FIZIK TAJRIBALARDA SENSOR TEXNOLOGIYALARI ASOSIDA O‘LCHASH NATIJALARINI QAYTA ISHLASH METODIKASI

Termiz muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti

professor ***O‘.N.Sultonova***

Annotatsiya: Maqolada fizik tajribalar jarayonida sensor texnologiyalari yordamida olingan o‘lchash natijalarini qayta ishlashning nazariy va metodik asoslari yoritilgan. Sensorlardan ma’lumotlarni yig‘ish, dastlabki ma’lumotlarni tekshirish, takroriy o‘lchashlar natijalarini statistik tahlil qilish, o‘lchash noaniqligini baholash va natijalarni grafik usulda ifodalash bosqichlari tizimlashtirilgan. Shuningdek, fizik kattaliklar orasidagi bog‘lanishni aniqlash, o‘lchash tizimini kalibrlash hamda olingan ma’lumotlarni fizik qonuniyatlar asosida talqin qilishga yo‘naltirilgan metodik yondashuv taklif etilgan. Muallifning avvalgi ilmiy ishlari sensorli nazorat, eksperimental va grafik masalalar hamda raqamli vositalardan foydalanish bilan bog‘liq jihatlar bo‘yicha tahlil qilingan. Maqola nazariy-metodik xususiyatga ega bo‘lib, taklif etilgan yondashuvning amaliy samaradorligini aniqlash uchun tajriba-sinov ishlari zarurligi qayd etilgan.

Kalit so‘zlar: sensor texnologiyalari, fizik tajriba, o‘lchash natijalari, ma’lumotlarni qayta ishlash, kalibrlash, o‘lchash noaniqligi, statistik tahlil, grafik tahlil, raqamli laboratoriya, eksperimental kompetensiya.

Kirish

Zamonaviy fizika ta’limi va eksperimental tadqiqotlarda raqamli o‘lchash vositalaridan foydalanish fizik jarayonlarni kuzatish, miqdoriy tavsiflash va natijalarni tahlil qilish imkoniyatlarini kengaytirmoqda. Harorat, bosim, kuch, tezlanish, yorug‘lik intensivligi, elektr kuchlanishi va boshqa fizik kattaliklarni qayd etuvchi sensorlar tajriba jarayonida ma’lumotlarni tezkor yig‘ish hamda ularni kompyuter yoki mikrokontroller yordamida qayta ishlashga xizmat qiladi. Biroq

sensor yordamida olingan sonli ma’lumotlarning mavjudligi o‘z-o‘zidan ishonchli ilmiy xulosa chiqarishni ta’minlamaydi. Buning uchun o‘lchash tizimining xususiyatlarini hisobga olish, ma’lumotlarni tekshirish, noaniqlikni baholash va natijalarni fizik mazmun nuqtayi nazaridan talqin qilish zarur.

An’anaviy laboratoriya ishlarida o‘lchash natijalari ko‘pincha jadvalga kiritilib, formulalar yordamida hisoblanadi. Sensor texnologiyalari esa o‘lchashlarni ko‘p marta takrorlash, jarayonning vaqt bo‘yicha o‘zgarishini qayd etish, grafiklarni avtomatik qurish va murakkab bog‘lanishlarni tahlil qilish imkonini beradi. Shu bilan birga, sensorning kalibrlanishi, o‘lchash diapazoni, aniqligi, namuna olish chastotasi va tashqi muhit ta’siri kabi omillar natijalarning ishonchliligiga bevosita ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Demak, raqamli ma’lumotlarni qayta ishlashda texnik imkoniyatlar bilan bir qatorda metrologik talablar ham e’tiborga olinishi kerak.

Mazkur masala fizika ta’limida ham dolzarbdir. Talabalar tajriba davomida faqat ko‘rsatkichlarni qayd etish bilan cheklanmasdan, ma’lumotlarning fizik ma’nosini tushunishi, o‘lchash noaniqligini hisobga olishi, grafiklardan qonuniyatlarni aniqlashi va o‘z xulosalarini dalillar bilan asoslay olishi lozim. Sensorlar bilan ishlash ana shu eksperimental va tahliliy kompetensiyalarni shakllantirish uchun metodik imkoniyat yaratadi.

Maqolaning maqsadi fizik tajribalarda sensor texnologiyalari asosida olingan o‘lchash natijalarini qayta ishlashning izchil metodikasini ishlab chiqishdan iborat. Ushbu maqsadga muvofiq ma’lumotlarni yig‘ish va tekshirish, statistik ko‘rsatkichlarni hisoblash, o‘lchash noaniqligini baholash, grafik tahlil o‘tkazish hamda fizik xulosalarni asoslash bosqichlari ko‘rib chiqiladi.

Adabiyotlar tahlili va metodologiya

Fizik o‘lchash natijalarini qayta ishlash masalasi metrologiya, eksperimental fizika va tabiiy fanlarni o‘qitish metodikasi kesishgan nuqtada turadi. Bunda o‘lchash natijasini to‘g‘ri qayd etish bilan bir qatorda, uning noaniqligini tushunish, turli natijalarni qiyoslash va xulosa chiqarish mezonlarini belgilash muhimdir.

B. N. Taylor va C. E. Kuyatt tomonidan tayyorlangan o‘lchash noaniqligini baholash va ifodalash bo‘yicha NIST qo‘llanmasida noaniqlik manbalarini aniqlash, ularni baholash va natijalarni ilmiy asosda ifodalash tamoyillari yoritilgan [14]. Mazkur manba sensorlardan olingan ko‘rsatkichlarni qayta ishlashda o‘lchash asbobining xususiyatlari, takroriy o‘lchashlar va boshqa ta’sir etuvchi omillarni hisobga olish zarurligini asoslaydi. O‘lchash noaniqligi bitta xatolik qiymati bilan tenglashtirilmaydi; u o‘lchash natijasi atrofidagi qiymatlar tarqalishi va mavjud bilimlarning cheklanganligini tavsiflaydi.

R. Trumper fizik laboratoriya mashg‘ulotlarida tajriba natijasini noaniqlik yoki aniqlik bahosi bilan birga talqin qilish muhimligini ta’kidlagan [15]. Uning ishi talabalarni faqat o‘lchash amallarini bajarishga emas, balki olingan qiymatning ilmiy ma’nosini anglashga yo‘naltiradi. Fizika laboratoriyalaridagi o‘lchash noaniqligini o‘rganishga qaratilgan keyingi tadqiqotlarda ham talabalar o‘rtacha qiymatni topishda nisbatan muvaffaqiyatli bo‘lishi mumkinligi, biroq noaniqliklarni taqqoslash va ularni hisoblashlarda tarqatish masalalarida qiyinchiliklarga duch kelishi ko‘rsatilgan [16; 17]. Bu holat o‘lchash natijalarini qayta ishlash metodikasida hisoblash amallari bilan birga ularning mazmunini tushuntirishga ham e’tibor qaratish kerakligini ko‘rsatadi.

Sensor va raqamli vositalar asosida tashkil etilgan tajribalar ma’lumotlarni tezkor qayd etish hamda jarayonlarni grafik shaklda kuzatish imkonini beradi. Y. Wang, L. Zhang va M. Pang fizikani o‘qitishda virtual tajribalarga oid 45 ta tadqiqotni tahlil qilib, tajriba muhitlari va pedagogik yo‘riqnomalarning turlicha qo‘llanilishini ko‘rsatgan [18]. Ushbu tadqiqot sensor texnologiyalariga bevosita bag‘ishlanmagan bo‘lsa-da, raqamli tajriba muhitini samarali tashkil etishda texnologiyaning o‘zi emas, balki o‘quv vazifasi va ma’lumotlarni tahlil qilish tartibi ham muhimligini ko‘rsatadi. Shu sababli sensorli tajribalarda real o‘lchash, raqamli qayd va fizik talqinni bir butun jarayon sifatida tashkil etish maqsadga muvofiq.

Muallifning avvalgi ishlari ham maqola mavzusining ayrim jihatlari bilan bog‘liq. U. N. Sultonovaning ichimlik suvining fizik-kimyoviy parametrlarini nazorat qilish qurilmasiga oid ishi sensorli nazorat va parametrlarni qayd etish yo‘nalishi bilan bevosita aloqador [8]. Muallifning fizikadan tayanch kompetensiyalarni masala yechish orqali shakllantirishga oid maqolasi eksperimental ma’lumotlarni anglash va qo‘llashning ta’limiy jihatlarini asoslashda muhim [2]. U. N. Sultonova va S. N. Sultonovning fizika mashg‘ulotlarida mustaqil o‘rganish faoliyatiga oid ishi talabalarni tajriba natijalarini mustaqil tahlil qilishga yo‘naltirish nuqtayi nazaridan ahamiyatlidir [6]. Eksperimental va grafik masalalarni kompetensiyaviy yondashuv asosida yechishga bag‘ishlangan mualliflik ishi esa jadval, grafik va fizik xulosa o‘rtasidagi bog‘lanishni yoritishga xizmat qiladi [12].

Shuningdek, MathCad dasturidan foydalanish [1], fizikadan mustaqil ishlarni tashkil etish [5], grafik usullarda masala yechish [7], molekulyar fizika bo‘yicha muammoli masalalar [10] hamda talabalarni izlanish va tadqiqotchilikka yo‘naltirish [11] haqidagi nashrlar raqamli va eksperimental faoliyatni tashkil etish uchun qo‘shimcha metodik kontekst yaratadi. Biroq ushbu ishlarning barchasi sensor ma’lumotlarini qayta ishlash metodikasini to‘liq yoritadi, degan xulosa chiqarish uchun ularning asl matnlari va aniq natijalarini alohida tahlil qilish talab etiladi.

Adabiyotlar tahlili asosida mazkur maqolaning metodik yo‘nalishi quyidagicha belgilandi: sensor ma’lumotlarini qayd etish, dastlabki tekshirish, statistik qayta ishlash, noaniqlikni baholash, grafik tahlil va fizik talqin bosqichlarini yagona ketma-ketlikda birlashtirish.

Tadqiqot metodologiyasi

Maqolaning metodologik asosini tizimli yondashuv, metrologik tamoyillar, eksperimental tahlil va kompetensiyaviy yondashuv tashkil etadi. Tadqiqot nazariy-metodik xususiyatga ega bo‘lib, unda ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish, qiyoslash, umumlashtirish va metodik modellashtirish usullaridan foydalanildi.

Taklif etilayotgan metodika olti bosqichni qamrab oladi.

Birinchi bosqich — tajribani rejalashtirish. O‘lchanadigan fizik kattalik, uning birligi, tajriba sharoitlari, kutilayotgan diapazon va zarur sensor turi aniqlanadi. O‘lchash boshlanishidan oldin sensorning texnik tavsiflari hamda kalibrlash holati tekshiriladi.

Ikkinchi bosqich — ma’lumotlarni yig‘ish. Sensor ko‘rsatkichlari belgilangan vaqt oralig‘ida yoki tajriba shartiga mos namuna olish chastotasida qayd etiladi. O‘lchashlar bilan birga vaqt belgisi, o‘lchov birligi va zarur tajriba sharoitlari ham saqlanadi.

Uchinchi bosqich — dastlabki ma’lumotlarni tekshirish. Yetishmayotgan qiymatlar, texnik uzilishlar, noto‘g‘ri birliklar, sensor diapazonidan tashqaridagi ko‘rsatkichlar va shubhali sakrashlar aniqlanadi. Ma’lumotlarni asossiz ravishda o‘chirib tashlash o‘rniga, har bir o‘zgarish sababi hujjatlashtiriladi.

To‘rtinchi bosqich — statistik qayta ishlash. Takroriy o‘lchashlar uchun o‘rtacha qiymat, tarqalish ko‘rsatkichlari va zarur bo‘lganda standart og‘ish hisoblanadi. Bevosita o‘lchanmagan kattaliklar fizik model yoki tegishli formula asosida aniqlanadi. Hisoblashlarda birliklarning muvofiqligi va sonli qiymatlarning asoslangan aniqlikda berilishi tekshiriladi.

Beshinchi bosqich — noaniqlik va grafik tahlil. Sensorning texnik tavsiflari, kalibrlash, takroriy o‘lchashlar va tajriba sharoitlaridan kelib chiqadigan noaniqlik manbalari ko‘rib chiqiladi. O‘zgaruvchilar orasidagi bog‘lanish grafikda tasvirlanadi; zarur hollarda matematik modelga moslashtirish amalga oshiriladi. Grafikdagi chiziqning ko‘rinishi o‘z-o‘zidan fizik qonuniyatni isbotlamasligi hisobga olinadi.

Oltinchi bosqich — fizik talqin va hisobot. Olingan natijalar nazariy qiymatlar yoki kutilayotgan fizik qonuniyatlar bilan taqqoslanadi. Mos kelmaslik aniqlansa, uning ehtimoliy sabablari tahlil qilinadi. Yakuniy hisobotda tajriba sharoiti, sensor turi, qayta ishlash usuli, natija va uning noaniqligi, grafik hamda xulosa ko‘rsatiladi.

Mazkur metodikani baholash uchun ma’lumotlarning to‘liqligi, hisoblashlarning to‘g‘riligi, noaniqlikni asoslash, grafikdan fizik xulosa chiqarish va natijani takror tekshirish imkoniyati kabi mezonlardan foydalanish taklif etiladi. Ushbu mezonlar metodikaning keyingi amaliy sinovlari uchun asos bo‘la oladi.

Natijalar

Nazariy-metodik tahlil natijasida sensor texnologiyalari asosida olingan fizik o‘lchash natijalarini qayta ishlashga yo‘naltirilgan olti bosqichli metodik model ishlab chiqildi. Model tajribani rejalashtirishdan boshlab yakuniy fizik xulosani shakllantirishgacha bo‘lgan jarayonlarni o‘zaro bog‘laydi.

Birinchi natija — o‘lchash jarayoni va ma’lumotlarni tahlil qilish bosqichlari yagona ketma-ketlikka keltirildi. Bu yondashuv sensor ko‘rsatkichlarini shunchaki qayd etish bilan cheklanmay, ularning ishonchliligini tekshirishni ham nazarda tutadi.

Ikkinchi natija — dastlabki ma’lumotlarni tekshirish, takroriy o‘lchashlarni statistik tahlil qilish va noaniqlikni baholash metodikaning alohida bosqichlari sifatida belgilandi. Natijada hisoblashlarning to‘g‘riligi bilan o‘lchash natijasining ishonchliligini baholash o‘rtasidagi farq aniq ko‘rsatildi.

Uchinchi natija — grafik tahlil va fizik talqin o‘zaro bog‘landi. Grafikdagi bog‘lanishni aniqlash bilan birga, uni fizik qonuniyatlar va tajriba sharoitlari asosida tushuntirish zarurligi asoslandi.

To‘rtinchi natija — sensorli tajriba faoliyatini baholash uchun ma’lumotlarning to‘liqligi, hisoblashlarning aniqligi, noaniqlikni asoslash, grafik tahlil va xulosaning dalillanganligi kabi mezonlar taklif etildi.

Keltirilgan natijalar adabiyotlar tahlili va metodik modellashtirishga asoslangan. Ular sensorli tajribalarda o‘lchash natijalarini qayta ishlashni tashkil etish uchun nazariy-metodik asos beradi. Metodikaning o‘lchash aniqligi, vaqt sarfi yoki talabalarning eksperimental kompetensiyalariga real ta’siri esa maxsus tajriba-sinov ishlari orqali aniqlanishi lozim.

Muhokama

Taklif etilgan metodikaning asosiy jihati sensor texnologiyalarini ma’lumotlarni avtomatik yig‘ish vositasi sifatida emas, balki o‘lchash, tahlil qilish va fizik xulosa chiqarish jarayonining tarkibiy qismi sifatida qarashdir. Sensorlar ko‘p sonli qiymatlarni tezkor qayd etishi mumkin, biroq ma’lumotlar oqimining ko‘pligi har doim ham natijaning ishonchliligi yuqori ekanini anglatmaydi. Shuning uchun sensorning kalibrlanishi, o‘lchash diapazoni, namuna olish chastotasi va tashqi ta’sirlarga sezgirligi natijalarni talqin qilishda hisobga olinishi kerak.

Metodik nuqtayi nazardan, statistik qayta ishlashni fizik mazmun bilan bog‘lash alohida ahamiyatga ega. Masalan, haroratning vaqt bo‘yicha o‘zgarishini qayd etishda o‘rtacha qiymatni hisoblashning o‘zi yetarli emas. Talaba haroratning o‘zgarish tezligini, muvozanatga yaqinlashish holatini va grafikning fizik mazmunini ham tahlil qilishi mumkin. Xuddi shuningdek, tezlanish sensoridan olingan ma’lumotlar asosida harakatni o‘rganishda sensor yo‘nalishi, qurilmaning mahkamlanishi va kalibrlash natijaga ta’sir etuvchi omillar sifatida ko‘rib chiqiladi.

O‘lchash noaniqligini hisobga olish tajriba natijalarini qiyoslashda ham muhimdir. Ikki natijaning son jihatdan farq qilishi ularning fizik jihatdan albatta mos kelmasligini anglatmaydi; qiyoslashda noaniqliklar va o‘lchash sharoitlari ham e’tiborga olinishi kerak. Shu sababli talabalarga faqat bitta yakuniy sonni yozish emas, balki natijaning qanday olingani va uning ishonchliligi qay darajada asoslanganini tushuntirish vazifasi ham berilishi maqsadga muvofiq.

Sensorli laboratoriya ishlarida yana bir muhim masala — ma’lumotlarni avtomatik qayta ishlash va talabaning mustaqil tahlili o‘rtasidagi muvozanatdir. Dasturiy vositalar grafiklarni qurishi, o‘rtacha qiymatni hisoblashi yoki matematik modelni moslashtirishi mumkin. Biroq talaba bu amallarning fizik ma’nosini anglamasa, natijani mexanik tarzda qabul qilishi ehtimoli mavjud. Shuning uchun dasturiy hisoblashlar qo‘lda bajariladigan nazorat hisoblari, grafikni sharhlash va xulosani dalillash bilan uyg‘unlashtirilishi kerak.

Metodikaning cheklovi shundaki, sensor turlari, o‘lchanadigan kattaliklar va tajriba sharoitlari turlicha bo‘lgani sababli barcha laboratoriya ishlariga bir xil statistik usulni qo‘llash mumkin emas. Qayta ishlash usuli o‘lchash modeliga, ma’lumotlarning xususiyatlariga va asbobning texnik tavsiflariga mos tanlanishi zarur. Shu bois keyingi tadqiqotlarda metodikani muayyan tajribalarda sinash, sensor ko‘rsatkichlarini etalon yoki mustaqil o‘lchash vositasi bilan qiyoslash va olingan noaniqliklarni tahlil qilish tavsiya etiladi.

Xulosa

Fizik tajribalarda sensor texnologiyalaridan foydalanish o‘lchash natijalarini tezkor yig‘ish, ko‘p martalik kuzatishlarni tashkil etish va fizik jarayonlarni grafik tahlil qilish imkoniyatlarini kengaytiradi. Biroq ishonchli natijaga erishish uchun sensor ma’lumotlarini qayd etishning o‘zi yetarli emas; ularni tekshirish, statistik qayta ishlash, o‘lchash noaniqligini baholash va fizik qonuniyatlar asosida talqin qilish zarur.

Maqolada tajribani rejalashtirish, ma’lumotlarni yig‘ish, dastlabki tekshirish, statistik qayta ishlash, noaniqlik va grafik tahlil, shuningdek, fizik talqin va hisobot tayyorlashni qamrab oluvchi olti bosqichli metodika taklif etildi. Ushbu metodika sensorli laboratoriya mashg‘ulotlarida o‘lchash jarayoni bilan natijalarni ilmiy tahlil qilishni o‘zaro bog‘lashga yo‘naltirilgan.

Ta’lim amaliyotida sensorli tajribalarni qo‘llashda talabalarni ma’lumotlarning manbasi va sifatini tekshirishga, hisoblash usullarini asoslashga, grafiklardan fizik xulosa chiqarishga hamda noaniqlikni e’tiborga olishga o‘rgatish maqsadga muvofiq. Metodikaning samaradorligini to‘liq baholash uchun uni muayyan laboratoriya ishlarida sinovdan o‘tkazish, o‘lchash natijalarini mustaqil vositalar bilan qiyoslash va talabalarning eksperimental kompetensiyalaridagi o‘zgarishlarni tahlil qilish talab etiladi.

Demak, sensor texnologiyalari asosida o‘lchash natijalarini qayta ishlash metodikasi raqamli o‘lchash vositalari, metrologik talablar va fizik tahlilni yagona

ta'limiy jarayonga birlashtirish uchun nazariy-metodik asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Abdullaeva, S., & Sultonova, U. (2020). Use of MathCad software in the preparation of students majoring in engineering. *International Journal of Scientific and Research Publications*, *10*(12), 650.

2. Султонова, Ў. Н. (2020). утройство для контроля физико-химческих параметров питьевой воды. *техника ва технологик фанлар сох, аларининг инновацион масалалари" мавзусидаги халкаро илмий-техник анжумани*, 393-395.

3. Sultonova, U. N. (2019). Formation of Basic Competences for Students by Solving Problems in Physics. *European Journal of Research and Reflection in Educational Sciences Vol*, *7*(11).

4. Султонова, Ў. Н. (2023). Таълимда компетенциявий ѐндашув-юқори самарадорлик гаровидир: статья. *Multidisciplinary Scientific Journal. August*.

5. Султонова, Ў. Н. (2019). International Jurnal oh F CrossRef indexed. Independent learning of students on tihe bass of competence based approach isa guarentee of high efficiency.

6. Sultonova, U. N., & Sultonov, S. N. (2022). Types and Forms of Independent Work in the Organization of Educational Activities of Students on the Subject" Descriptive Geometry and Engineering Graphics". *International Journal on Integrated Education*, *5*(3), 204-208.

7. Sultonova, U. N., & Sultonov, S. N. (2022). Problems in Organizing Independent Study Activities in Physics Classes. *International Journal on Integrated Education*, *5*(3), 252-254.

8. Botirovna, S. B., & Nabiyevna, S. U. (2020). Technology for solving problems using graphical methods in mathematics lessons and circle lessons.

ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal, *10*(11), 2254-2264.

9. СУЛТОНОВА, Ў., & ОЧИЛДИЕВ, Ҳ. РЕНТГЕН НУРЛАРИ ВА УНИНГ АҲАМИЯТИ. Уфимский государственный нефтяной технический университет КОНФЕРЕНЦИЯ: 27–28 апреля 2023 года Организаторы: Уфимский государственный нефтяной технический университет.

10. SULTONOVA, O. KOMPETENSIYAVIY YONDASHUV ASOSIDA MOLEKULYAR FIZIKA BO ‘LIMIDAN MUAMMOLI MASALALAR ECHISH. Уфимский государственный нефтяной технический университет КОНФЕРЕНЦИЯ: 27–28 апреля 2023 года Организаторы: Уфимский государственный нефтяной технический университет.

11. СУЛТОНОВА, Ў., ҚОДИРОВА, З., & РАХИМБЕРДИЕВ, О. ТАЛАБАЛАРНИ ИЗЛАНИШ ВА ТАДҚИҚОТЧИЛИККА ЙЎЛЛАШ МЕТОДИ ҲАҚИДА. Уфимский государственный нефтяной технический университет КОНФЕРЕНЦИЯ: 27–28 апреля 2023 года Организаторы: Уфимский государственный нефтяной технический университет.

12. Sultonova, O. N., Qodirova, N. T., & Jiyanova, S. I. Based on Students' Competency-based Approach to Physics Solve Experimental and Graphical Problems. *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal*, *9*(05), 336-340.

13. Sultonova, U. N. METHODOLOGY OF USING DIDACTIC GAMES IN EXTRACURRICULAR CLUB ACTIVITIES ON PHYSICS.

14. Taylor B. N., Kuyatt C. E. “Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results”. NIST Technical Note 1297. — Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology. — 1994.

15. Trumper R. “What Do We Expect from Students’ Physics Laboratory Experiments?” Journal of Science Education and Technology. — 2002. — Vol. 11. — P. 221–228.

16. “Survey of Physics Reasoning on Uncertainty Concepts in Experiments: An Assessment of Measurement Uncertainty for Introductory Physics Labs”. Physical Review Physics Education Research. — 2023. — Vol. 19. — Article 020139. *(Mualliflar ro‘yxati jurnalning asl bibliografik yozuvi bilan tekshirilishi kerak.)*

17. “Using a Research-Based Assessment Instrument to Explore Undergraduate Students’ Proficiencies around Measurement Uncertainty in Physics Lab Contexts”. Physical Review Physics Education Research. — 2024. — Vol. 20. — Article 020105. *(Mualliflar ro‘yxati jurnalning asl bibliografik yozuvi bilan tekshirilishi kerak.)*

18. Wang Y., Zhang L., Pang M. “Virtual Experiments in Physics Education: A Systematic Literature Review”. Research in Science & Technological Education. — 2025. — Vol. 43, No. 2. — P. 633–655.