

Программа учебной дисциплины «Классическая теория поля»

Утверждена Ученым Советом
факультета математики

Разработчик	П.И.Дунин–Барковский, доцент, факультет математики
Число кредитов	6
Контактная работа (час.)	60
Самостоятельная работа (час.)	168
Курс, Образовательная программа	Для студентов образовательных программ, реализуемых факультетом математики
Формат изучения дисциплины	Без использования онлайн курса

1. Цель, результаты освоения дисциплины и пререквизиты

ОПИСАНИЕ: Классическая теория поля является одним из краеугольных камней теоретической физики, и при этом включает в себя многие интересные математические идеи. Все потенциальные слушатели уже и так в той или иной степени знакомы с одним из примеров теории поля – теорией электромагнитного поля (которая и будет основной целью обсуждений в рамках данного курса). Теория поля изучает системы с бесконечным (условно говоря, континуальным) числом степеней свободы: у поля есть динамически меняющееся значение в каждой точке пространства.

В данном курсе будут напомнены математические формулировки основных необходимых физических принципов; будет дано краткое введение в специальную теорию относительности (описывающую пространство-время, в котором живет электромагнитное поле). Целью курса, в частности, является обсуждение того, как получать в явном виде конкретные уравнения, позволяющие описывать реальные явления в физическом мире, связанные с поведением электромагнитного поля.

При этом также будут обсуждаться интересные абстрактные математические конструкции. Например, будет обсуждаться теория Янга–Миллса, частным случаем которой является теория электромагнитного поля. Теория Янга–Миллса формулируется в терминах связностей на главных расслоениях (грубо говоря,

расслоениях, на которых действуют группы Ли). При этом электродинамика соответствует группе $U(1)$ (то есть, группе поворотов окружности). К слову, поля, соответствующие двум из трех оставшихся фундаментальных взаимодействия в природе (сильному и слабому) тоже описываются теориями Янга–Миллса, только для других групп Ли (правда, на обсуждение сильного и слабого взаимодействий в рамках данного курса уже не хватит времени). В рамках курса будут напомнены все необходимые базовые сведения про группы Ли и главные расслоения, желательно только общее знакомство с гладкими многообразиями.

Курс настоятельно рекомендуется тем, кто учится или планирует учиться по направлению «Математика и математическая физика», но также рекомендуется и всем остальным, кого интересуют упомянутые выше (а также ниже в программе курса) математические и физические вопросы.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА: семестровый курс «Механика» для 2-го года бакалавриата, курс «Многообразия» 2-го года бакалавриата, курс «Дифференциальные уравнения» 2-го года бакалавриата. Также желательно знакомство с основами теории групп и алгебр Ли и их представлений. На лекциях будет дано краткое напоминание нужных фактов.

2. Содержание учебной дисциплины

1. Лагранжева формулировка классической механики (напоминание): принцип наименьшего действия, первая теорема Нётер, законы сохранения и группы симметрии механической системы. Лекционных часов 3, семинарских часов 3.

2. Основы специальной теории относительности: принцип относительности Эйнштейна, пространство Минковского, группы и алгебры Лоренца и Пуанкаре. Свободная релятивистская частица. Действие и симметрии релятивистской струны. Лекционных часов 3, семинарских часов 3.

3. Предельный переход от механической к полевой системе. Скалярное вещественное поле. Общее решение уравнения Клейна–Гордона. Лекционных часов 4, семинарских часов 4.

4. Принцип наименьшего действия в полевых моделях, первая теорема Нётер, сохраняющиеся токи и заряды. Тензор энергии-импульса скалярного поля. Лекционных часов 3, семинарских часов 3.

5. Общая теория Янга–Миллса, связность в главном расслоении, кривизна связности. Лекционных часов 4, семинарских часов 4.

6. Свободное электромагнитное поле как пример абелевой теории Янга–Миллса. 4-вектор потенциала и тензор напряжённости, уравнения Максвелла. Калибровочная инвариантность. Кулоновская калибровка. Плоские волны. Лекционных часов 3, семинарских часов 3.

7. Релятивистская частица во внешнем электромагнитном поле: уравнения движения, сила Лоренца. Уравнения движения электромагнитного поля в присутствии зарядов и токов. Лекционных часов 3, семинарских часов 3.

8. Закон сохранения энергии в электродинамике. Плотность энергии и плотности потока энергии электромагнитного поля, вектор Пойнтинга. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля. Лекционных часов 4, семинарских часов 4.

9. Запаздывающая функция Грина волнового уравнения, потенциалы Лиенара–Вихерта точечного заряда и соответствующие напряжённости полей. Электрическое дипольное излучение, угловое и частотное распределение его интенсивности. Лекционных часов 3, семинарских часов 3.

3. Оценивание

ПОРЯДОК ОЦЕНИВАНИЯ: Оценивание основывается на следующих четырех оценках:

- $S \in [0, 5]$ – оценка за сдачу листков, вещественное число между 0 и 5,
- $C \in [0, 5]$ – оценка за самостоятельные работы на семинарах (проводимые раз в несколько занятий), вещественное число между 0 и 5,
- $E \in [0, 5]$ – оценка за устный экзамен, вещественное число между 0 и 5.

Полная оценка вычисляется по следующей формуле:

$$\min(10, \lceil S + C + E \rceil),$$

где $\lceil \cdot \rceil$ соответствует округлению вверх. Если для какого-то студента до финального экзамена выполняется условие $\min(10, \lceil S + C \rceil) \geq 8$, то данный студент может получить эту оценку автоматом и не идти на экзамен.

4. Примеры оценочных средств

Блокирующие элементы не предусмотрены.

5. Ресурсы

5.1. Рекомендуемая основная литература

№п/п	Наименование
1.	Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Теоретическая физика. Т. 2: Теория поля, М.: Физматлит, 2016
2.	Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс, Фейнмановские лекции по физике, Т.2 Электродинамика, М.: УРСС: Книжный дом "Либроком", 2016

5.2. Рекомендуемая дополнительная литература

№п/п	Наименование
1.	Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Теоретическая физика. Т. 1: Механика, М.: Физматлит, 2017

5.3. Программное обеспечение

№п/п	Наименование	Условия доступа/скачивания
1.	Microsoft Windows 7 Professional RUS Microsoft Windows 10 Microsoft Windows 8.1 Professional RUS	<i>Из внутренней сети университета (договор)</i>
2.	Microsoft Office Professional Plus 2010	<i>Из внутренней сети университета (договор)</i>
3.	LaTeX пакет верстки научных текстов	<i>Свободно распространяемый программный продукт</i>

5.4. Профессиональные базы данных, информационные справочные системы, интернет-ресурсы (электронные образовательные ресурсы)

№п/п	Наименование	Условия доступа/скачивания
1.	База препринтов Cornell University	https://arxiv.org/
2.	База данных зарубежной периодики MathSciNet	<i>Онлайн доступ из локальной сети НИУ ВШЭ</i>
<i>Интернет-ресурсы (электронные образовательные ресурсы)</i>		
1.	Открытое образование	https://openedu.ru
2.	Coursera	http://www.coursera.org
3.	edX	https://www.edx.org/course
4.	MITOPENCOURSEWARE	https://ocw.mit.edu/index.htm

5.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебные аудитории для лекционных занятий по дисциплине обеспечивают использование и демонстрацию тематических иллюстраций, соответствующих программе дисциплины в составе:

- ПЭВМ с доступом в Интернет (операционная система, офисные программы, антивирусные программы);
- мультимедийный проектор с дистанционным управлением.

Учебные аудитории для самостоятельных занятий по дисциплине оснащены персональными компьютерами, с возможностью подключения к сети Интернет и доступом к электронной информационно-образовательной среде НИУ ВШЭ.

6. Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида, могут предлагаться следующие варианты восприятия учебной информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

6.1.1. *для лиц с нарушениями зрения:* в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

6.1.2. *для лиц с нарушениями слуха:* в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

6.1.3. *для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:* в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

7. Дополнительные сведения

По желанию разработчика в ПУД могут быть включены другие содержательные элементы, например, методические рекомендации для студента и преподавателя, описание применяемых образовательных технологий

8. Литература для углубленного изучения материала

1. Дж. Джексон, «Классическая электродинамика», Москва, Мир, 1965.
2. G. Giachetta, Luigi Mangiarotti, G. Sardanashvily «Advanced classical field theory», Singapore, World Scientific Publishing, 2009.
3. В.С. Владимиров, «Обобщенные функции в математической физике», Москва, Наука, 1979.
4. В.С. Владимиров, «Уравнения математической физики», Москва, Наука, 1981.