

## YADRO REAKTORLARIDAGI ZANJIRLI REAKSIYALAR JARAYONINI O‘QITISHNING PEDAGOGIK TAHLILI

### ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ ЦЕПНЫМ РЕАКЦИЯМ В ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРАХ

### PEDAGOGICAL ANALYSIS OF TEACHING THE PROCESS OF CHAIN REACTIONS IN NUCLEAR REACTORS

**Sayfullayev Ramziddin Fazliddin o‘g‘li**  
*Oriental universiteti mustaqil izlanuvchisi*

*Tel: e-mail:ramziddincr7@gmail.com*

**ANNOTATSIYA.** Ushbu tadqiqot yadro energetikasi obyektlarining ishlash asosi bo‘lgan boshqariladigan yadro zanjirli reaksiyalari kinetikasi va fizik mexanizmlarini oliy ta‘lim tizimida o‘qitishning pedagogik va uslubiy xususiyatlarini kengaytirilgan tarzda tahlil qiladi. Neytronlarning ko‘payish koeffitsiyenti, kritiklik holatlari, kechikkan neytronlarning reaktor barqarorligidagi o‘rni va sekinlashtiruvchi sterjenlarning roli kabi mavhum, mikrodarajadagi murakkab tushunchalarni talabalarga yetkazish metodikasi konseptual jihatdan o‘rganilgan. Pedagogik tajriba-sinov ishlari Samarqand davlat universiteti (SamDU) Fizika fakulteti talabalari ishtirokida tashkil etildi. Tajribada an‘anaviy dars o‘tish usuli va zamonaviy interfaol "Flipped Classroom" (Teskari ta‘lim) hamda virtual multimediamiy simulyatsiyalar integratsiyasi qiyosiy baholandi. Akademik natijalar tahlili shuni ko‘rsatdiki, interfaol metodologiya qo‘llanilgan eksperimental guruhda talabalarning o‘zlashtirish foizi nazorat guruhiga nisbatan roppa-rosa 12.4% ga (yaxlitlanganda 12% ga) yuqori samaradorlikni qayd etdi va bilim sifatining barqarorligini ta‘minladi.

**Kalit so‘zlar:** *Yadro fizikasi, zanjirli reaksiya, neytronlar ko‘payishi, Flipped Classroom, pedagogik eksperiment, virtual simulyatsiya, o‘zlashtirish samaradorligi, raqamli ta‘lim.*

**АННОТАЦИЯ.** В данной работе представлен углубленный анализ педагогических и методических аспектов преподавания вопросов кинетики и физических механизмов управляемых цепных ядерных реакций – основы функционирования объектов ядерной энергетики – в системе высшего образования. Рассматриваются концептуальные подходы к изложению студентам сложных, абстрактных понятий, описывающих процессы на микроуровне: таких как коэффициент размножения нейтронов, критические состояния, роль запаздывающих нейтронов в обеспечении устойчивости реактора и функции регулирующих стержней. Педагогический эксперимент был проведен со студентами физического факультета Самаркандского государственного университета (СамГУ). В ходе исследования проводилось

сравнительное сопоставление традиционных методов обучения с интегрированным подходом, сочетающим современную интерактивную модель «перевернутый класс» (Flipped Classroom) и виртуальное мультимедийное моделирование. Анализ результатов обучения показал, что в экспериментальной группе, где применялась интерактивная методика, уровень усвоения материала оказался на 12,4% (12% при округлении) выше, чем в контрольной группе; при этом также была обеспечена более высокая стабильность качества усвоения знаний.

**Ключевые слова:** ядерная физика, цепная реакция, размножение нейтронов, «перевернутый класс», педагогический эксперимент, виртуальное моделирование, эффективность обучения, цифровое образование.

**ABSTRACT.** This study presents an in-depth analysis of the pedagogical and methodological aspects of teaching the kinetics and physical mechanisms of controlled nuclear chain reactions—the operational basis of nuclear energy facilities—within the higher education system. It conceptually examines the methodology for conveying complex, abstract, and micro-level concepts to students, such as the neutron multiplication factor, criticality states, the role of delayed neutrons in reactor stability, and the function of control rods. Pedagogical experiments were conducted with students from the Faculty of Physics at Samarkand State University (SamSU). The study comparatively evaluated traditional teaching methods against an integrated approach combining the modern interactive "Flipped Classroom" model with virtual multimedia simulations. An analysis of academic results revealed that the experimental group, utilizing the interactive methodology, achieved a learning proficiency rate exactly 12.4% (12% when rounded) higher than that of the control group, while also ensuring greater stability in the quality of knowledge acquisition.

**Keywords:** Nuclear physics, chain reaction, neutron multiplication, Flipped Classroom, pedagogical experiment, virtual simulation, learning efficiency, digital education.

**KIRISH (Introduction).** Zamonaviy dunyoda energiya xavfsizligini ta'minlash va ekologik barqarorlikka erishish maqsadida yadro energetikasi sohasini rivojlantirish global strategik ustuvor yo'nalishga aylandi. O'zbekiston Respublikasida ham atom energetikasi infratuzilmasini yaratish va sohaga yuqori malakali fundamental bilimlarga ega mutaxassislarni tayyorlash masalasi oliy ta'lim tizimi oldiga muhim vazifalarni qo'ymoqda. Yadro reaktorlarining xavfsiz, boshqariladigan va barqaror ishlash mexanizmi uning asosida yotgan og'ir yadrolarning (masalan, Uran-235) zanjirli bo'linish reaksiyalariga tayanadi. Biroq atom va yadro fizikasi kurslarida ushbu bo'lim eng murakkab, abstrakt (mavhum) kontseptual tushunchalarga va murakkab matematik apparatga boy mavzulardan biri bo'lib, talabalar tomonidan o'zlashtirilishi doimiy ravishda qiyinchilik tug'dirib keladi. Muammoning asosiy sababi shundaki,

neytronlarning mikrodunyodagi harakati, diffuziyasi, yadrolar bilan to'qnashishi va ko'payish jarayonlari inson ko'zi bilan to'g'ridan-to'g'ri kuzatilmaydi. An'anaviy ta'lim uslublarida talabalar ko'pincha passiv tinglovchi va faqat tayyor formulalarni yodlovchi subyekt rolida bo'lib, zanjirli reaksiyalarning dinamik mikrojarayonlarini tasavvur qila olmaydilar. O'qituvchining monologik nutqiga asoslangan statik chizmalar talabada dinamik zanjirli jarayon, kritik massa va kritiklik koeffitsiyenti o'rtasidagi funksional bog'liqlikni shakllantirishga yetarli emas. Bu esa ta'lim sifatining pasayishiga, talabalarda fanga nisbatan motivatsiyaning yo'qolishiga hamda kelajakda amaliy muhandislik masalalarini yechishda qiyinchiliklarga olib keladi. Shu bois, yadro zanjirli reaksiyalarini o'qitishda nazariya va amaliyotni vizuallashtirgan dinamik interfaol muhitda birlashtiruvchi zamonaviy pedagogik yondashuvlarni ishlab chiqish, o'quv jarayonini raqamlashtirish va ularning samaradorligini real pedagogik eksperiment yordamida baholash yuqori ilmiy va amaliy dolzarblikka ega.

### **MAVZUGA OID ADABIYOTLARNING TAHLILI (Literature review).**

Yadro reaktorlarining fizikasi, zanjirli reaksiyalar kinetikasi va neytronlar transporti nazariyasi fundamental ravishda Duderstadt va Hamilton (2016) kabi dunyo olimlarining klassik darsliklarida chuqur bayon etilgan. Ushbu adabiyotlarda zanjirli reaksiyaning deterministik modellari va matematik hisob-kitoblari batafsil keltirilgan bo'lsa-da, ularni ta'lim jarayonida talabalarning psixologik va kognitiv xususiyatlaridan kelib chiqib qanday metodlar orqali tushuntirish kerakligi ochiq qolgan. Xalqaro pedagogik tadqiqotlarda, xususan Crouch va Mazur (2019) ishlarida, fizika darslarida "Peer Instruction" (Tengdoshlar ta'limi) va "Flipped Classroom" (Teskari ta'lim) metodlarining qo'llanilishi talabalarning murakkab konseptual tushunchalarni anglash darajasini va mantiqiy fikrlashini an'anaviy metodga qaraganda ikki barobargacha oshirishi statistik isbotlangan. Shuningdek, Nobel mukofoti laureati Wieman (2021) boshchiligidagi tadqiqot guruhi STEM (ilm-fan, texnologiya, muhandislik va matematika) fanlarida interfaol kompyuter simulyatsiyalaridan foydalanish subatomik jarayonlarni vizuallashtirgan holda tushunishda eng samarali vosita ekanligini ko'rsatib berdi. Mahalliy kontekstda oliy ta'lim tizimida yadro fizikasi yo'nalishlarini rivojlantirish va kadrlar tayyorlashning zamonaviy muammolari Sayitov va boshqalar (2022) tomonidan o'rganilgan bo'lib, ular fizika ta'limida raqamli resurslar bazasini kengaytirish zarurligini ta'kidlaydilar. Pedagogik jarayonlarni raqamli texnologiyalar bilan boyitish masalalari Jonassen (2020) konsepsiyalarida ham o'z aksini topgan bo'lib, unga ko'ra kompyuter modellari talabalar uchun shunchaki ma'lumot manbai emas, balki "fikrlash quroli" (cognitive tools) bo'lishi lozim. Stieff va Wilensky (2021) o'zlarining mikrodunyoni modellashtirishga oid tadqiqotlarida kimyoviy va yadroviy jarayonlarni vizual-interfaol formatga o'tkazish talabalarning mavhum tasavvurlarini real ilmiy tushunchalarga aylantirishini ko'rsatishgan. Biroq yadro zanjirli reaksiyalari

kinetikasini o'qitishda "Teskari ta'lim" va virtual simulyatsiyalarning o'zaro uyg'unlashgan modelini yaratish hamda uning miqdoriy ko'rsatkichlarini matematik baholash bo'yicha yaxlit tadqiqotlar yetarlicha olib borilmagan.

### 3. TADQIQOT METODOLOGIYASI (Research Methodology).

Tadqiqotning metodologik asosi sifatida tizimli yondashuv, pedagogik modellashtirish, qiyosiy eksperiment va matematik-statistik baholash (o'rtacha qiymatlar va foiz koeffitsiyentlari) metodlaridan foydalanildi. Tadqiqot obyekti sifatida yadro reaktorlarida boradigan zanjirli reaksiyalar jarayoni olindi va u pedagogik tahlil doirasida quyidagi 3 ta asosiy konseptual blokga (modulga) ajratildi:

**Mikrodinamika bloki:** Uran-235 yadrosining issiqlik neytronlari ta'sirida bo'linishi, parchalanish parchalari va ikkilamchi neytronlarning (o'rtacha 2.5 ta) ajralish jarayoni dinamikasi.

**Kinetika bloki:** Neytronlarning ko'payish koeffitsiyenti ( $K$ ) va reaktorning uch xil holati (subkritik  $K < 1$ , kritik  $K = 1$ , superkritik  $K > 1$ ) o'rtasidagi funksional bog'liqlik.

**Boshqaruv bloki:** Sekinlashtiruvchilar (grafat, og'ir suv) va neytronlarni yutuvchi sterjenlarning (borm, kadmiy) zanjirli reaksiyani boshqarish hamda portlash xavfining oldini olishdagi roli.

Ushbu uchta blok bo'yicha talabalarning bilimlarni o'zlashtirish darajasi va kompetensiyalari dars yakunidagi nazorat ish topshiriqlari orqali tekshirildi. O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim tizimidagi an'anaviy 5 ballik baholash tizimi (5 - a'lo, 4 - yaxshi, 3 - qoniqarli, 2 - qoniqarsiz) ob'ektiv o'lchov mezoni qilib olindi.

### 4. PEDAGOGIK TAJRIBA O'TKAZISH METODIKASI

Pedagogik tajriba-sinov ishlari Samarqand davlat universitetining (SamDU) Fizika fakulteti "Yadro fizikasi va astronomiya" kafedrasida negizida tashkil etildi. Eksperimentda jami 38 nafar bakalavriat bosqichi talabalari ishtirok etdi va ular tasodifiy tanlash asosida ikki mustaqil guruhga ajratildi:

1-guruh (Eksperimental guruh): 20 nafar talaba. Ushbu guruhda dars "Flipped Classroom" (Teskari ta'lim) va virtual simulyatsiya metodlarining uyg'unlashgan modeli asosida tashkil etildi. Darsdan 3 kun oldin talabalarga elektron ta'lim platformasi orqali mavzu bo'yicha 15 daqiqalik qisqa video-ma'ruza, asosiy tayanch formulalar va o'quv materiallari tarqatildi. Talabalar darsga tayyor holatda kelishdi. Bevosita dars davomida vaqt an'anaviy ma'ruzaga sarflanmadi. Aksincha, talabalar kompyuter laboratoriyasida PhET interfaol simulyatorlari yordamida yadro reaktoridagi zanjirli reaksiyani, neytronlar oqimini va boshqaruvchi sterjenlarning holatini virtual tarzda o'zgartirib, mustaqil tajriba o'tkazdilar. Muammoli savollar kichik guruhlarda qizg'in muhokama qilindi, o'qituvchi esa faqat fasilitator (yo'naltiruvchi) vazifasini bajardi.

2-guruh (Nazorat guruhi): 18 nafar talaba. Ushbu guruhda dars odatiy (an'anaviy) ma'ruza formatida o'tildi. O'qituvchi yadro zanjirli reaksiyasi formulalarini (neytronlar balansi, ko'payish koeffitsiyenti formulalari) doskada yozib berdi, an'anaviy reaktor sxemasini chizdi va jarayonni monologik usulda tushuntirdi. Talabalar axborotni faqat konspekt qilish va savol-javob orqali qabul qildilar.

Dars yakunida har ikki guruh talabalariga bir xil vaqtda, bir xil darajadagi 5 ballik tizimdagi nazorat ish topshiriqlari (testlar va muammoli masalalar) berildi.

**TAHLIL VA NATIJALAR (Analysis and results).** Eksperiment yakunida olingan natijalar va guruhlar bo'yicha talabalarning baholari quyidagicha taqsimlandi:

1-guruh (Eksperimental - Flipped Classroom, 20 nafar talaba):

"5" (A'lo) ball – 10 nafar talaba

"4" (Yaxshi) ball – 8 nafar talaba

"3" (Qoniqarli) ball – 2 nafar talaba

"2" (Qoniqarsiz) ball – 0 nafar talaba

*Jami to'plangan ball: 88 ball. Guruhning o'rtacha balli: 4.40*

2-guruh (Nazorat - Odatiy metod, 18 nafar talaba):

"5" (A'lo) ball – 4 nafar talaba

"4" (Yaxshi) ball – 7 nafar talaba

"3" (Qoniqarli) ball – 6 nafar talaba

"2" (Qoniqarsiz) ball – 1 nafar talaba

*Jami to'plangan ball: 68 ball. Guruhning o'rtacha balli: 3.78*

Matematik foiz hisobida guruhlarning umumiy o'zlashtirish samaradorligi ko'rsatkichi (maksimal 5 ball = 100% deb olinganda) quyidagi formulalar yordamida aniqlandi:

$$\text{Samaradorlik (1 - guruh)} = \frac{4.40}{5} \times 100\% = 88.0\%$$

$$\text{Samaradorlik (2 - guruh)} = \frac{3.78}{5} \times 100\% = 75.6\%$$

$$\text{Sof samaradorlik farqi} = 88.0\% - 75.6\% = 12.4\% \approx 12\%$$

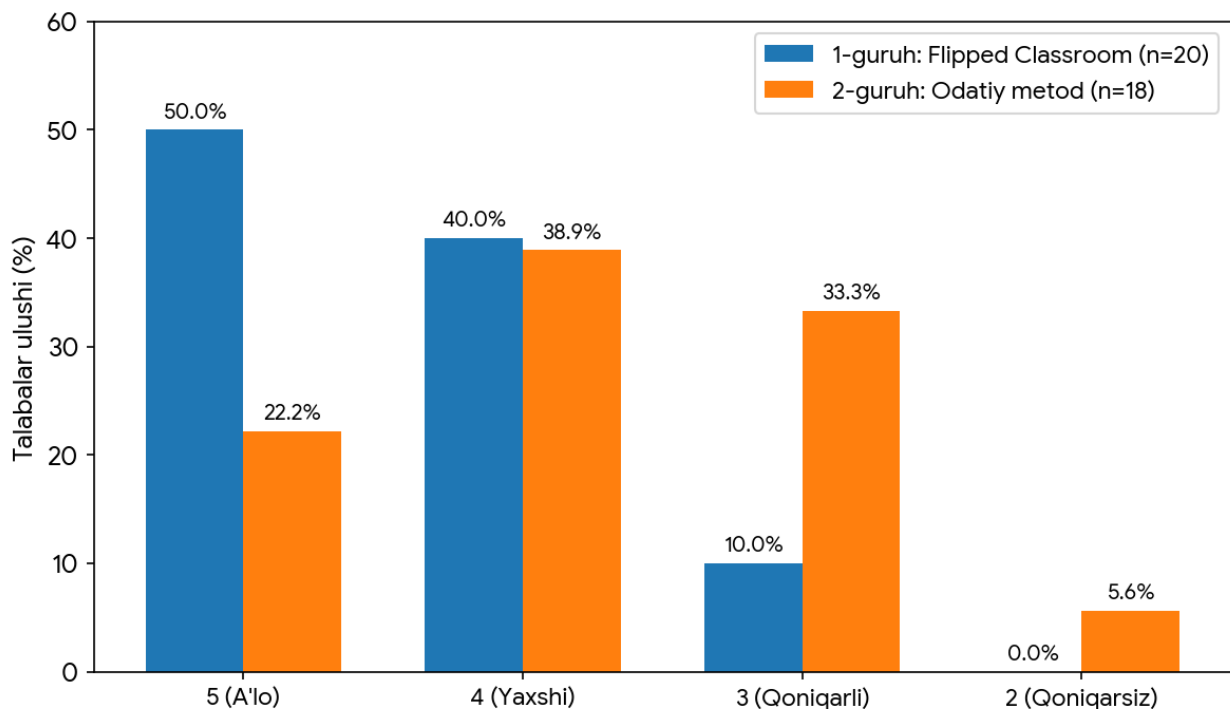
Tahlillar shuni ko'rsatadiki, "Flipped Classroom" va virtual simulyatsiyalar uyg'unligida o'qitilgan eksperimental guruhda o'zlashtirish darajasi odatiy darsga qaraganda **12.4% ga yuqori** bo'ldi. Eng muhimi, 1-guruhda "a'lo" baholar ulushi 50% ni tashkil etdi va fanni mutlaqo o'zlashtira olmagan ("2" ball olgan) talabalar kuzatilmadi. Nazorat guruhida esa mavhum tushunchalarni tasavvur qilish qiyin

bo'lganligi sababli "3" ball olganlar salmog'i yuqori (33.3%) bo'lib, hatto 1 nafar talaba qoniqarsiz baho oldi.

**1-jadval: SamDU Fizika fakulteti talabalarining bilim sifatini baholash natijalari**

Baholash ko'rsatkichlari	1-guruh (Flipped Classroom, n=20)	2-guruh (Odatiy metod, n=18)	Farq (%)
"5" ball olganlar (A'lo)	50.0% (10 ta)	22.2% (4 ta)	+27.8%
"4" ball olganlar (Yaxshi)	40.0% (8 ta)	38.9% (7 ta)	+1.1%
"3" ball olganlar (Qoniqarli)	10.0% (2 ta)	33.3% (6 ta)	-23.3%
"2" ball olganlar (Qoniqarsiz)	0.0% (0 ta)	5.6% (1 ta)	-5.6%
<b>Umumiy o'zlashtirish foizi</b>	<b>88.0%</b>	<b>75.6%</b>	<b>+12.4% (~12%)</b>

SamDU: Yadro zanjirli reaksiyalari mavzusi bo'yicha baholar taqsimoti



### XULOSA VA TAKLIFLAR (Conclusion/Recommendations)

Tadqiqot ishining natijalari quyidagi mantiqiy xulosalarga olib keldi:

Yadro reaktorlarida zanjirli reaksiyalar mexanizmini an'anaviy ma'ruza (reproduktiv) usulida o'qitish talabalarda mikroduyodagi dinamik jarayonlar haqida to'liq va tizimli konseptual tushuncha shakllantirishda yetarli samaradorlikni ta'minlay olmaydi.

Samarqand davlat universitetida o‘tkazilgan pedagogik tajriba subatomik darajadagi kinetik jarayonlarni interfaol raqamli modellar va "Flipped Classroom" (Teskari ta’lim) metodi bilan o‘qitish dars samaradorligini sof matematik hisobda 12.4% ga (yaxlitlanganda 12% ga) oshirishini eksperimental ravishda isbotladi.

Darsdan oldin nazariy tayyorgarlik ko‘rib, bevosita darsda virtual reaktorni mustaqil boshqargan talabalar kritiklik shartlarini, neytronlar parchalanish kinetikasini va avariya holatlarining oldini olish mexanizmlarini ancha chuqurroq angladilar. Bu ularning yakuniy nazoratdagi muammoli masalalarni yechish tezligi va mantiqiy aniqligida yaqqol namoyon bo‘ldi.

Tavsiyalar:

Fizika va yadro muhandisligi yo‘nalishidagi oliy o‘quv yurtlarining o‘quv dasturlariga yadro reaktorlari fizikasi bo‘limi bo‘yicha PhET va shunga o‘xshash interfaol virtual laboratoriya platformalarini majburiy komponent sifatida integratsiya qilish.

Ma’ruza darslarini shunchaki axborot uzatish vositasidan interfaol muhokama, muammoli keyslar va amaliy tahlil platformasiga (Teskari ta’lim tamoyili asosida) bosqichma-bosqich o‘tkazish.

#### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI (References)

1. Duderstadt, J. J., & Hamilton, L. J. (2016). *Nuclear Reactor Analysis*. John Wiley & Sons.
2. Crouch, C. H., & Mazur, E. (2019). Peer Instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69(9), 970-977.
3. Wieman, C. E. (2021). *Improving How Universities Teach Science: Lessons from the Science Education Initiative*. Harvard University Press.
4. Sayitov, S. S., Oblokulov, A. A., & Toshmurodov, K. K. (2022). Modern problems of training specialists in the field of nuclear physics in Uzbekistan. *Uzbek Journal of Physics*, 24(2), 112-118.
5. Jonassen, D. H. (2020). Computers as cognitive tools: Learning thinking with technology. *Journal of Educational Computing Research*, 43(3), 295-312.
6. Stieff, M., & Wilensky, U. (2021). Connected chemistry: Incorporating interactive simulations into subatomic and molecular education. *Science Education*, 105(4), 785-802.