

**Дудик М.В.**

*кандидат фізико-математичних наук,*

*доцент кафедри теоретичної*

*фізики та інформатики*

*Уманського державного*

*педагогічного університету*

*імені Павла Тичини*

## **КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДІВ З АТОМНОЇ ФІЗИКИ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ**

*Розглянуто дидактичні вимоги до комп'ютерних моделей для потреб фізичного лабораторного практикуму. Описано пакет програм, що моделюють фундаментальні досліди з атомної фізики.*

*Didactics requirements to the computer models for the necessities of physical laboratory practical work are considered. The package of software, modeling fundamental experiments from atomic physics is described.*

Одним з найбільш ефективних інструментів навчання у педагогіці та методиках різних навчальних дисциплін, у першу чергу природничо-математичних, вважається використання методу моделювання. В сучасних умовах перспективним у цьому напрямку є використання комп'ютерних моделей, які не потребують значних ресурсів як для їхнього створення, так і для застосування. При цих перевагах комп'ютерне моделювання ще й володіє високою гнучкістю, на його основі можна створювати спецкурси та практикуми, проведення яких за інших умов було б дуже ускладненим або взагалі неможливим. Тому актуальною проблемою є створення та упровадження в навчальний процес як у середній, так і у вищій школі ефективних комп'ютерних моделей.

Проблеми методики вивчення фізики в умовах системного використання ІКТ і створення педагогічних програмних засобів з фізики досліджували Л.І. Анциферов, І.О. Бугайов, Є.В. Бурсіан, С.У. Гончаренко, М.І. Жалдак, Ю.В. Жук, В.О. Извозчиков, Л.Л. Коношевський, Б.Г. Кремінський,

П.М. Маланюк, В.І. Сумський, І.О. Теплицький, М.І. Шут, Т.М. Яценко та ін. Питанням побудови і використання комп'ютерних моделей фізичних явищ у навчально-виховному процесі присвячені дослідження В.П. Муляра, Н.Л. Сосницької, М.Л. Фокіна.

Підвищенню ефективності педагогічного програмного засобу може сприяти залучення в програмі історичного матеріалу, який відповідає темі, що вивчається. Як свідчить досвід, використання історизму у методиці викладання багатьох навчальних предметів, розкриття еволюції наукових ідей, механізму наукового пошуку, атмосфери творчого процесу сприяє формуванню сучасного наукового світогляду.

Як один із способів включення історизму в навчальний процес пропонується його поєднання з комп'ютерним моделюванням. Особливо ефективною ця ідея вбачається у створенні комп'ютерних моделей фундаментальних дослідів з атомної фізики і організації на їхній основі спеціального лабораторного практикуму. До таких фундаментальних дослідів ми відносимо дослід Резерфорда з вивчення структури атома, дослід Чадвіка зі знаходження заряду ядра, дослідження закономірностей зовнішнього фотоефекту, ефекту Комптона, досліді Франка і Герца, Девісона і Джермера та інші основоположні експерименти атомної фізики [1, 3].

Звернення до цих дослідів обумовлено кількома причинами.

1. Ці досліді займають чільне місце в історії сучасної фізики, є фундаментом, на якому базується фізика мікросвіту. Тому включення в лабораторний практикум вказаних дослідів принципово важливе для формування сучасних фізичних поглядів студентів, а їхнє виконання сприятиме кращому засвоєнню навчального матеріалу.

2. Постановка цих дослідів в умовах середньої або вищої школи часто неможлива через брак коштів на належне обладнання, яке нерідко є унікальним, проте цілком здійсненою є їхня імітація за допомогою комп'ютерних моделей.

3. Тривалість реального досліді, як правило, перевершує час, визначений на вивчення відповідної теми. Комп'ютерні моделі дозволяють масштабувати в часі процес протікання досліді, тобто скорочувати час проведення досліді і його обробки до тривалості одного двогодинного заняття.

4. Реальне проведення деяких дослідів вимагає використання радіоактивних препаратів (досліді Резерфорда і Чадвіка) або джерел рентгенівського випромінювання (дослід Комптона), що може призвести до негативного впливу на здоров'я експериментатора. В цьому плані робота з комп'ютерною моделлю досліді вважається значно безпечнішою.

Щоб забезпечити достатньо високу методичну цінність і ефективність комп'ютерних моделей дослідів з атомної фізики, вони повинні задовольняти

певним дидактичним вимогам, зокрема таким як: науковість, доступність, наочність, систематичність, послідовність, свідомість та активність. Вони повинні якомога точніше передавати основні властивості оригінальних установок; бути динамічними, процеси демонструвати у розвитку; бути достатньо демонстраційними, простими у реалізації і зручними у користуванні; бути надійними в роботі, кожного разу давати однозначні результати в межах заданої похибки; бути якісно і естетично виконаними; відповідати всім вимогам санітарних правил і норм: час роботи програми не повинен перевищувати максимально допустимий час роботи біля комп'ютера.

Детального розгляду вимагає питання про забезпечення відповідності результатів історичних експериментів та комп'ютерних моделей. Не будь-який процес у дослідах з атомної фізики може бути описаний визначеними математичними формулами, які потім можуть бути покладені в основу математичної моделі комп'ютерної програми. Ряд дослідів базується на статистичних явищах (радіоактивність у дослідах Резерфорда і Чадвіка, розсіяння фотонів на кристалічній ґратці у досліді Комптона). У цьому випадку при побудові відповідних моделей вихід можна знайти у використанні експериментальних даних цих дослідів, представлених графічно у посібниках з атомної фізики, для формування бази значень вимірюваних величин.

Для більшої реалістичності комп'ютерних моделей доцільно штучно включати до числових значень вимірюваних величин невеликі несистемні похибки, які б, проте, не спотворювали отримані результати, але, разом з тим, виключали можливість співпадання результатів у різних студентів. Такі похибки можна забезпечити, помножуючи вихідні значення вимірюваних величин на поправочний множник, що містить генератор випадкових чисел.

Інколи у розробників комп'ютерних моделей лабораторних робіт виникає спокуса автоматизувати весь процес їхнього виконання – від зняття показів приладів до повної обробки результатів з видачею електронної версії звіту студента. Але при цьому виникають питання: які функції при виконанні такої лабораторної роботи залишаються студенту і наскільки глибоким виявиться розуміння студентом суті експерименту і його ролі у історичному відкритті, яке базується на даному експерименті? Наша концептуальна позиція полягає у тому, що студент повинен бути активним учасником віртуального лабораторного дослідження – від визначення параметрів дослідної установки (моделі), зняття показів приладів до самостійної обробки результатів і оформлення звіту. Звичайно, при цьому не заперечується, а навіть заохочується використання ним комп'ютерних програм, наприклад, Excel, для

обробки даних, але він повинен пройти цей шлях свідомо і самостійно.

В якості реалізації сформульованих вище принципів на фізико-математичному факультеті Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини силами студентів в межах курсових і дипломних робіт був розроблений комп'ютерний лабораторний практикум до розділу «Атомна фізика», який включає моделі ряду основоположних дослідів атомної фізики. Ці моделі призначені для використання у фізичному лабораторному практикумі з атомної фізики в курсі загальної фізики для студентів як фізичних, так і нефізичних спеціальностей. Вони можуть також бути використані в шкільному курсі фізики як ілюстративний матеріал та для лабораторних практикумів на факультативних заняттях з фізики, а також в школах з поглибленим вивченням фізики.

У відповідності з вимогами до структури педагогічних програмних засобів розроблені комп'ютерні моделі містять орієнтуючу та виконавчу частини. В них відсутня контрольна-керуюча частина, оскільки передбачається самостійна обробка результатів експерименту студентами з метою досягнення більш свідомого аналізу результатів і активного процесу пізнання, наближеного до наукової діяльності фізика-експериментатора. Процес перевірки та контролю знань з тем лабораторних робіт винесений на усний індивідуальний захист виконаних робіт у викладача.

Всі програми виконані зі схожим зовнішнім виглядом та інтерфейсом, що відповідає їхній єдності в комплексі лабораторних робіт, розроблених для лабораторного практикуму з атомної фізики. Хід виконання програм починається з виводу на екран головного вікна, яке містить назву роботи, її мету та кілька кнопок доступу до режимів роботи програми:

- кнопка «Теорія». У цьому режимі користувачеві надається можливість переглянути коротку інформацію, яка стосується теоретичних відомостей про досліджуване явище, історії та основних ідей дослідження;
- кнопка «Опис установки». Цей режим теж носить інформативний характер і призначений для пояснення будови установки та принципу її дії;
- кнопка «Дослід». Служить для переходу до виконання експерименту.
- кнопка «Вихід». Відповідає за завершення роботи програми.

При виборі режиму «Дослід» на екрані з'являється графічне зображення дослідної установки з цифровими шкалами вимірювальних приладів, тексту інструкції з проведення дослідження, вікон вибору параметрів, інструментарій керування приладами тощо.

Інтерфейс програм розроблено так, що не вимагає спеціальної підготовки студентів до роботи з комп'ютером, забезпечені простота запуску

та виходу з програми, доступність меню у будь-який час, захист від непередбаченої реакції користувача. Також передбачена можливість редагування інформаційних модулів, що містять теоретичні відомості та опис установки.

Нижче приводиться анотований опис комп'ютерних моделей лабораторного практикуму «Фундаментальні дослідження з атомної фізики».

#### **а) Досліди Резерфорда і Чадвіка з дослідження будови атома.**

Програми моделюють досліди Резерфорда з розсіяння  $\alpha$ -частинок в речовині, який привів до відкриття атомних ядер і планетарної моделі атома, та досліди Чадвіка з визначення заряду ядра. В основу моделей покладена відома формула Резерфорда для перерізу розсіяння  $\alpha$ -частинок.

Модель дослідної установки Резерфорда та Чадвіка містить свинцевий контейнер з джерелом  $\alpha$ -частинок – радіоактивним препаратом  $U^{230}$ , який використовувався Резерфордом і Чадвіком при проведенні дослідів і параметри якого найкраще задовольняють умовам проведення дослідів.  $\alpha$ -частинки в працюючій установці рухаються від радіоактивного джерела до мішені у вигляді тонкої пластинки і далі до сфери, покритої люмінофором. Сфера оточена лічильниками сцинтиляцій, що являють собою фотоелементи, з'єднані з реєструючими пристроями, покази яких виведені на індикатори. Програмою передбачається вибір часу тривалості експерименту та (в моделі дослідів Чадвіка) матеріалу мішені.

#### **б) Теплове випромінювання абсолютно чорного тіла**

Модель даної лабораторної роботи складається з двох частин. У першій частині виконується градування спектроскопа за відомими лінійчатиими спектрами атомів кисню і водню. У другій частині використовується модель абсолютно чорного тіла у вигляді майже замкнутої порожнини, заповненої рівноважним електромагнітним випромінюванням стінок, спектроскопа з мікрометричним гвинтом і фотоелемента з мікроамперметром для вимірювання інтенсивності випромінювання. Модель дозволяє для заданих температур стінок отримати залежність енергії випромінювання, яку реєструє фотоелемент, від показів мікрометра спектрографа і, отже, від довжини хвилі, яка визначається за градувальною кривою, та перевірити закон зміщення Віна. Відповідність результатів моделі реальному експерименту досягається шляхом використання формули Планка для густини рівноважного теплового випромінювання абсолютно чорного тіла.

#### **в) Дослідження корпускулярних властивостей світла**

Вивчення корпускулярних властивостей світла здійснюється на комп'ютерних моделях, які реалізують відомі досліди Столетова з дослідження закономірностей зовнішнього фотоефекту і Комптона з розсіяння рентгенівського випромінювання на вільних електронах.

Робота з моделлю дослідів Столетова передбачає знаходження залежності фотоструму від різниці потенціалів для різних металів при різних значеннях інтенсивності і частоти падаючого світла та визначення роботи виходу для кожного з металів. Модель досліду Комптона дозволяє отримати спектральний розподіл інтенсивності розсіяного випромінювання при різних кутах розсіяння. Моделювання результатів здійснювалося шляхом табулювання відомих з літератури експериментальних даних.

### **г) Дослід Франка і Герца**

В комп'ютерній моделі досліду Франка і Герца вивчається залежність збудження і іонізації атомів ртуті електронним ударом від прискорюючої різниці потенціалів. Основна частина програми імітує зміну і вимірювання параметрів установок. Обробка студентами результатів досліджень передбачає побудову графіка залежності величини анодного струму від прискорюючої напруги і знаходження за графіком потенціалу збудження атома ртуті. Зв'язок між анодним струмом і прискорюючою напругою встановлюється по дискретному масиву, значення якого визначені із емпіричної кривої, отриманої Франком і Герцом.

### **д) Дослід Девісона і Джермера**

Комп'ютерна модель дослідів Девісона і Джермера складається з двох частин. У першій частині досліджується залежність інтенсивності розсіяного пучка електронів від кута розсіяння при кількох заданих сталих значеннях прискорюючої різниці потенціалів. У другій частині роботи вивчається залежність інтенсивності розсіяних електронів від прискорюючого потенціалу при куті розсіяння, рівному куту падіння. Проведення лабораторної роботи з використанням моделі дозволяє не лише продемонструвати наявність у електронів хвильових властивостей, але й обчислити довжину хвилі де Бройля для електрона. Відповідність результатів моделюючої програми результатам досліду Девісона і Джермера досягалася шляхом використання оригінальних експериментальних даних.

### **е) Комп'ютерна модель дослідів Штерна і Герлаха**

Модель досліду Штерна і Герлаха призначена для постановки лабораторної роботи з визначення спінового магнітного моменту електрона. Суть досліду полягає в спостереженні розщеплення на дві частини пучка

атомів срібла в основному стані неоднорідним магнітним полем, через який проходить пучок. Комп'ютерна модель дослідної установки зображує вакуумний балон з джерелом атомів і коліматором для формування пучка, електромагніт в колі постійного струму та фотопластину – детектор атомів, з мікрометром для вимірювання відстані між розщепленими пучками. Програмою передбачається зміна параметрів установки: температури джерела атомів срібла, що впливає на середню швидкість їхнього теплового руху; сили струму в колі електромагніта, від якої залежать напруженість магнітного поля  $i$ , відповідно, сила, що діє на атоми та величина зміщення пучків. Користуючись даною програмою, можна виміряти величину зміщення пучків, а по ньому та параметрам установки - обчислити величину проекції магнітного моменту електрона.

Описаний вище комплекс програм, імітуючих історично важливі фізичні експерименти, забезпечений відповідним методичним посібником [2]. Їхнє впровадження в межах фізичного практикуму на фізико-математичному факультеті Уманського державного педагогічного університету не лише підтвердило ефективність використання комп'ютерних моделей фундаментальних дослідів з атомної фізики, побудованих за сформульованими в статті принципами, але й дозволило забезпечити курс атомної фізики достатньою кількістю лабораторних робіт.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Липсон Г. Великие эксперименты в физике / Пер с англ. под ред. Рыдника В.И. – М.: Мир, 1972. – 214 с.
2. Мартинюк М.Т, Дудик М.В., Терещук С.І. Вивчення фундаментальних дослідів з атомної фізики засобами інформаційно-комунікаційних технологій. – К.: Науковий світ, 2006. – 119 с.
3. Тригг Дж. Решающие эксперименты в современной физике / Пер с англ. под ред. Алексеева И.С. – М.: Мир, 1974. – 159 с.