

«Computer Science». Of particular interest is the simulation of the state of electrons in a cylindrical quantum wire and consideration of the resonant tunneling effect.

The mathematical models of cylindrical and spherical quantum wire and the process of electron passage through a potential barrier are considered. The application of mathematical package MathCad allows not only to conduct mathematical, computer modeling of the tunnel effect, but also to construct and investigate dependencies.

Keywords: simulation labs, quantum-dimensional heterostructures, modeling MathCad, tunnel effect, quantum wire.

Демина Наталя, Морозов Николай

Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь

МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАНТОВОРАЗМЕРНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ КУРСА «ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

В работе рассмотрена организация имитационных лабораторных работ на базе математического, компьютерного моделирования с использованием пакета MathCad по курсу «Физические основы современных информационных технологий». Особый интерес представляет моделирование состояния электронов в цилиндрической квантовой точке и рассмотрение резонансного туннельного эффекта.

Ключевые слова: имитационные лабораторные работы, наногетероструктуры, моделирование MathCad, туннельный эффект, квантовая точка.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Дьоміна Наталя Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри вищої математики і фізики Таврійського державного агротехнологічного університету.

Коло наукових інтересів: лазерна доплерівська і голографічна інтерферометрія вимірювання швидкості частинок та параметрів коливань шорстких поверхонь), дослідження контактної взаємодії елементів штампів.

Морозов Микола Вікторович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри вищої математики і фізики Таврійського державного агротехнологічного університету.

Коло наукових інтересів: лазерна доплерівська і голографічна інтерферометрія вимірювання швидкості частинок та параметрів коливань шорстких поверхонь), дослідження контактної взаємодії елементів штампів.

УДК 539.2(075.8)

Колінько Сергій¹, Бутенко Тетяна¹, Кулик Людмила²

¹Черкаський державний технологічний університет, ²Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

ОЗНАЙОМЛЕННЯ З МЕТОДОМ ТРАНСМІСІЙНОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ МІКРОСКОПІЇ У ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМІ З ФІЗИКИ

У статті розкрито методичні аспекти формування предметної компетентності майбутніх інженерів під час вивчення навчальної дисципліни «Загальний курс фізики». Запропоновано технологію удосконалення лабораторного практикуму з фізики з метою практичного ознайомлення майбутніх фахівців інженерних спеціальностей з прикладами використання фізичних законів та закономірностей у роботі різноманітних технічних пристроїв. Розглянуто переваги трансмісійної електронної мікроскопії (ТЕМ) над оптичною мікроскопією у дослідженні структури та фазового складу тонких плівок. Виокремлено найважливіші завдання, що вирішуються плівковим матеріалознавством – отримання плівкових матеріалів з широким спектром властивостей (електрофізичних, механічних, оптичних), розвиток методів синтезування плівкових систем з наперед заданими властивостями. Представлено методичку організації і проведення лабораторної роботи з вивчення фізичних основ трансмісійної електронної мікроскопії. Використання пропонованої лабораторної роботи під час вивчення загального курсу фізики сприятиме підвищенню рівня фахової підготовки студентів інженерних спеціальностей.

Ключові слова: фізика, лабораторний практикум, трансмісійна електронна мікроскопія, фахова підготовка, інженерні спеціальності.

Постановка проблеми. Важливим аспектом викладання курсу загальної фізики студентам інженерних спеціальностей є практичне ознайомлення майбутніх фахівців з

прикладом використання фізичних законів та закономірностей у роботі різноманітних технічних пристроїв. Арсенал науково-дослідних лабораторій Черкаського державного технологічного університету та Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького наповнений потужними експериментальними установками, зокрема, мас-спектрометрами, електронними мікроскопами, рентгенівськими дифрактометрами тощо. Розробка методичних рекомендацій щодо організації і проведення лабораторних робіт з метою знайомлення студентів з фізичними основами функціонування названих вище експериментальних установок є наразі одним із завдань викладачів кафедри фізики з метою ефективної підготовки майбутніх фахівців інженерних спеціальностей. Пропонована стаття є наступною із запланованого циклу статей [1], що реалізує окреслені завдання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню питань, пов'язаних з фаховою підготовкою інженерно-педагогічних кадрів присвячені праці С.Батишева, В.Блюхера, Г.Зборовського, Е.Зєєра, Р.Карпової, О.Коваленка, В.Лошкіної, А.Пастухова та інших. Аналіз теоретичних і методичних засад удосконалення лабораторного практикуму з фізики просліджуються в наукових доробках П.Атаманчука, В.Барановського, М.Головка, Ю.Жука (використання електронно-обчислювальної техніки в ході лабораторного практикуму), Г.Грищенка, В.Савченка, М.Шута, І.Войтовича (дослідницькі лабораторні роботи) та інших. Але саме питання методики організації лабораторного практикуму з фізики для студентів інженерних спеціальностей в методичній літературі висвітлені недостатньо та потребують подальшої розробки в контексті професійної спрямованості навчання [3, 5].

Метою статті є висвітлення методики організації і проведення лабораторної роботи з вивчення фізичних основ трансмісійної електронної мікроскопії.

Виклад основного матеріалу. Трансмісійна електронна мікроскопія (ТЕМ) використовується для дослідження тонких об'єктів [4], зокрема, ця методика незамінна при дослідженні структури та фазового складу тонких плівок. Наразі тонкі плівки ($d = 10^{-9} - 10^{-6} \text{ м}$) широко застосовуються в різних галузях науки і техніки. Найважливіші завдання, що вирішуються плівковим матеріалознавством – отримання плівкових матеріалів з широким спектром властивостей (електрофізичних, механічних, оптичних), розвиток методів синтезування плівкових систем з наперед заданими властивостями. З тонкими плівками пов'язані такі галузі промисловості, як:

- металообробка – на робочий інструмент наносять покриття, яке забезпечує його зносостійкість;
- нанесення декоративних і захисних покриттів;
- мікротехнологія і виробництво мікроелектронних пристроїв – виготовлення функціональних шарів;
- оптика – отримання просвітлюючих і відбиваючих покриттів.

Тонкі плівки – це особливий вид стану конденсованої речовини. За своєю структурою і властивостями плівки можуть істотно відрізнятися від своїх масивних аналогів. Відмінність обумовлена специфікою їх формування: тонкі плівки отримують при конденсації молекулярних потоків речовини на підкладці (на поверхні твердого тіла). Крім того, на властивості тонкоплівкових матеріалів впливають розмірні ефекти. Зміна властивостей пояснюється збільшенням ролі поверхні при зменшенні об'єму, оскільки об'єм V тіла змінюється пропорційно кубу лінійних розмірів, а площа S поверхні – квадрату. Відповідно, відношення S/V веде себе пропорційно $1/r$. Тому, сили поверхневого натягу, які в масивних зразках не відіграють суттєвої ролі, в нанооб'єктах стають суттєвими. А, оскільки вони діють в приповерхневому шарі, їх поведінку можна розглядати, як прикладення зовнішнього тиску, який може змінити, зокрема, температуру плавлення і міжплощинні відстані.

Структурні та фазові дослідження на трансмісійному електронному мікроскопі (ТЕМ) є важливими при вивченні властивостей тонких плівок. ТЕМ дозволяє

отримувати пряме зображення об'єкта за допомогою електронного променя. Техніка просвічування електронами тонких об'єктів дозволяє отримувати розділення до 0,08 нм. Це суттєво перевищує можливості оптичного мікроскопа і пояснюється збільшенням роздільної здатності приладу при зменшенні довжини хвилі λ електромагнітного випромінювання. Згідно з гіпотезою де-Бройля електрон має властивості електромагнітної хвилі з $\lambda = h/mv$, де λ – довжина хвилі, h – стала Планка, m – маса електрона, v – швидкість електрона. Прискорюються електрони в сильному електричному полі, тому довжина хвилі електрона залежить від величини прискорюючої напруги U :

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0eU(1 + \frac{eU}{2E_0})}} \tag{1}$$

де m_0 – маса спокою електрона, e – заряд електрона, $E_0 = m_0c^2$ – енергія спокою електрона. За формулою (1) можна обчислити довжину хвилі електрона для різних значень прискорюючої напруги:

Таблиця 1.

Довжина хвилі електрона при різних значеннях прискорюючої напруги

U (кВ)	λ (нм)
100	3,70
300	1,97
1000	0,87

ТЕМ (рис.1) складається з електронної гармати (джерела електронів), системи магнітоелектричних лінз та системи детектування електронів. В електронній гарматі електрони вилітають із розігрітого катода за рахунок явища термоелектронної емісії і прискорюються високою напругою. Конденсорні лінзи формують паралельний електронний пучок, який потрапляє на зразок. У камері мікроскопа створюється високий вакуум ($1,33 \cdot 10^{-4} - 6,66 \cdot 10^{-5}$ Па) для усунення взаємодії електронів з молекулами повітря.

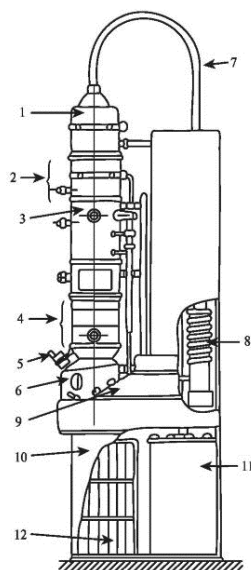


Рис.1. Трансмісійний електронний мікроскоп: 1 – електронна гармата; 2 – конденсорні магнітні лінзи; 3 – об'єктив; 4 – проєкційні магнітні лінзи; 5 – світловий мікроскоп; 6 – тубус з оглядовими вікнами; 7 – високовольтний кабель; 8 – вакуумна система; 9 – пульт управління; 10 – стенд; 11 – високовольтне джерело живлення; 12 – джерело живлення лінз.

Найпоширенішим режимом роботи ТЕМ є світлопольний режим, при якому лінза об'єктива формує на екрані двовимірну проекцію зразка (рис.2). Більш темні ділянки зображення будуть відповідати тим ділянкам зразка, які сильніше поглинають електрони. Отже, зображення зразка на екрані буде темним на світлому полі. Світле поле утворюватимуть ті електрони, які пройшли за межами зразка.

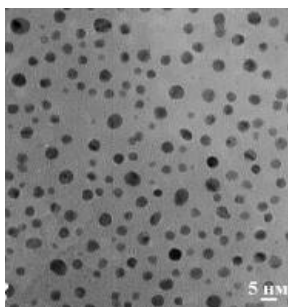


Рис.2. Світлопольне зображення наночастинок золота на вуглецевій плівці.

Темнопольний режим – це режим спостереження дифракції електронів на кристалічному зразку. При вимкненні лінзи об'єктива чи зміні її фокусу, на екрані отримаємо дифракційну картину у вигляді світлих максимумів на темному полі. Це пов'язано з тим, що, завдяки впорядкованому розташуванню атомів, кристал можна розглядати, як просторову дифракційну решітку для електромагнітних хвиль.

Дифракційна картина утворюється внаслідок інтерференції електромагнітних хвиль, відбитих від кристалографічних площин кристалу і підлягає закону Вульфа-Брегга:

$$2d\sin\theta = \lambda, \quad (2)$$

де d – міжплощинна відстань; θ – кут ковзання (рис.3); λ – довжина хвилі.

Враховуючи, що кут θ дуже малий можемо наближено вважати, що $\sin\theta \sim \theta$, а $2\theta \sim R/L$ (рис.3). Тоді формула (2) набуде вигляду:

$$d \frac{R}{L} = \lambda, \quad (3)$$

де L – відстань від кристалу до екрана; R – відстань максимуму дифракційної картини P від її центра O .

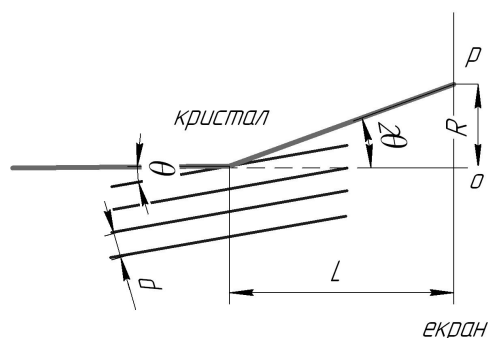


Рис. 3. Дифракція електронів на кристалі.

У полікристалічному зразку окремі кристали мають різну орієнтацію один відносно одного, тому дифракційна картина, в цьому випадку, матиме вигляд концентричних кілець різного радіуса R відносно її центра O (рис.4).

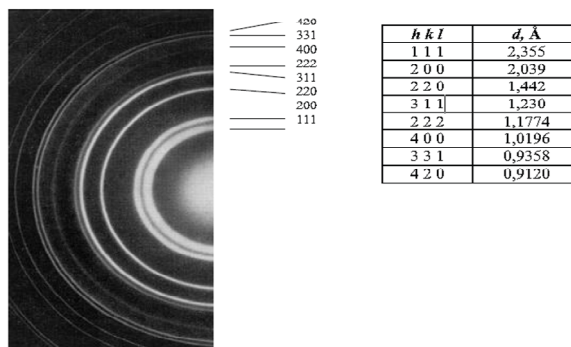


Рис. 4. Електронограма плівки золота.

Технологія виконання лабораторної роботи. Лабораторна робота виконується групами з 3-4 студентів. З метою дотримання норм техніки безпеки студенти не допускаються до роботи на увімкненій установці, а працюють із роздатковим матеріалом, опановують методику обробки експериментальних даних, аналізують результати проведених досліджень.

Кожна група отримує електроннограму тест-об'єкту (Al), електроннограми зразків, які потрібно розшифрувати, таблиці картотеки ASTM [2], що містять базу даних про міжплощинні відстані.

Використовуючи технічний опис електронного мікроскопа EM-200 і теоретичні відомості до лабораторної роботи, студенти знайомляться з роботою ТЕМ та з механізмом утворення дифракційної картини.

Для визначення міжплощинних відстаней використовують формулу

$d = C/R$, де C – постійна приладу; R – радіус кільця на електроннограмі. Постійну приладу $C = d \cdot R$ визначають досліджуючи електроннограму тест-об'єкта (Al). Для цього вимірюють радіуси кілець R_i і ставлять їм у відповідність відомі значення міжплощинних відстаней d_i у кристалі Al. Результати дослідження представляють у вигляді таблиці, наприклад:

Таблиця 2.

Кристаліграфічні характеристики Al

№	d_i (Å)	R_i (мм)	C_i (Å·мм)
1	2,33	13,8	32,15
2	2,02	15,3	30,9
3	1,43	16,8	25,02
4	1,219	23,6	28,8

Остаточне значення постійної приладу обчислюють за формулою

$$C = \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{N}$$

Щоб розшифрувати запропоновану викладачем електроннограму, студенти вимірюють радіуси кілець R_i на електроннограмі, та обчислюють міжплощинні відстані за формулою $d_i = C/R_i$. По таблицям ASTM знаходять схожий набір міжплощинних відстаней ($d_{\text{табл}}$), а, отже, визначають, яка кристалічна фаза присутня в об'єкті дослідження. Отримані результати заносять в таблицю 3:

Таблиця 3.

Кристаліграфічні характеристики дослідженого об'єкта

R_i (мм)	d_i (Å)	$d_{\text{табл}}$ (Å)

За результатами проведених досліджень студенти складають звіт згідно форми:

1. Назва роботи.
2. Мета роботи.
3. Перелік використаних в роботі приладів та матеріалів.
4. Схема та принцип роботи ТЕМ.

5. Методика розшифровки електронограми.
6. Експериментальні розрахунки.
7. Таблиця з результатами дослідження.
8. Висновки по роботі.

Питання для самоперевірки.

1. Чому електронний мікроскоп має суттєво більшу роздільну здатність, ніж оптичний мікроскоп?
2. В чому полягає гіпотеза де-Бройля?
3. З яких основних блоків конструктивно складається ТЕМ?
4. Розкрийте фізичну суть роботи ТЕМ.
5. Як утворюється електронограма?
6. В чому полягає методика розшифровки електронограми?

Висновки. Виконання лабораторної роботи по вивченню методу трансмісійної електронної мікроскопії сприятиме більш глибокому засвоєнню студентами наступних тем загальної фізики: термоелектронна емісія, взаємодія заряджених частинок з електричним та магнітним полями, хвилі де-Бройля, закон Вульфа-Брегга. Ознайомлення з практичним використанням фізичних законів, зокрема, для дослідження кристалічної будови речовини, підвищує інтерес студентів до вивчення фізики. Приклад застосування знань фундаментальних наук при конструюванні технічних пристроїв сприяє активізації пізнавальної діяльності студентів, що, в свою чергу, підвищує рівень професійної підготовки майбутніх фахівців інженерного профілю.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Бутенко Т.І. Ознайомлення з методом лазерної мас-спектрометрії у лабораторному практикумі з фізики / Т.І. Бутенко, С.О. Колінько, О.Ю. Кулик. – Вісник ЧНУ. №12 (225). – Черкаси: ЧНУ, 2012. – С. 31 – 35.
2. Картоотека ASTM, що містить базу даних про міжплощинні відстані.
3. Пастушенко С.М. Курс фізики в системі професійної компетентності випускника технічного університету / С.М. Пастушенко, Т.С. Лень // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету імені Т.Г. Шевченка. Випуск 89. Серія: педагогічні науки: Збірник. – Чернігів: ЧДПУ, 2011. – С. 359 – 362.
4. Практические методы в электронной микроскопии / Под редакцией Одри М. Глоэра. – М.: Машиностроение, 1980. – 375 с.
5. Садовий М.І. Співвідношення перервного та неперервного у науці фізика. – Кіровоград: Сабоніт, 2008. – 160 с.
6. Слободяник О. Роль навчального експерименту з фізики в активізації пізнавально-пошукової діяльності студентів / О. Слободяник // Наукові записки. – Випуск 98 – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2011. – С. 345 – 349.
7. Трифонова О.М. Загальна фізика. Квантова фізика: [навч.-метод. комплекс вивчення фізики за кредитно-модульною системою] /Трифопова О.М.; за ред. М.І.Садового. – Кіровоград: ЦОП «Авангард», 2007. – 120 с.

Kolinko Sergei¹, Butenko Tatiyna¹, Kulyk Ludmila²

¹Cherkasy State Technological University, ²Bohdan Khmelnytsky National University at Cherkasy

ACQUAINANCE WITH THE METHOD OF TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPY IN A LABORATORY PRACTICAL WORK ON PHYSICS

The article deals with the methodological aspects of the subject competence formation of future engineers during the course «General Physics». In the context of the professional training, the technology of improving the laboratory practice in Physics is proposed in order to acquaint future specialists of engineering with examples of the usage physical laws and regularities in the work of various technical devices.

The work emphasizes the importance of studying the physical foundations of the formation of thin films and their use in metal working (the application of thin films to the working tool ensures its resistance); micro technology and the production of microelectronic devices (production of functional layers); optics (obtaining illuminating and reflective coatings); application of thin films as decorative and protective coating, etc.

The advantages of transmission electron microscopy (TEM) over optical microscopy in the study of the structure and phase composition of thin films are considered. The most important tasks, solved by film materials science are outlined: obtaining film materials with a wide spectrum of properties (electrophysical, mechanical, optical), digline out development of methods of synthesis of film systems with predetermined properties. Two main

modes of operation of the transmission electron microscope – light and dark-colored, are disclosed; the main aspects of use each of the modes are given. The main components of the transmission electron microscope and the physical foundations of its work are described.

The methodics of organizing and conducting laboratory work on the study of the physical bases of transmission electron microscopy is presented. A sample of the report preparation and questions for self-examination of students is offered. Completing the tasks outlined in the laboratory work will contribute to a deeper assimilation by students of the following topics of the general course of Physics: thermal electron emission, interaction of charged particles with electric and magnetic fields, the de Broglie wave, the Wolf-Bragg law. Introduction to the practical use of physical laws, in particular, to study of the crystalline structure of matter and examples of the application of knowledge of fundamental sciences in the design of technical devices activate the cognitive activity of students in Physics, it will contribute to raising of the level of their professional training, which, in turn, will increase the level of their professional training as future engineers.

Keywords: *physics, laboratory workshop, electronic transmission microscopy, vocational training, engineering specialties.*

Колинько Сергей¹, Бутенко Татьяна¹, Кулик Людмила²

¹Черкасский государственный технологический университет, ²Черкасский национальный университет имени Богдана Хмельницкого

ОЗНАКОМЛЕНИЕ С МЕТОДОМ ТРАНСМИССИОННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ ПО ФИЗИКЕ

В статье рассматривается методика организации и проведения лабораторной работы по изучению метода трансмиссионной электронной микроскопии. Использование данной лабораторной работы при изучении курса общей физики будет способствовать повышению уровня профессиональной подготовки студентов инженерных специальностей.

Ключевые слова: *физика, лабораторный практикум, трансмиссионная электронная микроскопия.*

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Колинько Сергій Олександрович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри фізики Черкаського державного технологічного університету.

Коло наукових інтересів: структура тонких плівок, методика навчання фізики у вищій школі.

Бутенко Тетяна Іванівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізики Черкаського державного технологічного університету.

Коло наукових інтересів: контроль складу композиційних матеріалів на основі тугоплавких сполук, методика навчання фізики у вищій школі.

Кулик Людмила Олександрівна – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри фізики Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького.

Коло наукових інтересів: проблеми дидактики фізики вищої школи.

УДК 53(07)

Кузьменко Ольга

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету

ІННОВАЦІЙНІ ЗАСОБИ ТА ФОРМИ ОРГАНІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ З ФІЗИКИ В УМОВАХ РОЗВИТКУ STEM-ОСВІТИ В ВИЩИХ ТЕХНІЧНИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

Стаття присвячена особливостям вивчення курсу фізики у вузах технічного профілю в умовах розвитку Концепції STEM-освіти. Важливою дидактичною проблемою є теоретичне обґрунтування та розробка технологій STEM-навчання у вищій школі, і зокрема при вивченні природничо-математичних та інженерних дисциплін. Метою статті є розгляд інноваційних технологій навчання, що доцільно використовувати у навчальному процесі з фізики в умовах розвитку STEM-освіти в вищих навчальних закладах технічного напрямку.

В багатьох країнах поняття STEM-освіти все активніше впроваджується в різні освітні програми, створюються STEM-центри, проводяться міжнародні конференції.

На базі Кіровоградської льотної академії Національного авіаційного університету створено STEM-центр, основною метою якого є забезпечення інформаційного супроводу методичної роботи педагогічних працівників навчальних закладів та мотивація студентів вивчати інженерні дисципліни.

Перспективи подальших досліджень полягають розробці методики навчання фізики з використанням інноваційних технологій в умовах розвитку STEM-освіти.