UO‘K 531.19

KVANT MEXANIKASIDAGI “ZARRACHANING POTENSIAL TO‘SIQDAN O‘TISHI VA QAYTISHI” MAVZUSINI O‘QITISHNI KOMPYUTER DASTURI ASOSIDA TAKOMILLASHTIRISH

E.K. Muxtarov

Maqolada oliy o‘quv yurtlarida kvant mexanikasi fanidan masalalar yechishda axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanish imkoniyatlari o‘rganilgan. Xususan, “Phet” dasturi tarkibidagi kvant mexanikasiga oid animatsiya yordamida potensial to‘siqning qaytarish va o‘tkazish koeffitsiyentlari qiymatlari analitik yo‘l bilan yechilgan qiymatlarga solishtirilgan hamda “Phet” dasturidan ta’lim jarayonida foydalanish imkoniyatlari yoritilgan.

Kalit so‘zlar: *kvant mexanikasi, potensial baryer, to‘la energiya, axborot texnologiyasi, to‘lqin soni, qaytarish koeffitsiyentlari, pedagogik vosita.*

В статье изучены возможности использования информационно-коммуникационных технологий при решении задач по квантовой механике в высших учебных заведениях. В частности, с помощью квантовомеханической анимации, содержащейся в программе «Phet», значения коэффициентов отражения и прохождения потенциального барьера сравниваются с аналитически решенными значениями, а также освещены возможности использования программы «Phet» в образовательном процессе.

Ключевые слова: *квантовая механика, потенциальный барьер, полная энергия, информационная технология, волновое число, коэффициенты отражения, педагогическое средство.*

Kirish

Milliy ta’lim-tarbiya tizimining amaldagi holati uni zamon talablari asosida modernizatsiya qilish, yoshlarni yuksak bilim-ma’rifat egalari, jismoniy va ma’naviy sog‘lom insonlar etib tarbiyalash, ta’lim muassasalarining rahbar va pedagog xodimlari nufuzini oshirish, ularning samarali faoliyat yuritishi uchun zarur shart-sharoitlar yaratish bo‘yicha izchil chora-tadbirlarni amalga oshirishni taqozo etmoqda [1]. Keyingi yillarda ta’lim tizimini rivojlantirishga oid kompleks chora-tadbirlar amalga oshirilayotgani bu sohaga qaratilayotgan islohotlarning davlat darajasida ekanligidan dalolat beradi [2].

Ilmiy-texnikaviy rivojlanish oliy ta’lim muassasalarining bakalavriat ta’lim yo‘nalishi talabalariga fizika kursidan o‘quv mashg‘ulotlarini tashkil etish va uni o‘tkazishning eng qulay usullarini ishlab chiqishni taqozo etadi.

Maqolada oliy ta’lim muassasalarida talabalarning kvant mexanikasi bo‘yicha nazariy materiallarni o‘zlashtirishini osonlashtirish maqsadida “Phet” dasturidan foydalanish usullari taqdim etilgan. Shuningdek, kvant mexanikasi fanidan amaliy mashg‘ulotlarni tashkil etish, potensial to‘siq va unda bo‘layotgan jarayonlarni tushuntirish uchun ayrim masalalar va ularni yechimlarini dasturiy mahsulotdagi natijalar bilan solishtirish ko‘rib chiqilgan.

Material va usullar

Internet ochiq ma’lumotlari internetdagi umumiy ma’lumotlar bo‘lib, foydalanuvchilarga doimiy ravishda internetga erkin kirish, izlash, o‘qish imkoniyatini beradi. Maqolada zarraning potensial to‘siqdan o‘tish va qaytishini modellashtirishda internet ochiq ta’lim resursi ma’lumotlaridan foydalanildi. Masalani hal etishda tahlil, qiyoslash, umumlashtirish usullari qo‘llanildi.

Adabiyotlar tahlili

Fizika – talabalarda dunyoning ilmiy manzarasi haqida tasavvur hosil qilish imkonini beradigan o‘quv fanlaridan biridir. Fizikaning aksariyat bo‘limlari mazmuni o‘quv materialining murakkabligi bilan ajralib turadi. Oliy o‘quv yurtlari kasbiy ta’limning “Fizika” mutaxassisligi” malakasi bo‘yicha davlat standarti kvant mexanikasi kursini o‘z ichiga oladi. Shuni ta’kidlash kerakki, bugungi kunda kvant mexanikasi nazariy va eksperimental asoslarga ega bo‘lgan keng bilim sohasi hisoblanadi, lekin uni o‘qitish metodikasi bilan bog‘liq masalalarning aksariyati muhokama mavzusi bo‘lib qolmoqda [3].

Hozirgi vaqtda axborot texnologiyasi va ko'lamining tez kengayib borishi katta hajmdagi o'quv adabiyotlariga ehtiyojni kamaytirib, asosiy ma'lumotlarni mujassamlashtirgan ixcham va uslubiy jihatdan yuqori did bilan tuzilgan manbalar orqali berilishiga zarurat tug'dirmoqda.

Kvant mexanikasi asoslarini o'qitish samaradorligini oshirish uchun, bizning nazarimizda, axborot texnologiyalaridan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

1-jadvalda kvant mexanikasi bo'yicha ma'ruza va amaliy mashg'ulotlarni o'qitishda foydalanish mumkin bo'lgan dasturlar ro'yxati keltirilgan.

1-jadval

Kompyuter dasturiy mahsulotlari

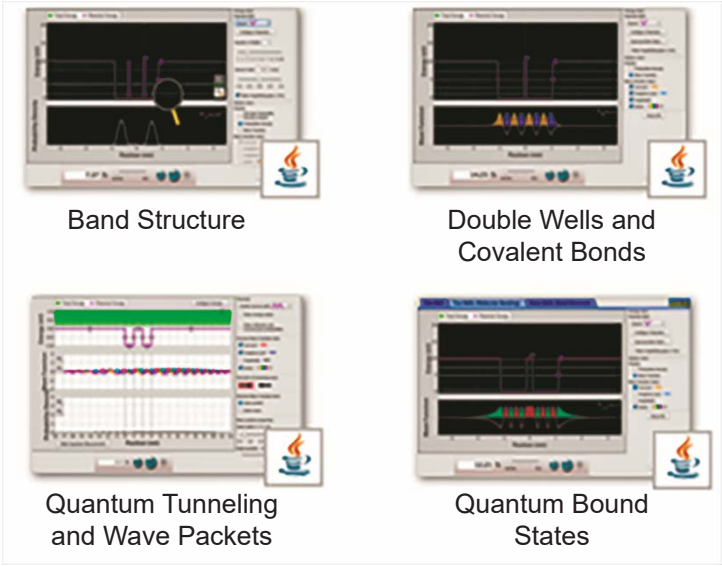
T/r	Dastur nomi	T/r	Dastur nomi
1	wolfram.mathematica	7	Elektronics Workbench
2	phet.colodaro.edu	8	McCAD
3	Yenka.com	9	Course Lab 2.4
4	ROQED Physics Lab	10	Software/Soft_CAD.php
5	Physics Virtual Lab. PVL	11	Simulink Newton 4
6	Virtlabs Software	12	COMCOL

1-jadvalda keltirilgan ro'yxatda "phet.colodaro.edu" dasturi alohida o'rin tutadi. Mazkur dastur fan tushunchalarini o'rganishni kuchaytirish uchun samarali o'qitish bo'yicha tadqiqotlarga asoslangan amaliyotlarni o'z ichiga oladi. PhET saytidagi simulyatorlar O'zbekiston Respublikasi davlat ta'lim standartlariga va o'quv muassasalarida qo'llanilayotgan adabiyotlarga mos keladi [4].

Dasturning mobil versiyasi ham ishlab chiqilgan bo'lib, Android operatsion sistemali mobil qurilmalar uchun https://play.google.com/store/apps/details?id=edu.colorado.phet.androidApp elektron manzilidan olish mumkin:

Natijalar va muhokama

"Phet" dasturida mavjud bo'lgan, "Kvant mexanikasi" mavzularini o'qitishda qo'llanilishi mumkin bo'lgan simulyatorlar 1-rasmda keltirilgan [5]:



1-rasm. Kvant mexanikasidan simulyatorlar.

Har birining energiyasi $E = 1\,eV$ bo'lgan elektronlar oqimi kengligi cheksiz bo'lgan potensial to'siq $(U_0 < E)$ga tushadi. Agar to'siqqa tushayotgan elektronlarning 4% qismi qaytayotganligi ma'lum bo'lsa, potensial to'siqning balandligini aniqlash talab etilsin [6].

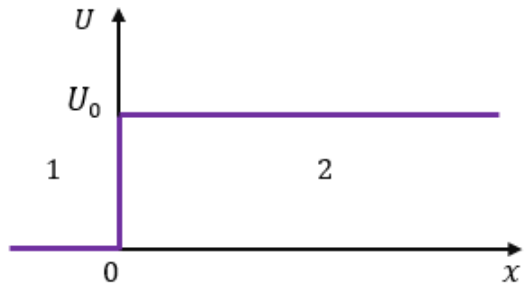
Ma’lumki, potensial to‘siqning qaytarish koeffitsiyenti

$$R = \frac{(k_1 - k_2)^2}{(k_1 + k_2)^2} \qquad (1)$$

ifoda orqali aniqlanadi [7, 8]. Elektronning koordinatsiyasi aniq bo‘lmagani uchun, Geyzenberg noaniqliklar munosabatiga muvofiq, unig impulsi va o‘z navbatida uning kinetik energiyasi ma’lum [9].

Zinasimon potensial to‘siqning 1-sohasi uchun elektronning to‘lqin soni ifodasi quyidagicha aniqlanadi (2-rasm):

$$k_1 = \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar} \qquad (2)$$



2-rasm. To‘g‘ri burchakli cheksiz uzunlikdagi bir o‘lchamli zinasimon potensial to‘siq.

2-sohada elektronning kinetik energiyasi $E - U_0$ ga teng, shuning uchun mazkur sohadagi elektronning to‘lqin soni

$$k_2 = \frac{\sqrt{2m(E - U_0)}}{\hbar} \qquad (3)$$

ifoda orqali aniqlanadi. (2), (3) ifodalarni (1)ga qo‘yiladi:

$$R = \frac{\left[1 - \sqrt{1 - \frac{U_0}{E}}\right]^2}{\left[1 + \sqrt{1 - \frac{U_0}{E}}\right]^2} \qquad (4)$$

Agar mazkur ifoda ustida matematik almashtirish bajarilsa, zinasimon potensial to‘siqning balandligini hisoblash ifodasi kelib chiqadi:

$$U_0 = \left[1 - \left(\frac{1 - \sqrt{R}}{1 + \sqrt{R}}\right)^2\right] E \qquad (5)$$

Hisoblash naijasi: $U_0 = 0{,}556\ eV$.

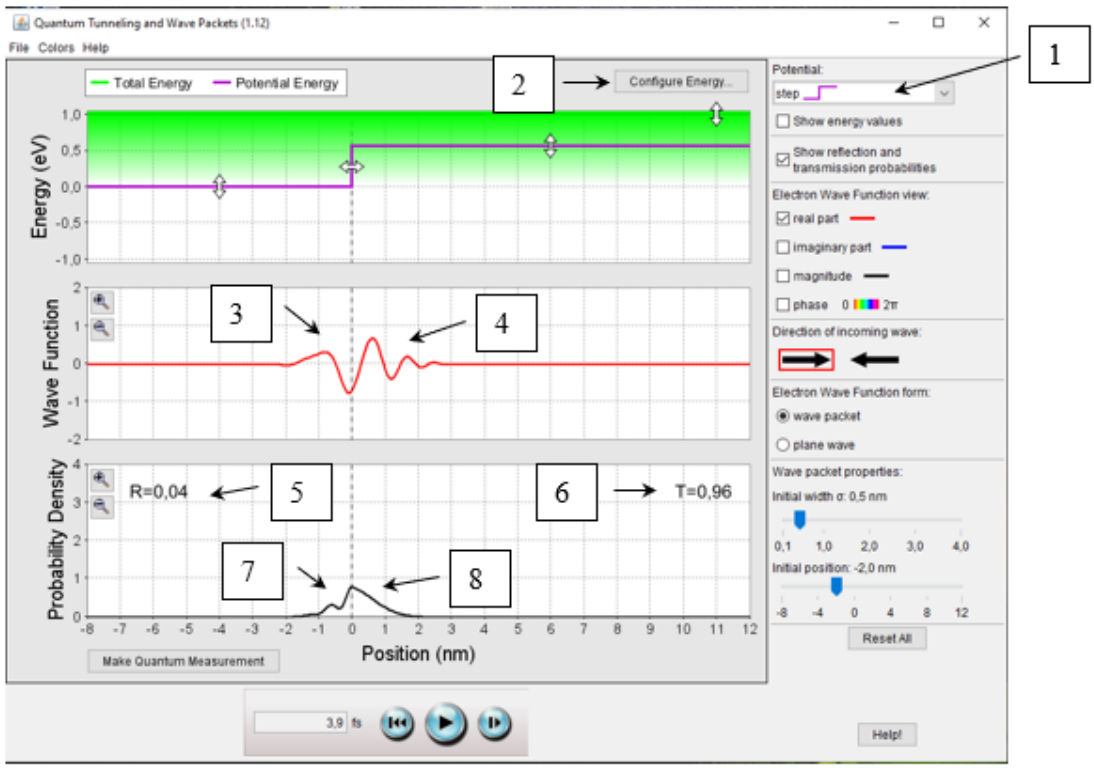
Masalaning yechimi kattaliklarning masala shartida berilgan qiymatlari asosida simulyatordan tekshirib ko‘riladi. Buning uchun “Phet” dasturidan 1-rasmda keltirilgan “Quantum Tunneling and Wave Packets” dasturi ishga tushiriladi. Natijada ishchi oyna ochiladi (3-rasm). Undan 2 raqami bilan ko‘rsatilgan tugma yordamida “energiya konfiguratsiyasi” oynasi ochiladi (4-rasm). Mazkur oynada potensial to‘siqning ko‘rinishini, zarraning to‘la energiyasini, potensial to‘siqning balandligini o‘zgartirish imkoniyatlari mavjud. Masala shartiga asosan zinasimon potensial to‘siq tanlanib, zarraning to‘la energiyasini $1\ eV$, to‘siqning balandligini $0{,}556\ eV$ olinadi. “Energiya konfiguratsiyasi” oynasi berkitilsa, dastur ishchi oynasida potensial to‘siqning qaytarish koeffitsiyenti masala shartida berilganidek 0,04 (ya’ni 4 %) qiymatida bo‘ladi. U 3-rasmda 5 raqami bilan ko‘rsatilgan.

Ma’lumki, potensial to‘siqning qaytarish va o‘tkazish koeffitsiyentlarining yig‘indisi 1 ga teng [10], ya’ni: $R + T = 1$.

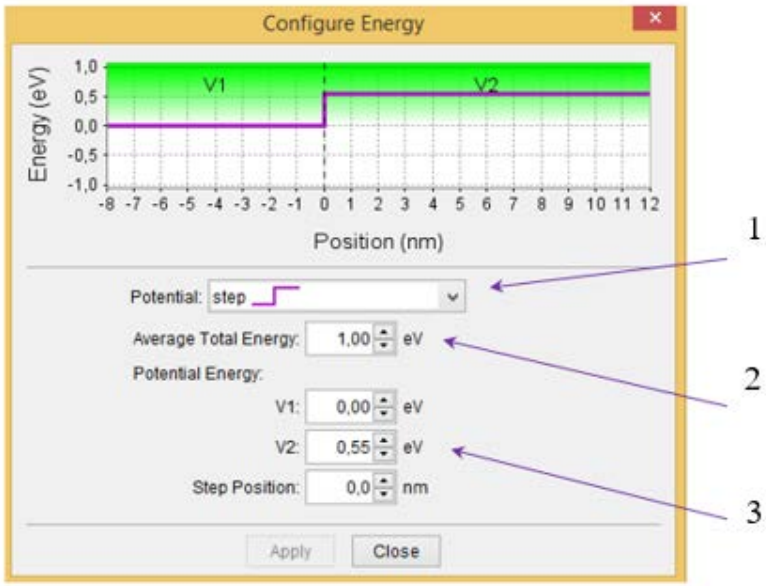
(2), (3)ga asosan

$$T = \frac{4\sqrt{E}\cdot\sqrt{E-U_0}}{\left(\sqrt{E}+\sqrt{E-U_0}\right)^2} \qquad (6)$$

U holda, masala shartiga asosan $T = 0{,}96$. Potensial to‘siqning o‘tkazish koeffitsiyenti $T = 0{,}96$ ekanligi ko‘rinadi (3-rasm, 6-raqam).



3-rasm. Dasturning ishchi oynasi. 1 – energiya konfiguratsiyasi; 2 – to‘la energiya va baryer balandligini o‘zgartirish; 3 – baryerdan qaytgan to‘lqin; 4 – baryer ichiga kirib borgan to‘lqin; 5 – baryerning qaytarish koeffitsiyenti; 6 – baryerning o‘tkazish koeffitsiyenti; 7 – baryerdan qaytgan zarraning ehtimollik zichligi; 8 – baryer ichiga kirib borgan zarraning ehtimollik zichligi.

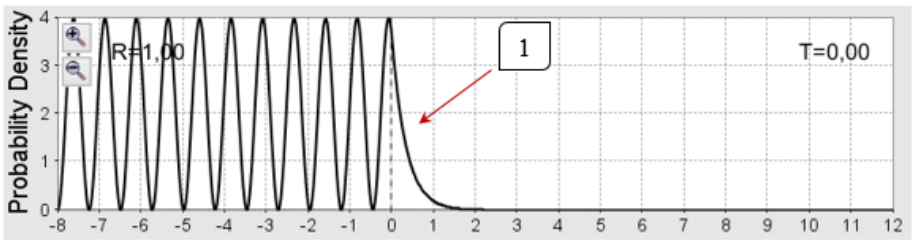


4-rasm. Energiya konfiguratsiyasi oynasi.
1 – potensial to‘siqning turi; 2 – zarrachaning to‘la energiyasi; 3 – potensial to‘siq balandligi.

Agar $E < U_0$ bo‘lsa, u holda statsionar rejimda tushayotgan to‘lqinning barcha energiyasi qaytadi, lekin zina ostida to‘lqin funksiya nolga teng emas, balki koordinata x ortishi bilan eksponental ravishda kamayadi. Bu potensial to‘siqning sindirish ko‘rsatkichi mavjudligiga mos keladi:

$$n = \sqrt{1 - \frac{E}{U_0}}$$

Bundan kelib chiqadiki, $E < U_0$ bo‘lganda, zarra potensial to‘siq ichiga o‘z yo‘nalishini o‘zgartirgan holda kiradi. To‘lqin funksiya potensial to‘siq ostida noldan farqli bo‘ladi. Zarrani aniqlash ehtimollik zichligi eksponensial kamayadi (5-rasm, 1).



5-rasm. Zarraning ehtimollik zichligi grafigi.

Zarraning to‘la energiyasi o‘zgarmas bo‘lganda, zinasimon potensial to‘siqning qaytarish koeffitsiyenti uning balandligiga bog‘liqligi 2-jadvalda keltirilgan.

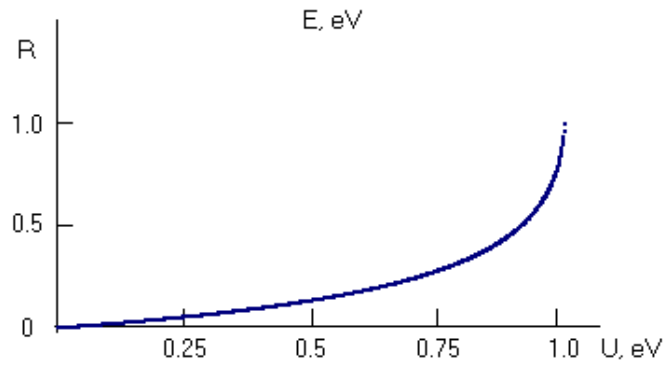
Zarra energiyasi va potensial to‘siq balandligining turli qiymatlarida zarraning eni cheksiz bo‘lgan zinasimon potensial to‘siqdan qaytish va o‘tkazish koeffitsiyentlarining qiymati (4) va (6) ifodalar bo‘yicha hisoblash natijalariga mos keladi.

2-jadval

Potensial to'siqning qaytarish va o'tkazish koeffitsiyentlari uning balandligiga bog'liqligi

	U_0, eV	R	T
$E = 1\ eV$	0,3	0,01	0,99
	0,4	0,02	0,98
	0,5	0,03	0,97
	0,55	0,04	0,96
	0,6	0,05	0,95
	0,65	0,07	0,93
	0,7	0,09	0,91
	0,75	0,11	0,89
	0,8	0,15	0,85
	0,85	0,2	0,8
	0,9	0,27	0,7
	0,95	0,4	0,6
	1,0	1,0	0,0

Jadvalda keltirilgan ma'lumotlarga ko'ra, potensial to'siqning balandligi ortgan sari uning qaytarish koeffitsiyenti asta-sekin ortadi, potensial to'siqning balandligi zarraning to'la energiyasi qiymatiga yaqinlashib borgan sari qaytarish koeffitsiyentining qiymati keskin ortishi kuzatiladi. Bog'lanish grafik tarzda keltirilgan (6-rasm).



6-rasm. Potensial to'siqning qaytarish koeffitsiyenti uning balandligiga bog'liqligi.

Potensial to'siqlarni o'rgatishda axborot texnologiyalaridan foydalanish talabalarning o'zlashtirishini ancha osonlashtirishi mumkin. Potensial to'siqlarni o'qitishda axborot texnologiyalaridan foydalanishning ba'zi usullari quyidagicha bo'lishi mumkin:

Interaktiv vizualizatsiya:

- veb-ilovalar yoki maxsus dasturlar yordamida interaktiv vizualizatsiya yaratish talabalarga potensial to'siqlardagi zarrachalarning harakatini o'rganishga imkon beradi. Bunga zarrachalar harakatini jonlantirish, potensial to'siq parametrlarini o'zgartirish va zarrachalar holatidagi o'zgarishlarni kuzatish kiradi.

Simulyatsiya va modellashtirish:

- potensial to'siqlarda zarrachalarning harakatini modellashtirish uchun kompyuter dasturlarini qo'llash talabalarga virtual tajribalar o'tkazish imkonini beradi. Bunday simulyatsiyalar yordamida turli potensial to'siq shartlari va parametrlarini o'rganish mumkin.

Interaktiv darsliklar:

- veb-sahifalar, elektron kitoblar yoki planshet ilovalari kabi interaktiv o'quv materiallarini yaratish potensial to'siqlar haqidagi ma'lumotlarni qiziqarli va qulay tarzda taqdim etish imkonini beradi. Bunday darsliklarga matn, rasmlar, animatsiyalar, interfaol vazifalar va testlarni kiritish mumkin.

Virtual laboratoriyalar:

- virtual muhitda turli shakldagi kvant potensial to‘siqlar bilan tajriba o‘tkazish imkoniyatini beradigan kompyuter dasturiy mahsulotlarining ishlab chiqilishi natijasida talabalarga fizika laboratoriya qurilmalariga bevosita murojaat etmasdan amaliy tajriba o‘tkazishlari uchun sharoit yaratiladi. Bunday virtual laboratoriyalarda har xil turdagi potensial to‘siqlarni simulyatsiya qilish va ularning zarrachalar o‘tishiga ta’sirini o‘rganishda parametrlarini o‘zgartirish mumkin.

Multimedia taqdimotlari:

- video, audio, animatsiya va grafiklardan foydalangan holda multimedia taqdimotlarini yaratish potensial to‘siqlarning murakkab tushunchalarini qiziqarli tarzda tasavvur qilish va tushuntirish imkonini beradi.

- potensial to‘siqlarni o‘rgatishda axborot texnologiyalaridan foydalanish talabalar uchun materialni nafaqat qulay va qiziqarli qiladi, balki ularga ushbu fundamental fizika tushunchasini yaxshiroq tushunish va eslab qolish imkonini beradi.

Zinasimon potensial to‘siq mavzusini o‘qitishda talabalarning olgan bilimlarini mustahkamlash uchun quyidagi masalalarni hal etish tavsiya etiladi:

1. Zarraning to‘la energiyasi o‘zgarmas bo‘lganda, potensial to‘siq balandligining qanday qiymatida uning qaytarish va o‘tkazish koeffitsiyentlari o‘zaro teng bo‘ladi? Masalani analitik yo‘l bilan yeching, natijani dastur orqali tekshiring.

2. Potensial to‘siq qaytarish koeffitsiyentining optik analogi nimadan iborat?

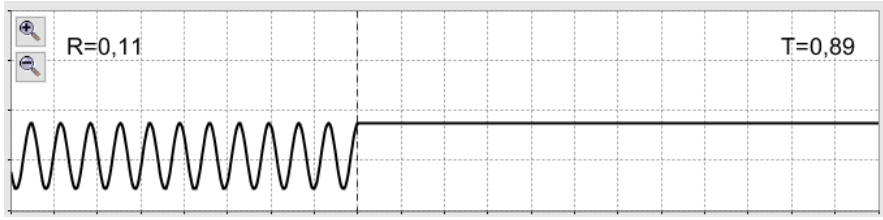
3. Agar zarraning to‘la energiyasi potensial to‘siqning balandligiga teng bo‘lsa, to‘siqning sindirish ko‘rsatkichi nimaga teng bo‘ladi?

4. Potensial to‘siq qaytarish va o‘tkazish koeffitsiyentlarini ularning optik analoglari bilan solishtirilganda, kvant mexanikasida qaysi kattalik haqida so‘z bormaydi? Buni qanday izohlaysiz?

5. Dastur oynasidan (3-rasm) “Direction of incoming wave” yozuvi ostidagi yo‘nalish ko‘rsatkichi orqali potensial to‘siqqa kiruvchi to‘lqinning yo‘nalishi o‘zgartirilsa, potensial to‘siqning qaytarish va o‘tkazish koeffitsiyentlari qiymatlarining o‘zgarishini izohlang.

6. Dastur oynasidan “wave pacet properties”, ya’ni to‘lqin tezligi xususiyatlari o‘zgartirilsa, bu narsa potensial to‘siqning xususiyatlarini qanday o‘zgartiradi?

7. Agar zarraning to‘la energiyasi 0,8 eV bo‘lsa, 7-rasmda keltirilgan ma’lumotlar asosida potensial to‘siqning balandligini toping.



7-rasm. Zarraning ehtimollik zichligi grafigi.

Masalani analitik yo‘l bilan yeching, natijani dastur orqali tekshiring.

8. 2-jadvalda keltirilgan ma’lumotlar asosida zarraning to‘la energiyasi o‘zgarmas bo‘lganda, potensial to‘siqning o‘tkazish koeffitsiyenti uning balandligiga bog‘liqligi grafigini chizing hamda uni 6-rasmda keltirilgan grafik bilan solishtiring, ularda qanday bog‘liqlik bor deb o‘ylaysiz?

9. Dastur oynasidan “initial position” qiymatining o‘zgarishini, potensial to‘siqning qaytarish va o‘tkazish koeffitsiyentlarining qiymatiga ta’sirini izohlang.

10. Zarraning to‘la energiyasini o‘zgarmas, ya’ni maksimal qiymatda olib, potensial to‘siqning sindirish ko‘rsatkichini to‘siqning balandligiga bog‘liqlik grafigini chizing.

Xulosa

Maqolada oliy ta’lim muassasalarida kvant mexanikasi fanini o‘qitishni to‘ldiruvchi pedagogik vosita taqdim etildi. Talabalar dasturdan istalgan vaqtda va ko‘p marta foydalanishlari mumkin. Ma’ruza hamda amaliy mashg‘ulotlarida ushbu vositadan foydalanish talabalarning kvant hodisalari haqidagi tushunchalarini yaxshilashga yordam beradi. Fikrimizcha, ushbu modellashtirish dasturi an’anaviy o‘quv materiallariga nisbatan ikkita asosiy afzallikga ega:

- foydalanuvchilar har safar butun masalani hal etmasdan, turli xil masala o‘zgaruvchilarining ta’sirini o‘rganishlari mumkin;

- jarayonni vizualizatsiya qilish kvant hodisalarini tushunishga yordam beradi.

Ta’lim strategiyalariga kelsak, dastur ko‘proq talabalarni qamrab olishga yordam beradigan turli xil integratsiyalashgan usullarni taqdim etadi. Bundan tashqari, ushbu modellashtirish dasturi hisob-kitob ma‘lumotlarini eksport qiladi, shunda talabalar o‘zlari bajargan simulyatsiyalarni tavsiflovchi va olingan natijalarni tushuntirib beradigan qisqa xulosa yozishlari mumkin.

Kvant mexanikasida zinasimon potensial to‘siqni o‘rganish, odatda kvant baryerlar va ularning potensial energiyasi konsepsiyasini, shuningdek, zina shaklining zarralarga xos kvant xususiyatlarga ta‘sirini tushuntirishni o‘z ichiga oladi.

Zinasimon potensial to‘siq mavzusini o‘qitish ushbu mavzu bilan bog‘liq asosiy tushunchalar va matematik usullarni tushuntirishni o‘z ichiga oladi:

- potensial to‘siq tushunchasi mustahkamlanadi;
- Shredinger tenglamasining zinasimon potensial to‘siq uchun tatbiq etilishi o‘rganiladi;
- zinasimon potensial to‘siq orqali tunnel effektining fizikaviy ma’nosi muhokama etiladi;
- kvant tunnel diodlari va kvant kuchaytirgichlari kabi fan va texnologiyadagi zinasimon potensial to‘siqning qo‘llanilishi tahlil etiladi.

Simulyatorlar “Kvant mexanikasi” fanidan ma’ruza va amaliy mashg‘ulotlar olib borishda keng qo‘llanilmoqda. Buning natijasida talabalar bilimining sifat ko‘rsatkichlari ortayotganligi kuzatilmoqda.

Adabiyotlar:

1. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 6 ноябрдаги ПФ-6108-сон “Ўзбекистоннинг янги тараққиёт даврида таълим-тарбия ва илм-фан соҳаларини ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги фармони. [Интернет манба]. URL: https://lex.uz (Мурожаат этилган сана: 14.11.2023)

2. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 8 октябрь ПФ-5847-сон “Ўзбекистон Республикаси олий таълим тизимини 2030 йилгача ривожлантириш концепциясини тасдиқлаш тўғрисида”ги фармони. [Интернет манба]. URL: https://lex.uz (Мурожаат этилган сана: 20.12.2023)

3. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2021 йил 19 март ПҚ-5032-сон “Физика соҳасидаги таълим сифатини ошириш ва илмий тадқиқотларни ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги қарори [Интернет манба]. URL: https://lex.uz (Мурожаат этилган сана: 09.01.2024)

4. PhET - University of Colorado Boulder [Internet manba]. URL: https://phet.colorado. edu (Murojaat etilgan sana: 18.10.2023)

5. *Muxtarov E.K.* “Phet inteactive simulations” dasturida fizika fanidan virtual laboratoriya ishlarini bajarish. – Namangan: “Usmon Nosir Media”, 2022. – 214 b.

6. *Muxtarov E.K*. Kvant mexanikasidan mashqlar, tavsifiy masalalar va ularning yechimlari. – Nukus: «Ilmiy va o‘quv adabiyotlar nashryoti», 2023. – 196 b.

7. *Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики.* – Санкт-Петербург: Лань, *2004*. – 672 с.

8. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Курс теоретической физики / В кн.: Квантовая механика (нерелятивистская теория). В десяти томах. Том 3. –Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 800 с.

9. *Musaxanov M.M., Rahmatov A.S.* Kvant mexanikasi. – Tashkent: Tafakkur bo‘stoni, 2011. – 352 b.

10. *Киселёв В.В*. Квантовая механика. – Москва: МЦНМО, 2023. – 720 с.

IMPROVEMENT OF THE TEACHING OF THE THEME "REFLECTION AND PASSAGE OF A PARTICLE A POTENTIAL BARRIER" IN QUANTUM MECHANICS BASED ON A COMPUTER PROGRAM

Erkinjon K.Mukhtarov[1]

Ilmiy xabarnoma. Seriya: Pedagogik tadqiqotlar – Scientific bulletin. Series: Pedagogical Research. 2024. 2 (77) 40-49.

[1]Andijan State University, Andijan, 170100, str. University, 129 (Uzbekistan). e–mail: agsu_info@edu.uz

Key words: quantum mechanics, potential barrier, total energy, information technology, wave number, return coefficients, pedagogical tool.

This article shows the possibilities of using information and communication technologies in solving problems in quantum mechanics in higher educational institutions. In particular, using quantum mechanical animation contained in the Phet program, the values of the reflection and transmission coefficients of a potential barrier are compared with analytically solved values, as well as the possibilities of using the Phet program in the educational process.

Internet open data is public information on the Internet, which allows users to constantly access, search, and read freely through the Internet. In the introductory part of the article, the national database of legal information of the Republic of Uzbekistan, as well as educational and scientific literature, data from the Internet open educational resource were used to model the passage and return of a particle through a potential barrier. Methods of analysis, comparison, and generalization were used to solve the problem.

In quantum mechanics, a step potential barrier represents potential energy that changes in steps depending on the coordinate. This type of potential barrier is widely used to model various physical phenomena, including the passage of particles through potential barriers.

The stepped potential barrier can arise in various contexts, for example, in the quantum mechanics of particles in a box with infinite walls, in the tunnel effect, in semiconductor structures, and so on. The study of the passage of particles through a stepped potential barrier is important for understanding quantum phenomena and developing various technologies such as quantum mechanics and quantum electronics.

A stepped potential barrier is a configuration of potential energy that varies stepwise depending on the coordinate. This type of potential barrier is an important element in various physical systems such as quantum mechanics, electronics and optics.

In quantum mechanics, a stepped potential barrier is used to model various physical phenomena such as the tunneling effect, where a particle can penetrate a barrier without having enough energy to overcome it. In electronics, stepped potential barriers are used in semiconductor structures such as transistors, where they serve to control the flow of electrons. Step potential barriers can also occur in optical systems, where they can be used to create optical gratings and filters.

The study of step potential barriers is important for understanding various quantum mechanical phenomena and for developing various technologies based on quantum effects.

References:

1. (2020) O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 6-noyabrdagi PF–6108-son “O‘zbekistonning yangi taraqqiyot davrida ta’lim-tarbiya va ilm-fan sohalarini rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi farmoni. [Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. PF-6108 dated November 6, 2020 "On measures to develop the fields of education and science in the period of new development of Uzbekistan"]. [*Online*]. URL: https://lex.uz (Date of access: 14.11.2023)

2. (2019) O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 8-oktyabrdagi PF-5847-son “O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi farmoni PF-5847-son [Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. PF-5847 of October 8, 2019 “On approval of the concept of development of the higher education system of the Republic of Uzbekistan until 2030” No. PF-5847]. [Online]. URL: https://lex.uz (Date of access: 20.12.2023)

3. (2021) O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 19-martdagi PQ-5032-son “Fizika sohasidagi ta’lim sifatini oshirish va ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi qarori [Decision of the President of the Republic of Uzbekistan dated March 19, 2021 No. PQ-5032 “On measures to improve the quality of education in the field of physics and develop scientific research”]. [Online]. URL: https://lex.uz (Date of access: 09.01.2024)

4. PhET - University of Colorado Boulder [Online]. URL: https://phet.colorado. edu (Date of access: 18.10.2023)

5. Muxtarov, E.K. (2022). *“Phet inteactive simulations” dasturida fizika fanidan virtual laboratoriya ishlarini bajarish* [Performing virtual laboratory work in physics in the "Phet interactive simulations" program]. Namangan: Usmon Nosir Media.

6. Muxtarov, E.K. (2023). *Kvant mexanikasidan mashqlar, tavsifiy masalalar va ularning yechimlari* [Exercises from quantum mechanics, descriptive problems and their solutions]. Nukus: Ilmiy va o‘quv adabiyotlar nashryoti.

7. Blohincev, D.I. (2004). *Osnovy kvantovoj mekhaniki* [Fundamentals of Quantum Mechanics]. Saint Petersburg*:* Lan'.

8. Landau, L.D., Lifshits, E.M. (2004) *Kurs teoreticheskoy fiziki* [Course of theoretical physics]. In: *Kvantovaya mexanika* (nerelyativistskaya teoriya). [Quantum mechanics (non-relativistic theory)]. In 5 volumes. Vol.3. *Moscow*: Fizmatlit.

9. Musaxanov, M.M., Rahmatov, A.S. (2011) *Kvant mexanikasi* [Quantum mechanics]. Tashkent: Tafakkur bo‘stoni.

10. Kiselyov, V.V. (2023) *Kvantovaya mekhanika* [Quantum mechanics]. *Moscow*: MSNMO.

Muallif haqida ma’lumot:

MUXTAROV Erkinjon Kobiljonovich – Andijon davlat universiteti Umumiy fizika kafedrasi dotsenti. E-mail: erkinmuxtarov@yahoo.com