

Содержание

Предисловие	14
Введение.....	17
Лекция 1. Преобразования Лоренца	24
1.1. Системы отсчета	25
1.2. Инерциальные системы отсчета	27
1.2.1. Ньютоновские (дорелятивистские) системы отсчета	29
1.2.2. Системы отсчета СТО	34
1.2.3. Историческое отступление	53
1.2.4. Возвращаемся к уравнениям.	54
1.2.5. Ничто не движется быстрее света.	58
1.3. Обобщенные преобразования Лоренца.....	59
1.4. Сокращение длины и замедление времени	60
1.5. Мир Минковского	71
1.5.1. Минковский и световой конус.	76
1.5.2. Физический смысл собственного времени	78
1.5.3. Пространственно-временной интервал	80
1.5.4. Времениподобные, пространственноподобные и светоподобные интервалы.	81
1.6. Историческая перспектива	83
1.6.1. Эйнштейн.	83
1.6.2. Лоренц	84

Лекция 2. Скорости и 4-векторы.....	86
2.1. Сложение скоростей	87
2.1.1. Мэгги	88
2.2. Световые конусы и 4-векторы	92
2.2.1. Как движутся световые лучи.	93
2.2.2. Введение в 4-векторы	94
Лекция 3. Релятивистские законы движения	100
3.1. Еще об интервалах	101
3.1.1. Пространственноподобные интервалы	102
3.1.2. Времениподобные интервалы	103
3.2. Подробнее о 4-скорости	104
3.3. Математическая интерлюдия: инструмент аппроксимации	108
3.4. Механика частиц.....	112
3.4.1. Принцип наименьшего действия	112
3.4.2. Нерелятивистское действие: краткий обзор	115
3.4.3. Релятивистское действие	116
3.4.4. Нерелятивистский предел	119
3.4.5. Релятивистский импульс	120
3.5. Релятивистская энергия.....	123
3.5.1. Медленные частицы	125
3.5.2. Безмассовые частицы	128
3.5.3. Пример: распад позитрония	130
Лекция 4. Классическая теория поля	133
4.1. Поля и пространство-время	134
4.2. Поля и действие	135
4.2.1. И снова нерелятивистские частицы	136

4.3. Принципы теории поля	140
4.3.1. Принцип действия	140
4.3.2. Стационарное действие для ϕ	142
4.3.3. Еще об уравнениях Эйлера — Лагранжа	145
4.3.4. Волны и волновые уравнения	148
4.4. Релятивистские поля	150
4.4.1. Поведение полей при преобразованиях	151
4.4.2. Математическая интерлюдия: ковариантные компоненты	155
4.4.3. Построение релятивистского лагранжиана	163
4.4.4. Пользуемся нашим лагранжианом	165
4.4.5. Классическая теория поля: итоги	167
4.5. Поля и частицы: дегустация	167
4.5.1. Тайное поле	170
4.5.2. Некоторые подробности	170
Лекция 5. Частицы и поля	173
5.1. Поле воздействует на частицу (обзор)	176
5.2. Частица воздействует на поле	179
5.2.1. Уравнения движения	186
5.2.2. Зависимость от времени	190
5.3. Верхние и нижние индексы	191
5.4. Эйнштейновское правило суммирования	195
5.5. Обозначения в случае скалярного поля	199
5.6. Новый скаляр	202
5.7. Преобразование ковариантных компонент	203
5.8. Математическая интерлюдия: применение экспоненциальных функций к решению волновых уравнений	204
5.9. Волны	205

Интерлюдия: чокнутые единицы.....	211
И.1. Единицы и масштаб	212
И.2. Планковские единицы.....	214
И.3. Электромагнитные единицы	216
Лекция 6. Сила Лоренца	222
6.1. Расширяем обозначения.....	226
6.1.1. 4-векторы: сводка результатов.	227
6.1.2. Образование скаляров.	229
6.1.3. Производные	229
6.1.4. Обобщенные преобразования Лоренца	231
6.1.5. Ковариантные преобразования	235
6.2. Тензоры	236
6.2.1. Тензоры 2-го ранга	237
6.2.2. Тензоры высшего ранга	238
6.2.3. Инвариантность тензорных уравнений	239
6.2.4. Поднятие и опускание индексов	240
6.2.5. Симметричные и антисимметричные тензоры. . . .	242
6.2.6. Антисимметричный тензор.	244
6.3. Электромагнитные поля.....	245
6.3.1. Интеграл действия и векторный потенциал	246
6.3.2. Лагранжиан	248
6.3.3. Уравнения Эйлера – Лагранжа	250
6.3.4. Лоренц-инвариантные уравнения	259
6.3.5. Уравнения с 4-скоростью	262
6.3.6. Связь A_μ с \vec{E} и \vec{B}	263
6.3.7. Значение U^μ	264
6.4. Интерлюдия: тензор поля	266

Лекция 7. Фундаментальные принципы и калибровочная инвариантность	270
7.1. Сводка фундаментальных принципов.....	271
7.2. Калибровочная инвариантность	275
7.2.1. Примеры симметрии.	275
7.2.2. Новый тип инвариантности	278
7.2.3. Уравнения движения	280
7.2.4. Резюме	282
Лекция 8. Уравнения Максвелла.....	284
8.1. Пример Эйнштейна	285
8.1.1. Преобразование тензора поля	288
8.1.2. Пример Эйнштейна: сводка	292
8.2. Введение в уравнения Максвелла.....	293
8.2.1. Векторные тождества	294
8.2.2. Магнитное поле	295
8.2.3. Электрическое поле	296
8.2.4. Еще два уравнения Максвелла	298
8.2.5. Плотность заряда и плотность тока	300
8.2.6. Сохранение заряда	305
8.2.7. Уравнения Максвелла: тензорная форма	311
8.2.8. Тождество Бьянки	313
Лекция 9. Физические следствия уравнений Максвелла	317
9.1. Математическая интерлюдия.....	317
9.1.1. Теорема Гаусса.	318
9.1.2. Теорема Стокса	321
9.1.3. Безымянная теорема.	323

9.2. Законы электродинамики	324
9.2.1. Сохранение электрического заряда.	325
9.2.2. От уравнений Максвелла к законам электродинамики	326
9.2.3. Закон Кулона	327
9.2.4. Закон Фарадея	329
9.2.5. Закон Ампера	332
9.2.6. Закон Максвелла	335
Лекция 10. От Лагранжа к Максвеллу	338
10.1. Электромагнитные волны	339
10.2. Лагранжева формулировка электродинамики	344
10.2.1. Локальность	346
10.2.2. Лоренц-инвариантность	347
10.2.3. Калибровочная инвариантность.	350
10.2.4. Лагранжиан в отсутствие источников	350
10.3. Вывод уравнений Максвелла	354
10.4. Лагранжиан с ненулевой плотностью тока	359
Лекция 11. Поля и классическая механика	365
11.1. Энергия и импульс поля	365
11.2. Три вида импульса	367
11.2.1. Механический импульс	367
11.2.2. Канонический импульс	368
11.2.3. Нётер-импульс.	369
11.3. Энергия	372
11.4. Теория поля	374
11.4.1. Лагранжиан для полей.	374
11.4.2. Действие для полей.	377

11.4.3. Гамильтониан для полей.	378
11.4.4. Следствие конечности энергии	381
11.4.5. Электромагнитные поля через калибровочную инвариантность.	382
11.5. Энергия и импульс в четырех измерениях	392
11.5.1. Локально сохраняющиеся величины.	393
11.5.2. Энергия, импульс и лоренцева симметрия	396
11.5.3. Тензор энергии-импульса	399
11.6. До свидания!.	403
Приложение А. Магнитные монополи: Ленни дурачит Арта	406
Приложение Б. Обзор 3-векторных операторов.....	420
Б.1. Оператор	420
Б.2. Градиент	420
Б.3. Дивергенция	421
Б.4. Ротор	422
Б.5. Лапласиан.	423
Алфавитный указатель	426