

УДК 537.8:621.384.6(075.8)

И 20

Рецензенты:

д-р физ.-мат. наук, профессор *Н.А. Винокуров*

д-р физ.-мат. наук, профессор *Е.Б. Левичев*

д-р физ.-мат. наук, профессор *В.Г. Дубровский*

Иванов А.В.

И 20 Динамика заряженных частиц и интенсивных пучков в стационарных полях: учебное пособие / А.В. Иванов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020. – 248 с. – (Учебники НГТУ).

ISBN 978-5-7782-4139-8

В пособии содержатся наиболее важные вопросы динамики заряженных частиц и интенсивных пучков в стационарных электрическом и магнитном полях. Представлен необходимый математический аппарат, приведены основные уравнения электромагнитного поля, рассмотрены некоторые аналитические и численные методы расчёта потенциалов и полей. Рассмотрено движение заряженных частиц в однородных и слабо неоднородных электрическом и магнитном полях, в полях с аксиальной симметрией. В параксиальном приближении получены линеаризованные уравнения движения заряженных частиц, рассмотрена линейная динамика частиц в аксиально-симметричных электростатических и магнитных линзах, в квадрупольных линзах, в поворотных магнитах. Даны определения фазового объёма и эмиттанса пучка, акцептанса канала, сказано о проблемах построения огибающих потока и согласования потока с периодическим каналом. Описаны основные эффекты, возникающие из-за влияния пространственного заряда, в том числе образование виртуальных катодов. Рассмотрено начальное формирование электронных потоков, описаны источники пучков заряженных частиц с плазменным эмиттером.

Предназначено для студентов ФТФ НГТУ третьего года обучения.

УДК 537.8:621.384.6(075.8)

ISBN 978-5-7782-4139-8

© Иванов А.В., 2020

© Новосибирский государственный
технический университет, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	7
1. Необходимые математические и физические сведения	11
1.1. Некоторые сведения из векторного анализа.....	11
1.2. Основные уравнения электромагнитного поля.....	21
1.3. Аналитические методы расчёта электрического поля.....	26
1.4. Численные методы расчёта электромагнитных полей	34
Задания.....	42
2. Движение заряженной частицы в электромагнитном поле	45
2.1. Принцип наименьшего действия.....	45
2.2. Лагранжиан одиночной частицы, сила Лоренца.....	49
2.3. Энергия частицы в стационарном поле	52
2.4. Уравнения движения частицы в различных системах координат	54
2.5. Движение заряженной частицы в однородных стационарных полях	56
2.6. Движение заряженной частицы в слабо неоднородном магнитном поле	63
2.7. Аналогия между движением заряженных частиц и распространением света.....	68
2.8. Ускорители заряженных частиц	71
Задания.....	74
3. Поля с аксиальной симметрией.....	75
3.1. Параксиальное разложение аксиально-симметричных полей	76
3.2. Теорема Буша	80
3.3. Параксиальные уравнения движения	84
Задания.....	88
4. Линзы в оптике заряженных частиц	89
4.1. Сведения из теории дифференциальных уравнений	89
4.2. Матричное описание динамики частиц	91
4.3. Фокусирующие свойства линейных систем, построение изображения.....	92
4.4. Аксиально-симметричные линзы	98
4.5. Квадрупольные линзы, дуплеты и триплеты.....	113
4.6. Поворотные магниты	123
4.7. Слабая и сильная фокусировка	130
Задания.....	131



5. Потоки невзаимодействующих частиц	133
5.1. Канонические уравнения Гамильтона, теорема Лиувилля.....	133
5.2. Поперечный фазовый объём и проблема согласования	139
5.3. Распределение пучка на фазовой плоскости	144
5.4. Среднеквадратичный эмиттанс.....	147
Задания.....	149
6. Динамика потоков заряженных частиц с ненулевым эмиттансом	151
6.1. Расчёт огибающей потока	151
6.2. Движение частицы в периодических полях.....	156
6.3. Критерий устойчивости. Теорема Флоке.....	158
6.4. Огибающая пучка в периодическом канале. Эффективный эмиттанс.....	165
6.5. Параметры Твисса.....	168
Задания.....	169
7. Потоки взаимодействующих частиц	171
7.1. Основные эффекты пространственного заряда. Первеанс	171
7.2. Действие сил пространственного заряда	173
7.3. Расплывание потоков под действием сил пространственного заряда.....	176
7.4. Образование виртуальных катодов и предельный ток	181
7.5. Самофокусировка пучка заряженных частиц. Пинч-эффект	187
Задания.....	190
8. Начальное формирование электронных потоков	191
8.1. Термоэлектронная эмиссия	191
8.2. Плоский и сферический диоды.....	193
8.3. Пушки Пирса	200
8.4. Отличия реальных электронных пушек	207
8.5. Формирование интенсивных потоков магнитным полем	208
Задания.....	218
9. Источники ионов с плазменным эмиттером	219
9.1. Некоторые сведения из физики плазмы.....	219
9.2. Извлечение из плазмы заряженных частиц	221
9.3. Некоторые типы источников ионов	223
Библиографический список.....	233
Приложения	234
Приложение 1. Расчёт некоаксиального конденсатора	234
Приложение 2. Вычисление коэффициента сферической абберации аксиально-симметричной магнитной линзы.....	236
Приложение 3. Определение наклона границы пучка для обеспечения прохождения через трубу максимального тока	240
Приложение 4. Аналитическое решение задачи Коши для уравнения Лапласа в плоской и сферической пушках Пирса	241
Ответы к задачам.....	244
Предметный указатель	246