի ներսում մակաձված ՉՃ-ը բազմակի անդրադառնալով մակերևույթից, մասամբ տեղայնացվում է գնդի ներսում և վերադարձվում են կոնստրուկտիվ կերպով: Նման արդյունքներ դիտվում են նաև քվարցից և տեֆլոնից պատրաստված գնդերի համար: Քվարցե գնդի համար արդյունքները բերված են նկար 11-ում:



Նկար 11. Նույնը ինչ նկար 10-ում՝ քվարցե գնդի համար:

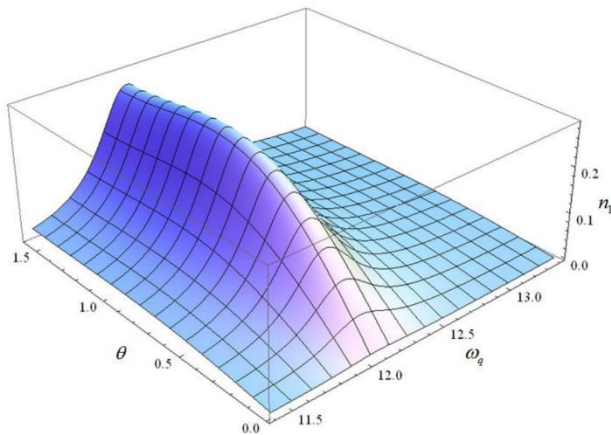
Քննարկված են հաղորդիչ գնդի շուրջը պտտվող լիցքավորված մասնիկի էլեկտրամագնիսական դաշտի առանձնահատկությունները: Որպես հաղորդիչ նյութ դիտարկված է փոքր քանակությամբ ոսկու և դիէլեկտրիկի խառնուրդը: Դիէլեկտրական թափանցելիության դիսպերսիայի համար օգտագործվել է Դրուդեի բանաձևը: Դիտարկված են էլեկտրամագնիսական տատանումները հաճախության այն տիրույթում, որտեղ դիէլեկտրական թափանցելիության իրական մասը բացասական է: Այդ դեպքում առաջանում են գնդի մակերևույթի մոտ լոկալիզացված էլեկտրամագնիսական տատանումներ: Նկար 12-ում բերված է առաջին հարմոնիկի վրա առաքված ֆոտոնների թվի կախվածությունը պտտման  $\omega_q$  հաճախությունից և դիէլեկտրական թափանցելիության իրական մասից՝ գնդի շառավղի տարբեր արժեքների համար (սանտիմետրերով):



Նկար 12. Մեկ պարբերության ընթացքում, ոսկու փոքր խառնուրդով  $r_q = 1$  սմ շառավղով քվարցե գնդի շուրջը պտտվող մասնիկի առաքած քվանտների թվի կախվածությունը պտտման շրջանային հաճախությունից: Դրուդեի բանաձևում մարման գործակցի և պլազմային հաճախության հարաբերությունը վերցված է  $\gamma / \omega_p = 1/125$ :

Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ էլեկտրոնը առաքում է ինտենսիվ ճառագայթում ( $N_1 \gg e^2 / \hbar c$ ), եթե այն պտտվում է որոշակի  $\omega_q^{res} = 12.1$  ԳՀց (ռեզոնանսային) հաճախությամբ, և որ քվասոնների թիվը կախված ուղեծրի շառավղից փոխվում է: Ինչքան հեռու է էլեկտրոնը, այնքան ավելի փոքր է ճառագայթված քվանտների թիվը: Ուղեծրի տրված շառավղի դեպքում առաքված քվանտների թիվը փոքրանում է գնդի շառավղի նվազմանը զուգընթաց: Նկար 12-ում բերված բոլոր դեպքերում քվանտների թիվը ավելի մեծ է, քան գնդի բացակայության դեպքում ճառագայթման համար: Թվային հաշվարկները վկայում են, որ լիցքավորված մասնիկի կողմից առաքված ճառագայթման ալիքի երկարությունը կարող է փոփոխվել հաճախությունների համեմատաբար լայն տիրույթում՝ հաղորդիչ գնդի շառավղի և նյութի համապատասխան ընտրությամբ: Տրված է «ռեզոնանսային» ճառագայթման մակաձևան երևույթի բացատրությունը. հաճախությունների ռեզոնանսային արժեքների դեպքում՝ գնդի մակերևույթին մակաձվում են էլեկտրամագնիսական դաշտի մեծ լայնությունով տատանումներ, ինչը հանգեցնում է մասնիկի կողմից ինտենսիվ ճառագայթման:

Ներկայացված են նաև վերը դիտարկված ճառագայթման անկյունային բաշխման առանձնահատկությունները: Առաջին հարմոնիկի համար ճառագայթման անկյունային խտությունը առավելագույնն է երբ  $\theta = \pi/2$  և անհետանում է երբ  $\theta = 0$ : Այստեղ  $\theta$ -ն ճառագայթման ուղղության կազմած անկյունն է պտտման հարթության հետ: Նկար 13-ում

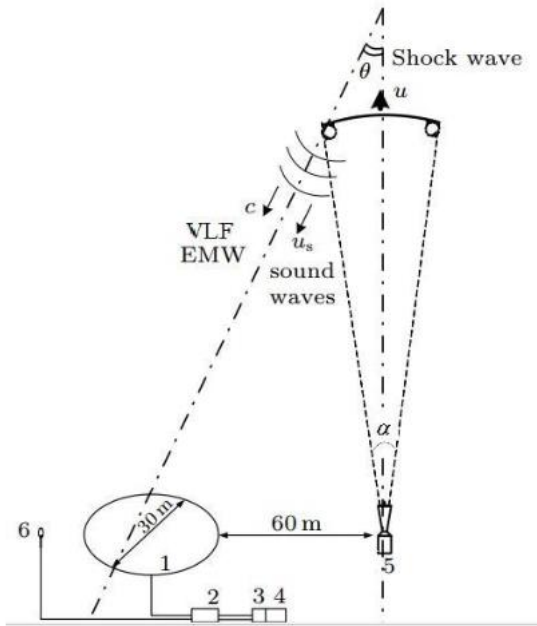


բերված է առաքված քվանտների անկյունահաճախային բաշխումը նկար 12-ին համապատասխանող պարամետրերի արժեքների համար: Գնդի շառավղի համար վերցված է  $r_b = 0.99$  սմ:

Նկար 13. Հաղորդիչ գնդի շուրջը պտտվող մասնիկի առաքած քվանտների թվի անկյունային խտության կախվածությունը պտտման շրջանային հաճախությունից և ճառագայթման  $\theta$  անկյունից:

Ատենախոսության **չորրորդ գլխում** հետազոտված է մթնոլորտում ուղղորդված հարվածող ալիքների տարածման ընթացքում, 1-10 կՀց հաճախությունների տիրույթում ակուստիկ և էլեկտրամագնիսական ալիքների առաքման երևույթը: Պարզ մաթեմատիկական մոդելի հիման վրա, ցույց է տրված, որ մթնոլորտում ուղղորդված ուժեղ հարվածող ալիքների տարածումը պետք է ուղեկցվի նաև էլեկտրամագնիսական ճառագայթմամբ 1-2 ՄՀց ռադիոհաճախականության տիրույթում, ինչը հետևանք է հարվածող ալիքի ազդեցության հետևանքով առաջացած պլազմայի էլեկտրոնների կոհերենտ սինքրոտրոնային ճառագայթման՝ Երկրի մագնիսական դաշտում: Դուպլերի երևույթի հիման վրա ցույց է տրված, որ հարվածող ալիքից առաջացած մրրկային հոսքերը միաժամանակ առաջացնում են էլեկտրամագնիսական և ակուստիկ ալիքներ և որ վերջինները էապես ավելի ցածր հաճախային են (3-4 անգամ): Մեկ էլեկտրոնի Լարմորի հաճախությամբ ճառագայթման հզորությունն այնքան ցածր է, որ երբ ազատ էլեկտրոններից ճառագայթումը ոչ կոհերենտ է, համակարգի կողմից արձակված ճառագայթումն ընդհանուր առմամբ կլինի աննշան: Այդ պատճառով նշված ճառագայթումը հնարավոր կլինի գրանցել միայն այն դեպքում, երբ այն

կոհերենտ է: Դա հնարավոր է միայն հարվածող ալիքի ձևավորումից անմիջապես հետո՝ ժամանակային կարճ ինտերվալի ընթացքում, երբ ուղղորդված հարվածային ալիքի ճակատի բնութագրական չափը փոքր է ուսումնասիրվող էլեկտրամագնիսական ճառագայթման ալիքի երկարությունից:



Նկար 14. Փորձարարական սխեմա: Այստեղ  $u$ -ն աղբյուրի արագությունն է (հարվածային ալիք),  $u_s$ -ը ձայնի արագությունն է,  $\theta$ -ն (հարվածային ալիքի) աղբյուրի արագության  $\vec{u}$  վեկտորի և դետեկտորից դեպի աղբյուր ուղղված վեկտորի միջև կազմած անկյունն է: VLF (շատ ցածր հաճախությամբ) էլեկտրամագնիսական ալիքներ գրանցելու ալեհավաք; 2) ձայնի հաճախության ուժեղացուցիչ 3) ADC (անալոգային-թվային փոխարկիչ); 4) նոութբուք; 5) ակուստիկ հրանոթ; 6) խոսափող;  $\alpha = 26^\circ$ .

### ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

1. Երբ ռեյատիվիստիկ լիցքավորված մասնիկը ուղղահայաց հատում է կիսաանվերջ հաղորդիչ միջավայրի և վակուումի միջև հարթ սահմանը կամ հաղորդիչ հարթ թիթեղը, ապա միջավայրերի բաժանման սահմաններին մոտ կարող են մակաձվել են էլեկտրամագնիսական դաշտի մեծ լայնությունով տատանումներ: Սահմաններից հեռանալուն զուգընթաց այդ տատանումների լայնությունը էքսպոնենցիալ նվազում է:
2. Ուսումնասիրված է ռեյատիվիստիկ լիցքավորված մասնիկի կամ մասնիկների թանձրուկների շղթայի ճառագայթումը, երբ դրանք անցնում են վակուումում գտնվող դիէլեկտրական կամ հաղորդիչ գնդի կենտրոնով: Հաղորդիչ գնդի դեպքում, խնդրի պարամետրերի որոշակի արժեքների համար, գնդի մակերևույթին մակաձվում են մեծ լայնությունով էլեկտրամագնիսական տատանումներ, որոնք ուղեկցվում են հաճախությունների որոշակի նեղ տիրույթներում ինտենսիվ ճառագայթմամբ: Դիէլեկտրական գնդի պարագայում, Չերենկովի պայմանի բավարարման և գնդի նյութում թույլ կլանման դեպքում նրա կետրոնով անցնող ռեյատիվիստիկ մասնիկի ճառագայթման էներգիայի սպեկտրալ բաշխումում առաջանում են նեղ պիկեր («ռեզոնանսային» ճառագայթում): Հաճախությունների այդ տիրույթներում ճառագայթված էներգիայի սպեկտրալ խտությունը էապես ավելի մեծ է, քան դիէլեկտրական թափանցելիության նույն իրական մասն ունեցող թափանցիկ անվերջ միջավայրում շարժվող լիցքի դեպքում՝ գնդի տրամագծին հավասար հեռավորություն

անցնելիս: Դիէլեկտրական գնդի կենտրոնով լիցքավորված մասնիկների թանձրուկների շրթայի անցման դեպքում ճառագայթման ինտենսիվությունը կարելի է լրացուցիչ ավելացնել առանձին թանձրուկների ճառագայթման կոհերենտ վերադրման շնորհիվ՝ թանձրուկների միջև հեռավորության հատուկ ընտրությամբ:

3. Տրված է անհամասեռ կենրոնահամաչափ միջավայրում էլեկտրամագնիսական ալիքների տարածումը բնութագրող հիմնական հավասարումների ճշգրիտ լուծումը Գրինի ֆունկցիայի մեթոդով: Տրված է ոչ իդեալական հաղորդիչ գնդի վրա հարթ էլեկտրամագնիսական ալիքի ռեզոնանսային ցրման երևույթի ակնառու բացատրությունը:
4. Հետազոտված է հաղորդիչ գնդի շուրջը, նրա հասարակածային հարթությունում հավասարաչափ պտտվող լիցքավորված մասնիկի մակածած էլեկտրամագնիսական դաշտը: Ցույց է տրված, որ գնդի նյութում թույլ կլանման և պտտման հաճախության որոշակի՝ «ռեզոնանսային» արժեքների դեպքում, ճառագայթված քվանտների թիվը կարող է տասնյակ անգամներ ավելի մեծ լինել, քան դատարկ տարածությունում պտտվող լիցքի համար: Այդ երևույթը բացատրվում է նրանով, որ գնդի մակերևույթին առաջանում են էլեկտրամագնիսական դաշտի մեծ լայնությունով տատանումներ (մակերևույթային ալիքներ), որոնք ուղեկցվում են գնդից մեծ հեռավորությունների վրա ինտենսիվ ռեզոնանսային ճառագայթմամբ:
5. Ուսումնասիրվել է դիէլեկտրական, կոմպոզիտ կամ հաղորդիչ գնդի շուրջը, նրա հասարակածային հարթության մեջ հավասարաչափ պտտվող լիցքավորված մասնիկի ճառագայթման անկյունա-հաճախային բաշխումը: Խնդրի պարամետրերի որոշ արժեքների դեպքում ճառագայթման ինտենսիվությունը կարող է էապես ավելի մեծ լինել, քան դիէլեկտրական թափանցելիության նույն իրական մասն ունեցող անվերջ թափանցիկ միջավայրում պտտվելու դեպքում: Հետազոտվել է «ուժեղացված» ճառագայթման անկյունա-հաճախային բաշխումը ստրոնցիումի տիտանատից, հալված քվարցից, տեֆլոնից կամ ոսկու փոքր խառնուրդով հալված քվարցից պատրաստված գնդերի դեպքերում, հաճախությունների զիզա-տերահերցային տիրույթում:
6. Հետազոտվել է հակակարկտային ակուստիկ «հրանոթ»-ների առաքած ուղղորդված հարվածող ալիքների տարածման ընթացքում, 1-10 կՀց հաճախությունների տիրույթում ակուստիկ և էլեկտրամագնիսական ալիքների ճառագայթման երևույթը: Հիմնավորված է, որ հարվածող ալիքի տարածման ընթացքում կարող են մակածվել նաև 1-2ՄՀց հաճախություններով էլեկտրամագնիսական ալիքներ, ինչը արդյունք է հարվածող ալիքի ազդեցության հետևանքով առաջացած պլազմայի էլեկտրոնների կոհերենտ սինքրոտրոնային ճառագայթման՝ Երկրի մագնիսական դաշտում: Դիպոլային մոտավորությամբ հաշվարկված է ազատ էլեկտրոնների ճառագայթման

հզորությունը և ցույց է տրված, որ առկա դետեկտորների զգայունության պարագայում ճառագայթումը կարող է գրանցվել միայն այն դեպքում երբ այն քվազիկոհերենտ է:



## ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. G. N. Afanasief, Vavilov-Cherenkov and Synchrotron Radiation (Springer, Netherlands, 2004).
2. R. Marqués, F. Martín, M. Sorolla, Metamaterials with Negative Parameters: Theory, Design, and Microwave Applications (Wiley, Hoboken, NJ, 2008).
3. S.R. Arzumanyan, L.Sh. Grigoryan, and A.A. Saharian. On the theory of radiation of charged particles in stratified spherically-symmetric medium. *Izv. Nats. Akad. Nauk Arm., Fiz.* **30**, 99 (1995).
4. L.Sh. Grigoryan, A.S. Kotanjyan, A.A. Saharian, Green function of an electromagnetic field in cylindrically symmetric inhomogeneous medium, *Izv. Nats. Akad. Nauk Arm., Fiz.* **30**, 239 (1995).
5. L.Sh. Grigoryan, H.F. Khachatryan, S.R. Arzumanyan, M.L. Grigoryan, High power Cherenkov radiation from a relativistic particle rotating around a dielectric ball, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B* **252**, 50 (2006).
6. A.A. Saharian, A.S. Kotanjyan, L.Sh. Grigoryan, H.F. Khachatryan, V.Kh. Kotanjyan, Synchrotron radiation from a charge circulating around a cylinder with negative permittivity, *Int. J. Mod. Phys. B* **34**, 2050065 (2020).
7. A.A. Saharian, L.Sh. Grigoryan, A.Kh. Grigoryan, H.F. Khachatryan, A.S. Kotanjyan, Cherenkov radiation and emission of surface polaritons from charges moving paraxially outside a dielectric cylindrical waveguide, *Phys. Rev. A* **102**, 063517 (2020).
8. A.A. Saharian, L.Sh. Grigoryan, A.S. Kotanjyan, H.F. Khachatryan, Surface polariton excitation and energy losses by a charged particle in cylindrical waveguides. *Phys. Rev. A* **107**, 063513 (2023).

## ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ԹԵՄԱՅՈՎ ՀՐԱՊԱՐԱԿՈՒՄՆԵՐԸ

1. L.Sh. Grigoryan, A.H. Mkrtychyan, P.A. Aleksandrov, A.A. Saharian, W. Wagner, M.L. Grigoryan, J.P. Markosyan, A.V. Sargsyan, A.V. Martirosyan, and H.F. Khachatryan. Spectral angular distribution of radiation generated by a train of electron bunches passing through the center of a ball. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research - section A (NIMA)*, **1059**, 168991, 2024.
2. A.V. Sargsyan. Features of scattering of a plane electromagnetic wave on a conductive ball. *Arm. J. Phys.*, **14**(4), 173-179, 2021.
3. L.Sh. Grigoryan, A.A. Saharian, H.F. Khachatryan, M.L. Grigoryan, A.V. Sargsyan, and T.A. Petrosyan. Angular distribution of high power radiation from a charge rotating around a dielectric ball. *Journal of Instrumentation (JINST)*, **15**(04), C04035, 2020.

4. A.H. Mkrtchyan, L.Sh. Grigoryan, H.F. Khachatryan, S.G. Bilen, M. Parrot, A.V. Sargsyan, and A.R. Aramyan. Shock wave generated megahertz radiation of atmosphere. *IEEE Transactions on Plasma Science*, **47**(1), 118–120, 2018.
5. L.Sh. Grigoryan, A.H. Mkrtchyan, H.F. Khachatryan, M.L. Grigoryan, A.V. Sargsyan, and P.H. Mosoyan. Peculiarities of electromagnetic oscillations generated by a charged particle crossing the planar boundary between a conductive medium and a vacuum. *Resource-efficient technologies (REFFIT)*, **4**, 14–18, 2018.
6. A.H. Mkrtchyan, L.Sh. Grigoryan, H.F. Khachatryan, M.L. Grigoryan, and A.V. Sargsyan. Peculiarities of electromagnetic field oscillations of a charged particle rotating about a conductive ball. *Resource-efficient technologies (REFFIT)*, **3**, 1–6, 2018.
7. L.Sh. Grigoryan, A.A. Saharian, H.F. Khachatryan, M.L. Grigoryan, A.V. Sargsyan, and T.A. Petrosyan. On the features of radiation from a charge rotating around dielectric and conductive ball. *Proceedings, "Electron, Positron, Neutron and X-ray Scattering under the External Influences"*, Yerevan– Meghri, Armenia, pages 10–23, 2022.

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
В СФЕРИЧЕСКИ-СИММЕТРИЧНЫХ СРЕДАХ**

**Выводы**

1. Показано, что если релятивистская заряжённая частица пересекает плоскую границу раздела полубесконечной проводящей среды с вакуумом, или пролетает сквозь пластину бесконечно больших размеров (перпендикулярно к поверхностям), находящуюся в вакууме, то на границах раздела вещества с вакуумом могут генерироваться электромагнитные колебания большой амплитуды. При этом с удалением от поверхностей раздела вещества с вакуумом амплитуда электромагнитных колебаний уменьшается экспоненциально.
2. Исследовано излучение релятивистской заряженной частицы или цепочки сгустков частиц, пролетающих через центр диэлектрического или проводящего шара, находящегося в вакууме. В случае проводящего шара показано, что при определенных значениях параметров задачи на поверхности шара генерируются электромагнитные колебания большой амплитуды, которые сопровождаются узкополосным интенсивным излучением на определенных частотах. В случае диэлектрического шара, при выполнении условия Черенкова и слабом поглощении излучения веществом шара, в спектральном распределении энергии излучения релятивистской частицы, проходящей через центр шара, имеются узкие пики («резонансное излучение»). В этих диапазонах частот спектральная плотность излучаемой энергии существенно больше, чем в случае движения заряда в прозрачной бесконечной среде с той же действительной частью диэлектрической проницаемости, при прохождении расстояния, равном диаметру шара. Показано, что при прохождении цепочки сгустков заряженных частиц через центр диэлектрического шара, излучаемая энергия в пересчете на одну частицу, может быть дополнительно увеличена за счет квазикогерентности излучения частиц в сгустках, когда размеры сгустков много меньше длины волны, и квазикогерентности излучения сгустков в цепочке, которая может обеспечиться подходящим выбором расстояния между сгустками.
3. Методом функции Грина дано точное решение основных уравнений, описывающих распространение электромагнитных волн в неоднородной сферически симметрической среде. Приведено наглядное объяснение явления резонансного рассеяния плоской электромагнитной волны на неидеально проводящем шаре.
4. Исследовано электромагнитное поле, генерируемое заряженной частицей равномерно вращающейся вокруг проводящего шара в его экваториальной плоскости. Показано, что при слабом поглощении в веществе шара и определенных «резонансных» значениях частоты вращения, число излученных квантов может быть

в десятки раз больше, чем при вращении заряда в пустом пространстве. Это явление объясняется тем, что на поверхности шара возникают колебания электромагнитного поля большой амплитуды (поверхностные волны), которые проявляются в виде интенсивного резонансного излучения на больших расстояниях от шара.

5. Исследовано спектрально-угловое распределение излучения релятивистской заряженной частицы, равномерно вращающейся вокруг диэлектрического, составного (композитного) или проводящего шара, в его экваториальной плоскости. Показано, что при определенных значениях параметров задачи интенсивность излучения может быть существенно больше, чем в случае вращения в бесконечной прозрачной среде с той же действительной частью диэлектрической проницаемости. В гигагерцовом диапазоне частот исследовано спектрально-угловое распределение «усиленного» излучения в случае шара из титаната стронция, плавленного кварца, тефлона или плавленного кварца с небольшим содержанием золота.
6. Исследовано явление излучения акустических и электромагнитных волн в диапазоне частот 1-10 кГц при распространении направленных ударных волн, генерируемых противорадовыми акустическими «пушками». В рамках простой математической модели показано, что при распространении ударной волны также могут генерироваться электромагнитные волны с частотами 1-2 МГц, что является следствием когерентного синхротронного излучения электронов плазмы, вызванного ударной волной в магнитном поле Земли. В дипольном приближении рассчитана мощность излучения свободных электронов и показано, что при чувствительности существующих детекторов, зарегистрировать излучение возможно только в том случае, если оно квазикогерентное.

**SARGSYAN ANUSH**  
**SOME FEATURES OF ELECTROMAGNETIC RADIATION IN SPHERICALLY-**  
**SYMMETRIC MEDIA**

**Conclusions**

1. It is shown that when a relativistic charged particle crosses the flat boundary between a semi-infinite conductive medium and a vacuum, or passes through a conductive plate of infinite dimensions in vacuum, perpendicularly to its surfaces, then large-amplitude oscillations of the electromagnetic field can be generated on the boundaries. The amplitude of those oscillations exponentially decreases with the distance from the boundaries.

2. The radiation generated by a relativistic charged particle or a train of equidistant particle bunches flying through the center of a dielectric or conductive ball in vacuum is studied. It is shown that, in the case of a conductive ball, for certain values of the problem parameters, large amplitude electromagnetic oscillations occur on the surface of the ball, which are accompanied by intense radiation in certain narrow band frequencies. Under the Cherenkov condition and for weak absorption in the ball material, narrow peaks (resonant radiation) appear in the spectral distribution of the radiation energy of a relativistic charged particle flying through the center of a dielectric ball. In those frequency ranges, the spectral density of the radiated energy is significantly greater than in the case of a charge moving in a transparent infinite medium with the same real part of dielectric permittivity, while passing a distance equal to the diameter of the ball. In the case of particle bunches flying through the center of a dielectric ball, the radiated energy can be additionally increased due to the quasi-coherence effects of particle radiation, which occurs when the bunch dimensions are much smaller than the wavelength, and due to the quasi-coherence of the radiation of particle bunches, which can be ensured by tuning the distance between the bunches.

3. The exact analytical solution of the basic equations characterizing the propagation of electromagnetic waves in a spherically-symmetric, inhomogeneous medium is given by the Green function method. The visual explanation of the resonant scattering phenomenon of a plane electromagnetic wave on a non-ideal conductive ball is given.

4. The electromagnetic field of a uniformly rotating charged particle around a conductive ball, in its equatorial plane, is investigated. For small dielectric energy losses of the ball's material, the existence of a certain "resonant" values of the particle rotation frequency is possible, for which the number of quanta radiated per period can be ten times greater than for the rotation of a charge in empty space. This phenomenon is due to the fact that large amplitude oscillations of the electromagnetic field (surface waves) are generated on the ball surface, giving rise to intense resonant radiation at large distances from the ball.

5. The spectral-angular distribution of radiation of a relativistic charged particle, uniformly rotating around dielectric, composite or conductive balls in the equatorial plane, is studied. For some values of the problem parameters, the radiation intensity can be significantly greater than in the case of rotation in an infinite transparent medium with the same real part of dielectric permittivity. The spectral-angular distribution of "enhanced" radiation in the case of a ball made of strontium titanate, fused quartz, Teflon, or fused quartz with a small mixture of gold in the giga-terahertz frequency range is investigated.

6. The phenomenon of radiation of acoustic and electromagnetic waves in the 1-10 kHz frequency range during the propagation of directed shock waves delivered by acoustic anti-hail "cannon" is investigated. Based on a simple mathematical model, it is shown that electromagnetic radiation in 1-2 MHz frequencies can also be generated during the propagation of the shock wave, which is a consequence of the coherent synchrotron radiation of plasma electrons induced by the Earth's magnetic field. The radiation power of free electrons is calculated in the dipole approximation, and it is shown that with the sensitivity of the existing detectors, the detection of this radiation is possible only when it is quasi-coherent.