

Министерство высшего образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Выпускная квалификационная работа бакалавра
**Моделирование процесса капельной эпитаксии квантовых
колец и исследование влияния условий роста на их форму**

Направление 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Выпускник: Фамилия Имя Отчество

Подпись: _____

Научный руководитель:

к.ф.-м.н., доцент кафедры физики конденсированных сред
ИНТЭЛ НИЯУ МИФИ, Сибирмовский Ю.Д.

Подпись: _____

И.о. заместителя заведующего кафедрой:

д.ф.-м.н., профессор кафедры физики конденсированных сред
ИНТЭЛ НИЯУ МИФИ, Никитенко В.Р.

Подпись: _____

Москва
2025 г.

Содержание

Введение	2
Цель и задачи	2
Глава 1. Обзор литературы	3
1.1. Раздел 1	3
1.2. Раздел 2	4
Глава 2. Теория и основные уравнения	5
2.1. Раздел 1	5
2.2. Раздел 2	5
Глава 3. Численные методы и алгоритмы	7
3.1. Раздел 1	7
3.2. Раздел 2	7
Глава 4. Программная реализация	8
Глава 5. Результаты и обсуждение	10
Выводы	13
Заключение	13

Введение

Здесь необходимо рассказать, о чём работа. Объём 1-2 страницы. Нужно охарактеризовать область исследования, практическую значимость (для разработки каких приборов могут быть использованы ваши результаты), какую проблему решает ваша работа (кратко, подробнее будет в обзоре), какие методы использованы (тоже кратко, подробнее в главе Методы).

Здесь необходимо рассказать, о чём работа. Объём 1-2 страницы. Нужно охарактеризовать область исследования, практическую значимость (для разработки каких приборов могут быть использованы ваши результаты), какую проблему решает ваша работа (кратко, подробнее будет в обзоре), какие методы использованы (тоже кратко, подробнее в главе Методы).

Здесь необходимо рассказать, о чём работа. Объём 1-2 страницы. Нужно охарактеризовать область исследования, практическую значимость (для разработки каких приборов могут быть использованы ваши результаты), какую проблему решает ваша работа (кратко, подробнее будет в обзоре), какие методы использованы (тоже кратко, подробнее в главе Методы).

Цель и задачи

Цель: Цель не должна совпадать с темой работы. Цель должна быть достижима (должен быть конечный результат) и проверяема. Исследование — это процесс, и целью быть не может.

Задачи

1. Задача 1
2. Задача 2
3. Задача 3
4. Задача 4

Достаточно задач. Обзор литературы в задачи включать не будем. Лучше написать конкретно, что мы делаем (разработка алгоритма, программная реализация, расчёт конкретных параметров при определённых условиях и т.д.)

Глава 1. Обзор литературы

1.1 Раздел 1

В обзоре не нужно рассказывать теорию и методы, нужно просто провести обобщение и анализ исследований, которые были проведены до вас по данной теме.

Если вы будете пользоваться какими-то терминами и понятиями, которые требуют разъяснения, их нужно объяснить в следующих двух главах, а отсюда можно сослаться на эти определения.

Ссылка на книгу: [1]. Ссылка на книгу на русском: [2].

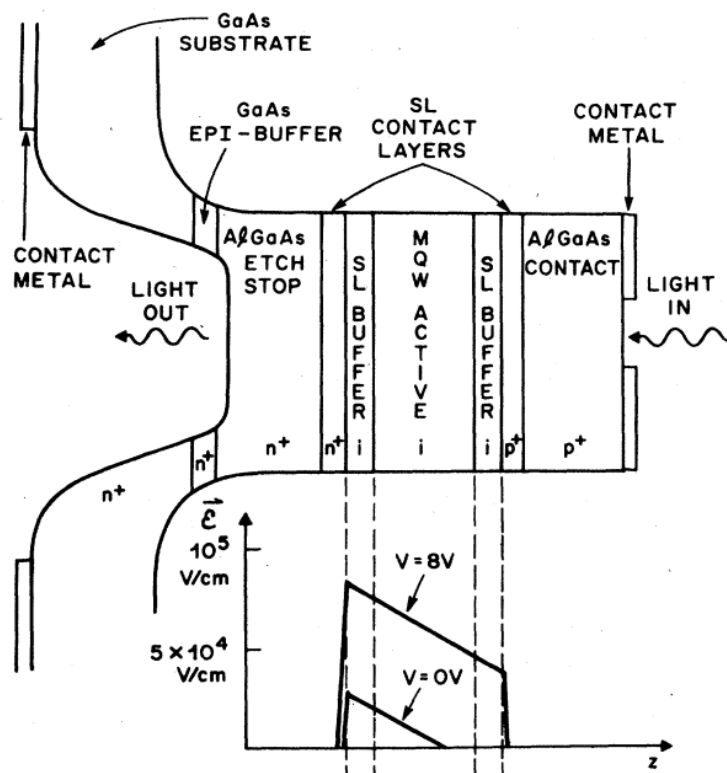


Рис. 1: Схема измерений спектров поглощения в поперечном поле из работы [3].

Если рисунок взят из какой-то статьи, книги или из интернета (из интернета нежелательно), то нужно обязательно в подписи сделать ссылку на соответствующий пункт в списке литературы.

Ссылаемся на рисунок 1.

Рисунки в формате pdf: 2 и 3. Плюс таких рисунков: вы можете контролировать их размер в сантиметрах и использовать корректный размер и

тип шрифта (такой же как в тексте, например 12pt или 14pt). Другой важный плюс: это векторный формат изображений, так что ваши графики не будут размываться при печати и демонстрации на экране.

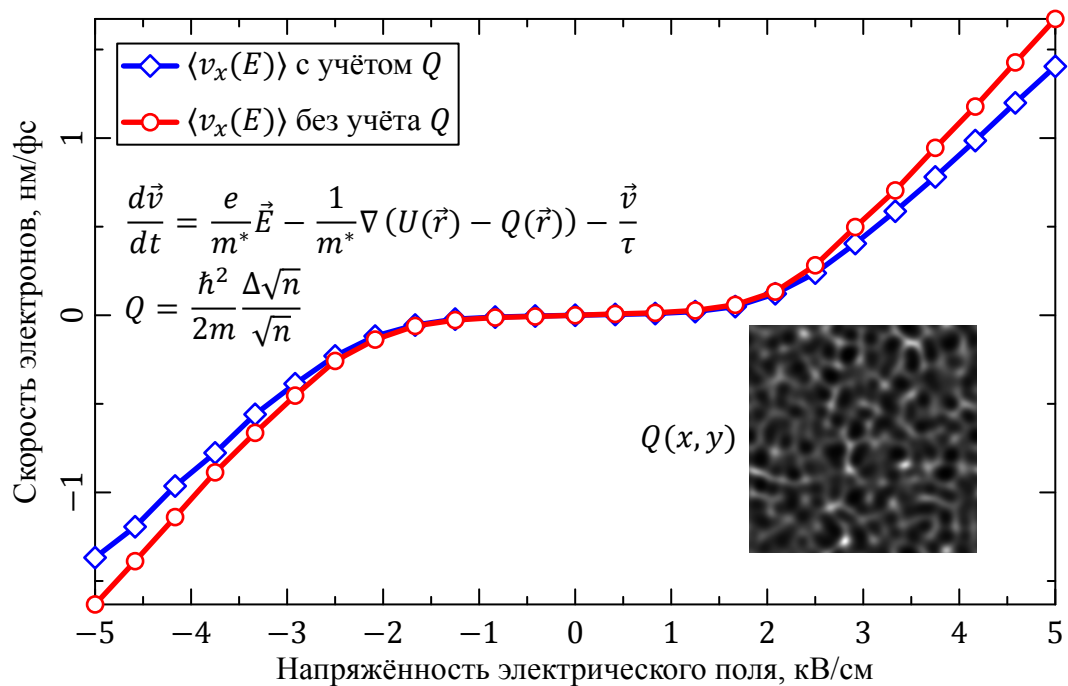


Рис. 2: Результаты моделирования траекторий электронов с помощью квантовых гидродинамических уравнений.

Ссылки на статьи: [3], [4], [5].

Ссылка на российскую статью: [6].

Ссылка на диссертацию: [7]

1.2 Раздел 2

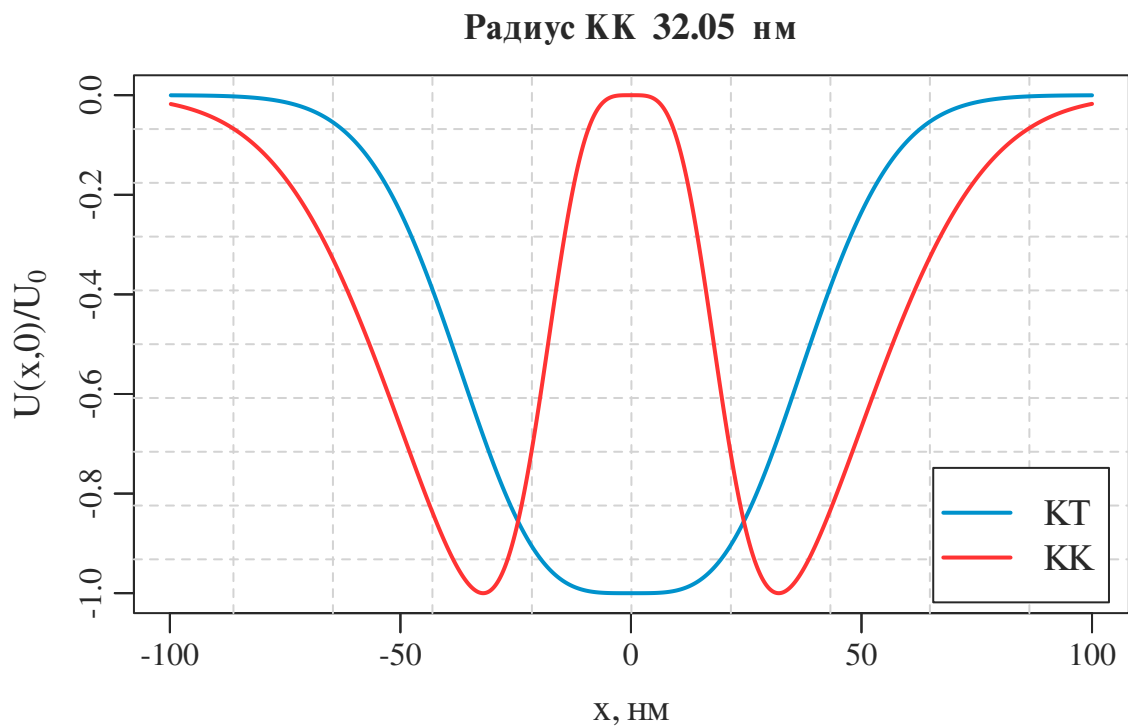


Рис. 3: Потенциалы для моделирования КТ и КК.

Глава 2. Теория и основные уравнения

2.1 Раздел 1

Ненумерованная формула:

$$\begin{pmatrix} \dot{\varphi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) \cos(\psi) & -\sin(\psi) & 0 \\ \cos(\theta) \sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{pmatrix}.$$

2.2 Раздел 2

Нумерованные формулы:

$$\dot{\theta} = \frac{P - p_1 \cos(\varphi_1 - \theta) - p_2 \cos(\varphi_2 - \theta)}{\mu + \sin^2(\varphi_1 - \theta) + \sin^2(\varphi_2 - \theta)} \quad (1)$$

$$\dot{\varphi}_1 = p_1 - \dot{\theta} \cos(\phi_1 - \theta) \quad (2)$$

$$\dot{\varphi}_2 = p_2 - \dot{\theta} \cos(\phi_2 - \theta) \quad (3)$$

Тест ссылки на формулу (1).

Глава 3. Численные методы и алгоритмы

3.1 Раздел 1

3.2 Раздел 2

Глава 4. Программная реализация

Листинг 1: Программная реализация метода Рунге-Кутты

```
// From the pendulum program
fn runge_kutta(
    vars: &MyVec,
    pars: &Vec<f64>,
    rhs: &dyn Fn(&MyVec, &Vec<f64>) -> MyVec,
    dt: f64,
) -> MyVec {
    let rk_1 = rhs(vars, pars);
    let rk_2 = rhs(&vars.add(&rk_1.scale(dt / 2.0)), pars);
    let rk_3 = rhs(&vars.add(&rk_2.scale(dt / 2.0)), pars);
    let rk_4 = rhs(&vars.add(&rk_3.scale(dt)), pars);

    let vars_new = vars
        .add(&rk_1.scale(dt / 6.0))
        .add(&rk_2.scale(dt / 3.0))
        .add(&rk_3.scale(dt / 3.0))
        .add(&rk_4.scale(dt / 6.0));
    vars_new
}
```

Листинг 2: Подпрограмма случайного блуждания на плоскости

```
std::random_device rd;
std::mt19937 mt(rd());
std::uniform_int_distribution<long> dist(1, 4);
std::vector<long> xn(n0, 0);
std::vector<long> yn(n0, 0);
for (long jt = 0; jt < M; jt++)
{
    for (long jn = 0; jn < n0; jn++)
    {
        switch (dist(mt))
        {
            case 1:
                xn[jn] ++;
```

```
        break;
    case 2:
        xn[jn] --;
        break;
    case 3:
        yn[jn] ++;
        break;
    case 4:
        yn[jn] --;
        break;
    }
}
}
```

Глава 5. Результаты и обсуждение

Таблицы в \LaTeX делать очень неудобно. Лучше воспользоваться сторонним редактором таблиц, которые умеет их экспортировать в \LaTeX , сделать там всю структуру, а потом вставить готовый код, и в нём уже добавлять содержимое ячеек.

Тем не менее, простые таблицы делать можно, наподобие 1. Но лучше таблицами вообще не злоупотреблять, а где можно заменять их графиками и диаграммами.

Таблица 1: Условия роста образцов с квантовыми кольцами

№	$X_{\text{In}}, \%$	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$P_{\text{As}_4}, 10^{-5} \text{ Торр}$	Тип КК	Диаметры, нм	
A1	0	220	220	1,3	Одиночное	51	
A2	0	280	280	0,55	Двойное	120	42
B1	5	250	250	5,0	Одиночное	75	
B2	10	250	250	5,0	Одиночное	76	
B3	20	250	250	5,0	Одиночное	78	
B4	20	200	200	5,0	Одиночное	63	
B1	0	325	325	0,2	Одиночное	22	
B2	0	325	220	0,2	Двойное	79	31
B3	0	325	325	1,0	Двойное	69	27

Ниже тестируется очень большая таблица на несколько страниц

Таблица 2: Заголовок таблицы

1	2	3	4
---	---	---	---

2	2	3	4
3	2	3	4
4	2	3	4
5	2	3	4
6	2	3	4
7	2	3	4
8	2	3	4
9	2	3	4
10	2	3	4
1	2	3	4
2	2	3	4
3	2	3	4
4	2	3	4
5	2	3	4
6	2	3	4
7	2	3	4
8	2	3	4
9	2	3	4
10	2	3	4
1	2	3	4
2	2	3	4

3	2	3	4
4	2	3	4
5	2	3	4
6	2	3	4
7	2	3	4
8	2	3	4
9	2	3	4
10	2	3	4

Ссылаемся на Листинг 1 здесь.

Выводы

Структура файлов, которые можно редактировать:

- `main.tex` — содержит основной текст;
- `titlepage.tex` — содержит титульный лист;
- `literature.bib` — содержит источники для списка литературы;
- `code_highlight.tex` — форматирование листингов (фрагментов кода).

Файл `diploma.sty` очень важный, его трогать и особенно удалять не надо, там задаются различные стили документа.

Заключение

Нужны ли отдельно и выводы, и заключение — не обязательно, можно объединить в один раздел.

Внимание!

Список литературы находится в отдельном файле `literature.bib`, в который можно добавлять новые источники в любом порядке. Они будут сами располагаться как нужно, в порядке упоминания в тексте.

Не используйте запятые для перечисления авторов — вместо этого используйте команду `**and**`.

Список литературы ниже оформлен не совсем по ГОСТу, но близко. Детали оформления в файле `diploma.sty`.

Если какой-то источник не процитирован в тексте, он в список литературы добавлен не будет.

Поэтому один и тот же файл с источниками можно использовать для нескольких документов.

Список литературы

- [1] S. Datta. *Quantum Transport: Atom to Transistor*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005, с. 404 (цит. на с. 3).

- [2] И.М. Федоткин. *Математическое моделирование технологических процессов: Учебное пособие*. Москва: Книжный дом «Либроком», 2015, с. 416 (цит. на с. 3).
- [3] D. Miller, J. Weiner и D. Chemla. «Electric-field dependence of linear optical properties in quantum well structures: Waveguide electroabsorption and sum rules». *IEEE Journal of Quantum Electronics* том 2, номер 9, (1986), с. 1816—1830 (цит. на с. 3, 4).
- [4] D.A.B. Miller, D. S. Chemla и T. C. Damen. «Band-Edge Electroabsorption in Quantum Well Structures: The Quantum-Confined Stark Effect». *Physical Review Letters* том 53 (1984), с. 2173 (цит. на с. 4).
- [5] Н. Mohseni и др. «Enhanced Electro-Optic Effect in GaInAsP-InP Three-Step Quantum Wells». *Applied Physics Letters* том 84, номер 11, (2004), с. 1823—25 (цит. на с. 4).
- [6] А. Л. Скубачевский. «Уравнения Власова–Пуассона для двухкомпонентной плазмы в однородном магнитном поле». *Успехи математических наук* том 69, номер 2, (2014), с. 107—148 (цит. на с. 4).
- [7] И.А. Павличенко. «Поверхностные и объемные плазмоны, возбуждаемые в наноразмерных структурах лазерными импульсами и потоками заряженных частиц». Диссертация. Нижний Новгород: НГУ им. Лобачевского, 2015 (цит. на с. 4).