



NOCHIZIQLI ELEKTRODINAMIKA NAZARIYASI VA ASOSIY TUSHUNCHALARI

Maxmudjonov O'rinboy Valijon o'g'li

Namangan davlat texnika universiteti

1-son akademik litseyi fizika fani o'qituvchisi

e-mail: urinboyfizik@gmail.com

tel: +998 94 744 46 96

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17222161>

Annotatsiya: Ushbu tezis nochiziqli elektrodinamika (NED) nazariyasining asosiy tushunchalari, matematik modeli, yuzaga keluvchi fizik effektlar hamda kvant elektrodinamika bilan bog'liq jihatlarini umumiy tarzda yoritadi. NED sohasidagi zamonaviy tadqiqotlar natijalari, uning ilmiy hamda texnologik ahamiyati o'rganiladi.

Kalit so'zlar: nochiziqli elektrodinamika, elektromagnit maydon, Maksvell tenglamalari, nochiziqlik, kvant elektrodinamika, self-focusing, garmonik generatsiya, optik nochiziqlik.

Abstract: This thesis provides a general overview of the basic concepts of the theory of nonlinear electrodynamics (NED), its mathematical model, emerging physical effects, and aspects related to quantum electrodynamics. The results of modern research in the field of NED, its scientific and technological significance are studied.

Keywords: nonlinear electrodynamics, electromagnetic field, Maxwell's equations, nonlinearity, quantum electrodynamics, self-focusing, harmonic generation, optical nonlinearity.

Elektromagnit maydonlarning nazariyasi asosan Maksvell tenglamalari yordamida ifodalanadi, ular chiziqli to'lqinlarning superpozitsiyasi tamoyiliga asoslanadi. Ammo real tizimlarda, ayniqsa kuchli maydonlar yoki maxsus materiallarda, bu chiziqlik buziladi. Nochiziqli elektrodinamika nazariyasi shu holatlarni izohlash va tahlil qilishga asoslangan yangi istiqbolli yo'nalishdir. Bu nazariya elektromagnit to'lqinlarning o'zaro ta'siri, maydon kuchiga bog'liq material javoblari va kvant darajasidagi o'zaro ta'sirlarni o'rganadi.

Nochiziqlik tushunchasi va yuzaga kelish omillari

Nochiziqlik elektromagnit maydonlardagi vektorlar (E , D , B , H) orasidagi munosabatlarning chiziqli bo'lmagan holatlarini anglatadi. Bu asosan ikkita asosiy sabablarga ko'ra yuzaga keladi:



1) materianing elektromagnit maydonga reaksiyasi kuchayganda (dielektrik sig'im va magnit o'tkazuvchanlik maydon intensivligiga bog'liq bo'lib qoladi).

2) maydonlarning o'zaro kuchli ta'sirida (masalan, yuqori kuchli lazer to'liqlari yoki kvant vakuumdagi noan'anaviy effektlar).

Matematik asoslar

Klassik elektrodinamika tenglamalari:

$$- \nabla \cdot D = \rho$$

$$- \nabla \cdot B = 0$$

$$- \nabla \times E = -\partial B / \partial t$$

$$- \nabla \times H = J + \partial D / \partial t$$

Bu yerda "D" va "E" o'rtasidagi bog'lanish odatda chiziqli: $D = \epsilon E$. Nochiziqli elektrodinamikaning asosiy farqi – bu bog'lanishning noan'anaviy shaklda bo'lishidadir: $D = D(E)$, $H = H(B)$ — bu funksional yoki ko'p a'zoli chiziqsiz bog'lanishlarni tasvirlaydi.

Yechimlar uchun asosiy usullar:

1) perturbatsion nazariya: maydon kuchi kichik tuzatishlar sifatida ko'riladi.

2) variatsion prinsiplar: Lagrange funksiyasi va Hamilton yakunchalaridan noan'anaviy siyosat hosil qilish.

3) raqamli hisoblash: kuchli nochiziqli tenglamalarni kompyuter simulyatsiyasi yordamida yechish.

Fizik hodisalar va effektlar

– Garmonik generatsiya: Ko'p chastotali yangi to'liqlarning yuzaga kelishi, masalan, ikkinchi garmonik generatsiya.

– "Self-focusing": Kuchli nur to'liqini o'zini toraytirib, kuchlanishini konsentratsiyalaydi. Bu lazer texnologiyalari uchun muhimdir.

– "Parametrik rezonanslar": Nochiziqli materiallarda impuls shakllari va to'liqin uzatish imkoniyatlari.

– "Optik solitonlar": To'liqinning dispersiyasi va nochiziqligining muvozanati natijasida shakllangan mustahkam impulsar.

Kvant nochiziqli elektrodinamika (QLED)

Klassik NED yondashuvi sanoq makroskopik tizimlarda ishlarli bo'lsa, kvant mexanik darajada yanada murakkab model talab etiladi. QLED vakuumdagi vakuum polarizatsiyasi, virtual zarracha juftliklari va yuqori tartibli foton-foton o'zaro ta'sirlarni o'rganadi. Bu soha yorqin yaratuvchi fundamental nazariyalar



bilan bog'liq bo'lib, kvant elektromagnit lavhalarining chiziqsiz sifatlarini tahlil qiladi.

NED ning texnologik ahamiyati juda keng:

- yuqori quvvatli lazerlarda va optik tolalardagi impulsar boshqaruvi.
- nanomateriallar va metamateriallarda elektromagnit javoblarning boshqarilishi.

- telekommunikatsiya tizimlarida yuqori tezlikda signallarni shakllantirish.

- Kvant texnologiyalari, shu jumladan kvant hisoblash va kriptografiya.

Xulosa

Nochiziqli elektrodinamika klassik elektromagnit nazariyaning yangi bosqichi bo'lib, yuqori intensiv maydonlarda va murakkab materiallarda yuzaga keladigan noyob fizik jarayonlarni o'rganadi. Ushbu nazariya nafaqat fundamental fizik savollarga javob, balki rivojlanayotgan texnologiyalar uchun asos bo'lib xizmat qilmoqda. Kelajakda nochiziqli effektlarning yangi turlarini aniqlash va ularni texnologiyaga tatbiq etish istiqbollari juda keng.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Landau L.D., Lifshitz E.M. "Electrodynamics of Continuous Media." Pergamon Press, 1984.
2. Boyd R.W. "Nonlinear Optics." Academic Press, 2020.
3. Shen Y.R. "The Principles of Nonlinear Optics." Wiley-Interscience, 2003.
4. Heisenberg W., Euler H. "Consequences of Dirac's Theory of Positrons." Z. Physik, 1936.
5. Butcher P.N., Cotter D. "The Elements of Nonlinear Optics." Cambridge University Press, 2017.
6. Berestetskii V.B., Lifshitz E.M., Pitaevskii L.P. "Quantum Electrodynamics." Butterworth-Heinemann, 1982.