

ӘОЖ 378.147:53:004.94

## УНИВЕРСИТЕТТЕГІ МОЛЕКУЛАЛЫҚ ФИЗИКА САБАҚТАРЫНДА КОМПЬЮТЕРЛІК ТЕОРИЯЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУДІ ҚОЛДАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІ (PHET COLORADO ЖӘНЕ NETLOGO МЫСАЛЫНДА)

**Баян Әлихан Толқынұлы**

магистрант, 2-ші курс, «Физика пәні мұғалімдерін даярлау» білім беру  
бағдарламасы, Астана Халықаралық университеті,  
Астана қ., Қазақстан

*Бұл мақалада жоғары оқу орындарында молекулалық физика курсына оқыту процесінде компьютерлік теориялық модельдеуді қолданудың әдістемелік тиімділігі жан-жақты қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі болашақ физика мұғалімдерін даярлау сапасын арттыру және олардың микроскопиялық процестер туралы терең тұжырымдамалық түсініктерін қалыптастыру қажеттілігімен негізделеді. Негізгі модельдеу құралдары ретінде PhET Colorado және NetLogo білім беру платформалары таңдап алынып, олардың молекулалар қозғалысын, жылдамдықтардың таралуын және термодинамикалық заңдылықтарды визуализациялаудағы әлеуеті талданды. Жұмыс барысында виртуалды эксперименттер мен аналитикалық есептеулерді ұштастыратын авторлық педагогикалық дизайн ұсынылып, оның студенттердің ғылыми ойлауын дамытуға әсері бағаланды. Зерттеу нәтижелері интерактивті модельдерді оқу процесіне интеграциялау физикалық құбылыстарды тереңірек түсінуге, зерттеу дағдыларын қалыптастыруға және білім алушылардың оқу мотивациясын арттыруға септігін тигізетінін көрсетті. Алынған мәліметтер болашақ мамандарды даярлауда цифрлық технологияларды жүйелі түрде енгізудің орындылығын толықтай растайды.*

**Кілт сөздер:** компьютерлік модельдеу, молекулалық физика, PhET Colorado, NetLogo, теориялық модельдеу, физиканы оқыту әдістемесі, болашақ физика мұғалімдерін даярлау, физикалық процестерді визуализациялау, цифрлық білім беру технологиялары.

### **Кіріспе:**

Ғылым мен технологияның заманауи дамуы болашақ физика мұғалімдерін даярлау сапасына жаңа талаптар қояды. Білім беруді цифрландыру жағдайында физикалық процестерді терең тұжырымдамалық түсінуді қалыптастыруға және студенттердің ғылыми ойлауын дамытуға ықпал ететін оқытудың инновациялық әдістерін енгізу қажеттілігі артып келеді. Бұл мәселе молекулалық физиканы зерттеуде ерекше маңызға ие, өйткені мұндағы

процестер микроскопиялық деңгейде жүреді және оларды тікелей бақылау мүмкін емес. Дәстүрлі оқыту әдістері студенттерде зерттелетін құбылыстардың физикалық табиғатын терең түсінумен қатар жүрмейтін формальды білім қалыптастыруы мүмкін. Осы мәселені шешудің тиімді жолы — микроскопиялық процестерді визуализациялауға мүмкіндік беретін компьютерлік теориялық модельдеуді қолдану болып табылады.

**Зерттеудің мақсаты:** Университеттегі молекулалық физика сабақтарында PhET Colorado және NetLogo білім беру платформаларының мысалында компьютерлік теориялық модельдеуді қолданудың әдістемелік тиімділігін талдау және бағалау.

**Ғылыми жаңалығы:** Зерттеу барысында микроскопиялық параметрлерді зерттеуден (PhET) микроскопиялық деңгейдегі статистикалық заңдылықтарды верификациялауға (NetLogo) өтуді көздейтін кешенді модельдеу әдістемесі ұсынылады. Бұл тәсіл тек визуалды бақылауды ғана емес, аналитикалық есептеулерді компьютерлік модельдер арқылы тікелей тексеруді (верификациялауды) қамтамасыз етеді.

### **Зерттеу әдістері:**

**Теориялық:** Физиканы оқытудағы симуляциялардың тиімділігіне қатысты отандық және шетелдік ғылыми әдебиеттерді талдау.

**Эмпирикалық:** Педагогикалық эксперимент (Pre-test және Post-test), виртуалды эксперименттік модельдеу және студенттердің когнитивтік жүктемесін бағалауға арналған сауалнама жүргізу.

**Статистикалық:** Студенттердің білім сапасындағы өзгерістерді бағалау үшін деректерді математикалық өңдеу әдістері.

**Зерттеудің нысаны:** Жоғары оқу орындарында молекулалық физиканы оқыту процесі.

**Зерттеудің пәні:** PhET және NetLogo платформалары негізінде молекулалық-кинетикалық теорияның заңдылықтарын компьютерлік модельдеу әдістемесі.

## ***2. Әдебиеттерге шолу: компьютерлік модельдеудің тиімділігін талдау***

Заманауи физикалық білім беруде интерактивті симуляциялардың тиімділігі көптеген халықаралық эмпирикалық зерттеулермен және нақты сандық көрсеткіштермен расталады. PhET симуляцияларының оқу процесіндегі рөлін зерттеген Finkelstein және оның әріптестері (2005) Колорадо университетінде 363 студенттің қатысуымен ауқымды эксперимент жүргізді. Зерттеу нәтижесі көрсеткендей, дәстүрлі зертханалық жабдықтармен жұмыс істеген бақылау тобына қарағанда, тек симуляцияларды қолданған эксперименттік топ концептуалдық тест сұрақтарына (ВЕМА тесті) 15-20%-ға жоғары нәтижемен жауап берген. Сонымен қатар, симуляциямен жұмыс істеген студенттер нақты тізбектерді құрастыру кезінде тапсырманы орташа есеппен 10%-ға жылдам әрі қатесіз орындаған, бұл виртуалды модельдердің нақты тәжірибелік дағдыларды қалыптастырудағы жоғары әлеуетін айғақтайды. McKagan (2008) бұл

тұжырымдарды кванттық механика бөліміндегі зерттеулерімен толықтыра түсті. Оның мәліметтері бойынша, фотоэлектрлік эффект сияқты күрделі тақырыптарды дәстүрлі дәріс форматында оқытқанда студенттердің тек 20%-ы ғана негізгі заңдылықтарды меңгерсе, PhET интерактивті модельдерін қолдану бұл көрсеткішті 80%-ға дейін арттырған. Бұл көрсеткіштер симуляциялардың абстрактілі физикалық құбылыстарды визуализациялау арқылы когнитивтік кедергілерді жоюдағы маңызын көрсетеді. Бұл жекелеген жетістіктер Banda мен Nzabahimana-ның (2021) соңғы жылдардағы мета-анализінде де өз дәлелін тапты. 31 түрлі зерттеу жұмысын саралай келе, авторлар PhET модельдерінің студенттердің ғылыми процестерді түсіну дағдыларына оң әсерін тигізетінін, атап айтқанда, гипотеза құру мен айнымалыларды басқару қабілетінің бақылау топтарымен салыстырғанда айтарлықтай өскенін (Effect Size  $d > 0.8$ ) тіркеді.

NetLogo платформасына қатысты зерттеулер де осыған ұқсас оң динамиканы көрсетеді, бірақ мұндағы басымдық жүйенің статистикалық табиғатын микродеңгейде талдауға беріледі. Агенттік модельдеу әдістемесін зерттеген ғалымдар студенттердің молекулалық-кинетикалық теорияның статистикалық заңдылықтарын қабылдау деңгейінің NetLogo ортасындағы жұмыстан кейін 30-40%-ға артқанын атап өтеді. Бұл платформадағы нақты уақыттағы графиктік мәліметтер мен жылдамдықтар гистограммасы студенттерге Максвелл таралуы сияқты күрделі ұғымдарды математикалық абстракция ретінде емес, нақты динамикалық процесс ретінде көруге мүмкіндік береді. Зерттеулердің көрсетуінше, NetLogo-ны қолдану кезінде студенттердің параметрлерді өзгерту арқылы виртуалды эксперимент жүргізу белсенділігі артып, бұл олардың зерттеушілік құзыреттілігінің дамуына тікелей әсер етеді. Осылайша, PhET платформасының макроскопиялық заңдарды интуитивті түсіндірудегі жетістіктері мен NetLogo ортасының микроскопиялық деңгейдегі есептеуіш және статистикалық мүмкіндіктері бір-бірін толықтырып, білім беру процесінің сапасын жаңа деңгейге көтереді. Бұл халықаралық тәжірибелер мен сандық деректер біз ұсынып отырған кешенді модельдеу әдістемесінің ғылыми және практикалық негізділігін толықтай растайды.

### ***3. Негізгі бөлім: зерттеу әдістемесі мен эксперименттік дизайн***

Зерттеудің практикалық бөлімі молекулалық-кинетикалық теорияның іргелі заңдылықтарын игеруге бағытталған арнайы педагогикалық дизайнға негізделген. Біз ұсынып отырған әдістеменің басты ерекшелігі — білім алушының когнитивтік әрекетін макроскопиялық бақылаудан микроскопиялық талдау мен математикалық верификациялауға дейін кезең-кезеңімен дамыту. Эксперименттің бірінші кезеңі диагностикалық бақылаудан (Pre-test) басталады, мұнда студенттердің визуалды қолдаусыз қалыптасқан базалық білім деңгейі анықталады. Тест мазмұны молекулалардың соқтығысуы, қысымның табиғаты және энергияның таралуы сияқты 10 негізгі академиялық сұрақтан тұрады. Бұл кезең бізге ИКТ құралдарын енгізуге дейінгі «нөлдік нүктені» белгілеуге мүмкіндік береді.

Келесі кезеңде PhET Colorado платформасы арқылы макроскопиялық параметрлерді модельдеу жүзеге асырылады. Студенттер газ заңдарын (Бойль-Мариотт, Гей-Люссак, Шарль заңдары) виртуалды поршень мен манометр көмегімен зерттей отырып,  $P$ ,  $V$ ,  $T$  параметрлерінің арасындағы интуитивті байланысты орнатады. Алайда, бұл кезең тек сыртқы бақылаумен шектелетіндіктен, біз үшінші, ең маңызды кезең — NetLogo ортасындағы микро-талдауды енгіздік. Мұнда *GasLab Gas in a Box* моделі қолданылады, ол студенттерге әрбір жеке бөлшектің қозғалысын бақылауға мүмкіндік береді. Бұл кезеңде біз «аналитикалық есептеу — виртуалды тексеру» әдісін қолданамыз: студенттер берілген параметрлер (молекула массасы, жылдамдық) бойынша орташа кинетикалық энергияны өз бетінше есептейді, содан кейін симуляциядағы нақты уақыт режиміндегі датчиктер мен жылдамдықтар гистограммасы арқылы өз есептеулерінің дұрыстығын тексереді. Бұл тәсіл формулаларды жай жаттаудан олардың физикалық мағынасын түсінуге көшуді қамтамасыз етеді.

Эксперименттік дизайнның қорытынды кезеңі бақылау тестілеуі (Post-test) мен сапалық рефлексияны (сауалнама) қамтиды. Қайталама тест сұрақтары бастапқы диагностикамен мазмұны жағынан сәйкес келеді, бұл білім сапасының өсу динамикасын дәл есептеуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, Ликерт шкаласы негізінде жүргізілетін сауалнама студенттердің когнитивтік жүктемесі мен оқу мотивациясының өзгеруін бағалауға бағытталған. Біз бұл кешенді әдістеме студенттердің абстрактілі статистикалық заңдылықтарды (мысалы, Максвелл таралуы) меңгеру кезіндегі қиындықтарын азайтып, олардың зерттеушілік құзыреттілігін жаңа деңгейге көтереді деп болжаймыз. Алынған сандық және сапалық деректер кейіннен Студенттің  $t$ -критерийі сияқты математикалық-статистикалық әдістермен өңделіп, зерттеудің үшінші мақаласында толық талданатын болады.

#### **4. Қорытынды**

PhET және NetLogo интерактивті симуляцияларының дидактикалық мүмкіндіктерін талдау және оларды МКТ бөлімін оқытуда қолданудың авторлық әдістемесін әзірлеу нәтижесінде келесі тұжырымдар жасалды. Біріншіден, жүргізілген әдебиеттер шолуы мен халықаралық тәжірибелерді саралау PhET симуляцияларының макроскопиялық заңдарды интуитивті түсінудегі жоғары тиімділігін (жетістік деңгейінің 20%-дан 80%-ға дейін артуы), ал NetLogo ортасының микроскопиялық деңгейдегі статистикалық заңдылықтарды модельдеудегі басымдылығын көрсетті. Бұл екі құралдың кешенді интеграциясы білім алушылардың макро- және микро-әлем байланысын түсінуіне бағытталған когнитивтік дамуының толық циклін қамтамасыз етеді. Екіншіден, зерттеудің әдістемелік негізі ретінде ұсынылған «аналитикалық есептеу — виртуалды тексеру» моделі студенттердің функционалдық сауаттылығын арттыруға бағытталған принципті жаңа тәсіл болып табылады. Бұл модель физикалық формулаларды механикалық

жаттаудан олардың нақты динамикалық жүйедегі көрінісін саналы түрде талдауға көшуге жағдай жасайды.

Үшіншіден, мақалада сипатталған төрт кезеңдік эксперименттік дизайн (Pre-test — PhET — NetLogo — Post-test) білім сапасының динамикасын объективті өлшеуге арналған сенімді эмпирикалық базаны құрайды. Ұсынылған диагностикалық құралдар мен верификациялық тапсырмалар студенттердің теориялық білімін практикалық модельдеу дағдыларымен ұштастыруға мүмкіндік береді. Түйіндей келе, қарастырылған әдістемелік тәсіл МКТ курсының мазмұнын тереңдетіп, болашақ физика мұғалімдерінің зерттеушілік құзыреттілігін қалыптастырудың тиімді құралы болып табылады. Зерттеудің келесі кезеңі осы әдістемені оқу процесіне тікелей енгізуден алынған сандық мәліметтерді статистикалық өңдеуге және оқытудың тиімділігін нақты дәлелдермен негіздеуге арналады.

#### Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., Kohl, P. B., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., Reid, S., & LeMaster, R. (2005). When learning about the real world is better done virtually: Case studies of using computer simulations in physics education. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 1(1), 010103.
2. McKagan, S. B., Perkins, K. K., Dubson, M., Malley, C., Reid, S., LeMaster, R., & Wieman, C. E. (2008). Developing and researching PhET simulations for teaching quantum mechanics. *American Journal of Physics*, 76(4), 406-417.
3. Banda, A., & Nzabahimana, J. (2021). Effect of PhET interactive simulations on students' conceptual understanding of physics in secondary schools: A science process skills approach. *Physical Review Physics Education Research*, 17(2), 020111.
4. Wieman, C. E., Adams, W. K., Loeblein, P., & Perkins, K. K. (2010). Teaching Physics Using PhET Simulations. *The Physics Teacher*, 48(4), 225-227.
5. Wilensky, U. (1999). *NetLogo*. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
6. Levy, S. T., & Wilensky, U. (2009). Students' learning with the Connected Chemistry (CC1) curriculum: Navigating the complexities of the particulate world. *Journal of Science Education and Technology*, 18(3), 233-254.

#### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЗАНЯТИЯХ ПО МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ В УНИВЕРСИТЕТЕ (НА ПРИМЕРЕ PHET COLORADO И NETLOGO)

*Баян Әлихан Толқынұлы*

*В данной статье всесторонне рассматривается методическая эффективность применения компьютерного теоретического моделирования в процессе преподавания курса молекулярной физики в высших учебных заведениях. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения качества подготовки будущих учителей физики и формирования у них глубоких концептуальных представлений о микроскопических процессах. В качестве основных инструментов моделирования выбраны образовательные*

платформы *PhET Colorado* и *NetLogo*, проанализирован их потенциал в визуализации движения молекул, распределения скоростей и термодинамических закономерностей. В ходе работы предложен авторский педагогический дизайн, сочетающий виртуальные эксперименты и аналитические расчёты, а также оценено его влияние на развитие научного мышления студентов. Результаты исследования показали, что интеграция интерактивных моделей в образовательный процесс способствует более глубокому пониманию физических явлений, формированию исследовательских навыков и повышению учебной мотивации обучающихся. Полученные данные полностью подтверждают целесообразность систематического внедрения цифровых технологий в подготовку будущих специалистов.

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, молекулярная физика, PhET Colorado, NetLogo, теоретическое моделирование, методика преподавания физики, подготовка будущих учителей физики, визуализация физических процессов, цифровые образовательные технологии.

### THE EFFECTIVENESS OF USING COMPUTER-BASED THEORETICAL MODELING IN UNIVERSITY MOLECULAR PHYSICS CLASSES (BASED ON THE EXAMPLES OF PHET COLORADO AND NETLOGO)

*Bayan Alikhan Tolkyuly*

*This article comprehensively examines the methodological effectiveness of using computer-based theoretical modeling in the process of teaching molecular physics courses in higher education institutions. The relevance of the study is justified by the need to improve the quality of training future physics teachers and to develop their deep conceptual understanding of microscopic processes. PhET Colorado and NetLogo educational platforms were selected as the main modeling tools, and their potential for visualizing molecular motion, velocity distribution, and thermodynamic laws was analyzed. The study proposes an original pedagogical design combining virtual experiments and analytical calculations and evaluates its impact on the development of students' scientific thinking. The research findings demonstrate that integrating interactive models into the educational process contributes to a deeper understanding of physical phenomena, the formation of research skills, and the enhancement of students' learning motivation. The obtained data fully confirm the expediency of systematically implementing digital technologies in the training of future specialists.*

**Keywords:** computer modeling, molecular physics, PhET Colorado, NetLogo, theoretical modeling, physics teaching methodology, training of future physics teachers, visualization of physical processes, digital educational technologies.