O‘zbekiston Respublikasi
Maktabgacha va maktab
ta’limi vazirligi

ISSN: 2992-9008
UDK: 37

TA’LIM VA TARAQQIYOT

Ilmiy-uslubiy jurnali

2026-YIL 5-SON

www.journal.namspi.uz

Bosh muharrir: *Namangan davlat pedagogika instituti rektori B.E.Xusanov*
Mas'ul muharrir: *Ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo'yicha prorektor M.R.Qodirxonov*
Mas'ul muharrir o'rinbosari0: *Ilmiy tadqiqotlar, innovatsiyalar va ilmiy-pedogogik kadrlar tayyorlash bo'limi boshlig'i J.A.Yuldashev*

T A H R I R H A Y ' A T I

Aniq va tabiiy fanlar: *k.f.d., prof. Sh.Abdullayev, f-m.f.d., dots. R.Xakimov, k.f.d., prof. N.Vohidova, k.f.d., dots. M.Qodirxonov, b.f.d., dots. A.Batashov, f-m.f.n., dots., T.Abdullayev, p.f.n., dots. M.Eshnazarova, p.f.n., dots. G'.Nafasov, p.f.n., dots. M.Boltayeva.*
Texnika fanlari: *t.f.d., prof. A.Umarov, t.f.d., prof. A.Qayumov, PhD, dots. Sh.Xudoyqulov, PhD, dots. Abdunazarov.*
Ijtimoiy-gumanitar fanlar: *s.f.d., prof. T.Fayzullayev, tar.f.d, prof. A.Rasulov. f.f.d., prof. M.Ismoilov, i.f.d., dots. N.Sotivoldiyev, t.f.n., dots. A.Isoqboyev, f.f.n., dots. O.Mamatov, t.f.n., dots. Z.Haydarov, PhD. J.Yuldashev, PhD. A.Abdullayev.*
Pedagogika fanlari: *p.f.d., prof. B.Xodjayev, p.f.d., prof. X.Najmiddinova, p.f.d., prof. T.Ismoilov, p.f.d., prof. S.Abdullayev. p.f.d., prof., M.Y.Sobirova, p.f.d., prof., R.Zamilova, p.f.d., prof. Sh.Xujamberdiyeva, p.f.d.,dost. M.Asqarova, PhD S.Jamoldinova, PhD, dots. M.Asranboyeva.*
Filologiya fanlari: *fil.f.d., prof. N.Uluqov, fil.f.d., prof. H.Usmanova, f.f.d., dots. X.Shokirova, p.f.n., dots. S.Misirov, p.f.n., dots. Sh.Ubaydullayev, PhD.,dots. P.Lutfullayev, PhD., dots. M.Yakubbayev.*

Texnik muharrir: R.Tursunov

Tahririyat manzili: Namangan shahri, Uychi ko'chasi, 316-uy.
Pochta indeksi: 160136, ***Faks:*** (0369) 227-27-21,
Email: Info@namspi.uz

"Ta'lim va taraqqiyot" ilmiy-uslubiy jurnali elektron to'plam sifatida O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Administratsiyasi huzuridagi ***Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi (AOKA)ning 2022-yil 25-oktabrdagi № 045044 raqamli guvohnomasi*** *asosida chop etiladi. Jurnal* ***Oliy Attestatsiya komissiyasining 2024-yil 30-noyabrdagi (№ 364/5) yig'ilishi qaroriga asosan pedagogika fanlari bo'yicha*** *falsafa fanlari doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan asosiy ilmiy natijalarini chop etish uchun tavsiya etilgan. UDK: 37, Xalqaro standartlashtirish raqami (ISSN): 2992-9008.*

Maqolalarning ilmiy saviyasi va keltirilgan ma'lumotlar uchun mualliflar javobgar hisoblanadi.

NAMANGAN DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI 2026

UO'K: 53(07):004

KVANT POTENSIAL TO'SIQ MAVZUSINI INTERAKTIV GRAFIK VOSITALAR ASOSIDA O'QITISH METODIKASI

Muxtarov Erkinjon Kobiljonovich
Andijon davlat universiteti, Umumiy fizika kafedrasi dotsenti
e–mail: erkinmuxtarov@yahoo.com tel: 902582706
https://orcid.org/0009-0001-5057-4905

Annotatsiya. *Maqolada kvant mexanikasi kursining murakkab mavzularidan biri hisoblangan "Kvant potensial to'siq" mavzusini o'qitishda interaktiv grafik vositalardan foydalanish metodikasi taklif etilgan va uning didaktik imkoniyatlari yoritilgan. Muallif tomonidan zamonaviy dasturlash tili asosida yaratilgan interaktiv grafik modelning funksional imkoniyatlari hamda ta'limiy ahamiyati tavsiflangan. Mazkur model yordamida talabalarda to'lqin funksiyasi va ehtimollik zichligining potensial to'siq balandligi, kengligi hamda zarracha energiyasiga bog'liq o'zgarishlarini vizual tahlil qilish imkoniyati yaratiladi. Maqolada ishlab chiqilgan metodikani o'quv jarayoniga integratsiyalash yo'llari va undan samarali foydalanish bo'yicha amaliy tavsiyalar bayon etilgan.*

Kalit so'zlar: *kvant potensial to'siq, tunnel effekti, to'lqin funksiyasi, ehtimollik zichligi, interaktiv grafik model, kompyuterda modellashtirish, vizuallashtirish, o'qitish metodikasi.*

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕМЫ «КВАНТОВЫЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ БАРЬЕРЫ» НА ОСНОВЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ГРАФИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Аннотация. *В статье рассматривается методика использования интерактивных графических средств при преподавании темы «Квантовый потенциальный барьер», являющейся одной из сложных тем курса квантовой механики, а также раскрываются её дидактические возможности. Описаны функциональные возможности и образовательное значение интерактивной графической модели, разработанной автором на основе современного языка программирования. Данная модель позволяет студентам визуально анализировать изменения волновой функции и плотности вероятности в зависимости от высоты и ширины потенциального барьера, а также энергии частицы. В статье представлены способы интеграции разработанной методики в учебный процесс и практические рекомендации по её эффективному использованию.*

Ключевые слова: *квантовый потенциальный барьер, туннельный эффект, волновая функция, плотность вероятности, интерактивная графическая модель, компьютерное моделирование, визуализация, методика преподавания.*

A METHODOLOGY FOR TEACHING THE TOPIC OF QUANTUM POTENTIAL BARRIERS BASED ON INTERACTIVE GRAPHICAL TOOLS

Abstract. *The article presents a methodology for using interactive graphical tools in teaching the topic of "Quantum Potential Barrier," which is considered one of the challenging topics in a quantum mechanics course, and highlights its didactic potential. It describes the functional capabilities and educational significance of an interactive graphical model developed by the author using a modern programming language. This model enables students to visually analyze changes in the wave function and probability density depending on the height and width of the potential barrier, as well as the particle's energy. The article also presents approaches to integrating the developed methodology into the educational process and provides practical recommendations for its effective implementation.*

Keywords: *quantum potential barrier, tunneling effect, wave function, probability density, interactive graphical model, computer modeling, visualization, teaching methodology.*

KIRISH

Kvant mexanikasi zamonaviy fizikaning asosiy tarmoqlaridan biri bo'lib, uning qonuniyatlari atom, molekula, qattiq jism, yadro va elementar zarralar fizikasida keng qo'llaniladi. Shu sababli kvant mexanikasi kursi nazariy fizika yo'nalishidagi oliy ta'limning ajralmas qismi hisoblanadi.

Kvant mexanikasining asosiy tushunchalari - to'lqin funksiyasi, ehtimollik zichligi, tunnel effekti, potensial to'siq - tabiatan mavhum bo'lib, ularni klassik fizikadagi kabi bevosita kuzatish yoki his qilish mumkin emas. Ayniqsa, kvant potensial to'siq mavzusi talabalar uchun eng qiyin bo'limlardan biri bo'lib, bunda to'lqin funksiyasining to'siq ichida va tashqarisida o'zini qanday tutishi, tunnel effekti ehtimoli va uning parametrlarga bog'liqligi nazariy jihatdan chuqur matematik apparatni talab qiladi.

Zamonaviy pedagogik texnologiyalar, xususan, interaktiv vizualizatsiya va kompyuter modellashtirish abstrakt tushunchalarni ko'rgazmali tarzda ifodalash orqali talabalarning bilish faoliyatini faollashtirishda muhim vosita hisoblanadi. Shu bois ushbu maqolada kvant potensial to'siq mavzusini interaktiv grafik vositalar asosida o'qitish metodikasi taklif etiladi. Maqsad - talabalarning mavzuni batafsil tushunishiga yordam beradigan, mustaqil izlanish ko'nikmalarini rivojlantiradigan va o'qituvchiga darsni samarali tashkil etishga imkon beradigan metodikani ishlab chiqishdan iborat.

ADABIYOTLAR TAHLILI

13.00.00. – PEDAGOGIKA FANLARI
JOURNAL.NAMSPI.UZ
ISSN: 2992-9008; UDK: 37

Kvant mexanikasini o‘qitish metodikasi bo‘yicha bir qator fundamental tadqiqotlar mavjud. Landau va Lifshitsning [1] klassik darsligida kvant mexanikasining nazariy asoslari, xususan, Shredinger tenglamasi, potensial to‘siq va tunnel effekti masalalari batafsil yoritilgan. Blokintsevning “Kvant mexanikasi asoslari” darsligi [2] ham shu mavzuni fundamental darajada yoritadi. Biroq bu klassik darsliklarda asosiy e’tibor fizik mazmun va matematik apparatga qaratilgan bo‘lib, o‘qitish metodikasi va didaktik yondashuvlar yetarlicha ochib berilmagan.

So‘nggi yillarda fizika ta’limida raqamli texnologiyalardan foydalanish bo‘yicha tadqiqotlar sezilarli ko‘paydi. Xususan, PhET interaktiv simulyatsiyalari platformasida “Kvant tunnel effekti va to‘lqin paketi" hamda “Potensial to‘siq laboratoriyasi" kabi virtual laboratoriya resurslari yaratilgan bo‘lib, ular talabalarga kvant hodisalarini vizual tarzda kuzatish imkonini beradi [3]. Ge va boshqalar [4] tomonidan LabVIEW dasturiy ta’minoti asosida elektronlarning ikki tirqishli interferensiyasi va difraksiyasini vizuallashtiruvchi interaktiv modul ishlab chiqilgan bo‘lib, tadqiqot natijalari ushbu vositaning talabalarning to‘lqin-zarracha dualizmini tushunish darajasini sezilarli orttirishini ko‘rsatgan.

Hestenes [5] o‘zining “Modeling games in the Newtonian World” maqolasida fizika ta’limida modellashtirish yondashuvining nazariy asoslarini ishlab chiqqan. Uning ta’kidlashicha, fizika o‘qitishning samarali usuli talabalarni “modellashtirish o‘yini”ga jalb qilish, ya’ni ularni model qurish, modelni eksperiment orqali tekshirish va hodisalarni tushuntirish uchun qo‘llashga o‘rgatishdir. Chabay va Sherwood [6] esa “Bringing atoms into first-year physics” maqolasida birinchi kurs fizika ta’limida moddaning atom tuzilishini markaziy mavzuga aylantirish va fizik modellashtirishni o‘qitish jarayoniga integratsiyalash zarurligini asoslagan.

Shuni ta’kidlash lozimki, kvant potensial to‘siq mavzusini o‘qitishda talabalarning qiyinchiliklari bo‘yicha maxsus tadqiqotlar ham mavjud. Kruitenburg-Leverissa va boshqalar [7] tomonidan o‘tkazilgan tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, talabalar

tunnel effekti haqida fikr yuritishda ko‘pincha deterministik yondashuvga moyil bo‘lib, zarrachaning to‘siqdan o‘tishi uchun qo‘shimcha vaqt, kuch yoki masofa kerak deb hisoblaydilar. Shuningdek, ular to‘siq ichida to‘lqin funksiyasining xatti-harakati haqida yetarli bilimga ega emasliklari sababli ehtimollik zichligi tushunchasini to‘g‘ri talqin qilishda qiynaladilar. Interaktiv vizualizatsiya vositalariga bo'lgan pedagogik ehtiyoj aynan shu bilan asoslanadi.

Shunga qaramay, kvant potensial to‘siq mavzusini interaktiv grafik vositalar asosida o‘qitish metodikasi, xususan, to‘lqin funksiyasi va ehtimollik zichligining parametrlarga bog‘liqligini real vaqt rejimida kuzatish imkonini beruvchi yondashuv yetarlicha ishlab chiqilmagan. Mazkur maqola shu bo‘shliqni to‘ldirishga qaratilgan.

METODOLOGIYA

Taklif etilayotgan metodikaning nazariy asosi bir o‘lchamli kvant potensial to‘siq masalasining Shredinger tenglamasiga tayanadi [8]:

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + U(x)\psi(x) = E\psi(x),$$

bu yerda $U(x)$ - potensial energiya funksiyasi:

$$U(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, \\ U_0, & 0 \le x \le a, \\ 0, & x > a. \end{cases}$$

To‘siq sohasida ($0 \le x \le a$) yechim quyidagi ko‘rinishga ega:

$$\psi(x) = Ae^{ik_2x} + Be^{-ik_2x}, k_2 = \frac{\sqrt{2m(E-U_0)}}{\hbar}.$$

To‘siq tashqarisida esa:

$$\psi(x) = Ce^{ik_1x} + De^{-ik_1x}, k_1 = \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}.$$

Tunnel effekti ehtimoligi (o‘tish koeffitsiyenti) quyidagi formula bilan aniqlanadi [9]:

$$T \approx e^{-2\kappa a}, k = \frac{\sqrt{2m(U_0-E)}}{\hbar}.$$

Ehtimollik zichligi esa:

$$\rho(x) = |\psi(x)|^2.$$

Model quyidagi imkoniyatlarni beradi [10]:

1. Potensial to‘siq to‘g‘ri to‘rtburchak ko‘rinishida aks ettiriladi.

2. To‘lqin funksiyasining haqiqiy qismi to‘siq ichida va tashqarisida chiziladi.

3. Ehtimollik zichligi $|\psi(x)|^2$ ko‘rsatiladi.

4. Slayderlar orqali E (zarracha energiyasi), U_0 (to‘siq balandligi), a (to‘siq kengligi) parametrlari o‘zgartiriladi.

5. To‘siq chegaralari vertikal chiziqlar bilan, to‘siq sohasi esa sariq rang bilan ajratiladi.

Modelning ishlash prinsipi quyidagicha: talaba slayderlarni harakatga keltirib, parametrlarni o‘zgartiradi va grafiklar avtomatik yangilanadi. Bu orqali talaba to‘lqin funksiyasi va ehtimollik zichligining potensial to‘siq balandligi, kengligi va zarracha energiyasiga bog‘liqligini jonli kuzatadi.

Metodikaning asosiy bosqichlari:

1. O‘qituvchi kvant potensial to‘siq mavzusining nazariy asoslarini tushuntiradi. Talabalar asosiy formulalar va tushunchalar bilan tanishadilar.

2. Talabalar interaktiv grafik modelni ishga tushiradilar va quyidagi vaziyatlarni o‘rganadilar:

- $E < U_0$ (klassik jihatdan taqiqlangan soha) - tunnel effekti kuzatiladi;

- $E > U_0$ (klassik jihatdan ruxsat etilgan soha) - to‘lqin funksiyasi to‘siq ichida ham tebranadi;

- U_0 o‘zgarganda to‘lqin funksiyasining to‘siq ichiga kirish chuqurligi o‘zgaradi;

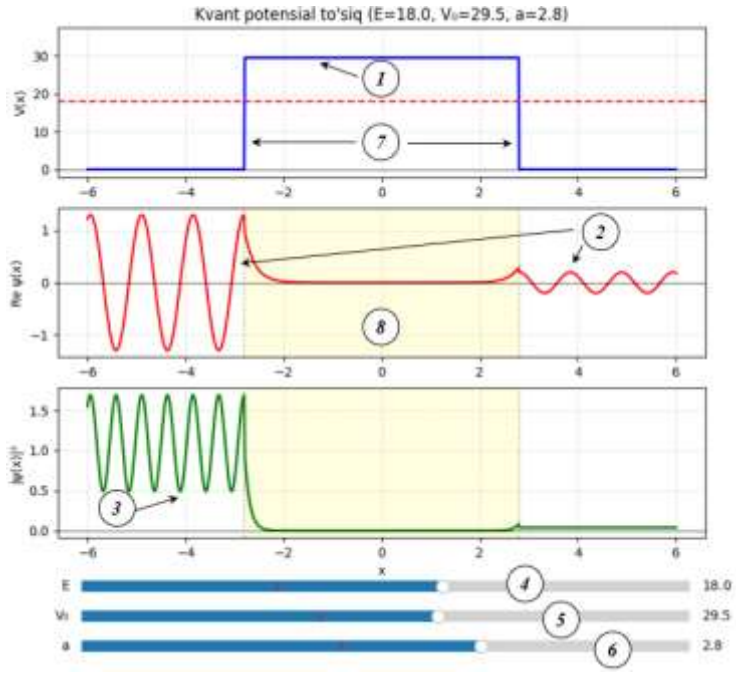
- a o‘zgarganda tunnel effekti ehtimoli o‘zgaradi.

3. Talabalar kuzatishlari asosida xulosalar chiqaradilar. O‘qituvchi tomonidan tayyorlangan savollar va topshiriqlar orqali bilimlar mustahkamlanadi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

1-rasmda muallif tomonimizdan kvant mexanikasi kursidagi “Kvant potensial to‘siq” mavzusini o‘qitish uchun ishlab chiqilgan interaktiv grafik model keltirilgan. Ushbu dasturiy vosita zamonaviy dasturlash tili yordamida yaratilgan bo‘lib, dars

jarayonida talabalarning mavzuni vizual va amaliy o‘zlashtirishlarini ta’minlashga xizmat qiladi.



1-rasm. Bir o‘lchamli kvant potensial to‘siq

Model uch qismdan iborat bo‘lib, ular darsning turli bosqichlarida o‘qituvchi va talaba uchun muhim metodik vosita bo‘ladi:

1. Yuqori oyna (Potensial to‘siq profili). Bu yerda to‘g‘ri to‘rtburchak shaklidagi potensial to‘siq (1-raqam) keltirilgan. Qizil punktir chiziq zarrachaning to‘liq energiyasini ($E = 18.0$ eV) ifodalaydi. To‘siqning balandligi ($V_0 = 29.5$ eV) va kengligi ($a = 2.8$Å) vizual ko‘rsatilgan. Bu qism talabaga klassik mexanika bilan kvant mexanikasi o‘rtasidagi tub farqni - zarracha energiyasi to‘siq balandligidan kichik bo‘lsa ham, uning to‘siq ichiga kirib borishini tushunishga zamin yaratadi.

2. O‘rta oyna (To‘lqin funksiyasining real qismi). Bu yerda to‘lqin funksiyasining fazoviy taqsimoti (2 raqam) aks etgan. To‘siq tashqarisida to‘lqin tebranma harakat qiladi, to‘siq ichida (sariq soha, 8 raqam) esa eksponensial so‘nadi. Bu talabalarga Shredinger tenglamasining to‘siq ichidagi yechimini “jonli” ko‘rish imkonini beradi.

3. Pastki oyna (Ehtimollik zichligi). Ehtimollik zichligi $|\psi(x)|^2$ (3 raqam) ko‘rsatilgan. Talaba zarrachaning to‘siq ichida va undan narigi tomonda topilish ehtimolini bevosita kuzatadi.

4. Boshqaruv paneli. 4, 5 va 6 raqamlar bilan belgilangan slayderlar orqali talaba mustaqil ravishda zarracha energiyasini (E), to‘siq balandligini (V_0) va to‘siq kengligini (a) o‘zgartirishi mumkin.

Ushbu interaktiv modelni o‘quv jarayoniga quyidagicha bosqichma-bosqich tatbiq etish maqsadga muvofiq:

- O‘qituvchi dastlab nazariy formulalarni tushuntiradi. Shundan so‘ng ekranga ushbu modelni chiqarib, dastlabki holatni (1-rasmdagi parametrlarni) sharhlaydi. “7 raqam” bilan belgilangan to‘siq chegaralari va “8 raqam” bilan ko‘rsatilgan to‘siq sohasiga e’tibor qaratadi.

- O‘qituvchi talabalarga muammoli savol beradi: "*Agar to‘siq balandligini oshirsak (V_0), to‘lqin funksiyasi va tunnel effekti ehtimoli qanday o‘zgaradi?*" Talabalar slayder (5 raqam) yordamida to‘siq balandligini oshiradilar va o‘rta hamda pastki grafiklardagi o‘zgarishlarni mustaqil kuzatadilar. Ular to‘siq qanchalik baland bo‘lsa, to‘lqin funksiyasining to‘siq ichida so‘nishi shunchalik tez sodir bo‘lishini va zarrachaning potensial to‘siqning orqa tomoniga o‘tish ehtimoli keskin kamayishini empirik tarzda isbotlaydilar.

-Xuddi shunday tarzda to‘siq kengligi (a, 6 raqam) va zarracha energiyasi (E, 4 raqam) bilan tajribalar o‘tkaziladi. Talabalar o‘z kuzatishlarini nazariy formula ($T \approx e^{-2ka}$) bilan solishtirib, matematik hisob-kitoblar va grafik natijalar o‘rtasidagi moslikni tekshiradilar.

- Talabalar o‘z kuzatishlari asosida qisqa xulosalar yozadilar.

Misol sifatida 1-rasmda ko‘rsatilgan parametrlar ($E = 18.0$ eV, $V_0 = 29.5$ eV, $a = 2.8$Å) uchun nazariy hisob-kitoblarni amalga oshirib, ularni modeldagi grafik ko‘rsatkichlari bilan solishtirish ko‘ramiz [11].

Zarracha energiyasi to‘siq balandligidan kichik bo‘lganda ($E < V_0$), to‘siq ichida to‘lqin funksiyasi eksponensial qonun bo‘yicha so‘nadi:

$$\psi(x) \sim e^{-kx}, k = \frac{\sqrt{2m(V_0 - E)}}{\hbar}.$$

Berilgan qiymatlar uchun k ni hisoblaymiz. Elektron massasi $m = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$kg, $\hbar = 1{,}055 \cdot 10^{-34}$J·s, $V_0 - E = (29{,}5 - 18{,}0) = 11{,}5$ eV $= 1{,}84 \cdot 10^{-18}$ J:

$$k = \frac{\sqrt{2 \cdot 9{,}11 \cdot 10^{-31} \cdot 1{,}84 \cdot 10^{-18}}}{1{,}055 \cdot 10^{-34}} \approx 1{,}73 \text{ Å}^{-1}.$$

To‘siq kengligi $a = 2{,}8$ Å bo‘lgani uchun to‘siq ichida to‘lqin funksiyasining amplitudasi quyidagi koeffitsiyentga kamayadi:

$$e^{-ka} = e^{-1{,}73 \cdot 2{,}8} \approx 0{,}0079.$$

Ya’ni to‘lqin funksiyasining amplitudasi to‘siq ichida taxminan 127 marta kamayadi. 1-rasmning o‘rta qismiga (2 raqam) qarasak, to‘lqin funksiyasi to‘siq ichiga kirishi bilan deyarli nolga tushib qolganini ko‘ramiz - bu nazariy hisob-kitob bilan to‘liq mos keladi.

Ehtimollik zichligi $\rho(x) = |\psi(x)|^2$ bo‘lgani uchun uning to‘siq ichidagi so‘nish koeffitsiyenti e^{-2ka} ga teng:

$$e^{-2ka} = e^{-2 \cdot 1{,}73 \cdot 2{,}8} \approx 6{,}2 \cdot 10^{-5}.$$

Ya’ni ehtimollik zichligi to‘siq ichida 16 000 martadan ko‘proq kamayadi. 1-rasmning pastki qismiga (3 raqam) qarasak, yashil egri chiziq to‘siq ichida amalda nolga tushib qolgan - bu ham nazariy hisob-kitobni tasdiqlaydi.

Tunnel effekti ehtimolligi (o‘tish koeffitsiyenti) quyidagi formula bilan baholanadi:

$$T \approx e^{-2\kappa a} \approx 6{,}2 \cdot 10^{-5}.$$

Bu shuni anglatadiki, to‘siqning orqa tomonida zarrachaning topilish ehtimoli juda kichik, lekin nolga teng emas. 1-rasmning o‘ng tomoniga (to‘siqdan keyingi soha) qarasak, to‘lqin funksiyasi va ehtimollik zichligi noldan farqli kichik tebranishlarga ega ekanini ko‘ramiz - bu aynan tunnel effektining grafik ifodasidir.

Talaba slayderlarni o‘zgartirib, nazariy formula bilan model natijalarini solishtirishi mumkin. Masalan, V_0 ni 29,5 eV dan 40 eV ga orttirilsa, k quyidagicha o‘zgaradi:

13.00.00. – PEDAGOGIKA FANLARI
JOURNAL.NAMSPI.UZ
ISSN: 2992-9008; UDK: 37

$$k' = \frac{\sqrt{2m(40-18)\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}}}{\hbar} \approx 2{,}39\ \text{Å}^{-1}.$$

U holda $e^{-2\kappa' a} = e^{-2\cdot 2{,}39\cdot 2{,}8} \approx 1{,}5\cdot 10^{-6}$, ya'ni ehtimollik yana 40 marta kamayadi. Modeldagi grafikda to'lqin funksiyasining to'siq ichida tezroq so'nishi va orqa tomondagi amplitudaning keskin kamayishi kuzatiladi.

Xuddi shunday, to'siq kengligi 2,8 Å dan 5 Å gacha ortsa, $e^{-2ka} = e^{-2\cdot 1{,}73\cdot 5} \approx 3{,}1\cdot 10^{-8}$ bo'ladi, ya'ni tunnel effekti ehtimoli 2000 martadan ko'proq kamayadi. Bu modeldagi grafik o'zgarishlar bilan to'liq mos keladi.

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, interaktiv grafik vositalar kvant potensial to'siq mavzusini o'qitishda samarali pedagogik vositadir. Bu yondashuv konstruktivistik ta'lim nazariyasiga to'liq mos keladi: talaba tayyor bilimni passiv qabul qiluvchi emas, balki model parametrlarini o'zgartiruvchi, natijalarni tahlil qiluvchi va xulosalar chiqaruvchi faol subyektga aylanadi. Dinamik animatsiya va real vaqtdagi grafik o'zgarishlar talabaning diqqatini dars davomida ushlab turishga, mavzuga bo'lgan qiziqishini oshirishga va eng asosiysi, murakkab kvant mexanikasi tushunchalarini ongli ravishda o'zlashtirishga xizmat qiladi.

Metodik jihatdan interaktiv model muammoli o'qitish elementlarini ham o'z ichiga oladi. O'qituvchi talabalarga tayyor grafikni emas, balki muammo qo'yadi: "Nima sababdan $E < U_0$ bo'lganda ham to'lqin funksiyasi to'siq ichida nolga teng bo'lmaydi?" yoki "To'siq kengligi ortishi bilan tunnel effekti ehtimoli qanday o'zgaradi?". Ushbu savollarga javob modellashtirish jarayonida bosqichma-bosqich topiladi.

XULOSA

Kvant potensial to'siq mavzusini o'qitishda interaktiv grafik vositalardan foydalanish talabalarda mazkur kvant-mexanik hodisaning fizik mohiyatini chuqur anglash, mustaqil tadqiqotchilik ko'nikmalarini rivojlantirish hamda nazariy bilimlarni vizual kuzatish va tahlil qilish asosida mustahkamlash imkonini beradi. Ishlab chiqilgan interaktiv grafik model yordamida to'lqin funksiyasi va ehtimollik zichligining potensial

to‘siq balandligi, kengligi hamda zarrachaning energiyasiga bog‘liq o‘zgarishlarini dinamik tarzda kuzatish va tahlil qilish mumkin.

Taklif etilgan metodika kvant mexanikasi kursini zamonaviy raqamli ta’lim texnologiyalari asosida takomillashtirish, virtual laboratoriyalarni ishlab chiqish hamda ularni oliy ta’lim jarayoniga integratsiyalashda muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi. Mazkur metodik yondashuvning didaktik imkoniyatlari va qo‘llash istiqbollari kvant mexanikasining boshqa mavzularini o‘qitishda ham interaktiv grafik vositalardan samarali foydalanish uchun zamin yaratadi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том III. Квантовая механика. –М.: Физматлит, 2021. – С. 804.

2. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. –СПб.: Изд. «Лань», 2022. –С. 672.

3. https://phet.colorado.edu/zh_TW/search?q=Quantum+Mechanics#1

4. Ge R., Wu Y.-H., Zhang L.H., Cai X.Y., Zhang Q.L. Development and application of a LabVIEW-based teaching tool for quantum mechanics: visualization of wave-particle duality // European Journal of Physics. - 2026. - Vol. 47. - 025711.

5. Hestenes D. Modeling games in the Newtonian World // American Journal of Physics. - 2012. - Vol. 60, No. 8. - P. 732–748.

6. Chabay R.W., Sherwood B.A. Bringing atoms into first-year physics // American Journal of Physics. - 2019. - Vol. 67, No. 12. - P. 1045–1050.

7. Krijtenburg-Lewerissa K., Pol H.J., Brinkman A., van Joolingen W.R. Secondary school students’ difficulties with quantum mechanics // Physical Review Physics Education Research. - 2020. - Vol. 16. - 010132.

8. Musaxonov M.M., Rahmatov A.S. Nazaruy fizika kursi. III jild. Kvant mexanikasi. –T.: Tafakkur bo’stoni, 2011. –352 b.

9. Балашов В.В., Долинов В.К. Курс квантовой механики. –М.: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2001. –С.336.

10. Philiip Conrod. Learn Visual Basic. Kidvare Software, 2012. –P. 880.

11. Muxtarov E.K. Kvant mexanikasidan masalalar yechish metodikasi. O‘quv qo‘llanma. – “Omadbek print number one” MCHJ. Andijon: 2025. – 257 b.