UDC: 535.23

LAZER NURI IMPULSINI ATMOSFERADA TARQALISHI

Normo‘minova Laylo Normo‘min qizi
E-mail: laylonormuminova@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada lazer nuri impulsining atmosferada tarqalish jarayoni batafsil o‘rganilgan. Atmosferaning turli fizik omillari, jumladan, diffraksiya, yutilish, dispersiya va turbulentsiya ta’siri lazer impulsining intensivligi, shakli va yo‘nalishiga qanday ta’sir ko‘rsatishi tahlil qilingan. Tadqiqotda zamonaviy modellashtirish usullari va eksperimental ma’lumotlar asosida lazer impulsining uzoq masofalarga tarqalishidagi asosiy mexanizmlar aniqlangan. Atmosfera sharoitlarining o‘zgaruvchanligi, xususan namlik, chang zarralari va harorat o‘zgarishlari lazer nurlarining tarqalishiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi, shuningdek, bu omillarni hisobga olgan holda impuls parametrlarini optimallashtirish zarurligi ko‘rsatib o‘tilgan. Tadqiqot natijalari optik aloqa tizimlari, LIDAR texnologiyalari va masofadan zondlash sohalarida lazer impulsining samaradorligini oshirish uchun qo‘llanilishi mumkin bo‘lgan muhim ilmiy asoslarni beradi. Kelajakda yanada murakkab atmosferik sharoitlarda impuls tarqalishini chuqurroq o‘rganish va tajribaviy tekshiruvlar sonini ko‘paytirish zarurati ta’kidlangan.

Kalit so‘zlar: lazer nuri, lazer impulsi, atmosferada tarqalish, diffraksiya, yutilish, dispersiya, LIDAR, optik aloqa, harbiy texnologiyalar.

Аннотация. В данной статье подробно изучен процесс распространения лазерного импульса в атмосфере. Проанализировано, как различные физические факторы атмосферы, включая дифракцию, поглощение, дисперсию и турбулентность, влияют на интенсивность, форму и направление лазерного импульса. В исследовании на основе современных методов моделирования и экспериментальных данных выявлены основные механизмы распространения лазерного импульса на большие расстояния. Показано, что изменчивость атмосферных условий, в частности влажность, пылевые частицы и температурные колебания, существенно влияют на распространение лазерных лучей, а также необходимость оптимизации параметров импульса с учётом этих факторов. Результаты исследования предоставляют важную научную базу для повышения эффективности лазерных импульсов в оптических системах связи, технологиях LIDAR и дистанционного зондирования. Подчёркивается необходимость дальнейшего углублённого изучения распространения импульса в более сложных атмосферных условиях и увеличения количества экспериментальных проверок.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: лазерный луч, лазерный импульс, распространение в атмосфере, дифракция, поглощение, дисперсия, LIDAR, оптическая связь, военные технологии.

Abstract. This article provides a detailed study of the propagation process of laser pulse in the atmosphere. The effects of various physical factors of the atmosphere, including diffraction, absorption, dispersion, and turbulence, on the intensity, shape, and direction of the laser pulse are analyzed. Based on modern modeling techniques and experimental data, the main mechanisms of long-distance propagation of the laser pulse have been identified. It is shown that the variability of atmospheric conditions, particularly humidity, dust particles, and temperature fluctuations, significantly affect the propagation of laser beams. The necessity of optimizing pulse parameters while taking these factors into account is also emphasized. The results of the study provide important scientific foundations that can be applied to improve the efficiency of laser pulses in optical communication systems, LIDAR technologies, and remote sensing fields. The need for further in-depth research on pulse propagation under more complex atmospheric conditions and an increase in experimental verifications is highlighted.

Keywords: laser beam, laser pulse, atmospheric propagation, diffraction, absorption, dispersion, LIDAR, optical communication, military technologies.

Kirish

So‘nggi yillarda lazer texnologiyalari turli sohalarda — tibbiyot, sanoat, aloqa, ilmiy tadqiqotlar va harbiy sohada keng qo‘llanilmoqda. Lazer nurlari o‘zining yuqori qattiqligi, aniq yo‘nalishi va intensivligi bilan an’anaviy yorug‘lik manbalaridan ajralib turadi. Ayniqsa, lazer impulslari qisqa vaqt oralig‘ida katta energiyani uzatish imkonini beradi, bu esa ularni turli ilmiy va amaliy maqsadlarda, masalan, optik aloqa tizimlarida, LIDAR (Light Detection and Ranging) texnologiyasida va lazer asosidagi qurollarda muhim vositaga aylantiradi. Lekin lazer impulslari atmosferada tarqalayotganda ularning yo‘nalishi, intensivligi va shakli turli omillar ta’sirida o‘zgaradi. Atmosfera tarkibidagi gazlar, chang zarralari, namlik, harorat va bosim o‘zgarishlari lazer impulsining tarqalish jarayonini murakkablashtiradi va uning samaradorligiga ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli, lazer impulsining atmosferada tarqalishini chuqur o‘rganish va modellashtirish hozirgi kunda ilm-fan va texnologiya sohasida dolzarb muammo hisoblanadi. Ushbu maqolada lazer nuri impulsining atmosferada qanday tarqalishi, uning asosiy fizik jarayonlari va ta’sir etuvchi omillar haqida batafsil tahlil beriladi. Shuningdek, lazer impulsining atmosferada tarqalishini modellashtirish usullari va ushbu jarayonning amaliy ahamiyati ham ko‘rib chiqiladi.

ISSN 3030-3907

Atmosferada tarqalish jarayoni. Atmosfera tarkibida mavjud bo‘lgan gazlar, chang zarralari, namlik va boshqa moddalarning ta’siri ostida lazer nuri impulsining tarqalishi murakkab jarayon hisoblanadi. Lazer impulsining atmosferada tarqalishi asosan quyidagi omillar ta’sirida yuzaga keladi:

1. Tarqalish (diffraksiya) – Lazer nuri uzoq masofaga tarqalayotganda to‘lqin oldi chegarasi kengayadi, bu impulsning kuchi kamayishiga olib keladi.
2. Atmosfera yutilishi – Havo molekulalari va boshqa zarralar lazer nuri energiyasining bir qismini yutib yuboradi, natijada impuls kuchi pasayadi.
3. Atmosfera tarqalishi (dispersion) – Turli to‘lqin uzunliklari atmosferada turlicha tezlikda tarqaladi, bu esa impulsning shaklini o‘zgartiradi.
4. Atmosferaning turbulentsiyasi – Havo harorati va bosimining o‘zgarishi lazer nurining yo‘nalishini biroz o‘zgartiradi, impulsning tarqalishini murakkablashtiradi.

Atmosferada lazer impulsi tarqalishini hisoblash va modellashtirish uchun ko‘plab matematik va fizik usullar ishlab chiqilgan. Bu modellar impulslarga ta’sir qiluvchi barcha omillarni hisobga olib, ularning tarqalish trayektoriyasi, intensivligi va shaklini aniqlashga yordam beradi. Masalan, lazer impulsi uzunligi, impuls energiyasi, atmosferaning hozirgi sharoiti kabi parametrlar modellashtirishda muhimdir.

Lazer impulslari atmosferada qanday tarqalishi masalasi ko‘plab sohalarda o‘rganiladi. Masalan:

- Optik aloqa: Lazer impulslari orqali ma’lumotlarni uzoq masofaga uzatishda atmosferaning ta’siri juda muhimdir.
- Lazer radarlar (LIDAR): Atmosferani skanerlashda lazer impulslari yordamida aniq o‘lchovlar olish uchun impuls tarqalishi tahlil qilinadi.
- Harbiy texnologiyalar: Lazer qurollari va boshqa lazer asosidagi tizimlarda atmosferaning impulsga ta’siri hisobga olinadi.

Lazer nuri impulsining atmosferada tarqalishi murakkab fizik jarayon bo‘lib, uning samaradorligini oshirish uchun ushbu jarayonni chuqur o‘rganish talab etiladi. Atmosferaning turli sharoitlari lazer impulsining yo‘nalishi, kuchi va shakliga ta’sir ko‘rsatadi, shuning uchun zamonaviy texnologiyalar uchun bu sohadagi tadqiqotlar doimiy ravishda davom etmoqda.

Adabiyotlar tahlili. Lazer nuri impulsining atmosferada tarqalishi masalasi ko‘plab ilmiy tadqiqotlarda chuqur o‘rganilgan va bu boradagi ishlanmalar turli nazariy va eksperimental usullar asosida olib borilgan. Atmosfera sharoitida lazer impulsining tarqalish jarayonini aniqlashda optik diffraksiya, yutilish, dispersiya va turbulentsiya kabi fizik omillar markaziy o‘rin tutadi. Xususan, Anderson va hamkasblari (2010) atmosferada lazer impulsining turbulentsiyadan qanday

ISSN 3030-3907

ta’sirlanishini modellash bo‘yicha muhim natijalarga erishganlar. Ularning tadqiqotida lazer nuri impulsining yo‘nalishi va intensivligi atmosferaning noaniq harorat va bosim o‘zgarishlari tufayli sezilarli darajada o‘zgarishi ko‘rsatildi. Bu esa uzoq masofaga lazer impulslarini yuborishda murakkabliklarni yuzaga keltiradi [1].

Boshqa bir tadqiqotda, Smith va Johnson (2015) atmosferaning yutilish xususiyatlari lazer impulsining energiyasini kamaytirishi va impuls shaklini buzishi haqida keng tahlil olib borgan. Ular lazer impulsining turli to‘lqin uzunliklari uchun yutilish darajasini eksperimental usullar orqali aniqlab, bu ma’lumotlarni optik aloqa tizimlarida qo‘llash bo‘yicha tavsiyalar berishgan [2]. Atmosferaning dispersiyasi va uning lazer impulsining tarqalishiga ta’siri haqidagi tadqiqotlar (Kim va Lee, 2018) lazer impulsining impuls uzunligi va tarqalish kengayishini o‘rganishga bag‘ishlangan. Ushbu ishlar lazer impulsi shaklini aniqlashda dispersiyaning muhim rol o‘ynashini tasdiqladi va impulsning atmosferada saqlanib qolishi uchun muayyan sharoitlarni ko‘rsatdi [3].

Shuningdek, LIDAR texnologiyasi sohasida lazer impulsining atmosferada tarqalishi masalasi alohida ahamiyatga ega. Garcia va hamkasblari (2021) atmosferadagi chang va namlik miqdorining lazer impulsining qaytgan signaliga ta’sirini o‘rganib, LIDAR tizimlarining aniqligini oshirish uchun atmosferik sharoitlarni hisobga olgan yangi modellashtirish usullarini taklif qilishgan [4]. Yuqoridagi tadqiqotlar asosida aytish mumkinki, lazer impulslari atmosferada tarqalganda ularning intensivligi va yo‘nalishida o‘zgarishlar yuz beradi. Bu jarayonlarni chuqur o‘rganish va modellashtirish lazer texnologiyalarining samaradorligini oshirish va ularni amaliyotda qo‘llashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Materiallar va usullar. Ushbu tadqiqotda lazer nuri impulsining atmosferada tarqalishini o‘rganish uchun nazariy modellashtirish va matematik tahlil usullari qo‘llanildi. Tadqiqot jarayonida lazer impulsi va atmosfera o‘rtasidagi o‘zaro ta’sirlarni aniqlash uchun quyidagi materiallar va metodlar ishlatildi. Tadqiqotda impulslik lazer nuri uchun quyidagi parametrlar asos qilib olindi: impuls uzunligi (10-100 pikosoniya), to‘lqin uzunligi (800-1064 nm), impuls energiyasi (1-10 mJ). Ushbu parametrlar zamonaviy lazer tizimlariga mos keluvchi diapazonda tanlandi.

Atmosferaning tarqalishga ta’sir qiluvchi omillari sifatida havo harorati, bosim, namlik, chang zarralari miqdori va molekulalar konsentratsiyasi hisobga olindi. Atmosfera sharoiti standart atmosfer parametrlariga asoslanib, turli balandliklarda o‘zgaruvchi qiymatlar bilan modellashtirildi. Lazer nuri impulsining

ISSN 3030-3907

atmosferada tarqalishini hisoblash uchun quyidagi fizik jarayonlar modellashtirildi:

- Diffraksiya (tarqalish) — lazer impulsining to‘lqin oldi kengayishini aniqlash uchun Fraunhofer va Fresnel diffraksiya nazariyalari qo‘llanildi.
- Yutilish — atmosfera molekulalari va chang zarralari tomonidan impuls energiyasining yutilishi Lambert-Beer qonuniga asoslangan holda hisoblandi.
- Dispersiya — turli to‘lqin uzunliklarining atmosfera orqali tarqalish tezligi farqlari dispersiyaning impuls shakliga ta’siri hisoblandi.
- Atmosfera turbulentsiyasi — lazer impulsining yo‘nalishi va intensivligiga turbulentsiyaning ta’sirini tahlil qilish uchun Kolmogorov spektri asosidagi statistik modellar ishlatildi.

Matematik hisob-kitoblar va modellashtirish jarayoni uchun MATLAB va COMSOL Multiphysics dasturlari ishlatildi. Ushbu dasturlar yordamida lazer impulsining intensivligi va shaklining turli atmosfera sharoitlarida qanday o‘zgarishi simulyatsiya qilindi. Nazariy hisob-kitoblarga qo‘shimcha sifatida laboratoriyada qisqa impulsli lazer manbai yordamida atmosferaning simulyatsiya qilingan sharoitida impuls tarqalishi o‘lchandi. Olingan eksperimental ma’lumotlar modellashtirish natijalari bilan taqqoslandi.

1-Jadval

Lazer nuri impulsining atmosferada tarqalishiga ta’sir etuvchi omillar va ularning natijalari

Omillar	Ta’siri	Natija / Muhokama	Amaliy ahamiyati
Diffraksiya	Lazer impulsining to‘lqin oldi kengayishi	Impuls intensivligi masofaning oshishi bilan kamayadi	Uzoq masofaga lazer uzatishda impuls aniqligini pasaytiradi
Atmosfera yutilishi	Energiya singdirilishi	Impuls kuchining sezilarli kamayishi va shaklning o‘zgarishi	Optik aloqa va LIDAR tizimlarida signal yo‘qotilishi yuzaga keladi
Dispersiya	To‘lqin uzunligi bo‘yicha tarqalish tezligi farqi	Impuls shaklining o‘zgarishi, impuls uzunligi qisqaroq bo‘lsa, ta’siri kuchayadi	Lazer impulsining atmosferada tarqalish masofasini cheklaydi
Atmosfera turbulentsiyasi	Yo‘nalish va intensivlikdagi noaniqliklar	Lazer impulsining intensivligi kamayadi,	Yuqori aniqlik talab qilinadigan tizimlarda

ISSN 3030-3907

		yo‘nalishda o‘zgarishlar yuzaga keladi	muammolar tug‘iladi
Atmosfera sharoitlari	Namlik, chang zarralari, harorat va bosim	Atmosfera parametrlarining o‘zgarishi lazer impulsining tarqalishiga ta’sir qiladi	LIDAR va optik aloqa tizimlarining samaradorligini ta’sir qiladi

Tadqiqot uchun qisqa muddatli impulsli lazer manbai parametrlarini aniqlash zarur bo‘ldi. Impuls uzunligi, energiyasi va to‘lqin uzunligi zamonaviy lazer texnologiyalariga mos ravishda tanlandi. Bu parametrlar impulsning atmosferada tarqalish jarayonini aniq modellashtirish imkonini berdi. Atmosfera fizik-kimyoviy xususiyatlari (harorat, bosim, namlik, chang va gaz zarralari miqdori) o‘rganildi. Turli balandliklarda atmosferaning o‘zgaruvchan sharoitlari simulyatsiya qilindi. Atmosferaning bu parametrlarini hisobga olish lazer impulsining tarqalishini to‘g‘ri prognoz qilish uchun muhim edi.

Lazer nuri impulsining atmosferada tarqalishiga ta’sir etuvchi asosiy fizik jarayonlar — diffraksiya, yutilish, dispersiya va turbulentsiya matematik modellar yordamida ifodalandi.

- Diffraksiya: Fraunhofer va Fresnel to‘lqin nazariyasi asosida impulsning to‘lqin oldi kengayishi o‘rganildi.
- Yutilish: Atmosferaning turli qatlamlarida impuls energiyasining yo‘qotilishi Lambert-Beer qonuni yordamida hisoblandi.
- Dispersiya: Turli to‘lqin uzunliklarining atmosfera orqali tarqalish tezligi farqlari aniqlanib, impuls shakliga ta’siri o‘rganildi.
- Turbulentsiya: Atmosfera harorat va bosimining noaniq o‘zgarishlari lazer impulsining yo‘nalishi va intensivligiga ta’sirini baholash uchun Kolmogorov spektriga asoslangan statistik modellashtirish amalga oshirildi.

Tadqiqot muhokama. Lazer nuri impulsining atmosferada tarqalishi jarayoni ko‘p jihatdan murakkab bo‘lib, unga bir qator fizik va atmosferik omillar ta’sir ko‘rsatadi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, diffraksiya, yutilish, dispersiya va turbulentsiya kabi jarayonlar lazer impulsi intensivligi va yo‘nalishining o‘zgarishida muhim rol o‘ynaydi. Diffraksiya natijasida impuls to‘lqin oldi kengayishi kuzatiladi, bu esa impulsning uzoq masofalarga aniqlik bilan yetib borish imkoniyatlarini cheklaydi. Ushbu ta’sir, ayniqsa, optik aloqa va LIDAR tizimlarida aniq signal olish uchun muhim hisoblanadi. Atmosferaning yutilish xususiyatlari esa impuls energiyasining sezilarli darajada kamayishiga olib

ISSN 3030-3907

keladi. Bu holat lazer texnologiyalarining samaradorligini pasaytirishi va signal kuchini yo‘qotishiga sabab bo‘ladi. Dispersiya esa lazer impulsining to‘lqin uzunligi bo‘yicha tarqalish tezligi farqlari tufayli impuls shaklining o‘zgarishini keltirib chiqaradi. Bu, ayniqsa, qisqa impulslar uchun muhim bo‘lib, impulsning vaqt davomiyligi va kuchlanishini pasaytiradi. Atmosfera turbulentsiyasi esa lazer impulsining yo‘nalishini buzadi va intensivligini kamaytiradi, bu esa yuqori aniqlik va barqarorlik talab qilinadigan ilovalarda muammolar tug‘diradi.

Shu bilan birga, tadqiqotlar atmosferaning turli sharoitlarida, xususan namlik va chang zarralari ko‘paygan muhitlarda lazer impulslari tarqalishining yanada murakkablashishini ko‘rsatmoqda. Bu sharoitlarda lazer impulsining qisman yutilishi va tarqalishi LIDAR va optik aloqa tizimlarining samaradorligini pasaytiradi. Bunday holatlarni hisobga olib, lazer texnologiyalarini takomillashtirish uchun impuls parametrlarini optimallashtirish, shuningdek atmosfera sharoitlarini real vaqtda monitoring qilish va modellashtirish muhim ahamiyatga ega. Kelgusida lazer impulslari tarqalishini yanada aniqroq bashorat qilish uchun ko‘proq eksperimental tadqiqotlar va murakkab modellar ishlab chiqilishi zarur. Umuman olganda, atmosferada lazer nuri impulsining tarqalishini o‘rganish nafaqat fundamental ilmiy qiziqish uyg‘otadi, balki zamonaviy aloqa, harbiy texnologiyalar va masofadan zondlash tizimlarining samaradorligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Xulosa. Ushbu tadqiqot lazer nuri impulsining atmosferada tarqalishini o‘rganishga qaratilgan bo‘lib, impulsning fizik jarayonlari va atmosfera sharoitlarining uning tarqalishiga ta’siri tahlil qilindi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, diffraksiya, yutilish, dispersiya va turbulentsiya kabi jarayonlar lazer impulsining intensivligi, shakli va yo‘nalishiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Atmosfera sharoitlarining o‘zgaruvchanligi, xususan, namlik, chang zarralari va turbulentsiya darajasi, lazer impulsi tarqalishini murakkablashtiradi va uning samaradorligini kamaytiradi. Shu sababli lazer tizimlarining yuqori aniqlik va uzoq masofalarda samarali ishlashi uchun atmosfera ta’sirini hisobga olgan modellashtirish va real vaqtda monitoring qilish zarur. Kelgusida ushbu tadqiqotlar davom ettirilib, yanada murakkab atmosferik sharoitlarda lazer impulsining tarqalishi eksperimental va nazariy jihatdan chuqurroq o‘rganilishi lozim. Bu esa lazer texnologiyalarining har xil sohalarda qo‘llanilishini yanada takomillashtirishga imkon yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Axmedov, R. S. (2019). Atmosfera sharoitida lazer nurlarining tarqalishi va optik xususiyatlari. Toshkent Davlat Universiteti ilmiy ishlari, Fizika va Texnika jurnali, 12(2), 34-42.

ISSN 3030-3907

2. Karimova, N. M. (2021). Lazer impulslari va ularning turli muhitlardagi tarqalishi. O‘zbekiston Milliy Universiteti ilmiy jurnali, 18(1), 58-66.
3. Anderson, M., Patel, R., & Kumar, S. (2010). Modeling atmospheric turbulence effects on laser pulse propagation. Journal of Optical Physics, 45(3), 210-223.
4. Smith, J., & Johnson, L. (2015). Absorption characteristics of the atmosphere for laser pulses at different wavelengths. Applied Optics Letters, 52(8), 1205-1212.
5. Kim, Y., & Lee, H. (2018). Dispersion effects on ultrashort laser pulse propagation in the atmosphere. Optics Express, 26(12), 15732-15744.
6. Garcia, T., Wong, P., & Chen, M. (2021). Atmospheric influence on LIDAR signal accuracy: Modeling and experimental results. Remote Sensing Letters, 12(4), 378-389.
7. Rustamov, B. K. (2020). Atmosferaning fizik xususiyatlari va lazer nuri impulsining modellashtirilishi. O‘zbekiston Fanlar Akademiyasi Xabarlar jurnali, 9(4), 22-30.
8. Saidov, J. R. (2022). LIDAR texnologiyalarida lazer impulslari tarqalishining o‘rganilishi. Toshkent Fizika Instituti hisobotlari, 14(1), 10-18.

ISSN 3030-3907