

ПРИНЦИПИ РОБОТИ З ДИПЛОМНИКАМИ:

→ Теми

1. Лише актуальні у світовому масштабі теми робіт. Переважно вони знаходяться в контексті наноелектроніки чи нанотехнологій. Більшість запропонованих тем мають безпосереднє відношення до моєї теперішньої наукової діяльності або входять до моїх наукових інтересів.

→ Методичне забезпечення

Дипломники *вичерпно* забезпечуються актуальною науковою літературою, в тому числі підручниками кращих наукових видань Світу: *Cambridge, Oxford Univ. Press, etc.* Там, де це можливо, я пропоную методологічно значно краще написану радянську наукову літературу. Сучасних українських і російських видань переважно уникаю.

→ Навчання → співробітництво

Свідомо даються такі роботи, по яким в мене самого є питання, але я володію базою для відповіді на них. Таким чином, характер праці над дипломом буде більш подібний до реальної наукової роботи, де знання не викладаються, а добуваються з самих різних джерел самими різними засобами.

→ Вимоги

Кожна робота, яку я випускаю на захист має не лише оглядову, але й творчу частину. Остання займає основний час. Зазвичай я вимагаю розробки та програмної реалізації хоча б спрощена фізико-топологічна модель того чи іншого приладу чи процесу. Огляди по запропонованим темам мають відповідати на мої питання, а не складатися з того, що Ви знайшли в Інтернеті.

Відпочивати чи писати якісь компіляції нікому не дозволю. Для цього у мене є механізми впливу на нероб: відрахування за невиконання робочого плану бакалавра та відгук з незадовільною оцінкою. Старанним студентам буде надана допомога по всім напрямках роботи з дисертацією – від консультацій по окремим пройденим розділам фізики до програмування на *Matlab* і до консультацій по технічному перекладу з англійської.

→ NEW

Для дипломників, які знають КППШний матан на 5 і більше балів, відкриті дороги до стажування та/або т.зв. «подвійного диплому», наприклад на цьому факультеті *TUD*
<http://nano.tu-dresden.de/pages/research.html>

Це чиста наноелектроніка в сенсі прилади і явища, принцип роботи яких засновано на хвильових властивостях матерії. Можливі як теоретичні, так і експериментальні роботи.

Деякі теми робіт, які я пропоную, подані нижче. Деякі з них детально описані.

Можна і навіть бажано починати працювати по темі диплому і взагалі у якомусь науковому напрямку з 3-го курсу, коли вже відбулося знайомство

- мат. аналізом, лінійною алгеброю, обчислювальною математикою, програмуванням;
- квант. мех.
- ФТТ;
- фізикою електронних процесів.

Бажано – тому що деякі розділи треба вивчати під іншим кутом.

Теми дипломних робіт, які з нетерпінням очікують свого дипломника:

0. Топологічні ізолятори (*topological insulators*).

Нова фаза твердого тіла, відкрита в 2007 році.

В об'ємі – діелектрик; на поверхні – провідник. Поверхня проводить струм практично без розсіювання.

Разом з графеном є одним із найзначніших досягнень наноелектроніки 00-х.

Мінуси: Найбільш складна тема серед запропонованих. Вимагає додаткового вивчення основ т.зв. «топології» (один з найскладніших розділів математики), методів розрахунку зонної структури, спин-орбітальної взаємодії та інших окремих розділів математики та фізики. Вся література (за виключенням чистої топології) англ. мовою.

Плюси: надзвичайно цікавий напрямок; один із самих «модних» напрямків у мезоскопічній фізиці на сьогодні. Якщо хоч трохи в ньому розібратися, можна розраховувати на непогану наукову кар'єру. Поїхати на стажування по цій же темі буде найлегше.

Вимоги: працелюбність, хороше сприйняття математики і геометрії, бажання займатися квантовою механікою та іншою нечистю.

0,5. Метод функцій Гріна для моделювання: а) РТД, б) нанотрубки, в) нано-...,

Найбільш популярних метод опису різних задач переносу в наноелектроніці і фізиці загалом. Принципово дозволяє моделювати електронний транспорт у всьому від наноточок до молекул ДНК.

Тема а) – для тих, хто любить матан, програмування, але ненавидить фізику.

Англ. мова *advanced*.

Затребуваність на заході цього методу дуже висока. Тисячі статей в Phys. Rev. В використовують його для аналізу сотень приладів та процесів. На пострадянському просторі поширення не набув.

1. Лазери з квантовими ямами (*LQW: lasers with quantum wells*): фізика та застосування.

Актуальність:

LQW порівняно з традиційними н/п лазерами мають ряд переваг: підвищена ККД, зменшена споживана потужність ...

Сфери застосування: http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_well_laser

Сьогодні роботи з дослідження *LQW* активно ведуться у провідних лабораторіях світу. Є багато можливостей для покращення їх характеристик. Для цих цілей необхідно мати в розпорядженні адекватні фізико-топологічні моделі різного рівня. Такі моделі мусять дати відповідь, яким чином можна покращити параметри *LQW*.

Саме безпосереднє відношення до *LQW* має відомий російський ~~комуніст~~ фізик, лауреат Нобелівської премії (2000 р.) Ж. І. Алфьоров.

Мета роботи:

Навчальний аспект: вивчити принцип роботи таких лазерів та рівні уявлень про їх функціонування, систему параметрів, якими описуються такі лазери та системи параметрів, які можна виміряти експериментально (*characterization*), ідентифікувати та критично оглянути пакети автоматизованого моделювання таких лазерів та/ або їх активної частини (якщо такі існують).

Науковий аспект: розробити моделі для визначення частот випромінювання та інших параметрів *LQW*, які дозволяють для широкого кола матеріалів аналізувати вплив фізико-топологічних параметрів конструкція лазера на його вихідні характеристики.

Для бакалаврської роботи: розробити найпростіших фізико-топологічних моделей *QCL*.

Для магістерської роботи: розробити прикладну програму для моделювання *LQW*.

ОСОБЛИВІ ВИМОГИ: *intermediate ... advanced level in English* (більшість літератури англійською мовою), базові знання з квантової механіки та готовність їх поглиблювати.

Очікувані набуті знання та навички:

- систематичні уявлення про функціонування одного з найбільш багатообіцяючих приладів на основі н/п гетероструктур та на його прикладі – про особливості н/п нанорозмірних гетероструктур (з акцентом на фізиці та моделюванні);
- навички розробки засобів моделювання новітніх компонентів ТТЕ, що досягаються повним циклом робіт:
 - від фізики через припущення до математичної моделі;
 - від математичної моделі через алгоритми та чисельні методи – до програмної реалізації;
 - від програмної реалізації – до прикладної програми з графічним інтерфейсом;
- розвиток навичок роботи з літературними джерелами;
- розвиток знань технічної англійської мови за рахунок вивчення іноземних джерел.

2. Квантові каскадні лазери (*QCL: quantum cascade lasers*): від фізики через моделювання до застосування.

Мета роботи:

Навчальний аспект: вивчити принцип роботи таких лазерів та рівні уявлень про їх функціонування, систему параметрів, якими описуються такі лазери та системи параметрів, які можна виміряти експериментально (*characterization*), ідентифікувати та критично оглянути пакети автоматизованого моделювання таких лазерів або їх активної частини (якщо такі існують).

Науковий аспект: розробити моделі для визначення частот випромінювання та інших параметрів *QCL*, які дозволяють для широкого кола матеріалів аналізувати вплив фізико-топологічних параметрів конструкція лазера на його вихідні характеристики.

Для бакалаврської роботи: розробити найпростіших фізико-топологічних моделей *QCL*.

Для магістерської роботи: розробити прикладну програму для моделювання *QCL*.

ОСОБЛИВІ ВИМОГИ: *intermediate ... advanced level in English* (більшість літератури англійською мовою), базові знання з квантової механіки та готовність їх поглиблювати

Очікувані набуті знання та навички:

- систематичні уявлення про функціонування одного з найбільш багатообіцяючих приладів на основі н/п гетероструктур та на його прикладі – про особливості н/п нанорозмірних гетероструктур (з акцентом на фізиці та моделюванні);
- навички розробки засобів моделювання новітніх компонентів ТТЕ, що досягаються повним циклом робіт:
 - від фізики через припущення до математичної моделі;
 - від математичної моделі через алгоритми та чисельні методи – до програмної реалізації;
 - від програмної реалізації – до прикладної програми з графічним інтерфейсом;
- розвиток навичок роботи з літературними джерелами;
- розвиток знань технічної англійської мови за рахунок вивчення іноземних джерел.

3. Резонансно-тунельні діоди з міжзонним тунелюванням: фізика та моделювання.

Актуальність.

Резонансно-тунельні діоди (РТД) – компонент твердотільної електроніки, робочі частоти якого сягають 1 ТГц і вище. РТД з міжзонним тунелюванням – це РТД на основі пари GaSb/AlSb (або інших пар, що формують гетеропереходи III типу), в яких має місце міждолинне тунелювання, але на відміну звичайного тунельного діоду, тунелювання є резонансним. Специфіка процесів полягає в тому, що в квантовій ямі електрони рухаються у ВЗ, а в інших шарах – в ЗП, що відразу ж вимагає врахування як мінімум двох зон. Лише нещодавно вдалося розробити підходи до моделювання таких діодів. Звичайні моделі РТД для МРТД не є адекватними. Оскільки деякі пари матеріалів для створення таких діодів високотехнологічні, необхідно продовжувати дослідження та пошук таких конструкцій та матеріалів, які б дозволили отримувати РТД з достатніми для ВЧ практичного застосування характеристиками.

Ця тема знаходиться в контексті основних наукових інтересів Федя А. В., основою для дослідження МРТД є широкий спектр моделей РТД, розробленими та програмно реалізованими Федяем А. В. зі співавторами та інші його напрацювання.

Мета роботи:

Навчальний аспект: ознайомитися з принципом побудови моделей звичайних РТД та споріднених шаруватих структур, розроблених на основі формалізму хвильових функцій, матеріальними основами для створення РТД та МРТД, технологіями виготовлення.

Науковий аспект: розробити моделі для отримання уявлень про електронні процеси, які відбуваються в активній частині такого діоду, ідентифікувати параметри моделі, механізми транспорту, квантово-розмірні ефекти, які мають місце в МРТД. Оцінити перспективи його застосування, виходячи з отриманих значень вихідних параметрів та порівняння зі звичайними РТД. Порівняти останні з параметрами для звичайних РТД.

Для бакалаврської роботи: розробити комплекс програм для фізико-топологічного моделювання МРТД.

Для магістерської роботи: розробити прикладну програму для моделювання МРТД (або включити до застосунку **QuanT ST**).

Очікувані набуті знання та навички:

– всеохоплюючі уявлення про фізику та моделювання найбільш високочастотного приладу ТТЕ. Ви будете одним з декількох десятків людей у світі, які розуміють, як практично змодельовати процеси міжзонного переносу в нанорозмірних структурах в рамках формалізму хвильових функцій.

– навички розробки засобів моделювання новітніх компонентів ТТЕ, що досягаються повним циклом робіт зі створення таких засобів:

- від фізики через припущення до математичної моделі;
- від математичної моделі через алгоритми та чисельні методи – до програмної реалізації;
- від програмної реалізації – до прикладної програми з графічним інтерфейсом;

– розвиток навичок роботи з літературними джерелами;

– розвиток знань технічної англійської мови за рахунок вивчення іноземних джерел.

ОСОБЛИВИ ВИМОГИ: середній рівень програмування на *Matlab*, *technical English: lower intermediate level*

4. Прикладна програма для аналітичного моделювання резонансно-тунельних діодів.

Актуальність:

Резонансно-тунельні діоди (РТД) – компонент твердотільної електроніки, робочі частоти якого сягають 1 ТГц і вище. В дисертаційній роботі ([посилання на слайди](#)) Федя А. В. започатковано ієрархічний підхід до моделювання РТД, який полягає у використанні на різних етапах проектування РТД різнорівневих моделей з визначеною функціональністю. Відповідний ієрархічний ряд складається з двох чисельних та однієї аналітичної моделі. Чисельне моделювання забезпечується застосунком **QuanT ST**, аналітичне ж моделювання не знайшло поки що свого програмного-інтерфейсного розвитку. Створення прикладної програми з графічним інтерфейсом користувача дозволить в сумі з **QuanT ST** досягти необхідної гнучкості та функціональності при розробці РТД з наперед заданими властивостями.

Мета роботи:

Навчальна: ознайомитися з принципом побудови моделей звичайних РТД, розроблених на основі формалізму хвильових функцій, матеріальними основами для створення РТД та МРТД, технологіями виготовлення, особливостями аналітичного моделювання РТД

Наукова: створити першу в світі прикладну програму для аналітичного моделювання РТД. Така програма замкне ієрархічний ряд, а її використання дозволить особливо легко та швидко провадити дослідження впливу на квантово-розмірні ефекти та електричні характеристики РТД фізико-топологічних параметрів. Можлива публікація в серйозному науковому журналі (не українському) або поїздка з доповіддю на закордонну конференцію.

Очікувані набуті знання та навички:

- глибоке розуміння електронних процесів та методики моделювання РТД. Це дозволить по аналогії розуміти процеси і в інших перспективних приладах наноелектроніки.
- навички розробки засобів моделювання новітніх компонентів ТТЕ, що досягаються повним циклом робіт:
 - від фізики через припущення до математичної моделі;
 - від математичної моделі через алгоритми та чисельні методи – до програмної реалізації;
 - від програмної реалізації – до прикладної програми з графічним інтерфейсом;
- розвиток навичок роботи з літературними джерелами;
- розвиток знань технічної англійської мови за рахунок вивчення іноземних джерел.

ОСОБЛИВІ ВИМОГИ: вміння або бажання створювати графічні інтерфейси в *Matlab* (найпростіший варіант) чи C++.

5. Напівемпіричні методи розрахунку зонної структури напівпровідників та їх зв'язок зі звичайною зонною теорією (одна робота з теми вже була захищена, тому простір для подальших дій відкритий).

Актуальність:

Робота не має *об'єктивної* наукової актуальності. Я сам володію з напівемпіричних методів лише званим **k.p**-методом, однак повен рішучості та наполегливості разом з дипломником розібратися хоча б у одному методі. Це буде робота, в якій я буду займатися з дипломником на рівних (на відміну від інших, де буде переважно односторонній обмін думками та досвідом). З цього погляду це буде цікава робота.

Ситуативна актуальність полягає в тому, що при переході до нанорозмірів зонна теорія в тому варіанті, як читається на ФЕЛ, стає абсолютно неадекватною. Зокрема, втрачають сенс поняття «ефективна маса», інколи в ЗП виникають міні-зони, постає необхідність уточнення зонної структури, якщо мова йде про надрешітки чи споріднені нанорозмірні гетероструктури. Для підвищення рівня курсів на кафедрі ФБМЕ та ФЕЛ ця робота буде мати дуже важливе значення, оскільки ніхто в 12 корпусі поки що так глибоко в ці процеси не занурювався, а тенденції розвитку ТТЕ цього давно вимагають.

Особливо захоплюючими обіцяють бути результати напівемпіричних методів щодо розрахунку звичайних ефективних мас в масивних напівпровідниках: результати більш-менш простих розрахунків покажуть вражаючу близькість до експериментальних значень ефективної маси, ширини забороненої зони та інших параметрів напівпровідників.

Зонна структура більшості напівпровідників добре прорахована. Інтерес сьогодні викликають надрешітки та інші специфічні системи матеріалів. Однак для початку треба розібратися в масивних напівпровідниках. Практичний інтерес являють зараз не особливо ретельно прораховані InGaAs, GaN та інші перспективні n/p.

Мета роботи:

Навчальна: стартуючи з багаточастинкового рівняння Шредінгера в адіабатичному наближенні, користуючись симетрією конкретного кристалу і т.д., навчитися розраховувати зонну структуру масивних напівпровідників. В перспективі – надрешіток та інших нанорозмірних гетероструктур.

Наукова: отримані знання, розроблені алгоритми та програми можна використовувати для розрахунку специфічних чи малодосліджених напівпровідників або гетероструктур; крім того, результати роботи однозначно будуть впроваджені в тій чи іншій мірі в існуючі чи нові курси на кафедрі ФБМЕ або й у масштабах ФЕЛ.

Очікувані набуті знання та навички:

– Ви будете першою особою, як мінімум на ФЕЛ, яка може аргументовано відповісти на питання, чому ефективна маса електрона в ЗП GaAs дорівнює $0.067m_0$, не вдаючись до експериментів чи довідкових даних. Сама по собі ця відповідь, звичайно, не має ніякої цінності, однак під час виконання роботи Ви зрозумієте, як застосування квантової механіки та деяких інших розділів фізики дозволяє прогнозувати електричні характеристики масивних та нанорозмірних напівпровідників. Крім того, Ви навчитесь розробляти реальні алгоритми та писати програмні коди, які дозволяють отримувати такого роду інформацію. Це, своєю чергою, є знання, яким в такій мірі володіють декількох тисяч нині живих людей.

- розвиток навичок роботи з літературними джерелами;
- розвиток знань технічної англійської мови за рахунок вивчення іноземних джерел.
- ви вдосконалисте логічне мислення та образне мислення

ОСОБЛИВІ ВИМОГИ:

Бажано, щоб всі математики були здані на 5, розвинута логіка та образне мислення, цікавість до квантової фізики, основи програмування на *Matlab*, *English: intermediate ... advanced*.

6. Двовимірне моделювання пасивних областей РТД та аналіз їх ролі у функціонуванні діоду.

Актуальність.

Коли якийсь фізичний принцип знайшов своє втілення в реальному приладі, починається кропітка робота зі вдосконалення електричних характеристик. Одна з бід, яка спіткає інженерів на цьому шляху, є вплив ділянок, що не є визначальними для функцій, які виконує прилад, а навпаки «заважають» його функціонуванню. Однак, позбавитися від них теж не можна, оскільки вони виконують функції підведення напруги, відведення тепла чи просто є конструктивно обумовленими. Для РТД такими ділянками є високолеговані області, які прилягають до його активної частини та поєднують її з контактними областями.

Федяєм А. В. зі співавторами було розроблено ряд моделей, що концентруються на активній частині РТД, однак пасивні області враховано дуже грубо. Між тим, подальше вдосконалення характеристики цього приладу полягає саме у виключенні згубного впливу цих областей, для чого треба розуміти коло паразитних явищ та їх залежність від конструкції.

Мета роботи:

Навчальна: застосувати так звані дрефово-дифузійні моделі для досягнення адекватного моделювання пасивних частин РТД, яке разом з уже існуючими моделями активної частини стане основою для потужного пакету програм для розробки РТД та споріднених структур з наперед заданими властивостями; навчитися розробляти алгоритми та програми для дрейф-дифузійного моделювання компонентів електроніки.

Наукова: шляхом квазідвовимірного фізико-топологічного моделювання пасивних областей отримати знання про вплив пасивних областей РТД на його характеристики.

Очікувані набуті знання та навички:

-
- розвиток навичок роботи з літературними джерелами;

ОСОБЛИВІ ВИМОГИ:

Базові знання з фізичної кінетики (кінетичне рівняння Больцмана, дрейфово-дифузійні моделі, час релаксації), основи програмування на *Matlab* (зокрема, навички розв'язання системи звичайних диференціальних рівнянь (функція *ode45* і т.ін.))

Також Вашій увазі пропонуються поки що не описані детально мною, але від цього не менш цікаві теми:

7. Покращення чисельних алгоритмів при моделюванні РТД.

8. Схемотехнічні рішення з застосуванням РТД: поточний стан та перспективи.

9. Фотонні кристали: фізика та застосування.

10. Фотонні кристали та надрешітки: аналогії як шлях до створення новітніх приладів.

11. Молекулярна (полімерна) електроніка – електроніка майбутнього?

Для отримання детальної інформації по їх актуальності та сутності Вашої роботи; очікуваних набутих знань звертайтеся самі знаєте куди.