



**INVESTIGATION OF THE CORRELATION PROPERTIES OF THE SPECKLE
FIELD AND WAVEFRONT DISLOCATIONS UNDER THE INFLUENCE OF
VOLTAGE AND POLARIZATION IN A SEMICONDUCTOR LASER**

T. Axmadjanov, O. Maqsadboyeva

National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek

Abstract

This study experimentally investigates the changes in the speckle field generated by semiconductor laser radiation as a function of applied voltage and polarization state. Variations in the degree of coherence, correlation characteristics, and phase structure of the speckle field resulting from changes in the laser operating regime and applied external electrical voltage are analyzed. In addition, the dynamics of speckle structures formed as the radiation passes through a diffuser at different polarization angles are investigated, with particular attention paid to the detection and statistical characterization of wavefront dislocations.

Key words

Statistical characteristics of the speckle pattern, wavefront dislocations, dependence of coherence on contrast.

**YARIMO‘TKAZGICH LAZERIDA KUCHLANISH VA QUTBLANISH
TA‘SIRIDA SPEKL MAYDONINING KORRELYATSION XUSUSIYATLARI
VA TO‘LQIN FRONTI DISLOKATSIYALARINI TADQIQ ETISH**

T. Axmadjanov, O. Maqsadboyeva

Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy universiteti

e-mail: ozodamaqsadboyeva@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda yarimo‘tkazgich lazeri nurlanishidan hosil bo‘ladigan spekl maydonining kuchlanish va qutblanish holatiga bog‘liq o‘zgarishlari eksperimental jihatdan o‘rganildi. Lazerning ish rejimi va unga beriladigan tashqi elektr kuchlanishining o‘zgarishi natijasida spekl maydonining kogerentlik darajasi, korrelyatsion xu-





**JOURNAL OF
SCIENCE AND INNOVATIVE RESEARCH STUDIES
VOLUME-1, ISSUE-9, 2026**

susiyatlari hamda fazaviy tuzilishidagi o'zgarishlar tahlil qilindi. Shuningdek, turli qutblanish burchaklarida diffuzor orqali o'tgan nurlanishdan hosil bo'lgan spekl strukturalarining dinamikasi tadqiq etilib, to'liq frontida yuzaga keluvchi dislokatsiyalarni aniqlash va ularning statistik xususiyatlarini baholashga e'tibor qaratildi.

Аннотация В данном исследовании экспериментально изучены изменения спекл-поля, формируемого излучением полупроводникового лазера, в зависимости от напряжения и состояния поляризации. Проанализированы изменения степени когерентности, корреляционных характеристик и фазовой структуры спекл-поля, возникающие при изменении рабочего режима лазера и приложенного внешнего электрического напряжения. Кроме того, исследована динамика спекл-структур, формируемых при прохождении излучения через диффузор при различных углах поляризации, а также рассмотрены вопросы обнаружения и статистической оценки дислокаций, возникающих во фронте волны.

Kalit so'zlar: Spekl manzarasining statistik xususiyatlari, to'liq fronti dislokatsiya, kogerentlikning kontrastlikka bog'liqligi.

Ключие слова: Статистические характеристики спекл-картины, дислокации волнового фронта, зависимость когерентности от контрастности.

KIRISH

Hozirgi kunda optik tizimlar va aloqa kanallari yuqori tezlikdagi ma'lumot uzatish, tasvirlash texnologiyalari hamda lazer diagnostikasi kabi sohalarda keng qo'llanilmoqda. Ayniqsa, xaotik (turli fazali va amplitudali) yorug'lik sharoitida optik maydonlarning xatti-harakatini tahlil qilish fizikaviy jihatdan muhim vazifalardan biri bo'lib, bunday sharoitda vujudga keluvchi interferensiya va speklarning statistik xossalarini chuqur o'rganish zaruriyatini tug'diradi. Optik kanallarda yuzaga keladigan xaotik yorug'lik oqimlari, odatda, tasodifiy fazali komponentlarga ega bo'lib, bu ularning statistik tahlilini murakkablashtiradi. Bunday sharoitlarda hosil bo'ladigan speklar (ya'ni, interferensiya natijasida yuzaga kelgan tasodifiy intensivlik strukturalari) turli xil amaliy sohalarda





**JOURNAL OF
SCIENCE AND INNOVATIVE RESEARCH STUDIES
VOLUME-1, ISSUE-9, 2026**

da, jumladan, optik aloqa, biotibbiyotda tasvir olish, materialshunoslik va kvant optikasi sohalarida sezilarli ahamiyat kasb etadi. Shu bois, bu sohada statistik yondashuvlar [2], jumladan, intensivlik taqsimotlari, o'rtacha qiymat va dispersiyani [2] aniqlash orqali xaotik maydonlarni tavsiflash dolzarb ilmiy vazifalardan biri hisoblanadi [3].

Optik maydonning kogerentligi fazo va vaqtning turli nuqtalaridagi maydon qiymatlari o'rtasidagi bog'liqlikni tavsiflovchi asosiy xususiyatlardan biridir. U miqdoriy jihatdan kogerentlik darajasini aniqlaydigan birinchi tartibli korrelyatsiya funksiyasi bilan tavsiflanadi. Vaqt bo'yicha kogerentlik nurlanish manbaining spektral kengligiga teskari proporsional bo'lib, tor polosali manbalar yuqori kogerentlikka ega ekanligini ko'rsatadi [4]. Spekl maydoni — bu kogerent yorug'lik (masalan, lazer nurlanishi) notekis sirt yoki sochuvchi muhit bilan o'zaro ta'sirlashganda hosil bo'ladigan tasodifiy interferensiya manzarasidir. Kogerent nur optik jihatdan notekis sirtni yoritganda, sirtning har bir nuqtasi sochilgan to'lqinlarning ikkilamchi manbai sifatida harakat qiladi. Ushbu sochilgan to'lqinlar yo'l uzunligidagi farqlar va sirt notekisliklari tufayli turli fazalarda tarqaladi. Bu to'lqinlarning detektor yoki kuzatuv tekisligida ustma-ust tushishi natijasida konstruktiv va destruktiv interferensiya yuzaga keladi va natijada tasodifiy intensivlik taqsimotiga ega bo'lgan spekl (donador) tasvir hosil bo'ladi. Agar yuzalar nokogerent manbalar bilan yoritilsa, interferensiya sodir bo'lmaydi va natijada faqat bir xil (bir tekis) intensivlik taqsimoti kuzatiladi [5]. Spekl tasvirining intensivlik taqsimoti va unga mos keluvchi spekl kontrasti (SC) sochiluvchi muhit sirtining notekisligi, kuzatish burchagi, shuningdek nurlanishning polarizatsiya xususiyatlari va tushish burchagi(lar)i ga bog'liq.

Spekl kontrastini (SC) kamaytirishning yanada to'g'ridan-to'g'ri yondashuvi esa lazer rezonatori (yoki tashqi rezonator) tuzilishini o'zgartirish orqali nurning manba darajasidayoq uning kogerentligini buzishga asoslanadi.

Hozirgi kunda lazerlar, CCD kameralar, kompyuterlar va raqamli tasvirni qayta ishlash texnologiyalarining tez rivojlanishi tufayli bu qo'llanmalar yanada samarali va amaliy bo'lib bormoqda. Ayniqsa, raqamli tasvirni qayta ishlash tezligining oshishi spekl

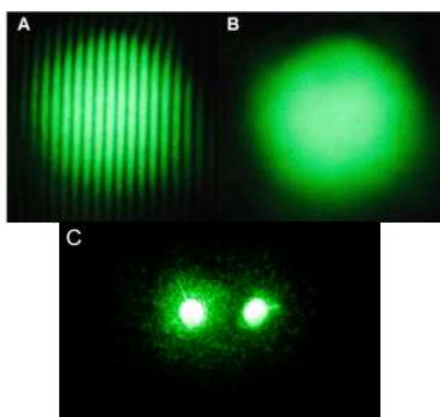




**JOURNAL OF
SCIENCE AND INNOVATIVE RESEARCH STUDIES
VOLUME-1, ISSUE-9, 2026**

metrologiyasini yanada qulay qiladi, chunki optik tizimlar soddalashadi va ularni sozlash ham osonlashadi.

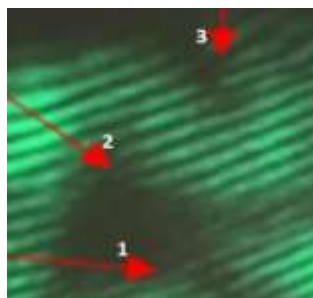
Tadqiqot usullari. Spekl hosil bo'lishining asosida to'lqinlarning qo'shilishi yotadi. Lazer nuri vaqt bo'yicha va fazoviy kogerent bo'lishi mumkin. Vaqt bo'yicha kogerentlik - masalan, Maykelson interferometrida qo'llaniladi - lazer nuri o'zining vaqt bo'yicha kechiktirilgan nusxasi bilan kogerent tarzda interferensiyalasha olishini bildiradi (1 - rasm).



1 - rasm. Kogerent nurlanishda intensivlik taqsimoti: a) ikkala nur bir-biri bilan mos tushganda; b) nurlar mos bo'lmaganda (nokogerent); c) namuna o'rniga tekis-parallel plastinka qo'yilganda nurlar o'zaro ta'sirlashmaydi va faqat ikkita alohida lazer nurlari kuzatiladi.

Klassik Yungning ikki tirqishli tajribasi ham fazoviy, ham vaqt bo'yicha kogerentlikka asoslanadi. Spekl naqshining donador, shovqinga o'xshash tuzilishi (masalan, 1 – rasm-da ko'rsatilganidek) lazer yorug'ligidan tasvir olishda muammo tug'diradi. Masalan, speklar lazer asosidagi kino proyektor tizimlarida tasvir sifatini yomonlashtiradi va shu sababli speklarni kamaytirish yoki bartaraf etish strategiyalariga katta e'tibor qaratilgan [6]. Speklni hosil bo'lishida manbaning kirish spektral kengligi kichik bo'lsa, yuqori kontrastlikni beradi (ya'ni, $C=1$), yoki katta spektral kenglik bo'lsa, spekl shovqinini kamaytirishga yordam beradi. Speklarda uchrashi mumkin bo'lgan hodisani to'lqin fronti dislokatsiyalari, optik girdoblar yoki faza singulyarliklari deb ataladi [7-8]. Ular optik faza maydonidagi lokalizatsiyalangan nuqsonlar bo'lib, bu joylarda faza aniqlanmaydi, amplituda esa nolga tenglashadi (2 - rasm).





2 - rasm. To‘lqin fronti dislokatsiyasining hosil bo‘lishi.

Kam kogerentli lazerlarda spekl kontrasti quyidagicha aniqlanadi:

$$C = \frac{\delta_I}{\langle I \rangle} \quad (1)$$

bu yerda:

- σ_I — intensivlikning standart og‘ishi
- $\langle I \rangle$ — o‘rtacha intensivlik

Bu shuni ko‘rsatadiki, kogerentlik kamaygani sari SNR oshadi, ya’ni signal sifati yaxshilanadi. Yuqori SNR quyidagilarni ta’minlaydi:

- axborot uzatishda xatolik ehtimolining kamayishi,
- tasvirlash tizimlarida aniqlikning oshishi,
- optik o‘lchovlarda sezgirlikning yaxshilanishi.

Interferensiya tajribalarida kuzatiladigan kontrastlik kogerentlik darajasiga bevosita bog‘liq:

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (2)$$

Ushbu ifodada $I_{\min}$ va $I_{\max}$ mos ravishda interferensiya chiziqlarining ma’lum bir nuqtadagi minimal va maksimal intensivlik qiymatlarini bildiradi. Interferensiya chiziqlari kontrasti ularning ajraluvchanlik darajasini baholovchi mezon bo‘lib xizmat qiladi va quyidagi xulosalarni beradi:

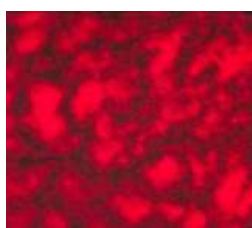
Agar interferensiya chiziqlari deyarli ajralmas darajada bo‘lsa, maksimal va minimal intensivlik qiymatlari bir-biriga yaqin bo‘ladi, natijada kontrast $C \approx 0$ ga teng bo‘ladi. Aksincha, agar chiziqlar aniq va ravshan ko‘rinishda bo‘lsa, maksimal intensivlik minimal qiymatdan ancha katta bo‘ladi va bu holatda $C \approx 1$ ga teng bo‘ladi [9].



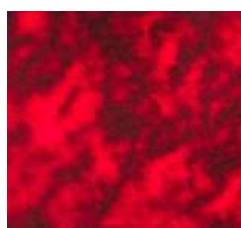


Olingan natijalar

Yarimo'tkazgich lazerlardan foydalanish imkoniyatlarini kengaytirish maqsadida ularni turli muhit sharoitlarida qo'llash zarurati yuzaga keladi. Shu sababli lazerlarning ishlash jarayonida muhit ta'sirida ularning parametrlarida qanday o'zgarishlar yuz berishini aniqlash uchun turli tajribalar o'tkazilmoqda. Ushbu tajriba ishida yarimo'tkazgich lazer nuri difuzor orqali o'tkazilib, hosil bo'lgan spekl maydonining shakllanishi o'rganildi. Shuningdek, spekl maydonidagi dislokatsiyalarning polyarizatsiya burchagiga bog'liqligi statistik usullar asosida tahlil qilindi. Birinchi qilgan ishimizda aynan shu sxema bo'yicha speklni qanday hosil bo'lishini ko'rdik. Bunda diffuzor sifatida aynan matovoy steklo bilan kalka qog'oz ishlatdik. Biz qilgan tajribamizda 650 nm to'lqin uzunligiga ega bo'lgan, 2,9 V kuchlanish va 20 mA tok ostida ishlovchi uzluksiz to'lqinli yarimo'tkazgich lazeridan foydalandik. Boshlanishida diffuzor sifatida matovoy steklo ishlatildi, keyinchalik esa u kalka qog'ozga almashtirildi. Bu o'zgarish spekl kontrastining sezilarli darajada kamayishiga olib keldi, bu esa diffuzor materiali spekl hosil bo'lishida muhim rol o'ynashini ko'rsatdi. Faqat lazer, linza va matovoy steklodan iborat birinchi holatda o'rtacha intensivlik 58,54, standart og'ish 9,63, spekl kontrasti esa 0,1645 ga teng bo'ldi.



a)



b)

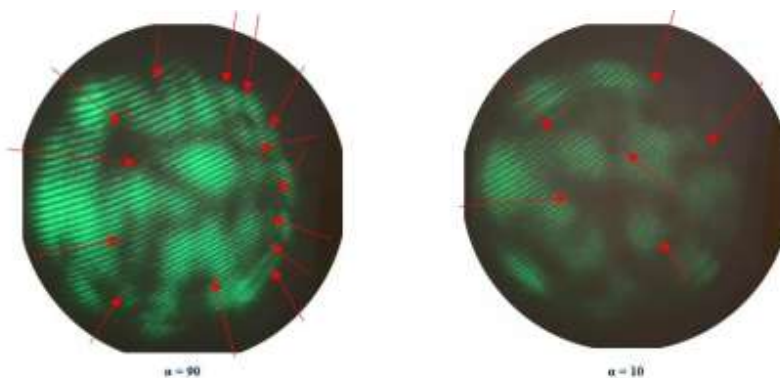
3-rasm. Birinchi va ikkinchi tajribalarda olingan natijalar.

Ikkinchi holat. Xuddi shu tizimga chorak - to'lqinli plastinka qo'shilganda, o'rtacha intensivlik biroz kamayib 56.77 ga tushdi, lekin standart og'ish 11.31 ga oshdi va natijada spekl kontrasti 0.1992 ga ko'tarildi. Bu plastinka nurga doira shaklida polyarizatsiya berib, interferensiyani yanada tasodifiylashtirishini va kuchliroq speklning paydo bo'lishiga olib kelishini ko'rsatdi. Bundan tashqari polyarizatsiya burchagini 0° dan 180°

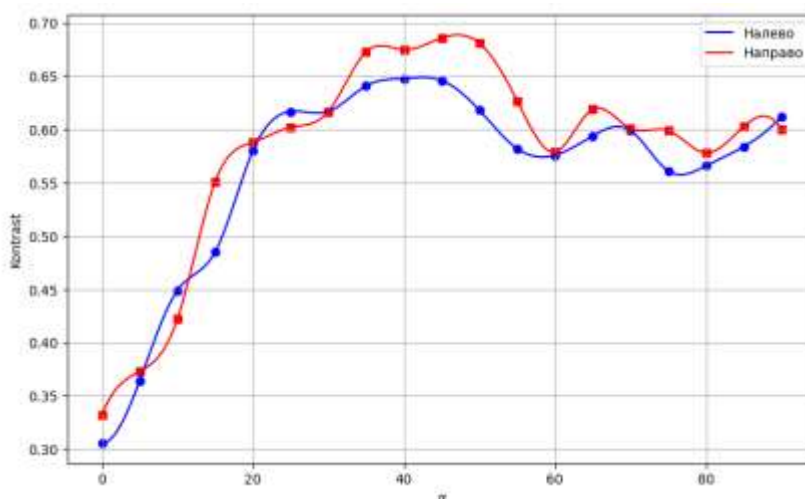




gacha asta-sekin o'zgartirib borish orqali, spekl intensivligi va sonidagi o'zgarishlarni kuzatdik. Bu esa yorug'likning polarizatsiya holati ham spekl naqshining tabiatiga jiddiy ta'sir ko'rsatishini tasdiqladi. Tajriba davomida polarizator burchagining spekl tuzilishi va dislokatsiyalar joylashuviga ta'siri o'rganildi. Polarizator burchagi ketma-ket ravishda oldinga yo'nalishda ($0^\circ - 90^\circ$) va teskari yo'nalishda ($90^\circ - 0^\circ$) o'zgartirildi, natijada speklning o'rtacha intensivligi va kontrasti o'zgarishi kuzatildi. Tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, polarizator burchagi oldinga yo'nalishda o'zgartirilganda spekl tasvirining o'rtacha intensivligi 40° da 34.515 qiymatga yetgan, kontrast esa 45° da 0.686 ni tashkil etgan. Teskari yo'nalishda ($90^\circ - 0^\circ$) o'tkazilgan tajribada esa maksimal o'rtacha intensivlik 40° da 35.328 ga teng bo'lgan. Kontrast qiymatlari mos ravishda 35° da 0.641 va 40° da 0.648 ni tashkil etgan. Shu burchaklar oralig'ida dislokatsiyalar soni ham ortib, $40^\circ - 45^\circ$ diapazonda maksimal qiymatga erishgan.



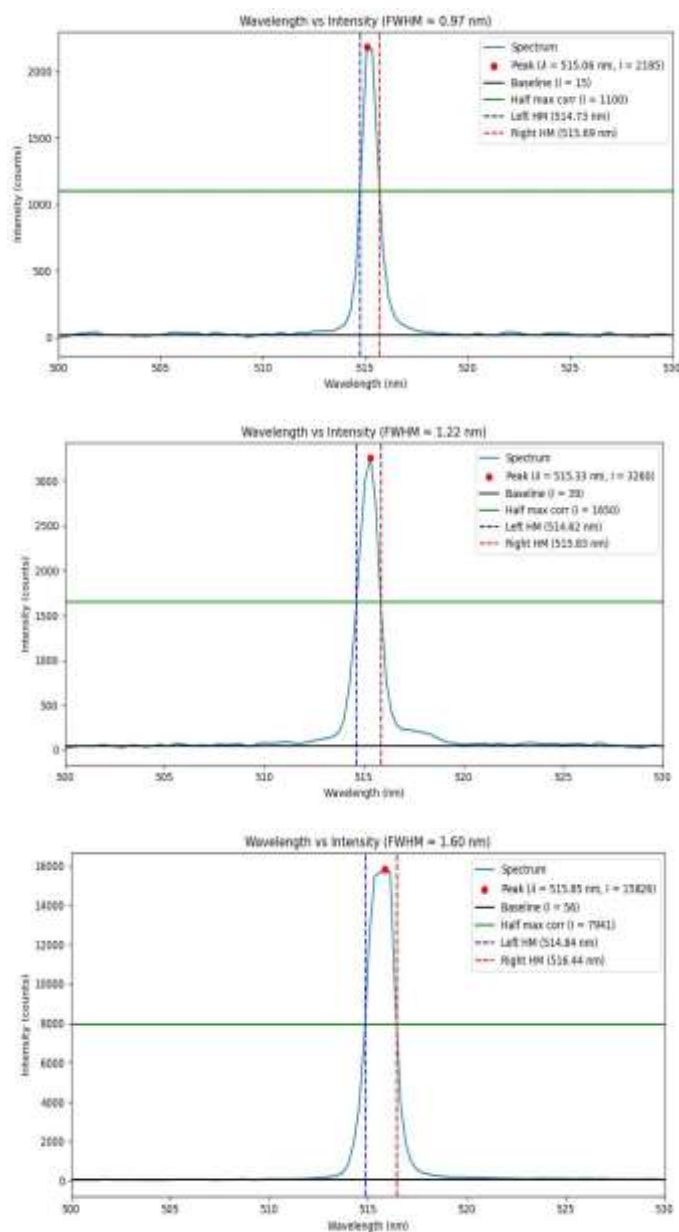
4 - rasm. Interferensiya manzarasidagi tarmoqlanish nuqtalari (dislokatsiyalari).





5 - rasm. Spekl kontrastining polarizator burchagiga bog‘liqligi.

Hosil qilingan spekl tasvirlari asosida turli kuchlanish qiymatlarida (6.7 V, 7.0 V va 7.2 V) kontrastlik ko‘rsatkichlari hisoblandi. Har bir kuchlanish uchun spekl kontrastligining polarizatsiya burchagiga bog‘liqligi aniqlanib, mos grafiklar olindi. Ya’ni, yarimo‘tkazgichli lazerning diffuzordan o‘tgandan keying spektral kengligi qanday o‘zgarishi orqali spekl kontrastligini kamayishi o‘rganildi (6 - rasm):

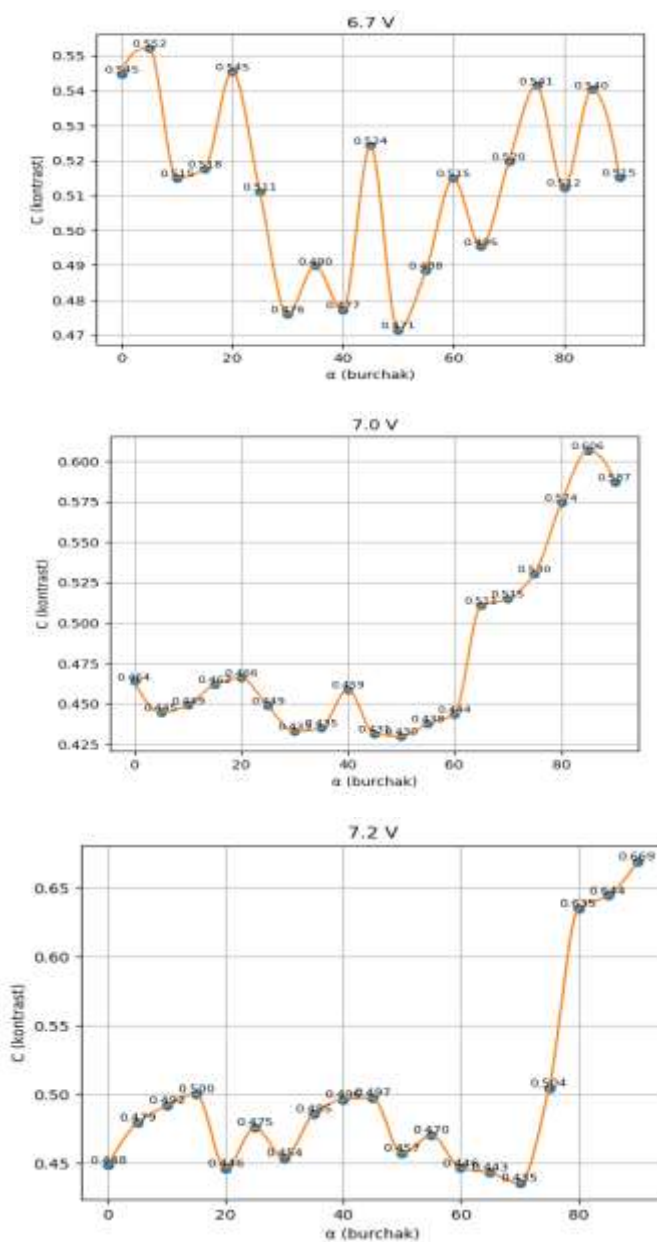


6 - rasm. 3 xil kuchlanishda olingan yarimo‘tkazgich lazerning spektrlari





JOURNAL OF SCIENCE AND INNOVATIVE RESEARCH STUDIES VOLUME-1, ISSUE-9, 2026



7 - rasm. Kontrastlikning polarizatsiya burchagiga bog'liqligi

Grafikdagi 6.7 V kuchlanishda kontrastlik qiymati polarizatsiya burchagi o'zgarishi bilan nisbatan tartibsiz, lekin ma'lum chegarada tebranuvchi xarakterga ega ekanligi kuzatildi. Grafikdan ko'rinadiki, kontrastlik qiymatlari taxminan 0.47-0.56 oralig'ida o'zgaradi. 7.0 V kuchlanishda kontrastlikning polarizatsiya burchagiga bog'liqligi yanada aniqroq namoyon bo'ladi. Past burchaklarda kontrastlik deyarli o'zgarmas yoki sekin o'zgaruvchi bo'lsa, katta burchaklarda (70° - 90°) kontrastlik keskin ortishi

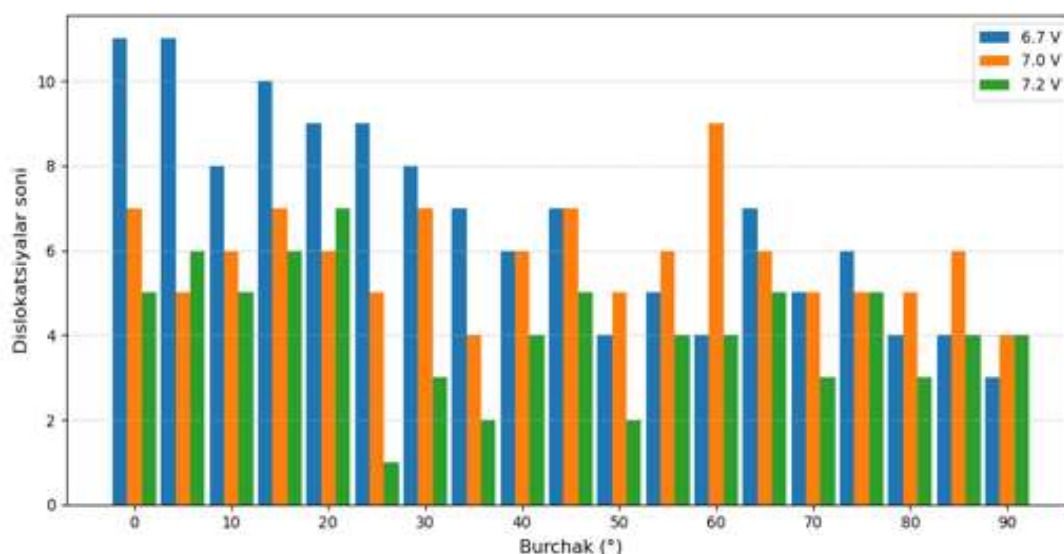




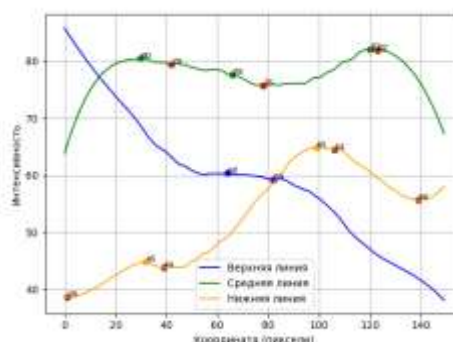
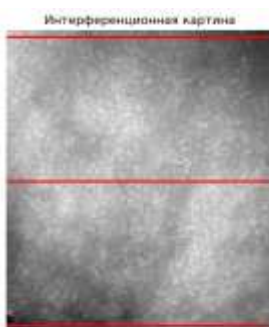
JOURNAL OF SCIENCE AND INNOVATIVE RESEARCH STUDIES VOLUME-1, ISSUE-9, 2026

kuzatiladi. 7.2 V kuchlanishda kontrastlikning o'zgarish diapazoni yanada kengayadi. Past burchaklarda kontrastlik nisbatan kichik qiymatlarda saqlanib tursa, katta burchaklarda keskin o'sish kuzatiladi va maksimal qiymatlar 0.65 - 0.67 ga yetadi. Bu esa optik maydonda kogerentlik darajasi ortib borayotganini va spekl strukturasi aniqroq shakllanayotganini ko'rsatadi.

Tadqiqot yarimo'tkazgichli lazer oldiga chorak to'liqlik plastinka, polarizator va diffuzordan iborat optik tizim orqali davom qildirildi. Ushbu elementlar yordamida yorug'likning polarizatsion holati boshqarilib, diffuzion muhitda spekl maydon shakllantirildi. Hosil bo'lgan spekl strukturasi dislokatsiyalar sonining polarizatsiya burchagiga bog'liqligi eksperimental ravishda o'rganildi.



8 - rasm. Dislokatsiyalar sonini polarizatsiya burchagiga bog'liqlik grafigi.





**JOURNAL OF
SCIENCE AND INNOVATIVE RESEARCH STUDIES
VOLUME-1, ISSUE-9, 2026**

==== Верхняя линия ====

$I_{\max} = 60.32$ (пиксель 64)

$I_{\min} = 59.12$ (пиксель 82)

Контрастность $V = 0.010$

==== Средняя линия ====

$I_{\max} = 82.06$ (пиксель 120)

$I_{\min} = 81.90$ (пиксель 123)

Контрастность $V = 0.001$

==== Нижняя линия ====

$I_{\max} = 64.90$ (пиксель 99)

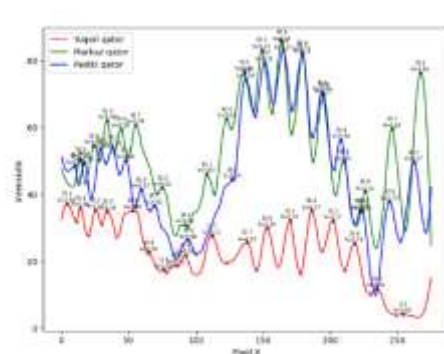
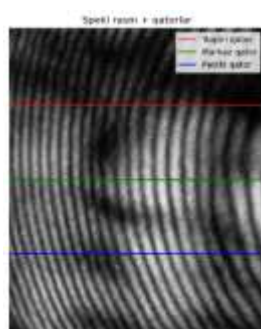
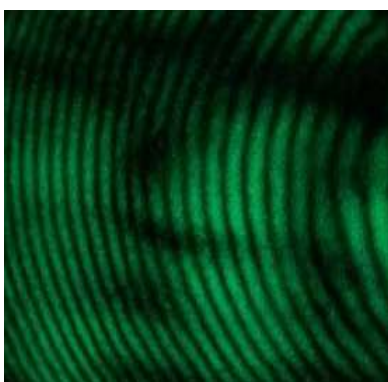
$I_{\min} = 64.49$ (пиксель

106)

Контрастность $V = 0.003$

X=0.18n

9 – rasm. Lazer nuri uchun interferension manzaraning masofaga bog‘liq o‘zgarishi



==== Верхняя линия ====

$I_{\max}=37.3$

$I_{\min}=31.9$

$V=0.078$

==== Средняя линия ====

$I_{\max}=85.6$

$I_{\min}=64.4$

$V=0.141$

==== Нижняя линия ====

$I_{\max}=83.1$

$I_{\min}=65.0$

$V=0.122$

X=0y mm

9 – rasm. Diffuz muhitdan o‘tgan lazer nuri uchun spekl maydon intensivligining taqsimoti

Diffuz muhitdan o‘tgandan so‘ng lazer nuri ko‘p marta sochilib, interferension polosalar buziladi va spekl maydon hosil bo‘ladi (9–rasm). Bu holatda intensivlikning fazoviy taqsimoti tasodifiy xarakterga ega bo‘lib, aniq davriylik kuzatilmaydi. Statistik tahlil shuni ko‘rsatadiki, intensivlik qiymatlari keng diapazonda tartibsiz ravishda o‘zgaradi. Maksimum va minimum qiymatlar turli nuqtalarda notekis joylashgan bo‘lib, bu spekl maydonning xaotik tabiatini ko‘rsatadi. Kontrastlik qiymatlarining kamayishi esa yorug‘likning kogerentligi pasayganini bildiradi.





Xulosa

Diffuz muhit orqali o'tishda yorug'lik to'lqin frontining buzilishi, faza fluktuatsiyalarining paydo bo'lishi va interferensiya sharoitlarining doimiy o'zgarib borishi bilan izohlanadi. Natijada spekl maydon fazoviy jihatdan qayta taqsimlanib, optik kanalning turli nuqtalarida kontrastlikning maksimum va minimum qiymatlari yuzaga keladi. Bu esa spekl strukturaning dinamik va statistik jihatdan noaniq tabiatga ega ekanligini tasdiqlaydi.

Ikkinchidan, diffuzor muhitining roli juda muhim ekani ko'rsatildi. U faqat yorug'likni kamaytiruvchi muhit emas, balki spekl maydonining statistik parametrlarini shakllantiruvchi faol tizim sifatida namoyon bo'ladi. Diffuzor yorug'likning faza va amplituda taqsimotini tasodifiylashtirib, kontrastlikning fazoviy notekis taqsimlanishiga olib keladi. Shu sababli ayrim masofalarda kontrastlik kamayishi, boshqa nuqtalarda esa ortishi kuzatiladi. Uchinchidan, lazer kuchlanishining (6.7 V, 7.0 V, 7.2 V) o'zgarishi spekl kontrastligining maksimum va minimum nuqtalarining joylashuviga sezilarli ta'sir ko'rsatishi aniqlangan. Bu hodisa lazer nurlarining kogerentlik darajasi bilan bevosita bog'liq bo'lib, kogerentlik oshganda spekl kontrastligi ortishi kuzatiladi. Demak, kogerentlik spekl maydonining asosiy boshqaruvchi parametrlaridan biri hisoblanadi. To'rtinchidan, dislokatsiyalar sonining polyarizatsiya burchagiga bog'liqligi ham o'rganilib, ularning soni burchakka qarab o'zgaruvchi xarakterga ega ekanligi aniqlandi. Bu natija spekl maydonidagi fazoviy singularliklar yorug'likning polyarizatsiya holatiga sezgir ekanligini ko'rsatadi. Polyarizatsiya burchagi o'zgarganda interferensiya sharoitlari ham o'zgaradi va bu dislokatsiyalar sonining ortishi yoki kamayishiga olib keladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1]. K. Ohtsubo. Semiconductor Lasers: Stability, Instability and Chaos. — Springer, Berlin, 2012.
- [2]. G. P. Agrawal, N. K. Dutta. Semiconductor Lasers. — Springer, 2013.





**JOURNAL OF
SCIENCE AND INNOVATIVE RESEARCH STUDIES
VOLUME-1, ISSUE-9, 2026**

- [3]. B. Redding, M. A. Choma, H. Cao. Speckle-free laser imaging using random laser illumination. — Nature Photonics, 2012, Vol. 6, pp. 355–359.
- [4]. G. P. Agrawal, Fiber-Optic Communication Systems, 4th ed., Wiley, 2010.
- [5]. C. Masoller. Chaos in semiconductor lasers. — Physics Reports, 2001.
- [6]. J. W. Goodman. Statistical Optics. — John Wiley & Sons, 2015.
- [7]. D. Halpaap, M. Marconi, R. Hernandez, A. M. Yacomotti, J. Tiana-Alsina, C. Masoller. Experimental study of speckle patterns generated by low-coherence semiconductor laser light. — Chaos, 2020, Vol. 30, No. 6, Art. 063147.
- [8]. B. Redding, H. Cao. Using a multimode fiber as a high-resolution, lowcoherence light source. — Optics Letters, 2012.
- [9]. D. S. Wiersma. The physics and applications of random lasers. — Nature Physics, 2008.
- [10]. M. S. Soskin, M. V. Vasnetsov. Singular optics. — Progress in Optics, 2001, Vol. 42, pp. 219–276.
- [11]. M. R. Dennis, K. O. Holleran, M. J. Padgett. Singular optics: optical vortices and polarization singularities. — Progress in Optics, 2009, Vol. 53, pp. 293–363.

