Программа учебной дисциплины

|  |  |
| --- | --- |
| Название дисциплины | *Топология и симметрия в физике* |
| Автор(ы) программы | *Загороднев Игорь Витальевич* |
| Курс | *3* |
| Модули | *3,4* |
| Объём курса | *1 лекция и 1 семинар в неделю* |
| Элементы контроля | *домашние работы, контрольная работа, устный экзамен* |

**Аннотация.**

Последние два десятилетия наблюдается бурное проникновение математических идей топологии в физику, особенно в физику твердого тела. Возникли новые понятия, реальные материалы и новый взгляд на многие физические системы. Данный курс представляет собой введение в эту принципиально новую область. В курсе сначала рассматриваются основные идеи топологии как строгой математической науки, при этом акцент делается на наглядность. Большая часть курса посвящена применении топологии в физике, в первую очередь физике твердого тела. Будут рассмотрены множество примеров, среди которых одномерные (киральные) топологические изоляторы, черновские изоляторы, Квантовый эффект Холла, Z2 топологические изоляторы, вейлевские и дираковские полуметаллы.

**Программа курса**

1. Кристаллическая решетка и симметрии. Теорема Блоха. Квазиимпульс. Зона Бриллюэна. Зонная структура. Металлы, диэлектрики, полупроводники и полуметаллы. Обращение времени и теорема Крамерса.
2. Методы расчета зонной структуры. Приближение сильной связи в «первичном квантовании». Примеры: 1D цепочка одинаковых атомов.
3. Kp-метод для расчёта зонной структуры. Эффективная масса. Зонная структура наиболее известных полупроводников (кремний, германий, GaAs). Метод эффективной массы.
4. Математический аппарат вторичного квантования для описания электронов в кристаллических решётках в приближении сильной связи. Примеры: моно- и диатомная 1D цепочка атомов, графен.
5. Качественное обсуждение основ общей топологии. Непрерывные отображения. Гомеоморфизм. Топологические инварианты и простейшие примеры.
6. 1D «киральный» топологический изолятор на примере 1D цепочки атомов Su-Schrieffer-Heeger (модель полиацетиллена). Намотка. «Киральная симметрия». «Солитоны» и краевые состояния. Их устойчивость.
7. Фаза Берри и её связь с зарядовой поляризацией. Черновские изоляторы. Квантовый эффект Холла. Краевые состояния.
8. Основные сведения о Z2 топологической классификации кристаллов. Модель Bernevig-Huges-Zhang. Краевые состояния в топологических изоляторах и принцип соответствия "объем-граница".
9. Представление о Вейлевских и дираковских полуметаллах.

**ОЦЕНИВАНИЕ**

Текущий контроль предусматривает проведение еженедельных тестов, выступление с докладом, итоговую контрольную работу и экзамен. Контрольная работа включает письменное решение 3-5 задач по темам пройденного материала в течение 1.5 часов. Экзамен проводится в устной форме. Студенты с высокой накопленной оценкой освобождаются от устного экзамена.

**ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

Примерный вариант контрольной работы. Состоит из 3-х задач по пройденным темам:

Задача. Найдите потенциал Берри во всех точках k-пространства для 1D цепочки атомов Su-Schrieffer-Heeger.

Примеры вопросов для устного экзамена.

Вопрос 1. Представление о Квантовом эффекте Холла.

Вопрос 2. Представление о Z2 топологическом инварианте.

**Литература**

1. Н. Ашкрофт, Н. Мермин «Физика твердого тела».
2. Bernevig B.A., Hughes T.L. «Topological Insulators and Topological Superconductors«. PRINCETON UNIVERSITY PRESS. 2013.
3. J.K. Asboth «A short course on topological insulators», <https://arxiv.org/abs/1509.02295>.
4. S.-Q. Shen «Topological Insulators Dirac Equation in Condensed Matters», Springer 2012.

Дополнительная литература

1. В.Г. Болтянский, В.А. Ефремович "Наглядная топология". Издательство М: Наука. 1983.
2. M. Nakahara "Geometry, Topology and Physics", IOP Publishing Ltd. 2003.

Полезные ссылки: https://topocondmat.org/