

NOCHIZIQLI OPTIKANING KVANT EFFEKTLARI

Korjavov Mustafa Jovlievich

Qarshi muhandislik–iqtisodiyot instituti,
Fizika va elektronika kafedrası katta o‘qituvchisi
E-mail: mkorj1965@gmail.com

ANNOTATSIYA

Maqolada texnika oliy o‘quv yurtlari talabalariga modellashtirish usulidan foydalanib chiziqli optikaning asosiy tushunchalari, yorug‘lik intensivligi ortishi bilan muhit xossalarning murakkablashuvi, ya’ni nochiziqli optik hodisalarning ayrim jihatlari haqida bayon etilgan.

Kalit so‘zlar: modellashtirish usuli, chiziqli optika, yorug‘lik intensivligi, nochiziqli optik hodisalar, fotoeffekt hodisasi, meditsina, geodeziya va kartografiya

QUANTUM EFFECTS OF NONLINEAR OPTICS

Korjavov Mustafa Jovlievich

Karshinskiy Engineering and Economic Institute,
Senior Lecturer of the Department of Physics and Electronics,
E-mail: mkorj1965@gmail.com

ABSTRACT

The article describes the basic concepts of linear optics, the complexity of the properties of the environment with increasing light intensity, that is, some aspects of nonlinear optical phenomena, using the modeling method.

Key words: modeling method, linear optics, light intensity, nonlinear optical phenomena, photoeffect phenomenon, medicine, geodesy and cartography

KIRISH

XX asrning oxirgi choragida fizikaning yangi bo‘limi–nochiziqli optika tez sur‘atlar bilan rivojlandi. O‘tgan asrning yigirmanchi yillaridan boshlab rus olimi S.I.Vavilov nochiziqli optikaning effektlari ustida izlanishlar olib bordi. Bu izlanishlarning samarasi sifatida S.I. Vavilov va V.L. Lyovshinlar tomonidan 1926 yilda birinchi bor kuzatilgan nochiziqli optikaning effekti-uran shishasidan o‘ta yorug‘ nurning o‘tishida yutilish koeffitsientining kamayishini keltirish mumkin.

1960 yilda optik kvant generatorlari (lazerlar)ning yaratilishi esa nochiziqli optikaning rivojlanishida keskin burilish yasadi.

ADABIYOTLAR TAHLILI

Bu maqolamizda ayrim nochiziqli optik hodisalar haqida fikr yuritmoqchi bo'lsakda, chiziqli optikaning asosiy tushunchalari haqida ham to'xtalamiz. Chiziqli optikaning asosiy tamoyillaridan biri bu-mustaqillik prinsipi bo'lib, unga ko'ra ikki yorug'lik nuri bir-biri bilan kesishib tarqalganda o'zaro ta'sirlashmaydi. Interferensiya hodisasida ikki yorug'lik nuri ta'sirlashib bir-birini susaytirganda (yoki kuchaytirganda), ikki to'lqin elektr maydonlarining vektor qo'shilishi kuzatiladi. Chiziqli optikaning asosiy tamoyillaridan yana biri bu-yorug'likning biror muhitdan o'tishida, ikki muhit chegarasida qaytishi va sinishida chastotasi (rangi)ning o'zgarishidir. Bu hodisa 1671 yilda ingliz olimi I.Nyuton tomonidan kashf qilingan bo'lib, optikaning rivojlanishida muhim ahamiyatga egadir. Optikaning rivojlanishida baxtli xolatlardan biri bu – I.Nyuton va uning zamondoshlari qo'lida intensivligi katta bo'lgan yorug'lik manbalarining yo'qligi bo'lgan. Ular odatdagi quyosh nurlari bilan ishlagan. Yorug'lik intensivligi ortishi bilan yuqorida keltirilgan xodisalarning murakkablashuvi, ya'ni optik hodisalarning nochiziqligi kuzatilar ekan. Agar I.Nyutonning qo'lida lazer bo'lganda murakkab optik hodisalarni u tushuntira olmagan va optikaning rivojlanishi uzoq vaqtlarga orqaga surilgan bo'lar edi. Shu ma'noda S.I.Vavilov «**Tajribalarning nomukammalligi ham fanning rivojlanishiga sabab bo'ladi**»–degan edi. Bu fikr noto'g'ridek tuyulsada, tajribalarda o'z davridan oldin aniqlangan ayrim hodisalar ancha yillardan keyingina nazariy tushuntirilgan.

Nazariya nochiziqli effektlar yorug'likning vakuumda tarqalishida ham kuzatilishini bashorat qilsada, amalda hamma nochiziqli effektlar yorug'likning muhitlarda tarqalishida kuzatiladi. Klassik optikada yorug'likning muhitlarda tarqalishida muhit atomlaridagi elektronlarni “prujinaga maxkamlangan jism” – deb qaraladi. Yorug'lik to'lqini o'zining elektr maydoni bilan mos chastotada elektronni majburiy tebranishga keltiradi. Bu tebranishlar o'z navbatida atom fazosida elektromagnit to'lqinlar tarqatadi, ya'ni atomning o'zi shu chastotada energiya nurlaydi. Bunda fazalar farqi o'zgarish bo'lib, har xil atomlarning ikkilamchi to'lqinlari bilan birlamchi yorug'lik to'lqinining qo'shilishi natijasidagi to'lqin muhitda $v=c/n$ tezlik bilan tarqalayotgan natijaviy to'lqinni beradi. Bunda c – yorug'lik tezligi, n – muhitning nur sindirish ko'rsatgichi.

MUHOKAMA

Yorug'lik ta'sirida elektronning siljishi juda kichik bo'lib, yorug'lik nuri kuchlanganligining atom ichidagi maydon kuchlanganligiga nisbati bilan aniqlanadi. Lazer nurlarida maydon kuchlanganligi 10^6 - 10^7 V/sm ekanligidan elektronning siljishi katta bo'ladi. Siljish nisbatan kichik bo'lganda elektronni muvozanat holatiga

qaytaruvchi kuch $F = -k x$ chiziqli bo'ladi. Lekin elektronning siljishi katta bo'lganda qaytaruvchi kuchda $F = -k x + \alpha x^2$ -nochiziqli had paydo bo'ladi. Ko'chishning ishorasi o'zgarib, kuchning kattaligi ham asimmetrik o'zgaradi. $\alpha > 0$ bo'lganda manfiy tomondan ko'ra musbat tomonga siljitish oson bular ekan. Demak, chiziqli optik xodisalar elektronni qaytaruvchi kuchning chiziqli bo'lishi, moddaning optik xarakteristikalarini muhitning xossalari va yorug'lik chastotasiga bog'liqligi bilan to'shantirilsa, nochiziqli optika olami bu kuchning nochiziqchiligi yetarlicha katta bo'lganda va muhitning xossalari tushayotgan yorug'lik intensivligiga bog'liq o'zgarib, ko'zga tashlanar ekan.

Nochiziqli optikada elektronning harakati

$$ma = -k x + \alpha x^2 + eE_0 \cos \omega t, \quad (1)$$

tenglama bilan ifodalanadi. Bunda m – elektronning massasi, $eE_0 \cos \omega t$ – yorug'lik to'liqini tomonidan ta'sir etuvchi kuch bo'lib, E_0 – elektr maydon kuchlanganligi amplitudasi, ω – chastotasi. Matematikada bunday tenglamalar aniq yechimga ega emas. Tebranishlar nazariyasi bilan shug'ullangan mashhur ingliz fizigi Reley bu masalaning taxminiy yechimini taklif qildi. Reley nolinchisi yaqinlashishda (1)

tenglamada αx^2 -hadni xisobga olmasdan yechib, harakat $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ -xususiy chastotali emas, balki ω -chastotali majburlovchi kuch ta'sirida

$$x_0(t) = beE_0 \cos(\omega t + \varphi) \quad (2)$$

ko'rinishda bo'lishini aniqladi. Bunda beE_0 – majburiy tebranishlar amplitudasi. Keyingi yaqinlashishda (1) tenglamadagi $x^2(t)$ - nochiziqli hadni $x_0^2(t)$ -had bilan almashtirdi va siljishga nisbatan chiziqli tenglamani oldi:

$$ma = -k x + \alpha b^2 e^2 E_0^2 \cos^2 \omega t + eE_0 \cos \omega t. \quad (3)$$

$\cos^2 \omega t = \frac{1}{2}(1 + \cos 2\omega t)$ trigonometrik ayniyatdan foydalanib,

$$ma = -k x + \left(\frac{1}{2} \alpha b^2 e^2 E_0^2 + \frac{1}{2} \alpha b^2 e^2 E_0^2 \cos 2\omega t + eE_0 \cos \omega t \right), \quad (4)$$

tenglamani oldi. Bu harakat tenglamasidan ko'rinadiki, elektronga uchta majburlovchi kuch (qavs ichidagi hadlar) ta'sir etadi. Ularning birinchisi vaqtga bog'liq bo'lmasdan oddiy asimmetrik siljishga, ikkinchisi esa 2ω chastota bilan elektronga ta'sir etib, uni shu chastota bilan davriy siljishga keltiradi va yorug'lik to'liqini amplitudasining kvadratiga proporsional bo'ladi. Uchinchi kuch ω chastota bilan o'zgarib, tushuvchi yorug'lik to'liqini amplitudasiga bog'liq bo'ladi. Tushayotgan yorug'lik intensivligi ortishi bilan uchinchi kuchga nisbatan ikkinchi kuchning roli

ortib boradi. Shunday qilib, elektronning majburiy tebranishi ω va 2ω chastotali ikki garmonik tebranishdan iborat bo‘ladi. Atomlarning ikkilamchi nurlanishlari ham mos ravishda ω va 2ω chastotali bo‘ladi. Demak, αx^2 -nochiziqli kuch ta‘sirida chiziqli optikada hukmronlik qilgan chastotaning doimiylik prinsipi buziladi.

Shu paytgacha optik nochiziqli hodisalarni qaraganimizda klassik fizika aqidalaridan chetga chiqmadik. Lekin qator nochiziqli effektlar mavjudki, ularni faqat **kvant tasavvurlar** asosida tushuntirish mumkin. Masalan, bugungi kunda lazerlar texnikasida keng qo‘llanilayotgan hodisa–ayrim eritmalar kuchli yorug‘lik o‘tganda uning yutish koeffitsientining kamayishidir. Kvant tasavvurlarga asosan atom faqat aniq energiya zaxiralariga–aniq energetik sathlarga ega bo‘lishi mumkin. Atom (yoki molekula) Borning

$$h\nu = E_2 - E_1 \quad (5)$$

shartini qanoatlantiruvchi ν chastotali yorug‘likni yutishi mumkin. Bunda h – Plank doimiysi, E_1 va E_2 lar esa atomning mos sathlardagi energiyalari bo‘lib, atom birinchi sathdan ikkinchi sathga o‘tadi. O‘yg‘ongan atom $h\nu$ energiyali fotonni yutib yuqori energiyali sathda ma‘lum vaqt ushlanib qoladi. Bu vaqt 10^{-3} s tartibida bo‘lib, atom olami uchun katta vaqtni tashkil qiladi. Muhitning yutish koeffitsienti, tabiiyki E_1 –sathdagi atom (yoki molekula)larning soniga proporsionaldir. Yuqori intensivlikli yorug‘lik oqimi modda orqali o‘tganda modda atomlari ko‘p fotonlarni yutib (5) shartni qanoatlantiruvchi E_2 – sathga o‘tadi va 10^{-3} s vaqt davomida shu sathda qolib ketadi. Muhitning yutish koeffitsienti keskin kamayadi, ya‘ni yuqori intensivlikli yorug‘lik muhitda o‘ziga yo‘l ochgandek bo‘ladi.

NATIJALAR

Yuqori intensivlikli yorug‘likda muhit har xil chastotadagi nurlarni yuta boshlar ekan. Borning (5) shartiga asosan ikki energiya sathi farqiga mos bitta fotonni emas, bir necha fotonni yutish ehtimoliyati paydo bo‘lar ekan. U holda Borning (5) shartini quyidagicha

$$h\nu_1 + h\nu_2 + h\nu_3 + \dots = E_2 - E_1. \quad (6)$$

o‘zgartirib yozish mumkin. Demak, kichik intensivlikli yorug‘liklar uchun shaffof bo‘lgan muhit shunday chastotali yuqori intensivlikli yorug‘likni yuta boshlar ekan. U holda kuchli nurlar ta‘sirida kechadigan ko‘p fotonli jarayonlarda fotoeffekt hodisasi o‘zining kvant xarakterini yuqotadi. Bir fotonli fotoeffekt uchun ma‘lum bo‘lgan

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2} \quad (7)$$

Eynshteyn tenglamasini

$$N h \nu = A + \frac{mv^2}{2} \quad (8)$$

ko‘rinishda almashtirib yozish mumkin. Bunda A – chiqish ishi, $\frac{mv^2}{2}$ – yorug‘lik ta‘sirida uzib olingan elektronning kinetik energiyasi, N – elektronning bir vaqtda yutgan fotonlar soni bo‘lib, N ortishi bilan elektronning kinetik energiyasi ortishi kerak. Bundan tashqari fotoeffektning qizil chegarasi $\nu_q = \frac{A}{Nh}$ – ham kichik chastotalar tomon siljiydi.

Fotoeffektning kvant nazariyasini tushuntirganligi uchun Nobel mukofotiga sazovor bo‘lgan A.Eynshteyn 1905 yilda chop etilgan o‘z maqolasida “Agar bitta yorug‘lik kvanti (foton) o‘zining hamma energiyasini bitta elektronga bersa soddagina bo‘lar edi. Biz haqiqatda ham shunday bo‘ladi, deb faraz qilamiz”, – degan fikrni keltiradi. Bu fikr Eynshteynning ko‘p fotonli jarayonlar kuzatilishi va ularni hisobga olmaslik mumkinligini tushunganligidan dalolat beradi. Shu davrdagi fizikaviy tajribalar Eynshteyn tenglamasining to‘g‘ri ekanligini isbotlab turar edi. Bu holda ham tajribalarning nomukammalligi (intensivlik ma‘nosida) fanning rivojlanishiga sabab bo‘lgan. Shu tarzda XX asrning birinchi yarmida kvant tasavvurlar paydo bo‘ldi va nazariya sifatida oyoqqa turib rivojlandi. Quvvatli lazer nurlarida kuzatiladigan noxiziqli optik hodisalar esa kvant nazariyaning rivojlanishida katta ahamiyatga ega bo‘ldi.

XULOSA

Industriya sohasida lazerlar asbobsozlik, mashinasozlik, to‘qimachilik sanoatida metall va dielektrik materiallar hamda detallarni payvandash, ishlash va kesish uchun qo‘llaniladi. Lazerlarning biologiya, meditsina, geodeziya va kartografiyada, sun‘iy yo‘ldoshlar vaziyatini aniqlashda va boshqa ko‘p sohalarda qo‘llanilishi qiziqarli va muhimdir.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI (REFERENCES)

1. Савелев И.В. Курс общей физики т. 1–3.–М., Наука, 1989–98.
2. Сивухин Д.В. Общей курс физики, т. 1–5. –М., Наука, 1977–1990.
3. Lansberg G.S. Optika.–Т., О‘qituvchi. 1981.