ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME -11

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME – 11

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

OPTIK JIHATDAN MANFIY SINDIRISH KO‘RSATGICHIGA EGA BO‘LGAN AYRIM METAMATERIALLARNI NAZARIY TADQIQI VA AMALIY TATBIQI.

Sanoyev Sunnatillo
Buxoro davlat texnika universiteti tayanch doktoranti
E-mail: sunnatillosanoyev51@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada metamateriallarning elektromagnit xossalari, xususan, dielektrik singdiruvchanlik ε(ω) va magnit singdiruvchanlik μ(ω) ning manfiy qiymatlari asosida yuzaga keladigan manfiy sindirish hodisasi nazariy jihatdan o‘rganildi. Dispersiya tenglamasi asosida to‘lqin soni k(ω) kompleks ko‘rinishda tahlil qilindi. Wolfram Mathematica dasturi yordamida olingan grafik natijalar orqali tarqalish, so‘nish va rezonans zonalari aniqlanib, ular nazariy xulosalar bilan solishtirildi.

Kalit so‘zlar: metamateriallar, manfiy sindirish ko‘rsatgichi, dispersiya, dielektrik singdiruvchanlik, magnit singdiruvchanlik, kompleks to‘lqin soni, evanescent to‘lqinlar, rezonans, superlinza.

Аннотация. В данной работе теоретически исследуются электромагнитные свойства метаматериалов, в частности, явление отрицательного преломления, возникающее из-за отрицательных значений диэлектрической проницаемости ε(ω) и магнитной проницаемости μ(ω). На основе дисперсионного уравнения анализируется волновое число k(ω) в комплексной форме. Дисперсионные, зоны затухания и резонанса определяются с помощью графических результатов, полученных с использованием программы Wolfram Mathematica, и сравниваются с теоретическими выводами.

Ключевые слова: метаматериалы, отрицательный показатель преломления, дисперсия, диэлектрическая проницаемость, магнитная проницаемость, комплексное волновое число, эванесцентные волны, резонанс, суперлинза.

Abstract. In this paper, the electromagnetic properties of metamaterials, in particular, the phenomenon of negative refraction, which occurs due to negative values of dielectric permittivity ε(ω) and magnetic permittivity μ(ω), are theoretically studied. Based on the dispersion equation, the wave number k(ω) is analyzed in complex form. The dispersion, extinction and resonance zones are determined through the graphical results obtained using the Wolfram Mathematica program and compared with theoretical conclusions.

Keywords: metamaterials, negative refractive index, dispersion, dielectric permittivity, magnetic permittivity, complex wave number, evanescent waves, resonance, superlens.

KIRISH.

So‘nggi yillarda elektromagnit to‘lqinlarning modda bilan o‘zaro ta’sirini boshqarish imkoniyatlarini kengaytirishga qaratilgan tadqiqotlar jadal rivojlanmoqda. Shu nuqtai nazardan, sun’iy ravishda yaratilgan strukturalar — metamateriallar — alohida ahamiyat kasb etadi. Metamateriallar tabiiy materiallarda uchramaydigan fizik xossalarga ega bo‘lib, ayniqsa ularning dielektrik singdiruvchanligi va magnit singdiruvchanligi bir vaqtning o‘zida manfiy qiymat qabul qilishi mumkin. Bunday muhitlarda elektromagnit to‘lqinlarning tarqalishi odatiy muhitlardan tubdan farq qiladi. Xususan, sindirish ko‘rsatgichi manfiy qiymatga ega bo‘lib, bu esa yorug‘lik nurlarining g‘ayrioddiy sinishini yuzaga keltiradi. Ushbu hodisa birinchi marta nazariy jihatdan Viktor Veselago tomonidan bashorat qilingan. Metamateriallarning eng muhim amaliy qo‘llanmalaridan biri — bu superlinzalar bo‘lib, ular difraksion chegaradan kichik obyektlarni ham aniqlik bilan tasvirlash imkonini beradi. Bu esa optika, nanofotonika va tibbiyot sohalarida katta istiqbollarni ochib beradi. Mazkur ishda optik diapazonda manfiy sindirish ko‘rsatgichiga ega metamateriallarning nazariy asoslari o‘rganiladi. Dielektrik va magnit singdiruvchanliklarning manfiy bo‘lish shartlari tahlil qilinadi, elektromagnit to‘lqinlarning bunday muhitda tarqalishi matematik jihatdan asoslanadi. Shuningdek, Wolfram Mathematica dasturi yordamida grafik natijalar olinadi va sonli usullar orqali tekshiruv amalga oshiriladi.

Metodlar(Nazariy asos). Metamateriallarning asosiy xususiyati ularning effektiv parametrlariga bog‘liq bo‘lib, ular quyidagilar orqali aniqlanadi:

- dielektrik singdiruvchanlik: ε
- magnit singdiruvchanlik: μ

Elektromagnit to‘lqinlarning muhitdagi tarqalish tezligi va yo‘nalishi aynan shu parametrlar orqali belgilanadi. Sindirish ko‘rsatgichi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$n = \sqrt{\varepsilon\mu} \qquad (1)$$

Agar oddiy muhitlarda $\varepsilon > 0$ va $\mu > 0$ bo‘lsa, metamateriallarda $\varepsilon<0$, $\mu<0$ bo‘ladi, ya’ni muhit manfiy sindirish ko‘rsatgichiga ega bo‘ladi $n<0$. Dielektrik singdiruvchanlikni chastotaga bog‘liqligi Drude modeli asosida quyidagicha ifodalanadi:

$$\varepsilon(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \qquad (2)$$

bu yerda:

- ω_p - plazma chastotasi
- ω – elektromagnit to‘lqin chastotasi

Agar $\omega < \omega_p$ bo‘lsa, $\varepsilon < 0$ bo‘ladi . Xuddi shuningdek, magnit singdiruvchanlik μ rezonans hodisalari natijasida manfiy bo‘lishi mumkin:

ISSN 3030-3907

$$\mu(\omega) = 1 - \frac{F\omega^2}{\omega^2 - \omega_0^2} \quad (3)$$

Bu yerda: ω_0-rezonans chastota, F-strukturaviy parameter. Ma'lum chastotatlarda μ<0 shart bajariladi. Makswell tenglamalaridan foydalanib to'lqin tenglamasini yozamiz:

$$\nabla^2 E - \mu\varepsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0 \quad (4)$$

Bu tenglama yechimidan dispersiya munosabatini olamiz:

$$k^2 = \omega^2 \mu\varepsilon \quad (5)$$

Agar $\mu < 0,\ \varepsilon < 0$ bo'lsa :

- to'lqin soni haqiqiy bo'ladi
- lekin energiya va faza tezliklari qarama-qarshi yo'nalishda harakat qiladi

Bu hodisa teskari to'lqin tarqalishi deb ataladi. Metamateriallarning eng muhim qo'llanilishlaridan biri — bu superlinza hisoblanadi. Oddiy linzalarda tasvir aniqligi difraksiya chegarasi bilan cheklanadi. Bu chegarani klassik optika doirasida yengib bo'lmaydi.

2000-yilda John Pendry tomonidan taklif qilingan nazariyaga ko'ra, agar muhitda: ε=−1, μ=−1 bo'lsa, u holda ideal linza hosil bo'ladi. Bunday muhit uchun sindirish ko'rsatgichi: n=−1
bo'ladi va bu quyidagi natijani beradi:

- evanescent (so'nuvchi) to'lqinlar ham kuchayadi
- mayda detallar yo'qolmaydi
- difraksiya chegarasi buziladi

Oddiy linzada faqat tarqaluvchi to'lqinlar uzatiladi, lekin yuqori chastotali komponentlar (detallar) yo'qoladi. Superlinzada esa:

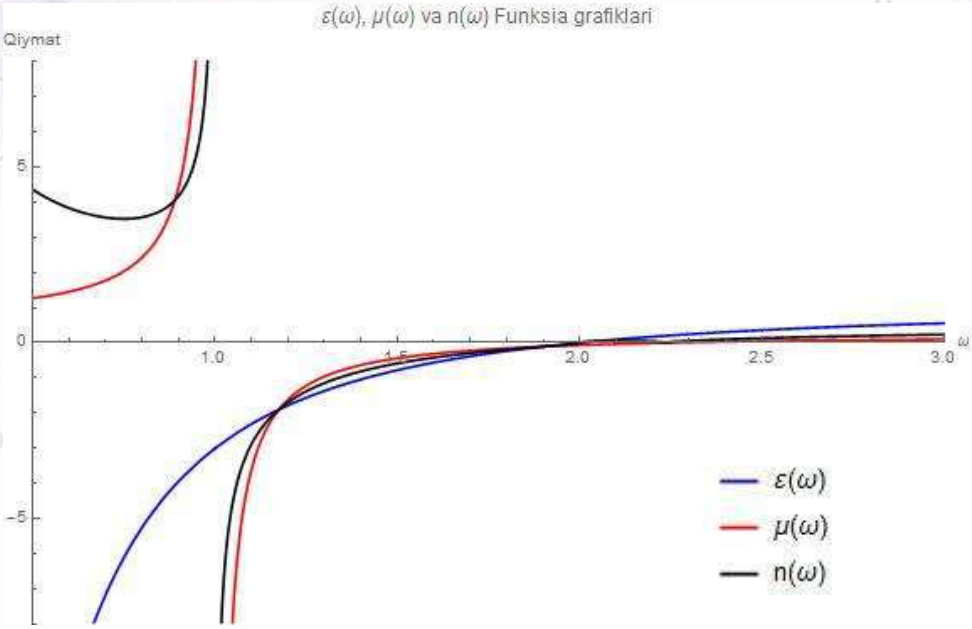
- manfiy ε va μ tufayli
- evanescent modalar eksponensial kuchayadi

Natijada tasvirning aniqligi oshadi. Endi biz $\varepsilon(\omega), \mu(\omega), n(\omega)$ funksialarni grafik ko'rinishda tahlil qilamiz.

NATIJALAR.

ω_p=2, $\omega_0 = 1, F$ =0.8 qiymatlar uchun chizamiz.

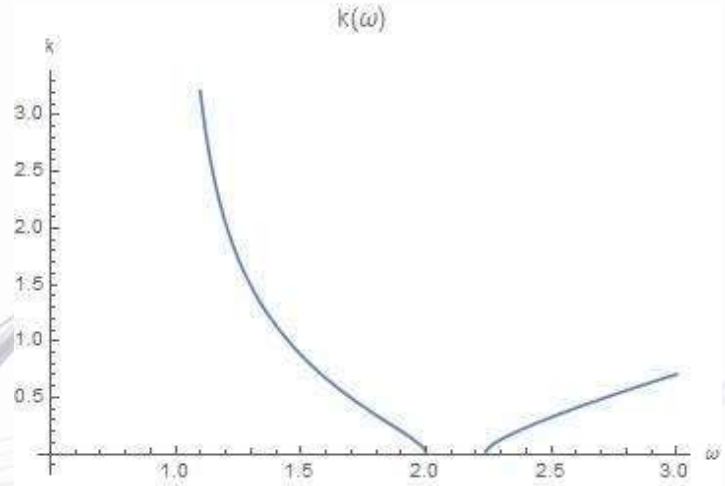
ISSN 3030-3907



1-Rasm. ε, μ hamda n kattaliklarni ω – ga bog′liqligi

Grafik tahlili shuni ko‘rsatadiki, dielektrik singdiruvchanlik ε(ω) past chastotalarda manfiy qiymatga ega bo‘lib, chastota ortishi bilan nolga intiladi va ma’lum qiymatdan keyin musbat sohaga o‘tadi. Magnit singdiruvchanlik μ(ω) esa rezonans xarakterga ega bo‘lib, ω = ω₀ nuqtada vertikal asimptotaga ega ekanligi kuzatildi. Ushbu nuqta atrofida μ(ω) keskin o‘zgaradi va rezonansdan keyingi ma’lum oraliqda manfiy qiymatlar qabul qiladi. Tahlil natijalariga ko‘ra, ma’lum chastota oralig‘ida ε(ω) < 0 va μ(ω) < 0 shartlari bir vaqtning o‘zida bajariladi. Aynan shu sohada sindirish ko‘rsatgichi n(ω) ham manfiy qiymatga ega bo‘lishi grafikda aniq kuzatildi. Bu natija metamateriallar uchun xos bo‘lgan manfiy sindirish hodisasi mavjudligini tasdiqlaydi.

Nazariy natijani tekshirish uchun (5) dispersiya tenglamasidan foydalanamiz va uni Wolfram mathematica dasturidan foydalanib sonli usulda yechamiz natija quyidagi grafik ko‘rinishda:



2-Rasm. To‘lqin soni k-ning, ω-ga bog‘liqligi

ISSN 3030-3907

Grafik tahlili shuni ko‘rsatadiki, k(ω) funksiyasi chastotaning turli oraliqlarida turlicha xulq-atvor namoyon etadi.

1.Past chastotalar sohasi ($\omega < 1$), $\varepsilon < 0, \mu > 0$ da k(ω) funksia kompleks qiymatga ega bo‘lib bu sohada to‘lqin tarqalmaydi muhitda so‘nuvchi to‘lqinlar hosil bo‘ladi.

2.Rezonans sohasi(ω=1), grafikda keskin sakrash kuzatiladi $\mu(\omega)$-funksianing asimptotasi. Tizim energiyani kuchli yutadi yoki chiqaradi.

3. Manfiy sindirish sohasi($1 < \omega < 2$) k(ω) haqiqiy va musbat uzluksiz kamayadi. $\varepsilon < 0, \mu < 0$ to‘lqin erkin tarqaladi lekin sindirish ko‘rsatgichi manfiy faza tezligi teskari bu aynan **metamaterial** rejimi.

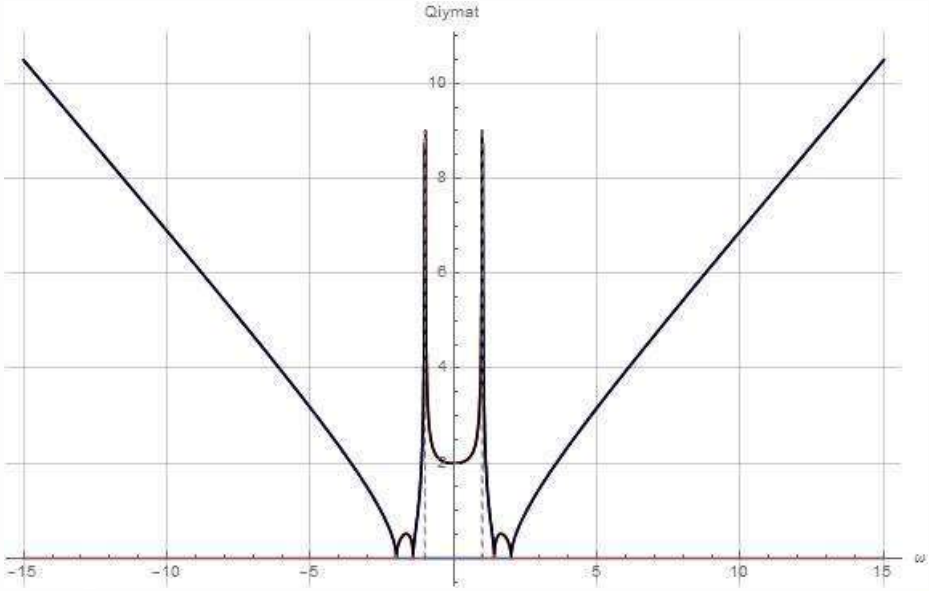
4.Yuqori chastotalar sohasi ($\omega > 2$) grafikdan k(ω) yana o‘sishni boshlaydi, silliq xulq-atvor bu yerda: ε > 0 , μ > 0 oddiy muhit, klassik elektromagnit to‘lqin tarqalishi.

Yuqorida biz (5) tenglamani haqiqiy qismi bilan ish kordik agar kompleks qismini inobataga oladigan bo‘lsak :

$$k = \sqrt{\omega^2 \varepsilon(\omega)\mu(\omega)} \qquad (6)$$

$$k(\omega) = k'(\omega) + ik''(\omega) \qquad (7)$$

Bu yerda: $k'(\omega)$-faza tarqalishini, $k''(\omega)$-so‘nishni ifodalaydi. Quyidagi grafikda kompleks qismi inobatga olib ko‘rsatilgan.



3-Rasm. To‘lqin soni k-ning haqiyqiy va mavhum qismlarini inobatga olganda ω-ga bog‘lanishi.

Hisoblash natijalariga ko‘ra, to‘lqin sonining haqiqiy va mavhum qismlari alohida tahlil qilindi. Grafikdan ko‘rinadiki, ma’lum chastota oralig‘ida k(ω)-ning haqiqiy qismi nolga teng bo‘lib, mavhum qismi esa nolga teng emas. Bu holatda elektromagnit to‘lqinlar muhitda tarqalmaydi, balki eksponensial so‘nadi.Rezonans nuqtada magnit singdiruvchanlik funksiyasining maxrajida

ISSN 3030-3907

nolga tenglik yuzaga kelishi sababli k(ω)- cheksiz qiymatlarga intiladi. Bu esa muhitning kuchli dispers xossasini ko‘rsatadi. Yuqori chastotalarda esa k(ω)-ning haqiqiy qismi nolga teng emas, mavhum qismi esa nolga yaqinlashadi. Bu elektromagnit to‘lqinlarning muhitda erkin tarqalishini bildiradi.

MUHOKAMA. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, metamateriallarning elektromagnit xossalari chastotaga juda kuchli bog‘liq. Past chastotalarda muhit plazma kabi tutadi va to‘lqinlar kirib bormaydi. Rezonans yaqinida esa juda kuchli dispersiya kuzatiladi. Shuningdek, ma’lum chastota oralig‘ida ε va μ ning ishorasi turlicha bo‘lib, bu sohada to‘lqinlar tarqalmaydi. Eng muhim natija esa $\varepsilon<0$ va $\mu<0$ bo‘lgan holatda manfiy sindirish hodisasi yuzaga kelishidir.

XULOSA. Ushbu ishda metamateriallarning elektromagnit xossalari nazariy va sonli usullar yordamida o‘rganildi. Dispersiya tenglamasi asosida olingan natijalar quyidagilarni tasdiqladi:

- to‘lqin tarqalishi $\varepsilon\mu>0$ da sodir bo‘ladi
- so‘nish $\varepsilon\mu<0$ yuz beradi
- rezonans nuqtada kuchli dispersiya mavjud
- manfiy sindirish faqat $\varepsilon<0$ va $\mu<0$ da kuzatiladi

Natijalar metamateriallarning superlinza va boshqa ilg‘or optik qurilmalarda qo‘llanilishini asoslaydi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Veselago V. G. (1968). *The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ε and μ*. Soviet Physics Uspekhi, 10(4), 509–514.
2. Pendry J. B. (2000). *Negative refraction makes a perfect lens*. Physical Review Letters, 85(18), 3966–3969.
3. Smith D. R., Pendry J. B., Wiltshire M. C. K. (2004). *Metamaterials and negative refractive index*. Science, 305(5685), 788–792.
4. Landau L. D., Lifshitz E. M. (1984). *Electrodynamics of Continuous Media*. Pergamon Press.
5. Jackson J. D. (1999). *Classical Electrodynamics*. Wiley.
6. Engheta N., Ziolkowski R. W. (2006). *Metamaterials: Physics and Engineering Explorations*. Wiley-IEEE Press.
7. Shalaev V. M. (2007). *Optical negative-index metamaterials*. Nature Photonics, 1(1), 41–48.

ISSN 3030-3907