УДК: 539.184
DOI 10.58649/1694-9099-2026-2-366-371

ОСКОНБАЕВ М.Ч., ТАЙИРОВ М.М., ТАИРОВА Г.Р.
Ош мамлекеттик университети,
Жусуп Баласагын атындагы КУУ
ОСКОНБАЕВ М.Ч.,[1] ТАЙИРОВ М.М.,[2] ТАИРОВА Г.Р.[1]
Ошский государственный университет,[1]
КНУ имени Жусупа Баласагына[2]
OSKONBAEV M.CH., TAIROV M.M., TAIROVA G.R.
Osh State University,
KNU Jusup Balasagyn
ORCID 0009-0005-5753-4753

КЛАССИКАЛЫК ФИЗИКАДАН КВАНТТЫК ФИЗИКАГА ӨТҮҮ

ПЕРЕХОД ОТ КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ К КВАНТОВОЙ ФИЗИКЕ

TRANSITION FROM CLASSICAL PHYSICS TO QUANTUM PHYSICS

Кыскача мүнөздөмө: 2025-жыл кванттык физика жана кванттык технологиялар жаатындагы изилдөөлөрдү өнүктүрүүгө арналган жыл катары белгиленүүдө. Кванттык физиканын негиздери түзүлгөнүнө бир кылымдан ашык убакыт өткөнүнө карабастан, анын мыйзам ченемдүүлүктөрүн окутууга жогорку окуу жайларда да, мектептерде да жетиштүү көңүл бурулбай келет. Классикалык физикада бөлүкчөнүн кыймылы анын координатасы жана ылдамдыгы аркылуу сүрөттөлсө, кванттык физикада микробөлүкчөнүн координатасын жана импульсун бир эле учурда так аныктоо мүмкүн эмес. Бул Гейзенбергдин аныксыздык принциби менен түшүндүрүлөт. Ошондуктан микродүйнөдөгү кубулуштарды сүрөттөөдө Шредингердин теңдемеси колдонулат. Макалада микробөлүкчө үчүн Шредингердин стационардык теңдемесин чыгарууда пайдаланылуучу негизги теңдемелер жана алардын физикалык мааниси каралат. Шредингердин теңдемесинин чечимдери дискреттүү маанилерди кабыл алып, микробөлүкчөнүн толкундук жана корпускулалык касиеттерин мүнөздөйт, ошондой эле анын мейкиндиктеги абалын ыктымалдуулук тыгыздыгынын модулунун квадраты аркылуу сүрөттөөгө мүмкүндүк берет.

Аннотация: 2025 год отмечается как год, посвящённый развитию квантовой физики и квантовых технологий. Несмотря на то, что квантовая физика существует уже более ста лет, преподаванию её основных закономерностей до сих пор не уделяется достаточного внимания ни в вузах, ни в школах. В классической физике движение частицы описывается через её координату и скорость, тогда как в квантовой физике координата и импульс микрочастицы не могут быть одновременно определены с произвольной точностью. Это связано с принципом неопределённости Гейзенберга. Поэтому для описания микромира используется уравнение Шрёдингера. В статье рассматриваются основные уравнения, применяемые при выводе стационарного уравнения Шрёдингера для микрочастиц, а также их физический смысл. Решения уравнения Шрёдингера принимают дискретные значения, характеризуют волновые и корпускулярные свойства микрочастицы и позволяют описывать её пространственное состояние через квадрат модуля волновой функции.

Abstract: The year 2025 is being marked as a year dedicated to the advancement of quantum physics and quantum technologies. Although quantum physics has existed for more than a century, insufficient attention is still paid to teaching its fundamental principles in both universities and schools. In classical physics, the motion of a particle is described by its coordinates and velocity, whereas in quantum

physics the position and momentum of a microparticle cannot be simultaneously determined with arbitrary precision. This limitation is explained by Heisenberg's uncertainty principle. Therefore, the Schrödinger equation is used to describe phenomena in the microscopic world. This article discusses the fundamental equations involved in deriving the stationary Schrödinger equation for microparticles and explains their physical meaning. The solutions of the Schrödinger equation take discrete values, characterize both the wave and particle properties of a microparticle, and make it possible to describe its spatial state through the square of the modulus of the wave function.

Негизги сөздөр: классикалык физика; кванттык физика; кванттык технологиялар; кыймыл теңдемеси; аныксыздык; ыктымалдуулук тыгыздыгы; стационардык теңдеме; дискреттүүлүк; микробөлүкчө.

Ключевые слова: классическая физика; квантовая физика; квантовые технологии; уравнение движения; неопределённость; плотность вероятности; стационарное уравнение; дискретность; микрочастица.

Keywords: classical physics; quantum physics; quantum technologies; equation of motion; uncertainty; probability density; stationary equation; discreteness; microparticle.

Ферминин [1] жана Дирактын [2] илимий эмгектери жарык көргөнүнө 100 жылга жакындап калганына карабастан, кванттык физиканы мектептерде жана жогорку окуу жайларда окутуу азыркыга чейин жетиштүү деңгээлде жолго коюлган эмес. Лингвистикалык багыттагы изилдөөлөрдө [3], ошондой эле синергетикалык усулду колдонууга арналган эмгектерде [4] мамлекеттер аралык деңгээлдеги чыр-чатактардын өнүгүшүнүн айрым өзгөчөлүктөрү талдоого алынган. Ал эми [5] эмгекте чектүү тереңдиктеги потенциалдык чуңкурдагы электрондун кыймылын моделдештирүү каралса, [6] эмгекте кванттык бөлүштүрүү функцияларын интерактивдүү методдор менен окутуу маселеси изилденген.

2025-жыл Бириккен Улуттар Уюму тарабынан "Кванттык физика жана кванттык технологиялар" жылы деп жарыяланган. Кванттык физиканын негиздери түзүлгөнүнө бир кылымдан ашык убакыт өткөнүнө карабастан, анын мыйзам ченемдүүлүктөрү көбүнчө математикалык формулалар аркылуу гана түшүндүрүлүп, микробөлүкчөнүн абалын сүрөттөөчү толкундук функция жана анын ыктымалдуулук тыгыздыгы негизги түшүнүктөр катары каралып келет. Ошол эле учурда кванттык физиканын негизги теңдемелеринин бири болгон Шредингердин теңдемесин классикалык физиканын теңдемелери менен байланыштырып түшүндүрүү - азыркы билим берүү процессинин маанилүү талабы. Себеби кванттык чекиттердин ачылышы, кубиттердин кванттык компьютерлерде колдонулушу классикалык жана кванттык физиканын өзгөчөлүктөрүн терең түшүндүрүп окутуунун актуалдуулугун арттырууда. Бул макалада классикалык жана кванттык физиканын өзгөчөлүктөрүн окутуунун айрым жолдору каралат.

Бул илимий баяндаманын максаты - классикалык жана кванттык физиканын өзгөчөлүктөрүн аныктоо жана микробөлүкчө үчүн Шредингердин стационардык теңдемесин келтирип чыгарууда колдонулуучу негизги теңдемелердин физикалык маанисин түшүндүрүү.

Изилдөөнүн объектиси катары классикалык жана кванттык физиканын негизги теңдемелери алынат. Изилдөө усулу катары аталган теңдемелерди келтирип чыгарууда колдонулуучу математикалык операторлорду талдоо ыкмасы пайдаланылат.

Кванттык механикада физикалык чоңдуктардын маанилери тиешелүү операторлордун өздүк маанилери аркылуу аныкталат. Микробөлүкчөнүн толук энергиясын аныктоо үчүн толук энергия операторунун, башкача айтканда, Гамильтон операторунун өздүк маанисин табуу зарыл.

Бул оператордун өздүк маанисин аныктоо үчүн Шредингердин стационардык теңдемеси түзүлүп, анын чечими талданат.

Ал теңдеме $\hat{H}\psi = E\psi$ (1) түрүндө болот.

Мында $\hat{H}$ - Гамильтондун оператору же микробөлүкчөнүн кинетикалык энергиясы, Е – микробөлүкчөнүн толук энергиясы, Ψ – микробөлүкчөнүн толкундук функциясы.

Классикалык физика боюнча бөлүкчөнүн кинетикалык энергиясы менен импульстун арасындагы байланыш төмөнкү барабардык менен аныкталат:

$$T_к = \frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{P^2}{2m} \quad (2)$$

Кванттык механикада да микробөлүкчөнүн кинетикалык энергиясынын оператору менен импульсунун операторлорунун арасындагы байланыш төмөнкүдөй болот:

$$\hat{T} = \frac{\hat{P}^2}{2m} \quad (3)$$

Ал эми импульстун квадраты менен анын түзүүчүлөрүнүн арасындагы байланыш $P^2 = P_x^2 + P_y^2 + P_z^2$ болгондуктан, алардын операторлорунун арасындагы байланыш да төмөнкүдөй болот: $\hat{P}^2 = \hat{P}_x^2 + \hat{P}_y^2 + \hat{P}_z^2$.

Ал эми импульстун операторун аныктоо үчүн алгач, классикалык механикада бөлүкчөнүн кыймыл саны Р, ал эми аны түзүүчүлөрү P_x, P_y, P_z – болсо, анда $P = m\vartheta$ болгонуктан, анын түзүүчүлөрү $P_x = m\vartheta_x$; $P_y = m\vartheta_y$; $P_z = m\vartheta_z$ болот.

Кванттык механикада бөлүкчөлөрдүн кыймыл санын мүнөздөө үчүн кыймыл санынын оператору колдонулат $\hat{P}$. Импульстун түзүүчүлөрүнүн операторлору $\hat{P}_x$, $\hat{P}_y$, $\hat{P}_z$. Бул операторлорду аныктоо үчүн де-Бройль толкунунан пайдаланабыз.

$$\psi = A_o e^{i\frac{1}{\hbar}(\bar{P}\bar{r} - Et)} = A_o e^{i\frac{1}{\hbar}(P_X x + P_Y y + P_Z z - Et)} \quad (4)$$

Импульстун операторлорунун теңдемелерин жазалы, б.а.

$$\hat{P}_x\psi = P_x\psi;$$

$$\hat{P}_y\psi = P_y\psi; \quad (5)$$

$$\hat{P}_z\psi = P_z\psi.$$

Бул теңдемелерден көрүнгөндөй P_x, P_y, P_z – маанилерин аныктоо үчүн ψ - функция x,y,z боюнча дифференциалдоо керек. Анда операторлор:

$$\left.\begin{aligned} \hat{P}_x &= \frac{\hbar}{i}\frac{\partial}{\partial x} \\ \hat{P}_y &= \frac{\hbar}{i}\frac{\partial}{\partial y} \\ \hat{P}_z &= \frac{\hbar}{i}\frac{\partial}{\partial z} \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

болот.

Анда вектордук түрдө

$$\vec{\hat{P}} = \frac{\hbar}{i}\vec{\nabla} = \frac{\hbar}{i}\left(\vec{i}\frac{\partial}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial}{\partial z}\right) \quad (7)$$

Микробөлүкчөнүн импульсунун түзүүчүлөрүн аныктоо үчүн, бул операторлор менен ψ функциясына аракет этүү керек. Бул учурда алынган сандар ыктымалдуулуктун тыгыздыгы $|\psi|^2$ менен аныкталган өздүк маанилери болушат.

$$\left.\begin{aligned} \frac{\hbar}{i}\frac{\partial\psi}{\partial x} &= P_x\psi \\ \frac{\hbar}{i}\frac{\partial\psi}{\partial y} &= P_y\psi \\ \frac{\hbar}{i}\frac{\partial\psi}{\partial z} &= P_z\psi . \end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

(3) кинетикалык энергиянын операторун (6) жана (8) барабардыктарды эске алуу менен импульстун операторлору аркылуу төмөндөгүдөй өзгөртүп жазып алабыз:

$$\hat{T} = \frac{\hat{P}^2}{2m} = \frac{\hat{P}_x^2 + \hat{P}_y^2 + \hat{P}_z^2}{2m} = -\frac{\hbar^2}{2m}\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right) = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 \quad (9)$$

$$\hat{T} = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2$$

б.а. (10) ээ болобуз.

мында, $\nabla^2 = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)$ микробөлүкчөнүн үч координатынан көз каранды болгон Лапластын оператору болуп эсептелет. Кинетикалык энергиянын же Гамильтондун функциясын биринчи барабардыка коюп, төмөнкүгө ээ болобуз:

$$-\frac{\hat{\hbar}^2}{2m}\nabla^2\psi + \hat{U}\psi = E\psi \qquad (11)$$

же төмөнкүдөй өзгөртүп түзсөк

$$\frac{\hat{\hbar}^2}{2m}\nabla^2\psi + (E-U)\psi = 0 \qquad (12)$$

(12) барабардык релятивдик эмес кванттык механика үчүн Шредингердин стационардык теңдемеси болуп саналат.

Бул теңдеменин биринчи мүчөсү $\hat{T} = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2$ (10), микробөлүкчөнүн импульсу менен байланышкан кинетикалык энергиясынын оператору, экинчи мүчөсү T-U микробөлүкчөнүн толук жана потенциалдык энергияларынын операторлору, ал эми Ψ – микробөлүкчөнүн толкундук функциясы жана бул функция микродүйнөнүн толкундук дагы, бөлүкчөлүк дагы касиетин мүнөздөөчү чоңдук.

Кандайдыр бир конкреттүү маселеде системанын абалынын вектору (толкун функциясы) өзүнөн өзү эмес, кээ бир операторлордун орточо маанилерин эсептөө үчүн керек. Релятивисттик эмес кванттык механикада ар кандай физикалык чоңдуктун оператору, координата жана импульс операторлорунун функциясы болуп саналат.

Бөлүкчөнүн траекториясы жөнүндөгү түшүнүк кванттык механикада каралбайт, ал эми классикалык механика аны фундаменталдуу түшүнүк деп эсептейт. Классикалык механикада бөлүкчөнүн координатасынын убакыттан болгон көз карандылыгы так бир маанилүү табылат. Кванттык механикада бөлүкчөнүн кандайдыр бир абалынын векторунун үстүнөн жүргүзүлгөн операторунун орточо мааниси табылат.

Корутунду. Классикалык физикадан кванттык физикага өтүүдө, классикалык түшүнүктөр болгон кинетикалык энергия жана потенциалдык энергияларды Гамильтондун функциясы аркылуу байланыштырып, алар үчун кванттык аппарат болуп эсептелген операторду колдонуп, ал эми координаталары, кванттык физикада Лапластын операторуна айланып, Шредингердин теңдемеси аркылуу туюнтулуп калаары көрсөтүлдү. Шредингердин теңдемесиндеги негизги аныктоочу чондук – бул Блохтун толкундук функциясы болуп эсептелет. Толкундук функциянын модулунун квадратынын ыктымалдуулугунун тыгыздыгы кванттык физикадагы микробөлүкчөнун кванттык абалын аныктайт жана толкундук дагы, кванттык дагы касиетин бир мезгилде сүрөттөй алат.

Колдонулган адабияттар

1. Dirac, P. A. M. The Quantum Theory of the Emission and Absorption of Radiation / P. A. M. Dirac // Proceedings of the Royal Society A. – 1927. – Vol. 114. – P. 243–265.
2. Fermi, E. Un metodo statistico per la determinazione di alcune proprietà dell’atomo / E. Fermi // Rendiconti Lincei. – 1927. – Vol. 6. – P. 602–607.
3. Маслов, В. П. Связь распределения Ферми–Дирака с лингвостатистическими распределениями / В. П. Маслов // Математические заметки. – 2017. – Т. 101. – № 4. – С. 531–548.
4. Макаренков, Е. В. Методология использования распределения Ферми–Дирака при анализе конфликтных ситуаций на примере Российской Федерации и стран Запада / Е. В. Макаренков, А. А. Павленко // Вестник Челябинского государственного университета. Философские науки. – 2018. – № 11. – Вып. 50. – С. 18–21.
5. Осконбаев, М. Ч. Чектүү тереңдиктеги потенциалдык чуңкурдагы электрондун кыймылын моделдештирүү / М. Ч. Осконбаев, К. Осмоналиев, П. Ж. Кожобекова, Арзыкан Үрүстөм кызы // И. Арабаев атындагы Кыргыз мамлекеттик университетинин жарчысы. – Бишкек, 2025. – № 2/2. – С. 513–520. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=82605251
6. Осконбаев, М.Ч. Обучение квантовым функциям распределения с использованием интерактивных методов / М. Ч. Осконбаев, К. Осмоналиев, Г. Р. Таирова // Материалы международной конференции «Тенденция развития физики конденсированных сред». – Фергана: ФерГУ, 2025. – С. 374–380.

Рецензент: физика-математика илимдеринин доктору, профессор Ташполотов Ы.