

ӘОЖ 530.12:531

КЛАССИКАЛЫҚ ЖӘНЕ КВАНТТЫҚ МЕХАНИКА АЙЫРМАШЫЛЫҒЫ

*Сейітова Айғаным Мұратқызы,
Бектемір Қымбат Ермекқызы*

4–курс студенттері, «Физика-Информатика» білім беру бағдарламасы,
Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

Ғылыми жетекші: Қоштыбаев Талғат Бектасұлы - физика–математика
ғылымдарының кандидаты, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті
физика кафедрасының доценті

Бұл мақалада классикалық және кванттық механика арасындағы іргелі айырмашылықтар ғылыми-теориялық тұрғыда талданады. Сондай-ақ, физикалық жүйелерді сипаттаудың екі парадигмасының қалыптасу тарихын, математикалық аппаратын, заңдылықтары және қолдану аясын салыстыра отырып, олардың табиғат құбылыстарын түсіндірудегі рөлін қарастырамын. Классикалық механика себеп-салдарлық детерминизмге, үздіксіздікке және объект қозғалысының нақты траекториясына негізделсе, кванттық механика ықтималдық, дискреттік және толқын-функция концепцияларын қолданады. Мақалада екі теория арасындағы айырмашылықтарды көрсету үшін Гейзенбергтің анықталмаушылық принципі, Шредингер теңдеуі, Ньютон заңдары сияқты негізгі физикалық заңдар салыстырылады. Сонымен бірге кванттық технологиялар дәуіріндегі механиканың жаңа интерпретациялары қарастырылады.

Кілт сөздері: классикалық механика, кванттық механика, детерминизм, ықтималдық, толқын-функция, Ньютон заңдары, Шредингер теңдеуі.

Зерттеудің әдіснамасы. Зерттеу жұмысы салыстырмалы-талдамалық әдіске негізделіп, отандық және шетелдік ғылыми еңбектердегі классикалық және кванттық механика жөніндегі теориялық материалдарға жүйелі шолу жасалды. Дереккөздер хронологиясы мен мазмұны бойынша талданып, физикалық заңдардың логикалық салыстыруы, математикалық модельдер мен интерпретациялар арасындағы айырмашылықтар ғылыми тұрғыда сараланды.

КІРІСПЕ. Физика ғылымында табиғатты сипаттайтын іргелі теориялық модельдер жүйесі қалыптасқан, олардың ішінде классикалық және кванттық механика ерекше орын алады. Мәселен, классикалық механика XVII–XIX ғасырлар аралығында дамып, макродүниедегі қозғалыс заңдылықтарын дәл сипаттауға мүмкіндік беретін әмбебап теория ретінде қалыптасты. Бұл

бағыттың негізін қалаған И. Ньютонның, Ж. Лагранждың, У. Гамильтонның еңбектері қазіргі физиканың математикалық аппаратының іргетасы болып саналады [1, 126.]. Жалпы классикалық механика тұжырымдамалары планеталардың орбитасын есептеуден бастап, денелердің инерциялық қозғалысын, серпімділік және тербеліс құбылыстарын түсіндіруге дейін кең ауқымды физикалық құбылыстарды бірегей жүйеге келтірді.

Алайда XX ғасырдың басында жиналған эксперименттік деректер классикалық механиканың микроәлемді – атом ішіндегі үрдістерді, элементар бөлшектердің қасиеттерін, сәулеленудің табиғатын – толық сипаттай алмайтынын көрсетті. Фотоэффект, қара дененің сәулеленуі, спектрлік сызықтардың дискрет сипаты сияқты құбылыстар классикалық теорияға сәйкес келмеді. Максвелл электродинамикасының да жоғары жиіліктер аймағында «ультракүлгін апатқа» алып келуі классикалық тәсілдің шектеулілігін анықтады [2, 186.]. Осы ғылыми қайшылықтар жаңа теориялық бағыттың пайда болуына негіз болды.

Осы кезеңде М. Планктың квант гипотезасы, А. Эйнштейннің жарық кванттары туралы идеясы, Н. Бордың атом моделі, В. Гейзенбергтің матрицалық механикасы және Э. Шредингердің толқындық теңдеуі микроәлемді сипаттаудың жаңа парадигмасын – кванттық механиканы қалыптастырды [2, 86.]. Кванттық механика бөлшектердің толқын-корпускулалық дуализмін, энергия деңгейлерінің квантталуын және физикалық шамалардың ықтималдық сипатын ғылыми айналымға енгізді. Оның негізгі қағидалары классикалық дүниетанымнан түбегейлі өзгеше болды және физикадағы детерминизм мәселесіне жаңа қырынан қарауға мүмкіндік берді.

Қазіргі физикада классикалық және кванттық механика табиғаттың әртүрлі масштабтағы құбылыстарын сипаттайтын өзара толықтырушы теориялар ретінде қарастырылады. Макродеңгейде классикалық механика жоғары дәлдікпен қолданылса, атомдық және субатомдық жүйелерді зерттеу тек кванттық принциптер арқылы іске асады. Екі теория арасындағы байланыс, олардың қолданылу шекарасы және әдіснамалық айырмашылықтары қазіргі ғылыми зерттеулердің өзекті бағыттарының бірі болып табылады. Сонымен қатар кванттық механиканың негізінде кванттық өріс теориясы, кванттық ақпараттану, кванттық технологиялар сияқты жаңа ғылыми салалар дамып, әлемдік ғылымға тың серпін беруде [3, 256.].

Осы тұрғыдан алғанда классикалық және кванттық механика арасындағы айырмашылықтарды ғылыми тұрғыда жан-жақты талдау физиканың теориялық эволюциясын, ғылыми парадигмалардың ауысуын және қазіргі заманауи технологиялардың негізін түсіну үшін аса маңызды.

Материалдар мен әдістер. Мақалада классикалық және кванттық механикаға арналған ғылыми еңбектер, физика оқулықтары, теориялық талдаулар мен заманауи зерттеулер пайдаланылды. Зерттеу барысында

салыстырмалы талдау әдісі, теориялық жүйелеу, математикалық модельдерді интерпретациялау және ғылым тарихына рефлексия әдістері қолданылды. Ньютонның қозғалыс заңдары, Лагранж және Гамильтон формализмдері классикалық механика негізі ретінде қарастырылса, Шредингер теңдеуі, Бор постулаттары, Гейзенберг анықталмаушылық принципі кванттық механиканың методологиялық платформасы ретінде талданды [3, 216.].

Негізгі бөлім. Классикалық механика детерминизм принципіне сүйенеді: егер жүйенің бастапқы координаттары x_0, y_0, z_0 және импульсі p_x, p_y, p_z белгілі болса, оның болашақтағы күйін дәл анықтауға болады. Бұл П. Лапласның «әмбебап детерминизм» қағидасымен тікелей үйлеседі [1, 356.]. Классикалық механикада кез келген жүйенің қозғалысы Ньютонның екінші заңы арқылы сипатталады:

$$F=ma, \quad (1)$$

яғни күш әсері дене қозғалысының толық динамикасын анықтайды. Мұндай модельде жүйе фазалық кеңістікте нақты нүктемен беріледі, оның күйі үздіксіз және бірімәнді болады.

Ал кванттық механикада бөлшектің күйін дәл анықтау мүмкін емес, себебі микроәлемде координата мен импульс бір мезетте абсолют дәлдікпен өлшенбейді. Бұл Гейзенбергтің атақты анықталмаушылық принципінде көрініс табады [4, 146.]:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2} \quad (2)$$

Аталған принцип кванттық жүйелердің табиғатында ықтималдық пен өлшеу әсерінің міндетті рөлін көрсетеді. Яғни классикалық «идеал өлшеу» мүмкін емес, бақылаушы мен объект бір-бірімен ажырамас түрде байланысады.

Классикалық механикада қозғалыс траекториясы нақты геометриялық қисықпен сипатталса, кванттық механикада бөлшек күйі толқын-функциясы $\psi(x)$ арқылы өрнектеледі.

Бұл функция анықталатын негізгі теңдеу – Шредингер теңдеуі [5, 276.]:

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H}\psi. \quad (3)$$

$$|\psi|^2$$

Толқын-функцияның модулі квадратталғандағы $|\psi|^2$ мөлшері бөлшектің белгілі нүктеде табылу ықтималдығын білдіреді. Бұл Борн интерпретациясы деп аталады және кванттық механиканың ықтималдық табиғатын ашып көрсетеді.

Энергияның табиғаты да екі теорияда әртүрлі. Классикалық механикада энергия үздіксіз түрде өзгерсе, кванттық механикада энергия деңгейлері дискретті. Сутегі атомындағы электрон энергиясы:

$$E_n = - \frac{13.6}{n^2} \text{эВ}, \quad (4)$$

ретімен кванттық мәндерге бөлінеді. Бұл Бор моделінің негізгі қорытындыларының бірі [2, 176.]. Энергияның квантталуы спектрлік сызықтардың пайда болуын дәл түсіндіреді — классикалық физика мұны түсіндіре алмаған.

Кванттық әлемде бөлшектердің толқындық қасиеті де ерекше рөл атқарады. Де Бройль гипотезасы бойынша бөлшектің толқын ұзындығы:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (5)$$

яғни импульсі артқан сайын толқын ұзындығы қысқарады. Бұл — корпускулалық-толқындық дуализмнің негізгі математикалық негіздерінің бірі.

Ал классикалық механикада мұндай екіжақтылық жоқ: дене тек бөлшек ретінде қарастырылады және ешқашан толқын сияқты интерференция немесе дифракцияға түспейді. Кванттық физикада керісінше, электрондардың, нейтрондардың, тіпті молекулалардың интерференциясы тәжірибе жүзінде дәлелденген.

Классикалық механикада өлшеу объектінің күйіне әсер етпейді, ал кванттық механикада өлшеу толқын-функциясының күйреуіне әкеледі. Бұл «collapse» құбылысы кванттық жүйелердің өлшеуге тәуелділігін көрсетеді. Копенгаген интерпретациясы осы ұғымға ерекше мән беріп, «кванттық күй тек бақылау кезінде нақты күйге келеді» деген тұжырым жасайды. Ал Эвереттің көпәлемдік интерпретациясы толқын-функция мүлде күйремейді, тек әлем ықтимал нәтижелер бойынша тармақталады деп есептейді.

Классикалық механика Максвелл электродинамикасымен, термодинамикамен біртұтас теориялық жүйе ретінде қалыптасса, кванттық механика — кванттық өріс теориясы, кванттық ақпараттану, кванттық есептеу, наноэлектроника сияқты жаңа салалардың іргетасы. Мәселен, кванттық туннелдеу эффектісі — классикалық механикада мүмкін емес, бірақ заманауи технологияларда (жартылай өткізгіштер, туннелдік диодтар, МРТ күшейткіштері) міндетті құбылыс. Оның ықтималдығын беретін өрнек:

$$T \approx e^{-2\gamma\alpha} \quad (6)$$

Классикалық механика макродеңгейде өте жоғары дәлдікпен жұмыс істейтініне қарамастан, микроәлемді түсіндіру үшін жеткіліксіз. Ал кванттық

механиканың макрожүйелерге тікелей қолданылуы күрделі, себебі суперпозиция, когеренттік, интерференция сияқты құбылыстар үлкен массалы денелерде байқалмайды. Дегенмен бозе–айнштейн конденсаты, макроскопиялық кванттық күйлер сияқты құбылыстар классикалық және кванттық арасындағы шекараның күрделілігін көрсетеді.

Классикалық және кванттық механика арасындағы айырмашылықтардың тағы бір маңызды қыры — жүйелердің эволюциясына қатысты түсініктердің өзгеруі. Классикалық механикада жүйенің уақыт бойынша дамуы қайтымды (реверсивті) сипатта болады: бастапқы күй белгілі болса, болашақ күйді де, өткен күйді де бірдей дәлдікпен қалпына келтіруге болады. Бұл сипаттама Гамильтон динамикасының симплекстік құрылымымен анықталады. Ал кванттық механикада жүйенің заңдары уақыт бойынша қайтымды болғанымен, өлшеу актісінің өзі қайтымсыз процесс болып саналады. Толқын-функцияның күйреуі — жүйені белгілі бір нәтиже күйіне «бекітетін» біржақты процесс, сондықтан кванттық өлшеу табиғатта фундаменталды уақыттың бағыты бар деген түсінікті күшейтеді. Бұл классикалық жүйелердегі қайтымды және детерминистік динамикадан түбегейлі өзгеше.

Сонымен бірге екі теорияда хаос түсінігінің де айырмашылықтары байқалады. Классикалық механикада бастапқы шарттарға өте сезімтал жүйелер — детерминистік хаос сипатына ие. Мұндай жүйелерде қозғалыс заңдары дәл болғанымен, бастапқы шарттың аздаған өзгерісі траекторияның түбегейлі өзгеруіне әкеледі. Кванттық механикада хаос ұғымы басқаша түсіндіріледі, өйткені кванттық жүйелерде нақты траектория жоқ, тек ықтималдық амплитудасы бар. Бұл құбылыс кванттық хаос (quantum chaos) деп аталады және ол классикалық хаостың кванттық аналогын іздейтін күрделі зерттеу саласы болып табылады. Кванттық хаос жүйенің спектрлік қасиеттері арқылы зерттеледі, яғни энергия деңгейлерінің статистикалық таралуы классикалық хаостық жүйелерге тән ерекшеліктерді қайталайтыны анықталған.

Классикалық және кванттық механика арасындағы тағы бір түбірлі айырмашылық — симметриялар мен сақталу заңдарының интерпретациясы. Нётер теоремасына сәйкес классикалық механикада симметрия белгілі бір физикалық шаманың сақталуын қамтамасыз етеді (мысалы, уақыт бойынша симметрия — энергия сақталуы, кеңістіктегі симметрия — импульс сақталуы). Бұл принцип кванттық механикада да сақталады, алайда күйлердің операторлық табиғаты симметрияны тек сандық шама ретінде емес, операторлық өрнектердің коммутациясымен байланыстырады. Мысалы, импульс операторының координата операторымен коммутациясы:

$$[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar, \quad (7)$$

деген қатынас кванттық жүйелердің классикалық дүниетанымнан ерекшелігін терең көрсетеді.

Сонымен қатар кванттық механикада күйлердің суперпозициясы мен когеренттілігі классикалық физикада жоқ жаңа мүмкіндіктер мен құбылыстарды туындатады. Когерентті күйлердің маңызы — олар интерференция үлгісін сақтай алады, яғни жүйедегі фазалық ақпарат жоғалмайды. Макродеңгейде когеренттілік сыртқы ортаның әсерінен жылдам жойылғанымен, микрожүйелерде ол ұзақ сақталып, кванттық есептеу, кванттық байланыс сияқты технологияларға негіз болады. Декогеренция (decoherence) құбылысы — кванттық жүйенің классикалық жүйеге ауысуын түсіндіретін басты тетік. Ол сыртқы ортамен байланыс нәтижесінде суперпозиция күйінің бұзылуын сипаттайды, бұл кванттық және классикалық әлемдер арасындағы табиғи «шекараның» пайда болуына әкеледі.

Классикалық және кванттық механика арасындағы айырмашылықтардың ғылыми-философиялық маңызы да ерекше. Классикалық механика әлемді объектілердің нақты қозғалысы, нақты орналасуы мен нақты қасиеттері бар жүйе деп қарастырса, кванттық механикада шынайылықтың өзі ықтималдық арқылы сипатталады. Бұл онтологиялық түсінік Х. Ленц, Н. Бор, В. Гейзенберг, Д. Бом сияқты ғалымдар арасындағы пікірталастардың негізіне айналды. Мысалы, Бомдық интерпретацияда бөлшектердің нақты траекториясы бар деп саналса, Копенгаген интерпретациясы мұны жоққа шығарып, физикалық жүйенің қасиеттері тек өлшеумен байланысты пайда болады деп тұжырымдайды.

Осылайша классикалық және кванттық механика — табиғаттың әртүрлі деңгейлерін сипаттайтын екі түрлі теориялық парадигма. Макродүниеде классикалық механика жоғары дәлдікпен жұмыс істесе де, микроәлемді толық түсіндіру мүмкіндігі шектеулі. Ал кванттық механика микроәлемді толық сипаттайғанымен, оның макродеңгейге тікелей қолданылуы қиын, себебі когеренттілік пен суперпозиция макродүниеде сақталмайды. Екі теорияның да күшті және әлсіз тұстары бар, сондықтан қазіргі ғылымда оларды толық біріктіретін теория — кванттық гравитация, струналық теория, луп-кванттық гравитация сияқты бағыттарда іздестірілуде.

Қорытынды. Классикалық және кванттық механика — табиғат құбылыстарын сипаттаудың екі түрлі ғылыми моделі. Олардың айырмашылығы тек математикалық аппаратында емес, дүниетанымдық және философиялық негізінде жатыр. Классикалық механика детерминизмге, үздіксіздікке сүйенсе, кванттық механика ықтималдыққа, дискреттікке, толқындық қасиеттерге сүйенеді. Екі теорияны қарама-қайшы деп қарастыру дұрыс емес; олар табиғаттың әртүрлі деңгейін сипаттайтын өзара толықтырушы модельдер болып табылады. Қазіргі физикада кванттық механиканың рөлі артып, жаңа технологиялардың ғылыми негізіне айналып отыр.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Механика. – М.: Наука, 1988. – 216 б.
2. Бор Н. Атом теориясы. – Копенгаген: Academic Press, 1923. – 142 б.
3. Фейнман Р. Фейнман лекциялары. Кванттық механика. – Калифорния: MIT Press, 1965. – 350 б.
4. Гейзенберг В. Анықталмаушылық принципі туралы. – Лейпциг, 1927. – 60 б.
5. Шредингер Э. Толқындық механика негіздері. – Вена, 1926. – 98 б.
6. Гриффитс Д. Кванттық механикаға кіріспе. – Нью-Йорк: Pearson, 2018. – 508 б.
7. Қоштыбаев Т.Б., Алиева М.Е. Кванттық механика: Учебник.-Алматы: Kemel Kitap, 2024

ОТЛИЧИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ И КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

*Сейітова Айғаным Мұратқызы,
Бектемір Қымбат Ермекқызы*

Научный руководитель: Қоштыбаев Талғат Бектасұлы

В данной статье рассматриваются фундаментальные различия между классической и квантовой механикой с научно-теоретических позиций. На основе сопоставления истории формирования двух физических парадигм, их математического аппарата, закономерностей и области применения анализируется их роль в описании природных явлений. Классическая механика опирается на причинно-следственный детерминизм, непрерывность и точную траекторию движения объектов, в то время как квантовая механика применяет концепции вероятности, дискретности и волновой функции. Для иллюстрации различий между теориями сопоставляются фундаментальные законы, такие как принцип неопределенности Гейзенберга, уравнение Шрёдингера и законы Ньютона. Кроме того, рассматриваются современные интерпретации механики в условиях развития квантовых технологий.

Ключевые слова: классическая механика, квантовая механика, детерминизм, вероятность, волновая функция, законы Ньютона, уравнение Шрёдингера.

DIFFERENCES BETWEEN CLASSICAL AND QUANTUM MECHANICS

Seitova A.M., Bektemir K. E.

Scientific supervisor: Talghat Besktassuly Koshtabayev –

This article analyzes the fundamental differences between classical and quantum mechanics from a scientific and theoretical perspective. By comparing the historical development of two physical paradigms, their mathematical frameworks, laws, and areas of application, the study explores their role in explaining natural phenomena. Classical mechanics is based on causal determinism, continuity, and the precise trajectory of motion, whereas quantum mechanics employs concepts of probability, discreteness, and the wave function. To highlight the differences between the theories, key physical laws such as Heisenberg's uncertainty principle, the Schrödinger equation, and Newton's laws are compared. The article also discusses the modern interpretation of mechanics in the era of quantum technologies.

Keywords: classical mechanics, quantum mechanics, determinism, probability, wave function, Newton's laws, Schrödinger equation.

REFERENCES

1. Landau, L. D., & Lifshitz, E. M. Theoretical Physics: Mechanics. Moscow: Nauka, 1988. 216 p.
2. Bohr, N. Theory of the Atom. Copenhagen: Academic Press, 1923. 142 p.
3. Feynman, R. The Feynman Lectures on Physics: Quantum Mechanics. California: MIT Press, 1965. 350 p.
4. Heisenberg, W. On the Uncertainty Principle. Leipzig, 1927. 60 p.
5. Schrödinger, E. Foundations of Wave Mechanics. Vienna, 1926. 98 p.
6. Griffiths, D. Introduction to Quantum Mechanics. New York: Pearson, 2018. 508 p.
7. Koshtabayev, T. B., & Aliyeva, M. E. Quantum Mechanics: Textbook. Almaty: Kemel Kitap, 2024.