



Baltaxodja UMIRZAKOV,
TDTU, "Umumiy fizika" kafedrasida professori
E-mail: be.umirzakov@gmail.com

Anna ANISOVICH,
Belorus milliy fanlar akademiyasi amaliy fizika instituti bosh ilmiy xodimi
E-mail: anna-anisovich@yandex.ru

Akbarjon ABDUVAYITOV,
TDTU, "Umumiy fizika" kafedrasida professori
E-mail: akbarjon.abduvayitov@gmail.com

Xurshid BOLTAYEV,
TDTU, "Umumiy fizika" kafedrasida dotsenti
E-mail: khurshid.boltaev@gmail.com

Ganjimurod SHIRINOV,
TDTU, "Radiotexnik qurilmalar va tizimlar" kafedrasida dotsenti
E-mail: ganjimurod777@gmail.com

SUV MUHITIDA NIKEL NAMUNASINI LAZER ABLATSIYASI NATIJASIDA HOSIL BO'LGAN MAHSULOTLARNING FIZIK-KIMYOVIY TAHLILI

Annotatsiya

Nikel nishoni bilan lazer nurlanishining o'zaro ta'siri natijasida hosil bo'lgan nikel nanozarrachalarining sirt morfologiyasi tadqiq qilindi. Tajribalarda to'liq uzunligi 1064 nm bo'lgan alyuminiy-ittriy granatli (LS-2134D) lazer qo'llanildi. Lazer ikki impulsli rejimda ishlatildi (impulslar orasidagi vaqt oralig'i 3 μ s, impuls davomiyligi 10 ns, impulslar takrorlanish chastotasi 10 Hz, yakka impuls energiyasi taxminan 0,05 J). Lazer ablyatsiyasi natijasida parallelogramma shaklidagi nanozarrachalar hosil bo'lishi aniqlandi (zarrachalar uzunligi 0,2-0,4 μ m oralig'ida o'zgaradi). Kolloid eritmada plazmon rezonansi o'rganildi. Ablyatsiya jarayoni va nikel nanozarrachalarini sintez qilishni nazorat qilish imkoniyati namoyish etildi hamda turli sohalarda qo'llash uchun samarali nanozarrachalar generatsiyasiga erishildi.

АНАЛИЗ ПРОДУКТОВ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ НИКЕЛЕВОЙ МИШЕНИ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Аннотация

Проведено исследование морфологии поверхности наночастиц никеля полученных в результате взаимодействия лазерного излучения с мишенью из никеля. Применялся лазер на алюмоиттриевом гранате (LS-2134D) с длиной волны 1064 нм, генерирующий в двухимпульсном режиме (импульсы разделены временным интервалом 3 мкс, длительность импульсов 10 нс, частота следования импульсов 10 Гц, энергия одиночного импульса ~0,05 Дж). Показано, что в результате лазерной абляции формируются наночастицы в форме параллелограмма (длина частиц варьируется 0,2–0,4 мкм). Исследован плазмонный резонанс в коллоидном растворе. Продемонстрирована возможность контроля процесса абляции и синтеза наночастиц никеля, достигнута эффективная генерация наночастиц для использования в различных приложениях.

ANALYSIS OF NANOSECOND LASER ABLATION PRODUCTS OF A NICKEL TARGET IN AN AQUEOUS ENVIRONMENT

Annotation

The surface morphology of nickel nanoparticles obtained as a result of the interaction of laser radiation with a nickel target was studied. A yttrium aluminum garnet laser (LS-2134D) with a wavelength of 1064 nm was used, generating in a two-pulse mode (pulses are separated by a time interval of 3 μ s, pulse duration is 10 ns, pulse repetition rate is 10 Hz, single pulse energy is 0.05 J). It is shown that as a result of laser ablation, parallelogram-shaped nanoparticles are formed (particle length varies from 0.2 to 0.4 μ m). Plasmon resonance in a colloidal solution is studied. Plasmon resonance in a colloidal solution is studied. The possibility of controlling the ablation process and the synthesis of Ni nanoparticles is demonstrated, and efficient generation of nanoparticles for use in various applications is achieved.

Kirish. Impulsli lazer ablyatsiyasi hozirgi kunda nanozarrachalarni olishning yangi va samarali usullaridan biri hisoblanadi. Ablyatsiya jarayonlarining tabiati nishon materiali turiga, atrof-muhit sharoitiga hamda lazer ta'sirining parametrlariga (impuls davomiyligi, intensivligi, impulslar soni, to'liq uzunligi va boshqalar) bog'liq [1-4]. Lazer ablyatsiyasi turli mexanizmlar orqali amalga oshirilishi mumkin. Ayniqsa, qisqa impulslar va yuqori quvvat zichligi sohasida lazer ta'siri rejimlarida suyuq muhitdagi lazer ablyatsiyasining fundamental fizik mexanizmlari to'liq o'rganilmagan.

Nano materiallarni lazer texnologiyasi yordamida olish boshqa usullar (bug' fazali cho'ktirish, ion-plazmali, kimyoviy cho'ktirish, jumladan gidrotermal usullar va boshqalar) bilan taqqoslaganda bir qator afzalliklarga ega [4-8]:

- yakuniy mahsulotlarni qo'shimcha tozalashsiz kimyoviy jihatdan sof holda sintez qilish;

• lazer nurlanishi ta'sir zonasida yuqori bosim sharoitida moddaning tez qizishi va sovishi natijasida metastabil fazalarni hosil qilish imkoniyati;

- jarayonning yuqori tezligi;
- klasterlarga agregatsiyalanish imkoniyati.

Suv muhitida lazer ablyatsiyasi jarayonining muhim afzalliklaridan biri shundaki, nishonning kimyoviy tarkibi deyarli to'liq holda hosil bo'ladigan nanozarrachalar tarkibida aks etadi. Bu esa aralashmalarsiz sof kolloid eritmalar olish imkonini beradi[4].

Lazer ablyatsiyasi usulida sintez qilingan metall nanozarrachalar yorug'lik bilan o'zaro ta'sirlashganda o'tkazuvchanlik elektronlarining kollektiv uyg'onishi – ya'ni sirtida plazmon rezonansi yuzaga kelishi mumkin. Hozirgi kunda ushbu hodisa tibbiyotdan tortib optoelektronikagacha bo'lgan ko'plab sohalarda qo'llanilganligi sababli faol ravishda o'rganilmoqda [9,10].

Metall nanozarrachalar rezonans holatida katta yutilish kesimiga ega bo'ladi hamda nanozarracha atrofidagi elektromagnit maydon yuzaga keltiruvchi nurlanish maydoniga nisbatan sezilarli darajada ortadi. Natijada esa kam miqdordagi nanozarrachalar to'plami yordamida ham optik natijalar olish mumkin [9,10].

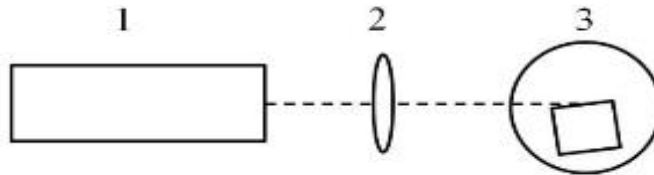
Plazmon rezonansining ko'plab sohalarda qo'llanilishi, rezonans holatining optik chastotalarning keng diapazonida o'zgarishi bilan bog'liq bo'lib, bu zarrachaning o'lchami, shakli, olingan materialining turi va dielektrik muhitiga qarab belgilanadi. Shu sababli bu soha metall nanozarrachalarni olish usullarini rivojlantirish, ularning shakli va o'lchamlarini, optik xossalari bilan bog'lab o'rganish dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi.

Mazkur ishda nikel namunasidan nanozarrachalarni ikki impulsli lazer ablyatsiyasi usulida olish jarayoni va yorug'likning nikel nanozarrachalari bilan rezonansli o'zaro ta'siri o'rganildi.

Namuna olish va tadqiqot usullari. Nikel nanozarrachalarining sintezi suv muhitida alyuminiy-ittriy granatali (LS-2134D) lazer yordamida amalga oshirildi. Nishon sifatida polikristall nikel (uzunligi 20 mm, eni 10 mm, qalinligi 3 mm) ishlatildi. Nishon joylashgan muhit sifatida distillangan suv qo'llanildi. Suyuqlik majburiy aralashdirilmadi.

Materialga ishlav berishda to'lqin uzunligi 1064 nm bo'lgan alyuminiy-ittriy granatali (LS-2134D) lazer qo'llanildi. Lazer ikki impulsli rejimda ishladi (impulslar orasidagi vaqt oralig'i 3 μ s, impuls davomiyligi 10 ns, impulslar takrorlanish chastotasi 10 Hz, yakka impuls energiyasi taxminan 0,05 J). Ni namunalari 1000–1200 J oralig'idagi energiyada, lazer nurlanishi bilan 16–20 minut ishlav berildi.

Nanozarrachalarni olish sxemasi 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Lazer ta'siri sxemasi: 1 – LS-2134D lazeri, 2 – fokuslovchi linza, 3 – namuna joylashgan kyuveta

Namunalarni tadqiq qilish S-4800 turidagi rastrli elektron mikroskopda (HITACHI, Yaponiya) amalga oshirildi. Optik xossalari esa "Cary 500" spektrofotometri (Varian, AQSh) yordamida o'rganildi.

Nikel nanozarralaridan tashkil topgan kukuni yuqori haroratda (1000 K) va yuqori bosim ostida (10^{-2} mm.sim.ust, ta'sir kuchi $7 \cdot 10^4$ N, ta'sir vaqti 1 soat) presslab tabletka holatiga keltirildi (diametrik 1,5 cm, qalinligi 2 mm). Hosil qilingan tabletkani elementar tarkibi elektron oje soektroskopiya (EOS) usuli yordamida o'rganildi. Elektron oje spektrometr qurilmasi 2 ta silindrik kameradan iborat bo'lib, uni barcha detallari zanglamaydigan metallardan yasalgan. Qurilmada Yuza-Rozanskiy tipidagi elektrostatik analizator o'rnatilgan bo'lib, u sirtidan chiqqan elektronlarni energiya bo'yicha taqsimlab ajratadi [15]. Analizator quyidagi parametrlarga ega: muvozanatli trayektoriya radiusi 100 mm, burilish burchagi 127° , analizatorning kirish va chiqish tirqishlarini kengligi o'zaro teng bo'lib, 0,15 mm ni tashkil qiladi, energiya bo'yicha nisbiy ajratish qobiliyati

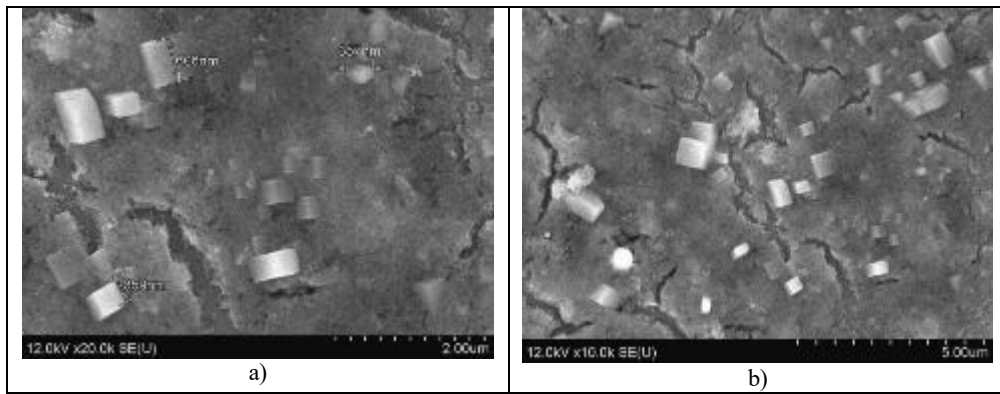
$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{2\gamma}{R_0} = 0.3 \%$$

ga teng. Elektron manba yordamida 0,3-0,5 mm diametrligi, energiyasi $100 \div 5000$ eV bo'lgan fokuslangan elektronlar dastasini olish mumkin. Birlamchi elektronlar toki $3 \div 10$ μ A ga teng. Qurilma yuqori vakuumda ishlaydi va ishchi vakuum 10^{-9} Torr ni tashkil qiladi.

Natijalar va ularning muhokamasi. Birinchi impuls ta'sirida nishon materialining sirti bug'lanishi natijasida hosil bo'lgan ablyatsion plazma sirtga yaqin qatlamda yuqori haroratli va zarralar zichligi kamaygan sohani hosil qiladi. Bu esa ikkinchi impuls energiyasidan lazer ablyatsiyasi jarayonida yanada samarali foydalanishga olib keladi.

2-rasmda turli o'lchamlarda hosil qilingan nikel nanozarralarining sirt morfologiyasining (SEM) tasvirlari keltirilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, nikel nanozarrachalari parallelepiped shaklidagi kuzatildi, zarrachalar qavariq ko'rinishga ega. Zarrachalarning kichik qismining taxminan 350 nm, eni va balandligi, uzunligi 600 nm tashkil qildi. Bundan tashqari, o'lchamlari 20–100 nm oralig'ida bo'lgan mayda nanozarrachalar ham mavjudligi aniqlandi.

Ta'kidlash joizki, suyuqlik muhitida joylashgan nishonga kuchli impulsli lazer nurlanishi ta'sir ettirilganda, nishon atrofidagi suyuqlik qizishi natijasida o'ta qizigan bug' va bug'langan nishon atomlaridan iborat soha hosil bo'ladi. Natijada kavitatsion pufak yuzaga keladi. Ushbu pufak adiabatik ravishda kengayadi va so'ngra yopilib, nishon materialidan qattiq nanozarrachalar hosil qiladi [8].

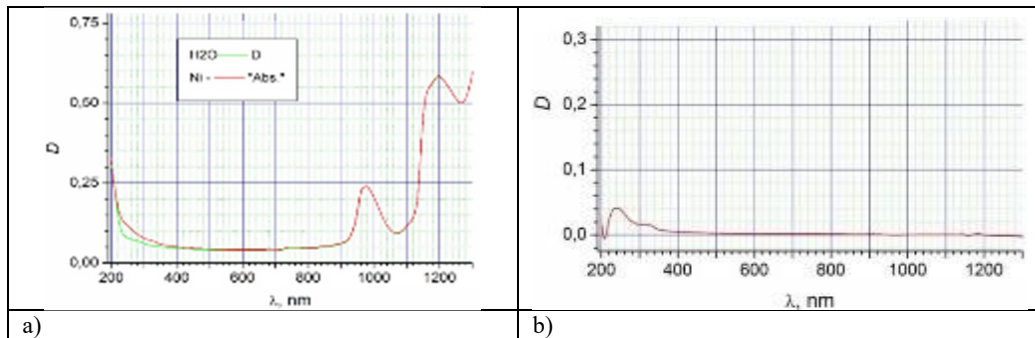


2-rasm. Nikel nanozarrachalarining sirt morfologiyasi (ta'sir vaqti – 20 min, ta'sir energiyasi – 1200 J).

Nikel nanozarrachalarining optik zichlik spektri o'lcham effekti bilan belgilanadi, ya'ni tushayotgan yorug'lik nurlanishi ta'sirida elektron gazning plazma tebranishlari kogerent ravishda uyg'onadi. Zarrachalarning kichik va chegaralangan o'lchamlari sababli bunday tebranishlar plazmonlarning uyg'onishiga olib keladi [9,10].

Suvdagi nikel nanozarrachalarining kolloid eritmasi optik zichligining to'liq uzunligiga bog'liqlik spektri 3-rasmda keltirilgan. 3, a-rasmda kolloid eritmaning optik zichligi to'liq uzunligiga bog'liq ravishda ko'rsatilgan (qizil chiziq umumiy effektini ifodalaydi). 3, b-rasmda esa nikel nanozarrachalarining optik zichligining to'liq uzunligiga bog'liqlik tasvirlangan.

Spektrdan ko'rinadiki, infraqizil sohada optik zichlikning maksimumlari kuzatiladi. Molekulalarning yadrolari o'zaro nisbiy qat'iy holatdan chetda doimiy tebranma harakatda bo'ladi. Ushbu tebranishlarning muhim xususiyati shundaki, ular cheklangan miqdordagi asosiy tebranishlar (normal modalar) orqali tavsiflanadi. Suv molekulasida uchta normal modaga ega.



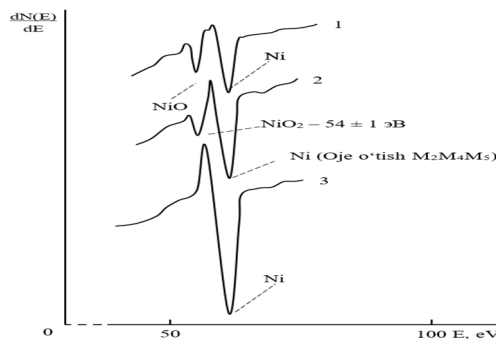
3-rasm. Optik zichlik λ ga spektrlari: a) nikel nanozarrachalar bilan aralashgan kolloid muhitining optik zichligini λ ga bog'liqlik eritma spektri; b) Nikel nanozarrachalarining optik zichligini to'liq uzunlikka bog'liqlik.

ν_1 (OH) va ν_3 (OH) tebranishlarida yadrolarning harakati asosan O–H bog'lari yo'nalishi bo'ylab sodir bo'ladi, ν_2 (OH) tebranishida esa vodorod (H) yadrolari O–H bog'lariga deyarli perpendikulyar yo'nalishda harakatlanadi.

Gidroksil guruhi – OH infraqizil (IK) sohada kuchli yorug'likni yutish qobiliyatiga ega. Ushbu guruhlar o'zining qutblanganligi sababli odatda bir-biri bilan yoki boshqa qutbli guruhlar bilan o'zaro ta'sirlashib, ichki va molekulararo vodorod bog'lanishlarni hosil qiladi. Vodorod bog'lanishida ishtirok etmaydigan gidroksil guruhlar spektrda tor polosalar hosil qiladi, bog'langan guruhlar esa 0,7–2 μm diapazonda keng va intensiv yutilish polosalarini beradi [11 - 14].

3, b-rasmda olingan nikel nanozarrachalarining yorug'likni yutish piki kuzatiladi (natijaviy spektrdan suv spektri ayirib tashlangan). Ushbu nanozarrachalar tizimi uchun plazmon rezonansi taxminan 250 nm to'liq uzunligida yuzaga keladi. Mazkur yutilish polosasi asosan o'lchami 50 nm gacha bo'lgan nanozarrachalarga tegishli bo'lib, ularni konsentratsiyasi boshqa o'lchamli nanozarrachalar konsentratsiyasidan ancha katta bo'lganligi bilan bog'liq.

Lazer ablyatsiyasi natijasida hosil qilingan nikel nanozarrachalari kukuni yuqori harorat ostida va yuqori bosim bilan presslash usuli yordamida tabletka ko'rinishiga keltirildi. Tayyorlangan nikel kukuli tabletkani elementar tarkibi elektron oje spektroskopiyasi usulida o'rganildi (4-rasm).



4-rasm. Nikel tabletkasining elektron oje spektri: 1-xona harorati; 2-700 K haroratda termik ishlov berilgan; 3-850 K haroratda termik ishlov berilgan

Spektrdan ko'rinib turibdiki, dastlab 54 eV va 61 eV energiyalarda NiO₂, Ni ga tegishli cho'qqilar hosil bo'ldi. Namuna 700 K haroratda 5 soat davomida termik ishlov berilganda spektrdan NiO₂ ga tegishli cho'qqi intensivligini kamayganligini ko'rish mumkinligi, Ni ga tegishli Oje cho'qqi intensivligi ortganligini ko'rish mumkin. Bunga sabab, fikrimizcha namuna sirti termik qizdirilganda sirt kislorod atomlaridan qisman tozalanadi, ya'ni kislorod atomlari namuna sirtidan ajrilar chiqib boshlaydi. Namuna 850 K haroratda 8-9 soat davomida termik ishlov berilgandan keyin olingan Oje spektrdan ko'rinadiki, 61 eV energiyada Ni ga tegishli Oje cho'qqi mavjud. Bu esa sirt boshqa kirishma atomlardan tozalanligidan dalolat beradi [16,17]. Demak, namunalarning fizik tabiatiga qarab turli haroratlarda termik qizdirish yordamida sirtini har xil kirishma atomlardan tozalash mumkin ekanligi aniqlandi.

Xulosalar. Distillangan suv muhitida nikel nanozarrachalarining lazer yordamida sintezi amalga oshirildi. Suv muhitida joylashgan nikel nishonining 1064 nm to'lqin uzunligiga ega bo'lgan alyuminiy-ittriy granatali (LS-2134D) lazer nurlanishi bilan ikki impulsli rejimda (impuls orasidagi vaqt oraligi 3 mks, impuls davomiyligi 10 ns, impuls takrorlanish chastotasi 10 Hz, yakka impuls energiyasi taxminan 0,05 J) 1000–1200 J kiritilgan energiya va 16–20 minut ta'sir vaqti oralig'ida ablyatsiyasi natijasida hosil bo'lgan nanozarrachalarning morfologiyasi o'rganildi.

Lazer ablyatsiyasi jarayonida turli o'lchamdagi parallelepiped shaklidagi nanozarrachalar to'plami hosil bo'lishi aniqlandi.

Tizimning optik xossalari nikel nanozarrachalari kolloid eritmasida nolinear effektlar mavjudligini ko'rsatdi.

Ablyatsiya jarayoni va nikel nanozarrachalarini sintez qilishni boshqarish imkoniyati namoyish etildi hamda turli amaliy yo'nalishlarda qo'llash uchun samarali nanozarrachalar generatsiyasiga erishildi.

ADABOYOTLAR

1. Вейко, В.П. Лазерные технологии в микроэлектронике / В.П.Вейко, С.М.Метев. София: Болгарская Академия наук, 1991. 358 с.
2. Воробьев, В.С. Плазма, возникающая при взаимодействии лазерного излучения с твердыми мишенями / В.С. Воробьев // УФН. 1993. Т. 163(12). С. 51–83.
3. Жиряков Б.М., Рыкалин Н.Н., Углов А.А. О некоторых особенностях процессов разрушения металлов сфокусированным излучением лазера // ЖТФ. -1971. -Т. 41.- С. 1037–1042.
4. Симакин А.В., Воронов В.В., Шафеев Г.А. Образование наночастиц при лазерной абляции твердых тел в жидкостях // Труды института общей физики им. Прохорова, 2004. -Т. 60.- С. 83-107.
5. Гончаров, В.К., Козадаев К.В., Маркевич М.И., Пузырев М.В., Славашевич Д.Л., Чапланов А.М. Возможности получения наночастиц никеля в водной среде с помощью лазерного воздействия / В.К.Гончаров, К.В.Козадаев, М.И.Маркевич, М.В.Пузырев, Д.Л.Славашевич, А.М.Чапланов // Инженерно-физический журнал.- 2008 г. - Т.81.- №2.- С. 206-210.
6. Markevich, M.I. In sulphurous liquids under action of shock waves / M.I.Markevich, F.A. Piskunov // High Power Laser Science and Engineering.- 1995.- Czech R. NATO Advanced study institute.- Karlovy Vary.- P.49.
7. Гончаров В.К., Козадаев К.В., Маркевич М.И., Пузырев М.В., Чапланов А.М. Формирование коллоидных растворов металлов в воде методом лазерной абляции / В.К. Гончаров, К.В. Козадаев, М.И. Маркевич, М.В. Пузырев, А.М. Чапланов //Актуальные проблемы физики твердого тела.- Минск.-2009.- С. 381-382.
8. Казилин, Е.Е., Маркевич, М.И., Конкин, С.В., Чапланов, А.М., Фолманис, Г.Э., Иванов, Л.И., Коваленко, Л.В. Исследование коллоидных растворов селена, созданных по лазерной технологии /Е.Е. Казилин, М.И. Маркевич, С.В. Конкин, А.М. Чапланов, Г.Э. Фолманис, Л.И. Иванов, Л.В. Коваленко // Перспективные материалы, 2008.-№3.- С. 60-63.
9. Гладких, П.В. Абляция и фрагментизация золотых наночастиц под действием интенсивного лазерного облучения в спектральных областях дипольного и квадрупольного плазмонных резонансов/П.В. Гладких, И.А. Гладких, М.А. Баранов, Т.А. Вартанян //Оптика и спектроскопия.-2020.-Т.128.-вып.6.-с.707-712.
10. Ораевский, А.А. О плазмонном резонансе в наночастицах эллипсоидной формы /А.А. Ораевский, А.Н. Ораевский//Квантовая электроника. 2002.-т.32.-№1.-с.79-82.
11. Карякин А.В. Кривенцова Г.А. Состояние воды в органических и неорганических соединениях. М. 1973. 175с.
12. Привалов П.Л. Вода и ее роль в биологических системах. // Биофизика 1968. т.13. №1. с.163-177.
13. Митчелл Дж., Смит Д. Акватметрия: Пер. с англ. М. 1980. 600с.
14. Эйзенберг Д., Кауцман В. Структура и свойства воды.: Пер. с англ. Л. 1975. 280 с.
15. Abduvaitov A.A., Boltaev Kh.Kh. // Technical Phys. 2015. V.60. №4. P.621. Doi: 10.1134/S1063784215040027
16. Abduvaitov A.A., Imanova G.T., Boltaev Kh.Kh., Umirzakov B.E., Tashmukhamedova D.A., Abdurakhmanov G. Advanced Physical Research, 2024, Vol.6, No.1, pp.36-41. <https://doi.org/10.62476/apr61.41>
17. Abduvayitov A.A., Boltaev Kh.Kh., Umirzakov B.E., Tashmukhamedova D.A., Abdurakhmanov G. Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2024. Vol. 88. Iss. 11. P. 1850 – 1854. Doi: 10.1134/S1062873824708353