

Классическая теория поля

Аннотация

И НЕОБХОДИМЫЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗНАНИЯ ДЛЯ СЛУШАТЕЛЕЙ КУРСА

“Классическая теория поля” — один из первых в ряду базовых курсов по теоретической физике, читаемых студентам 3-4 года бакалавриата и магистратуры. Наряду с курсом “Гамильтонова механика” он является необходимым пререквизитом для изучения квантовой теории поля — одной из самых сложных и продвинутых областей современной теоретической и математической физики.

В отличие от лагранжевой механики системы материальных точек, с основами которой вы знакомились на втором курсе бакалавриата, теория поля изучает динамику систем с бесконечным (условно говоря, континуальным) числом степеней свободы. Помимо этого, происходит изменение группы симметрий пространства-времени, в котором живет полевая система, с классической группы Галилея на так называемую группу Пуанкаре — математическую основу специальной теории относительности.

Посещение этого курса рекомендуется тем, кто планирует продолжать учебу в магистратуре по направлению “Математика и математическая физика”. Впрочем, знакомство с основными понятиями классической теоретической физики может быть полезным и тем, кто собирается заниматься чистой математикой.

Никаких специальных знаний по физике от слушателей курса не потребуется. Необходимым пререквизитом является курс Лагранжевой механики, читаемый на втором году бакалавриата матфака в весеннем семестре. Кроме того, очень желательно знакомство с основами теории групп и алгебр Ли и их представлений, с основами векторного анализа (простейшие варианты теорем Гаусса и Стокса), а также первичные знания по теории обобщенных функций и их приложений в дифференциальных уравнениях. На лекциях будет, тем не менее, даваться краткое напоминание необходимых фактов из перечисленных выше областей.

Курс читается в первом (осеннем) семестре на факультете математики ВШЭ. Занятия проходят с частотой 2 пары в неделю. За выбор курса в ИУП начисляется 5 баллов.

ПРОГРАММА КУРСА

1. Лагранжева формулировка классической механики (напоминание): конфигурационное и фазовое пространство механической системы, лагранжиан, принцип наименьшего действия, уравнения Эйлера-Лагранжа. Первая теорема Нетер. Законы сохранения и группы симметрии механической системы.
2. Основы специальной теории относительности: принцип относительности Эйнштейна, преобразования Лоренца, релятивистская кинематика. Пространство Минковского, 4-векторы, интервал, группы и алгебры Лоренца и Пуанкаре. Действие для свободной релятивистской частицы. Действие и симметрии релятивистской струны.
3. Предельный переход от механической к полевой системе. Скалярное вещественное поле в пространстве Минковского: лагранжева плотность и уравнение движения. Общее решение уравнения движения массивного свободного скалярного вещественного поля.
4. Принцип наименьшего действия в полевых моделях, уравнения Эйлера-Лагранжа для полей. Формулировка первой теоремы Нетер, сохраняющиеся токи и заряды, уравнение непрерывности. Тензор энергии-импульса скалярного поля.
5. Свободное электромагнитное поле. 4-вектор потенциала и тензор напряженности электромагнитного поля, действие и уравнения движения в 4-векторной и 3-векторной формулировках

(первая и вторая пары уравнений Максвелла). Калибровочная инвариантность. Кулоновская калибровка. Плоские волны.

6. Релятивистская частица во внешнем электромагнитном поле: уравнения движения, кулоновская сила и сила Лоренца. Уравнения движения электромагнитного поля в присутствии зарядов и токов. 4-вектор плотности тока и закон сохранения электрического заряда.

7. Закон сохранения энергии в электродинамике. Вывод плотности энергии и плотности потока энергии электромагнитного поля методом Пойнтинга. Вектор Пойнтинга. Вывод тензора энергии-импульса поля с помощью первой теоремы Нетер. Свойства его симметрии и интерпретация компонент.

8. Запаздывающая функция Грина волнового уравнения, запаздывающие потенциалы. Потенциалы Лиенара-Вихерта, создаваемые движением точечного заряда. Формулы для напряженностей электрического и магнитного полей: кулоновская и излучательная компоненты. Дипольный момент системы зарядов. Электрическое дипольное излучение, угловое и частотное распределение его интенсивности.

9*. Самодействующие скалярные поля: волна-“кинк” в системе синус-Гордон, спонтанное нарушение симметрии, голдстоуновские поля, взаимодействие скалярного поля с электромагнитным, явление Хиггса.

10*. Неабелевы калибровочные симметрии.

Значком * отмечены факультативные темы, обсуждение которых состоится при наличии времени.

Список рекомендованной литературы:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Курс теоретической физики, т.2, Теория поля. М., Наука, 1988.
2. Дж. Джексон, Классическая электродинамика, М., Мир, 1965.
3. Р.Фейнман, Р.Лейтон, М.Сэндс. Электродинамика. Фейнмановские лекции по физике, т.6.