

MAXWELL TENGLAMALARINING 19-ASRDAN HOZIRGI OPTIK TOLALI ALOQA TEXNOLOGIYALARIGACHA BO'LGAN TA'SIRI

Navbahor Qurbanbayeva Shermat qizi

Berdoq nomidagi Qoraqolpoq davlat universiteti

Fizika fakulteti Fizika kafedrası

ANNOTATSIYA: Ushbu maqolada Jeyms Klerk Maksvell tomonidan ishlab chiqilgan elektromagnit nazariyasining — xususan, Maxwell tenglamalarining — XIX asrdan boshlab zamonaviy optik tolali aloqa texnologiyalarigacha bo'lgan ta'siri tahlil qilinadi. Maksvell tenglamalari elektromagnit to'lqinlarning mavjudligini nazariy asosda isbotlab, radioto'lqinlardan tortib, lazer nurlari va optik tolali aloqa tizimlarigacha bo'lgan barcha texnologik yechimlar uchun asos bo'lib xizmat qildi. Tadqiqotda bu tenglamalarning fizik mohiyati, ularning yorug'lik to'lqini bilan bog'liqligi, hamda optik tolali aloqa muhitlarida elektromagnit to'lqinlarning harakatlanishiga qanday asos bo'lishi tizimli tarzda bayon etiladi. Maqola optik aloqa tizimlarining fizik poydevorini tushunishga qaratilgan.

KALIT SO'ZLAR: Maxwell tenglamalari, elektromagnit to'lqinlar, optik tola, yorug'lik tezligi, dielektrik muhit, to'lqin tenglamasi, dispersiya, modulyatsiya, optik aloqa, yorug'lik signalining uzatilishi

XIX asrda Jeyms Klerk Maksvell tomonidan yaratilgan elektromagnit nazariya ilm-fan tarixidagi eng muhim nazariyalardan biridir. Maxwell tenglamalari elektromagnit hodisalarni yagona matematik tizimga birlashtirib, elektr va magnit maydonlarning o'zaro bog'liqligini isbotladi. Aynan ushbu tenglamalardan elektromagnit to'lqinlarning mavjudligi, ularning bo'shliq orqali harakatlanishi va yorug'likning tabiatiga oid chuqur tushunchalar kelib chiqqan.

Bu nazariya nafaqat ilmiy asos sifatida, balki muhandislik va texnologiya sohalarida ham inqilobiy o'zgarishlarga sabab bo'ldi. XX asrda radioaloqa, radar tizimlari va telekommunikatsiya texnologiyalari aynan Maksvell nazariyasi asosida rivojlandi. XXI asrga kelib esa bu nazariya **optik tolali aloqa texnologiyasi** — ya'ni, yorug'lik impulslarini tolalar orqali katta tezlikda va katta masofaga uzatish — asosida yangi bosqichga ko'tarildi.

Ushbu maqolada Maksvell tenglamalarining nazariy mohiyati, ularning to'lqin tenglamasi hosil qilishi, va bu nazariyaning optik tolali aloqa texnologiyalaridagi amaliy ifodasi tahlil qilinadi. Maqsad — zamonaviy optik uzatish tizimlarining fizik poydevorini Maksvell nazariyasi orqali yoritishdir.

Tadqiqotda quyidagi metodologik yondashuvlar qo'llanildi:

1. Nazariy-fizik

tahlil

Maxwell tenglamalari — Gauss qonuni (elektr va magnit uchun), Faradey induksiya qonuni va Amper-Maxwell qonuni — matematik shaklda tahlil qilinib, ular orqali elektromagnit to'lqinlar uchun to'lqin tenglamasi hosil qilindi. Ushbu tenglama yorug'likning vakuumdagi tezligi $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$ formulasi orqali ifodalandi.

2. Optik

muhitdagi

tarqalish

Elektromagnit to'lqinlarning optik tolalarda qanday tarqalishi dielektrik muhit parametrlari

(bryuslov indeks, dispersiya, attenuation) asosida modellashirildi. To'liq yo'naltiruvchi sifatida tolalarning strukturaviy xususiyatlari (ko'p qatlamlilik, reflektivlik, kritik burchak) ham tahlil qilindi.

3. Tarixiy-komparativ

yondashuv

Maxwell nazariyasining ilk ilmiy qarashlardan boshlab, bugungi optik aloqa tizimlarigacha bo'lgan bosqichma-bosqich evolyutsiyasi tarixiy va texnologik nuqtai nazardan o'rganildi. Hertz tajribalari, Marconi aloqa tizimlari, va 1970-yillardagi optik tola yaratilishiga oid manbalar o'rganildi.

4. Amaliy

tahlil

Zamonaviy optik aloqa tizimlarida (DWDM, FTTH, GPON) elektromagnit to'liqlarning qanday modulyatsiya qilinishi, qanday uzatilishi va qabul qilinishi fizikaviy misollar orqali tahlil qilindi. Yoritish uchun MATLAB/Python orqali modellashirish grafiklari yaratildi.

5. Ilmiy-adabiy

manba

tahlili

Maxwellning asarlari, XIX–XX asr elektromagnit nazariyasi bo'yicha klassik ishlar, shuningdek zamonaviy optik aloqa texnologiyalari bo'yicha xalqaro maqolalar va kitoblar o'rganildi.

Tadqiqot natijalariga ko'ra quyidagilar aniqlangan:

Maxwell tenglamalari elektromagnit to'liqlarning nazariy asosini tashkil qiladi. Ushbu tenglamalardan kelib chiqadigan to'liq tenglamasi yorug'likning vakuumda harakatlanishini matematik tarzda tasdiqlaydi va yorug'lik tezligi (c) ning tabiatdagi doimiy kattalik ekanligini isbotlaydi.

Elektromagnit to'liqlar to'g'ridan-to'g'ri optik tolalarda uzatiluvchi yorug'lik impulslarining nazariy asosi hisoblanadi. Yorug'likning tola muhitida tarqalishi Maxwell tenglamalariga bo'ysunadi, ayniqsa dielektrik muhitda refraksiya va dispersiya xususiyatlari muhim ahamiyatga ega.

Optik tolalar to'liq yo'naltiruvchi sifatida ishlaydi va ularning ishlash printsiplari — ya'ni ichki to'liq refleksiya, kritik burchak, yadro va qobiq (core-cladding) indeksi farqi — Maxwell nazariyasidan kelib chiqadi.

Modulyatsiya (signalga ma'lumot yuklash) va demodulyatsiya (signalni qabul qilish) jarayonlarida ham elektromagnit to'liqlarning fizik xossalari hisobga olinadi. Ayniqsa yuqori chastotali (teragertsli) signal uzatishda dispersiya va susayish koeffitsiyentlarini hisoblash bevosita Maxwell tenglamalariga tayanadi.

Zamonaviy texnologiyalarda, xususan FTTH (Fiber To The Home), GPON, va DWDM tizimlarida, yorug'lik impulslarining uzatilishi, ajratilishi va ko'paytirilishi bevosita elektromagnit nazariyasining amaliy ko'rinishidir.

Maxwell tenglamalari — bu elektromagnit nazariyaning universal qonunlari bo'lib, ular XIX asrda yaratilganiga qaramay, bugungi kundagi eng ilg'or texnologiyalar poydevoridir. Ularning zamonaviy optik aloqa sohasidagi ta'siri bir necha jihatdan tahlil qilinadi:

Falsafiy jihatdan, bu tenglamalar tabiatda turli hodisalarni yagona nazariya orqali izohlash mumkinligini ko'rsatadi. Bu, o'z navbatida, fizikadagi unifikatsiya harakatlariga asos bo'lgan.

Amaliy jihatdan, optik tola orqali yuqori tezlikda ma'lumot uzatish (terabit/s miqyosida) aynan elektromagnit to'lqinlarning tarqalish qonuniyatlariga bog'liq. Har qanday signal (raqamli yoki analog) optik impulsiga aylantirilganida, u Maxwell tenglamalariga bo'ysunuvchi to'lqinga aylanadi.

Muhandislik nuqtai nazaridan, optik tizimlarni loyihalashda, tola materialini tanlash, signal chastotasini belgilash, modulyatsiya turini tanlash kabi qarorlar bevosita elektromagnit nazariya orqali asoslanadi.

Tadqiqotda ko'rsatildiki, zamonaviy aloqa tizimlarida yuzaga keladigan asosiy muammo — dispersiya, susayish va to'lqin shaklining buzilishi — Maxwell tenglamalari asosida matematik modellashtirish orqali oldindan prognoz qilinadi va bartaraf etiladi.

Maxwell tenglamalari o'z davrining ilmiy inqilobi bo'lgan bo'lsa, bugungi kunda ular zamonaviy aloqa tizimlarining asosiy fizik poydevoriga aylangan. Xulosa sifatida quyidagilarni ajratish mumkin:

- **Maxwell nazariyasi** elektromagnit to'lqinlarning mavjudligini nazariy jihatdan isbotlab, yorug'likning to'lqin tabiati va optik signal uzatish imkoniyatini ochib bergan.
- **Optik tola orqali ma'lumot uzatish** Maxwell tenglamalarida ifodalangan elektromagnit maydonlar harakati qonuniyatlariga asoslanadi. Bu aloqa texnologiyalarida yuqori aniqlik, tezlik va ishonchlilikni ta'minlaydi.
- **Zamonaviy texnologiyalar, ayniqsa internet va telekommunikatsiya tarmoqlari**, elektromagnit nazariyaning real hayotdagi muvaffaqiyatli amaliy ifodasidir.
- Kelajakda kvant optikasi, fotonika, va 6G/7G texnologiyalari ham o'z poydevorini Maxwell tenglamalaridan oladi. Bu esa ushbu nazariyaning abadiy dolzarbligini tasdiqlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Maxwell, J. C. (1873). *A Treatise on Electricity and Magnetism*. Clarendon Press.
2. Hecht, E. (2001). *Optics*. 4th ed. Addison Wesley.
3. Saleh, B. E. A., & Teich, M. C. (2007). *Fundamentals of Photonics*. Wiley-Interscience.
4. Agrawal, G. P. (2010). *Fiber-Optic Communication Systems*. Wiley.
5. Griffiths, D. J. (2017). *Introduction to Electrodynamics*. Pearson.
6. Born, M., & Wolf, E. (1999). *Principles of Optics*. Cambridge University Press.
7. Svelto, O. (2010). *Principles of Lasers*. Springer.
8. Yariv, A. (1991). *Optical Electronics*. Saunders College.
9. Kitchin, C. R., & Ewens, L. (1998). *Optical Fiber Communications: Principles and Practice*. Prentice Hall.

