UO‘K 53:37.016:531:517

OLIY TA’LIMDA KVANT MEXANIKASINI O‘QITISHDA AXBOROT TEXNOLOGIYALARIDAN FOYDALANISHNING YANGI IMKONIYATLARI

S.Z. Zaynobiddinov, E.K. Muxtarov

Maqolada kvant mexanikasidagi asosiy tushunchalardan biri bo‘lgan potensial o‘ra modelini o‘qitishda innovatsion yondashuvlar qo‘llanilishining nazariy va amaliy jihatlari yoritiladi. Mazkur mavzuni talabalarga yanada tushunarli tarzda yetkazish uchun axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining imkoniyatlaridan foydalanish masalasi ko‘rib chiqilgan. Xususan, raqamli simulyatsiya orqali potensial o‘ra modelining fizik mazmuni, matematik asoslari va yechim metodikasi aniq misollar bilan ochib berilgan.

Kalit so‘zlar: *Shredinger tenglamasi, to‘lqin funksiyasi, ikki o‘lchovli potensial o‘ra, ehtimollik zichligi, kompyuterda modellashtirish*.

В статье освещаются теоретические и практические аспекты применения инновационных подходов в преподавании одной из основных концепций квантовой механики – модели потенциальной ямы. Рассматриваются возможности широкого использования информационно-коммуникационных технологий для более доступного и понятного объяснения данной темы студентам. В частности, с помощью цифровых симуляций наглядно раскрываются физическая сущность, математические основы и методы решения модели потенциальной ямы на конкретных примерах.

Ключевые слова: *уравнение Шредингера, волновая функция, двумерная потенциальная яма, плотность вероятности, компьютерное моделирование.*

Kirish

Mavjud ta’lim-tarbiya tizimi zamon talablariga mos holda takomillashtirilishini, yoshlarni chuqur bilimli, intellektual salohiyati yuqori, jismoniy va ma’naviy jihatdan barkamol shaxslar sifatida voyaga yetkazishni talab qilmoqda. Shu bilan birga, ta’lim muassasalarida faoliyat yuritayotgan pedagog kadrlarning jamiyatdagi mavqeyini yuksaltirish, ularning samarali faoliyat yuritishlari uchun qulay mehnat va o‘quv muhitini shakllantirish bo‘yicha izchil va tizimli choralar zarur bo‘lmoqda [1].

So‘nggi yillarda mamlakatimizda ta’lim sohasini rivojlantirishga doir kompleks dasturlar va normativ-huquqiy hujjatlar qabul qilinayotgani ushbu yo‘nalishga strategik e’tibor qaratilayotganidan dalolat beradi [2].

Ilm-fan va texnologiyalar jadal rivojlanayotgan hozirgi zamonda oliy ta’lim muassasalarining bakalavriat bosqichida fizika fanini o‘qitishda zamonaviy metodik yondashuvlarni ishlab chiqish va joriy etish dolzarb masala bo‘lib qolmoqda. Xususan, murakkab nazariy tushunchalarni talabalar ongiga samarali singdirish uchun vizual, interaktiv va amaliy metodlarga tayanish muhim ahamiyat kasb etadi [3. B. 116].

Ushbu maqolada kvant mexanikasini o‘qitishda interaktiv simulyatsion dasturdan foydalanish imkoniyatlari o‘rganiladi. Mazkur dastur orqali talabalar uchun nazariy bilimlarni vizual tarzda qabul qilish imkoniyati yaratiladi. Shuningdek, zarrachalarning kvant potensial o‘radagi holatini modellashtiruvchi masalalar misolida ma’ruza va amaliy mashg‘ulotlarni tashkil etish metodikasi ko‘rib chiqiladi.

Adabiyotlar tahlili

Kvant mexanikasi mikroskopik darajada materiya va energiyaning tabiati haqidagi zamonaviy tushunchalarning asosidir. Turli potensial o‘ralardagi zarrachalarning harakatini modellashtirish uni o‘rganishning eng muhim elementlaridan biridir. Bir o‘lchovli potensial o‘ra kvant mexanikasi tamoyillarini tushuntirish uchun keng qo‘llanilsa, ikki o‘lchovli potensial o‘ra tahlil qilish uchun yanada murakkab va ko‘p qirrali obyektlarni ifodalaydi. Ular nafaqat nazariy masala, balki ikki o‘lchovli materiallar yoki nanostrukturalardagi zarrachalarning harakati kabi fizik hodisalarni o‘rganishda muhim element hisoblanadi [4. B.78].

Ikki o‘lchovli potensial o‘ra – zarrachaning ikki fazoviy yo‘nalishda (masalan, *x* va *y* tekisliklarida) harakati cheklangan model. Ushbu model bir o‘lchovli o‘raning umumlashtirilishi bo‘lib, kvant nuqtalari, ikki o‘lchovli yarimo‘tkazgich materiallari yoki atom qatlamlari kabi ikki o‘lchovli tizimlarda cheklangan zarrachalarning kvant mexanik xatti-harakatlarini to‘liqroq ko‘rib chiqishga imkon beradi.

Ikki o‘lchovli potensial o‘rada tizimning xususiy holatlariga mos keladigan energiya sathlari o‘raning geometriyasiga va uning potensial maydonining shakliga bog‘liq. Bunday tizimlarni o‘rganish energiya diskretligi, zarrachalarning potensial to‘siqlar bilan o‘zaro ta’siri va kvant tunnel effekti kabi muhim hodisalarni tushunishga imkon beradi [5. B.308].

Ma’lumki, kvant mexanikasida relyativistik bo‘lmagan zarrachaning potensial maydondagi harakati Shredinger tenglamasi bilan quyidagi ko‘rinishda tavsiflangan:

$$\hat{H}\Psi = E\Psi \,, \qquad (1)$$

bu yerda $\hat{H}$ – Gamiltonian, E – zarrachaning umumiy energiyasi, Ψ – to‘lqin funksiyasi [6. B. 167].

Statsionar Shredinger tenglamasi tizimning holatini tavsiflaydi:

$$\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\psi + [E - U(x,y)]\psi = 0 \qquad (2)$$

Ushbu tenglamaning yechimlari ψ_n – sistemaning xususiy funksiyalari, mos keladigan E_n – parametr qiymatlari esa energiyaning xususiy qiymatlari deb ataladi.

Devorlari cheksiz baland bo‘lgan ikki o‘lchamli to‘g‘riburchakli o‘raning eng oddiy holi uchun Shredinger tenglamasining yechimini keltiramiz [7. B.147]:

$$U(x,y) = \begin{cases} 0, & M \in \Omega \\ \infty, & M \notin \Omega \end{cases} \qquad \Omega = \begin{cases} 0 < x < a \\ 0 < y < b \end{cases} \qquad M(x,y)$$

Simmetriyaga asoslanib, to‘lqin funksiyasini bitta o‘zgaruvchiga ega funksiyalari ko‘paytmasi sifatida tavsiflash mumkin:

$$\psi(x,y) = \psi_x(x)\cdot\psi_y(y) \qquad (3)$$

U holda (2) tenglama quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$\frac{d^2\psi_x}{dx^2} + k_x^2\psi_x = 0 \qquad (4)$$

ψ_y uchun ham xuddi shunday qabul qilish mumkin. (4) tenglamaning yechimi:

$$\psi_{x,n} = C_x \sin k_{x,n},$$

U holda izlanayotgan to‘lqin funksiyasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\psi_{n_x,n_y}(x,y) = \psi_{n_x}(x)\cdot\psi_{n_y}(y) = \sqrt{\frac{2}{a}}\cdot\sqrt{\frac{2}{b}}\sin\left(\frac{\pi n_x}{a}x\right)\sin\left(\frac{\pi n_y}{b}y\right) \qquad (5)$$

Bu yerda n_x, n_y – kvant sonlari, a, b – potensial o‘raning o‘lchami.

Ikki o‘lchamli potensial o‘rada joylashgan zarrachaning ehtimollik zichligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\rho_{n_x,n_y}(x,y) = \left|\psi_{n_x,n_y}(x,y)\right|^2 = \frac{4}{ab}\sin^2\left(\frac{\pi n_x}{a}x\right)\sin^2\left(\frac{\pi n_y}{b}y\right) \qquad (6)$$

Natijalar va muhokama

Ikki o‘lchovli potensial o‘ra modelini o‘rgatishda eng samarali pedagogik yondashuvlardan biri bu – interaktiv vizualizatsiya vositalaridan foydalanishdir. Bu usul yordamida talabalar real vaqtda turli parametrlarning

kvant tizimlariga ta'sirini kuzatishlari, shuningdek, zarrachalarning kvant holatlarini tasavvur qilishlari mumkin bo'ladi. Dasturiy ta'minotlar va grafik interfeyslar orqali talabalar to'lqin funksiyalarining shakli, energiya sathlari va ehtimollik zichligining fazodagi taqsimotini o'rganadilar.

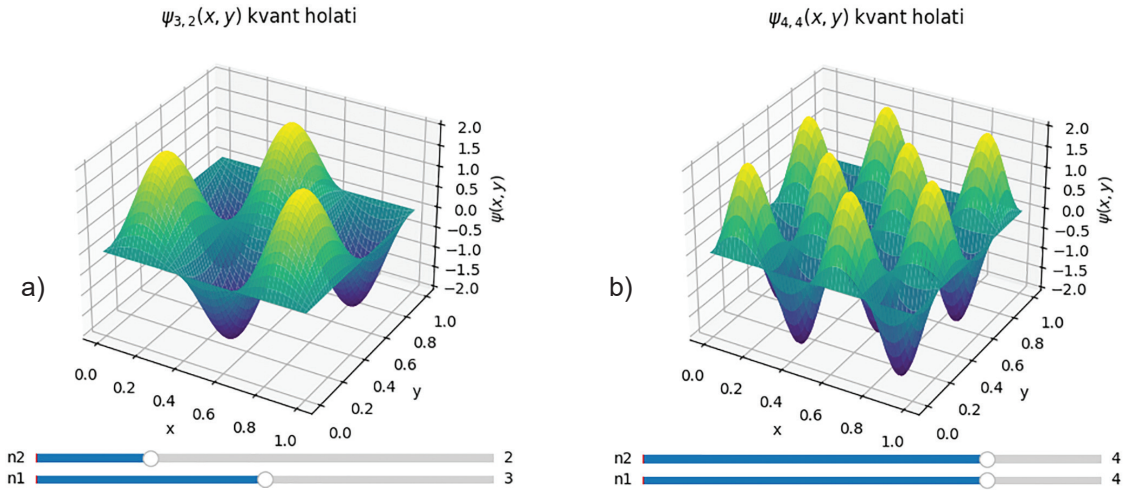
Ushbu metodika ikki jihatdan muhim ahamiyat kasb etadi: birinchidan, talabalar nazariy tushunchalarni ko'rgazmali tarzda anglab yetadilar; ikkinchidan, zamonaviy ilmiy asbob-uskunalar va dasturlardan foydalanish ko'nikmalarini egallaydilar.

Mazkur yondashuv nafaqat o'quv jarayonining interaktivligini oshiradi, balki kvant mexanikasining noan'anaviy mohiyatini soddalashtirib, talabalar tomonidan samarali o'zlashtirilishini ta'minlaydi.

Ikki o'lchovli potensial o'radagi zarrachaning kvant holatini modellashtirish uchun kompyuter dasturiy vositasi ishlab chiqildi [8. B. 5, 9. B. 438]. Ushbu dastur kvant mexanikasi qonunlariga asoslanib, zarrachaning fazodagi xatti-harakatini aniq modellashtirish imkonini beradi. Dastur real vaqt rejimida hisob-kitoblarni amalga oshiradi va foydalanuvchiga intuitiv grafik interfeys orqali natijalarni vizual tarzda taqdim etadi.

Bu vosita yordamida foydalanuvchilar turli xil potensiallar – kvadrat o'ra, parabolik potensial yoki boshqa murakkab shakldagi potensial maydonlarda zarrachalarning holatini o'rganishlari mumkin. Ayniqsa, dastur Shredinger tenglamasining sonli yechimlari asosida to'lqin funksiyalarining dinamikasini yuqori aniqlikda hisoblaydi. Shuningdek, dastur foydalanuvchilarga turli xil boshlang'ich shartlar, o'ra o'lchami va energiya sathlarini sozlash imkoniyatini beradi.

1-rasmda keltirilgan grafikdan ko'rinadiki, kvant sonlarining qiymati ortgani sari to'lqin funksiyasining grafigi yanada murakkab va ko'p cho'qqili shaklga ega bo'ladi. Har bir kvant soni tizimdagi zarrachaning energetik holatini ifodalab, tegishli to'lqin funksiyasining fazodagi o'zgarishiga sabab bo'ladi.



1-rasm. Kvant sonlarining turli qiymatlarida to'lqin funksiya grafigining ko'rinishi:

$$a)\ n_x = 3, n_y = 2;\ b)\ n_x = 4, n_y = 4.$$

Agar potensial o'raning geometrik o'lchami birlikka teng deb qabul qilinsa, to'lqin funksiyasining maksimal qiymati (5) ifodaga asosan 2 ga teng bo'ladi. Bu natija 1-rasmda keltirilgan grafikdan ham ko'zga tashlanadi. Grafikda to'lqin funksiyaning amplitudasi 2 birlik qiymatida cho'qqiga ega bo'lib, bu nazariy qiymatni tasdiqlaydi.

Xuddi shuningdek, ehtimollik zichligi funksiyasining maksimal qiymati (6) ifodaga muvofiq 4 ga teng. 2-rasmda aks ettirilgan grafikda ushbu qiymat amaliy jihatdan ko'rinib turadi. Bu yerda ehtimollik zichligi $|\psi(x, y)|^2$ maksimal qiymatiga zarrachaning eng ehtimolli joylashgan sohasida erishadi.

Dasturiy ta'minot yordamida kvant sonlarining qiymatlarini osonlik bilan o'zgartirish mumkin. Buning natijasida zarrachaning:

- to'lqin funksiyasi grafigi,
- ehtimollik zichligi funksiyasi grafigi

real vaqt rejimida yangilanadi. Bu esa har bir kvant holati uchun xos bo'lgan xatti-harakatlarni vizual tahlil qilish imkonini beradi.

Shuningdek, grafik interfeys yordamida (masalan, kompyuter sichqonchasi orqali) hosil qilingan uch o'lchamli grafikni turli burchaklarga burib ko'rish mumkin. Natijada ehtimollik zichligi maksimal bo'lgan nuqtalarning geometrik o'rnini *xOy* tekisligida aniqlash imkoniyati yaratiladi. Bu esa talabalarda kvant zarrachaning fazodagi joylashuvi haqidagi tasavvurni shakllantirishda muhim rol o'ynaydi.

Dasturning ish jarayonini talabalarga tushunarli tarzda yoritish maqsadida turli kvant sonlari va potensial konfiguratsiyalarga asoslangan amaliy misollar keltiriladi.

1. Zarracha devorlari cheksiz baland bo'lgan ikki o'lchovli to'g'ri burchakli kvadrat potensial o'rada joylashgan. Zarrachaning x, y koordinatalari o'raning $0 < x < a,\ 0 < y < a$ oralig'ida yotadi, bu yerda a – kvadrat potensial o'raning yon tomonining uzunligi (nm). Kvant sonlarining $n_x = 1$ va $n_y = 3$ qiymatlari uchun $0 < x < a,\ 0 < y < a/3$ sohada zarrachaning topilish ehtimolligini aniqlang [10. B. 185].

Masalaning yechilishi:

Ikki o'lchovli fazoda zarrachaning topilish ehtimolligi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\omega = A^2 \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \left|\psi_{n_x,n_y}(x,y)\right|^2 dxdy \qquad (7)$$

Tomonlari *a* va *b* bo'lgan ikki o'lchamli potensial o'rada joylashgan, kvant sonlari n_x va n_y bo'lgan zarrachaning to'lqin funksiyasi quyidagicha ifodalanadi:

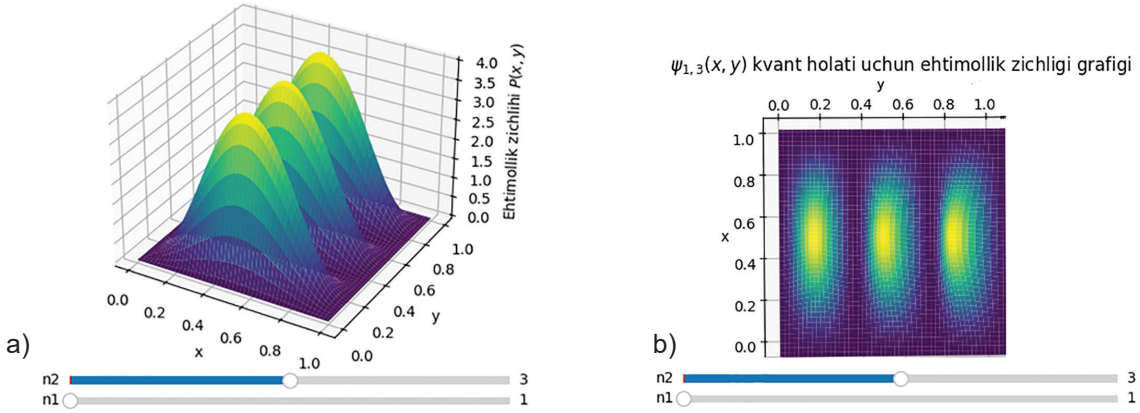
$$\psi_{n_x,n_y}(x,y) = \psi_{n_x}(x)\cdot\psi_{n_y}(y) = \sqrt{\frac{2}{a}}\cdot\sqrt{\frac{2}{b}}\sin\left(\frac{\pi n_x}{a}x\right)\sin\left(\frac{\pi n_y}{b}y\right)$$

Mazkur ifodani berilgan masala uchun tatbiq etib, o'raning o'lchamlarini e'tiborga olgan holda (7) ga qo'yamiz:

$$\omega = \frac{4}{a^2}\int_0^a \int_0^{a/3} \sin^2\left(\frac{\pi}{a}x\right)\cdot\sin^2\left(\frac{3\pi}{a}y\right)dxdy \qquad (8)$$

Mazkur integralni hisoblaymiz:

$$\omega_1 = \frac{4}{a^2}\int_0^a \sin^2\left(\frac{\pi}{a}x\right)dx\cdot\int_0^{a/3}\sin^2\left(\frac{3\pi}{a}y\right)dy = \frac{1}{a^2}\int_0^a\left(1-\cos\frac{2\pi}{a}x\right)dx\cdot\int_0^{a/3}\left(1-\cos\frac{6\pi}{a}x\right)dy = \frac{1}{3}$$



2-rasm. $\psi_{1,3}(x,y)$ holat uchun ehtimollik zichligi grafigi, *b)* rasmda grafikning xOy tekislikdagi ko'rinishi.

Masala shartiga qo'shimcha sifatida kvant sonlarining $n_x = 1$ va $n_y = 3$ qiymatlari uchun $0 < x < a,\ a/3 < y < 2a/3$ sohada zarrachaning topilish ehtimolligini aniqlanymiz:

$$\omega_2 = \frac{4}{a^2}\int_0^a \sin^2\left(\frac{\pi}{a}x\right)dx\cdot\int_{a/3}^{2a/3}\sin^2\left(\frac{3\pi}{a}y\right)dy = \frac{1}{a^2}\int_0^a\left(1-\cos\frac{2\pi}{a}x\right)dx\cdot\int_{a/3}^{2a/3}\left(1-\cos\frac{6\pi}{a}x\right)dy = \frac{1}{3}$$

Agar $0 < x < a,\ \ 2a/3 < y < a$ soha uchun yuqoridagi integrallash amali bajarilsa, uning natijasi ham $\omega_3 = 1/3$ ga teng bo'ladi. $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ larning yig'indisini hisoblaymiz:

$$\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$$

Bu to'lqin funksiyasining cheklilik shartini qanoatlantiradi.

2-rasmda keltirilgan ehtimollik zichligi grafigi yuqori kvant sonlarida murakkab strukturaga ega bo'lib, zarrachaning qaysi sohalarda ko'proq yoki kamroq ehtimol bilan joylashishini vizual ko'rsatadi. Bu grafiklar talabalarga kvant sonlari va to'lqin funksiyalari o'rtasidagi bog'liqlikni chuqurroq tushunishda yordam beradi.

2. Zarrachaning kvant sonlari $n_x = 1$ va $n_y = 2$ ga teng bo'lgan holat uchun kvadrat potensial o'rada joylashgan zarrachani topish ehtimollik zichligi maksimal bo'lgan nuqtalarni aniqlang [11].

Masalaning yechilishi:

Kvant sonlarining $n_x = 1$ va $n_y = 2$ qiymatlari uchun (6) ni qayta yozamiz:

$$\rho_{1,2}(x,y) = \frac{4}{a^2}\sin^2\left(\frac{\pi}{a}x\right)\sin^2\left(\frac{2\pi}{a}y\right)$$

$\rho_{1,2}(x,y)$ funksiyaning maksimal qiymatini topish uchun avval bu funksiyani *x* bo'yicha, so'ngra *y* bo'yicha differensiallab, hosil bo'lgan hadlarni nolga tenglaymiz:

$$\frac{\partial\rho_{1,2}(x,y)}{\partial x} = \frac{8\pi}{a^3}\sin\left(\frac{\pi}{a}x\right)\cdot\cos\left(\frac{\pi}{a}x\right)\cdot\sin^2\left(\frac{2\pi}{a}y\right) = 0 \qquad (9)$$

$$\frac{\partial\rho_{1,2}(x,y)}{\partial y} = \frac{16\pi}{a^3}\sin^2\left(\frac{\pi}{a}x\right)\cdot\sin\left(\frac{2\pi}{a}y\right)\cdot\cos\left(\frac{2\pi}{a}y\right) = 0 \qquad (10)$$

(9), (10) ifodalar ustida matematik amallar bajarilgandan so'ng, kritik nuqtalarni aniqlaymiz (bu nuqtalarda $\rho_{1,2}(x,y)$ funksiyaning maksimal sharti bajariladi):

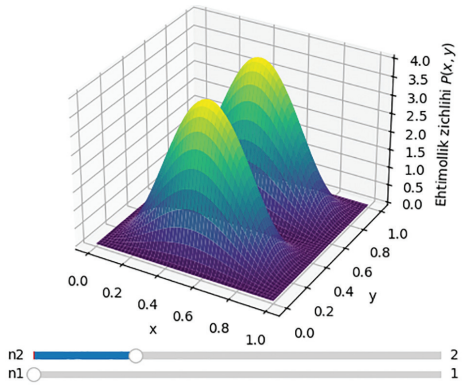
$$x_1 = \frac{a}{2},\ y_1 = \frac{a}{4};\ \ x_2 = \frac{a}{2},\ y_2 = \frac{3a}{4}.$$

Masalaning yechimi to'g'riligini dastur yordamida tekshirib ko'ramiz. Potensial o'ra tomonlarining $a = b$ va kvant sonlari qiymatlarining masala shartiga muvofiq $n_x = 1$ va $n_y = 2$ qiymatlari tanlanadi. Natijada ehtimollik zichligi grafigi namoyon bo'ladi (3.*a*-rasm). 3.*b*-rasmda xOy tekislikdagi ehtimollik zichligi grafigi ko'rsatilgan. 3.*a* va 3.*b* rasmlardan ko'rinadiki, kvadrat potensial o'radagi zarrachaning ehtimollik zichligi haqiqatan ham

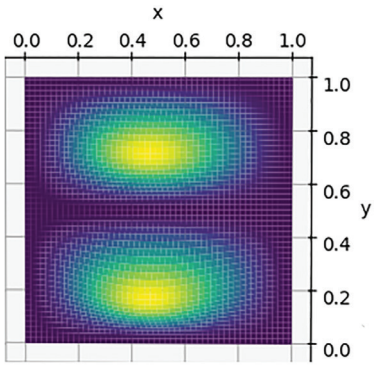
$$x_1 = \frac{a}{2},\ \ y_1 = \frac{a}{4};\ \text{va}\ x_2 = \frac{a}{2},\ \ y_2 = \frac{3a}{4}\ \text{(sariq rangli sohalar)}$$

nuqtalarda maksimal qiymatga erishadi.

a)



b)



3-rasm. Berilgan shartlar uchun hisoblash natijalarining umumiy ko'rinishi.
a) ehtimollik zichligi grafigi; *b)* xOy tekislikdagi ehtimollik zichligi grafigi.

Tahlil qilingan misollar ishlab chiqilgan dasturiy vositaning funksional jihatdan to‘g‘ri ishlashini tasdiqlaydi hamda uni kvant mexanikasida ikki o‘lchovli potensial o‘ra modelini o‘rgatishda samarali o‘quv vositasi sifatida qo‘llash mumkinligini ko‘rsatadi.

Mazkur dastur ikki o‘lchamli fazoda zarrachalarning kvant sonlarini o‘zgartirish orqali ularning ehtimollik zichligini vizual tarzda kuzatish, shuningdek, turli kvant sonlari qiymatlari uchun zarracha energiyasini aniqlash imkonini beradi.

Bunday interaktiv dasturiy vositalar kvant hodisalarini tasvirlashga imkon yaratadi va mikrodarajadagi fizik jarayonlarni chuqur anglash hamda tahlil qilishga xizmat qiladi. Shu boisdan mazkur dastur kvant mexanikasining nazariy materiallarini o‘qitishda ko‘rgazmali va interaktiv manba sifatida yuqori samaradorlikka ega o‘quv vositasi sifatida tavsiya etilishi mumkin.

Talabalar bilimini nazorat qilish uchun quyidagi nazariy savollar va masalalar taklif etiladi:

1. Kvant mexanikasida ikki o‘lchovli potensial o‘ra nima ekanligini tushuntiring. U bir o‘lchovli potensial o‘radan qanday farq qiladi? Ikki o‘lchovli potensial o‘radagi zarracha uchun energiya sathlarini aniqlaydigan asosiy parametrlar qanday?

2. Ikki o‘lchovli sistema uchun umumiy Shredinger tenglamasini yozing.

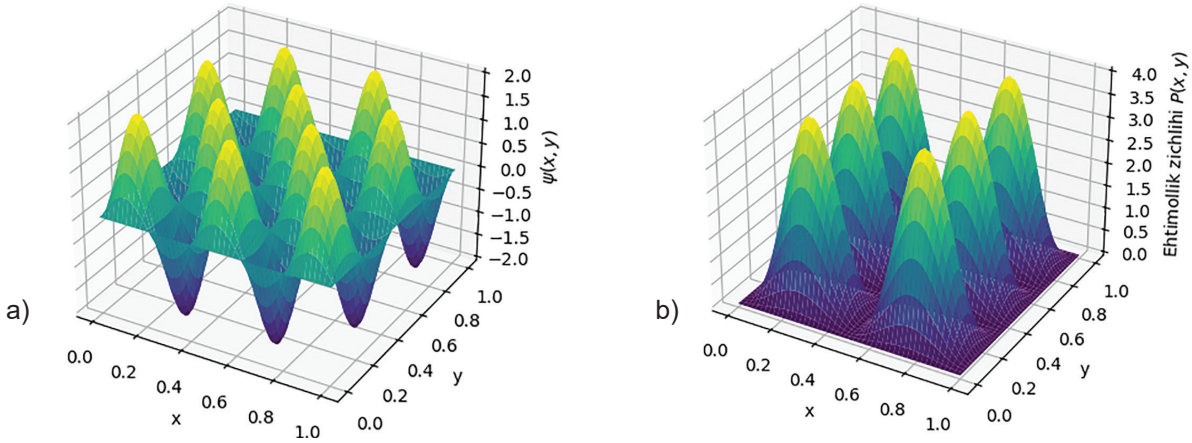
Ushbu tenglama uchun qanday turdagi potensiallarni ko‘rib chiqish mumkin? Ikki o‘lchovli to‘g‘ri burchakli o‘ra uchun Shredinger tenglamasi qanday yechiladi?

3. Potensial o‘ra shaklini o‘zgartirish (masalan, to‘g‘ri burchakli shaklni aylana yoki elliptik shaklga almashtirish) to‘lqin funksiyasi va energiya sathlariga qanday ta’sir qiladi?

4. Ikki o‘lchovli o‘raga tashqi magnit maydon qo‘yilsa, nima bo‘lishini tavsiflab bering. Energiya sathi qanday o‘zgaradi?

5. Ikki o‘lchovli potensial o‘ra kvant nuqtalari va nanostrukturalarni tavsiflashda qanday rol o‘ynaydi?

6. 3-rasmda zarrachaning turli kvant holatlariga mos kelgan to‘lqin funksiya (3a-rasm) va ehtimollik zichligi (3b-rasm) grafiklari keltirilgan. Grafikka asosan kvant sonlarining qiymatlarini toping.



3-rasm. Zarrachaning turli kvant holatlariga mos kelgan to‘lqin funksiya (*a*) va ehtimollik zichligi (*b*).

1-masala. Zarracha x va y o‘qlari bo‘yicha tomonlari L_x va L_y bo‘lgan ikki o‘lchovli to‘g‘ri burchakli o‘rada joylashgan. Potensial $U(x,y)$ o‘ra ichida nolga teng, uning tashqarisida esa cheksiz qiymatni qabul qiladi.

1. Ushbu sistema uchun Shredinger tenglamasini yozing.
2. Shredinger tenglamasini o‘zgaruvchilarni ajratish usuli yordamida yeching.
3. Ushbu tizim uchun energiya sathlarini aniqlang va ularni L_x, L_y va zarracha massasi m bilan ifodalang.

2-masala. O‘radan tashqaridagi potensial cheksiz bo‘lgan, o‘lchamlari $L_x=2$ *nm* va $L_y=3$ *nm* bo‘lgan ikki o‘lchovli to‘g‘ri burchakli o‘radagi zarrani qaraymiz. Zarrachaning massasi $m=9{,}11\cdot10^{-31}$ kg (elektronning massasi).

1. Ushbu tizimning dastlabki ikki energiya sathini hisoblang.
2. Ushbu sathlarga mos keladigan to‘lqin funksiyalarining ifodasini toping.
3. O‘raning chiziqli uzunligi L_x ikki marta ortsa, to‘lqin funksiyasi va energiyasi qanday o‘zgaradi?

3-masala. Faraz qilaylik, ikki o‘lchovli o‘ra potensial parabola shakliga ega, ya’ni $U(x, y) = U_0(x^2 + y^2)$, bunda U_0 musbat doimiy.

1. Ushbu sistema uchun Shredinger tenglamasini yozing.

2. Variatsiya usulidan foydalanib, quyi holatlar uchun energiya sathlarini baholang.

3. Olingan natijalarning fizik ahamiyatini tavsiflang va ularni to‘g‘ri burchakli o‘ra uchun olingan natijalar bilan solishtiring.

4-masala. Faraz qilaylik, ikki o‘lchovli o‘raning o‘lchamlari L_x va L_y o‘n barobar ortadi. Ushbu tizimdagi zarrachaning energiya sathlari qanday o‘zgaradi? Sababini tushuntiring.

Sinovni baholashning asosiy mezonlari:

Nazariya asoslarini va asosiy tushunchalarni (Shredinger tenglamasi, energiya sathlari, to‘lqin funksiyalari va boshqalar) to‘g‘ri tushunish.

Matematik usullarni qo‘llay olish, hisob-kitoblarning to‘g‘riligi va olingan javoblarning to‘g‘riligi.

O‘ra parametrlari va geometriyadagi o‘zgarishlar asosida tizimning fizikaviy holatini tahlil qilish qobiliyati.

Nostandart yoki qo‘shma masalalarni yechishda nazariy bilimlarni qo‘llash qobiliyati.

Xulosa

Kvant mexanikasida ikki o‘lchovli potensial o‘ra tushunchasini o‘rgatish ijodkorlikni, zamonaviy texnologiyalarni birlashtirish va faol o‘qitish usullaridan foydalanishni talab qiladi. Interfaol vizualizatsiya, kompyuter simulyatsiyasi, loyihaga asoslangan ta'lim va real misollar bilan kontekstuallashtirish – bularning barchasi materialni chuqur o‘zlashtirishga yordam beradi. Bunday yondashuv nafaqat o‘quv jarayonini yanada qiziqarli va tushunarli qiladi, balki talabalarga fizika va texnika fanidan murakkab masalalarni yechish uchun zarur bo‘lgan muhim kompetensiyalarni o‘zlashtirishga yordam beradi.

Maqolada namuna sifatida keltirilgan masalalar, talabalar tomonidan kvant mexanikasi fanining “Shredinger tenglamasi” mavzusi bo‘yicha olgan nazariy bilimlarni amaliyotda mustahkamlashga xizmat qiladi. Ushbu masalalar orqali talabalar abstrakt nazariy tushunchalarni real fizik muammolarga tatbiq qilishni o‘rganadilar.

Masala yechimlarining tahlili shuni ko‘rsatadiki, talabalar ushbu turdagi kvant masalalarini muvaffaqiyatli yechishlari uchun matematikaning quyidagi asosiy bo‘limlaridan yetarli bilimga ega bo‘lishlari talab etiladi:

- hosila olish amali (differensial hisob) to‘lqin funksiyaning fazodagi o‘zgarishini aniqlashda muhim;
- boshlang‘ich funksiyani topish (integrallar) ehtimollik zichligini aniqlashda zarur;
- murakkab funksiyalar grafigini tahlil qilish to‘lqin funksiyasi va ehtimollik zichligining vizual ifodasini tushunish uchun zarur.

Demak, ushbu integrativ yondashuv – ya'ni fizika va matematikani uyg‘un holda qo‘llash talabalar bilimini chuqurlashtirishda va ularni mustaqil tahliliy fikrlashga undashda muhim rol o‘ynaydi.

Adabiyotlar:

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 8-oktyabrdagi PF-5847-sonli “O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi farmoni. [Internet manba]. URL: https://lex.uz (Murojaat etilgan sana: 21.08.2024).

2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining “Fizika sohasidagi ta'lim sifatini oshirish va ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi qarori. 2021 yil 19 mart, PQ-5032-son. [Internet manba]. URL: https://lex.uz (Murojaat etilgan sana: 19.06.2024).

3. *Zaynobidinov S., To‘lqinov M*. Elektrotexnika fanini o‘qitishda ko‘rgazmali namoyish eksperimental metodlarni qo‘llashning samarali tomonlari // Современные инновационные исследования, актуальные проблемы и развитие тенденции: решения и перспективы. 2022. 1(1). – С. 115–117.

4. *Dae Mann Kim*. Introduction Quantum Mechanics for Applied Nanotechnology. – USA: Wiley–VCH Verlag GmbH & Co, 2015. – 392 p.

5. *Соколов А.А., Лоскутов Ю.М., Тернов И.М*. Квантовая механика. – Москва: Просвещение, 1965. – 640 с.

6. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Квантовая механика (нерелятивистическая теория). / В кн.: Курс теоретической физики В 10 т. Т.3. – Москва: Физматлит, 2004. – 800 с.

7. *Демидович, Б.П.* Математические основы квантовой механики. – Санкт-Петербург: Издательство Лань, 2024. – 200 с.

8. *Мухтаров Э.К*. Электронный информационно-образовательный ресурс «Двумерная потенциальная яма». Программный продукт для ЭВМ, №DGU 21510, 09.01.2023 г.

9. *Philip Conrod*. Learn Visual Basic. – Australia: Kidvare Software, 2019. – 880 p.

10. *Capri A*. Problems and Solutions in Non-relativistic Quantum Mechanics. University of Alberta, Canada. World Scientific, 2001. – 520 p.

11. *Tamvakis K*. Problems and solutions in quantum mechanics. – New York: Cambridge University Press, 2005. – 334 p.

NEW OPPORTUNITIES FOR USING INFORMATION TECHNOLOGIES IN TEACHING QUANTUM MECHANICS IN HIGHER EDUCATION

S.Z.Zaynobiddinov[1], E.K.Mukhtarov[1]

Ilmiy xabarnoma. Seriya: Pedagogik tadqiqotlar – Scientific bulletin. Series: Pedagogical Research. 2024. 6(82). 5-13.

[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.*

Quantum mechanics is one of the most important branches of modern physics, providing a deep theoretical foundation for the microscopic nature of matter and energy, their properties, and interactions. This field is particularly important for understanding and predicting the behavior of subatomic particles such as electrons, protons, neutrons, and other quantum objects. Modeling quantum systems provides insight into the deep nature of physical phenomena, and is widely used in both fundamental and applied sciences such as materials science, nanoelectronics, and quantum computing.

One of the fundamental concepts of quantum mechanics is the study of the motion of particles in various potential fields. Simple quantum systems are explained using one-dimensional potential fields, but many real physical systems exist in multidimensional space, and their description requires the use of two- or more-dimensional models.

This article discusses the issue of teaching the concept of two-dimensional potential fields in the context of quantum mechanics. In particular, the use of innovative approaches in the pedagogical process, namely, the use of digital technologies, interactive learning resources, visualization tools and active learning methodologies, is considered, as well as ways to effectively convey these complex topics to students. Such approaches help students to understand the subject in depth, develop independent thinking and analytical skills.

Innovative teaching methods, in particular, include an individual approach adapted to the level of preparation of students, prompt feedback and flexibility of the learning process. Online learning platforms allow students to quickly identify gaps in their knowledge through tests, quizzes, interactive simulations, and automated analysis tools, thereby redeveloping the learning material.

Physically, the energy spectra of particles in a two-dimensional potential well–that is, the discrete energy levels they can occupy – are determined by the shape of the well, the boundary conditions, and the distribution of the potential field. Such systems are of great importance in studying complex phenomena at the quantum level, including the tunneling effect, quantum interference, and other relatively little-studied phenomena. This model provides in-depth knowledge about the processes of quantum particle passage through barriers and energy quantization.

The integral connection of theoretical knowledge with practice plays an important role in the pedagogical process. Therefore, it is important to use two-dimensional potential wells on the example of real physical systems – for example, quantum dots, superlattices, graphene-based structures, and other nanoscale systems. These materials are currently one of the priority areas of research in physics, engineering, and nanotechnology, and their study is useful not only in developing theoretical knowledge, but also in developing practical skills.

References:

1. (2019). O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 8-oktyabrdagi PF-5847-sonli "*O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim tizimini 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi farmoni* [Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. PF-5847 dated October 8, 2019 "On approval of the Concept for the Development of the Higher Education System of the Republic of Uzbekistan until 2030"]. [Online]. URL: https://lex.uz (Date of access: 21.05.2024)

2. (2021). O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "*Fizika sohasidagi ta'lim sifatini oshirish va ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarori*. 2021-yil 19-mart. PQ-5032-son. [The decision of the President of the Republic of Uzbekistan "On measures to improve the quality of education and develop scientific research in the field of physics". March 19, 2021 PD-5032]. [Online]. URL: https://lex.uz (Date of access: 19.04.2024)

3. Zaynobidinov, C., To'lqinov, M. (2022). Elektrotexnika fanini o'qitishda ko'rgazmali namoyish eksperimental metodlarni qo'llashning samarali tomonlari [Effective aspects of using demonstration experimental methods in teaching electrical engineering]. Sovremennye innovacionnye issledovaniya, aktual'nye problemy i razvitie tendencii: resheniya i perspektivy. 1(1). Pp. 115-117.

4. Dae Mann, Kim. (2015). *Introduction Quantum Mechanics for Applied Nanotechnology*. Wiley–VCH Verlag GmbH & Co.

5. Sokolov, A.A., Loskutov, Y.M., Ternov, I.M. (1965). *Kvantovaya mekhanika* [Quantum mechanics]. Moscow: Prosvesheniye.

6. Landau, L.D., Lifshic, E.M. (2004). *Kvantovaya mekhanika* (nerelyativisticheskaya teoriya) [Quantum Mechanics: Nonrelativistic Theory]. In: Kurs teoreticheskoj fiziki [Course of theoretical physics]. In 10 volumes. Vol.3. Moscow: Fizmatlit.

7. Demidovich, B.P. (2024). *Matematicheskie osnovy kvantovoj mekhaniki* [Mathematical foundations of quantum mechanics]. Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo Lan.

8. Mukhtarov, E.K. (2023). *Elektronnyj informacionno-obrazovatelnyj resurs "Dvumernaya potencialnaya yama".* Programmnyj produkt dlya EVM, №DGU 21510, 09.01.2023 g. [Electronic information and educational resource "Two-dimensional potential well". Software product for a computer, No. DGU 21510, 09.01.2023].

9. Philip Conrod. (2019). *Learn Visual Basic*. Kidvare Software.

10. Capri, A. (2001). *Problems and Solutions in Non-relativistic Quantum* University of Alberta, Canada. Mechanics. World Scientific.

11. Tamvakis, K. (2005). *Problems and solutions in quantum mechanics*. New York: Cambridge University Press.

Mualliflar haqida ma'lumot:

ZAYNOBIDDINOV Sirojiddin – fizika-matematika fanlari doktori, O'zR FA akademigi, Andijon davlat universiteti Kondensirlangan muhitlar fizikasi kafedrasi professori.

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