МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по образовательной
деятельности
_____ Е.М. Разинкина
«30» сентября 2019 г.

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА СПЕЦИАЛЬНАЯ ДИСЦИПЛИНА ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ

03.06.01 – Физика и астрономия

Направленности (профили):

1. *Астрофизика и звездная астрономия*
2. *Теоретическая физика*
3. *Радиофизика*
4. *Физическая электроника*
5. *Физика конденсированного состояния*
6. *Физика плазмы*
7. *Физика полупроводников*
8. *Электрофизика, электрофизические установки*
9. *Теплофизика и теоретическая теплотехника*
10. *Физика атомного ядра и элементарных частиц*
11. *Лазерная физика*
12. *Биофизика*

Директор
Института прикладной математики и механики М.Е. Фролов

И.о. директора Института физики,
нанотехнологий и телекоммуникаций В.А. Сороцкий

И.о. директора
Института энергетики С.Г. Зверев

г. Санкт-Петербург
2019

Введение

Программа вступительного экзамена по направлению «Физика и астрономия» включает разделы программ вступительного экзамена по следующим профилям «Астрофизика и звёздная астрономия», «Теоретическая физика», «Радиофизика», «Физическая электроника», «Физика конденсированного состояния», «Физика плазма», «Физика полупроводников», «Электрофизика, электрофизические установки», «Теплофизика и теоретическая теплотехника», «Физика атомного ядра и элементарных частиц», «Лазерная физика».

ПРОФИЛЬ
«АСТРОФИЗИКА И ЗВЁЗДНАЯ АСТРОНОМИЯ»

I. МЕХАНИКА

Принцип относительности Галилея. Энергия. Импульс. Момент импульса. Законы сохранения. Интегрирование уравнений движения в одномерном случае. Движение в центральном поле. Кеплерова задача. Малые колебания. Свободные и вынужденные колебания. Затухающие колебания. Параметрический резонанс .

II. РЕЛЯТИВИСТСКАЯ МЕХАНИКА

Принцип относительности Эйнштейна-Пуанкаре. Пространство и время в специальной теории относительности. Преобразования Лоренца. Релятивистская динамика. Энергия и масса в теории относительности.

III. ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

Разрешающая способность оптических приборов. Интерференция. Дифракция. Дифракционная решетка и ее разрешающая способность. Распространение света в веществе. Показатель преломления. Дисперсия. Поглощение. Поляризация. Двойное лучепреломление. Оптическая активность.

IV. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

.

Основные принципы статистического описания классических систем. Эргодичность. Функция распределения. Теорема Лиувилля. Статистическое определение термодинамических величин: энтропия, температура, химический потенциал. Закон возрастания энтропии. Понятие адиабатического процесса. Термодинамические следствия канонических распределений Гиббса. Термодинамические потенциалы. Законы термодинамики. Уравнение состояния идеального газа.

Цепочка уравнений Боголюбова. Кинетическая теория газов и основы физической кинетики. Уравнение Больцмана. Уравнение Власова.

Матрица плотности. Уравнение Лиувилля- фон-Неймана. Флуктуационно-диссипационная теорема Каллена-Вельтона..

V. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Электростатика. Теорема Гаусса. Потенциал электрического поля. Энергия электрического поля. Теорема Ирншоу. Уравнения Пуассона и Лапласа. Метод изображений.

Диэлектрики. Диэлектрическая проницаемость. Вектор поляризации. Поля и силы в присутствии диэлектриков. Сегнетоэлектричество. Магнитостатика.

Магнитное поле тока. Сила Лоренца. Векторный потенциал. Магнитные свойства веществ. Диамагнетизм и парамагнетизм. Ферромагнетизм.

Законы электромагнитной индукции. Уравнение Максвелла. Электромагнитные волны. Потенциалы движущегося заряда. Энергия и импульс электромагнитного поля. Движение зарядов в электрическом и магнитном полях.

VI. ФИЗИКА КРИСТАЛЛОВ

Структура кристаллов. Химические связи в кристаллах. Кристаллические решетки. Симметрия. Упругость. Закон Гука. Тензор деформации. Тензор упругости.

VII. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

Амплитуды вероятности и волновая функция. Операторы физических величин. Уравнения Шредингера. Атом водорода Фермионы и бозоны. Принцип Паули. Периодическая система элементов. Основы квантовой электроники. Электроны в кристаллах. Квазичастицы. Сверхпроводимость.

VIII. ФИЗИКА СПЛОШНЫХ СРЕД

Гидродинамика. Уравнения движения идеальной жидкости. Теорема Бернулли. Вязкие течения. Число Рейнольдса.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Д. Сивухин , Общая физика т.т.1
2. А.Д. Суханов. Фундаментальный курс физики, т.т. 1-3, 1996-1999
3. Фейнмановские лекции по физике тт.I – IX., 2004

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. И.Е.Тамм. Основы теории электричества.
2. Ч.Киттель. Введение в физику твердого тела.
3. Дж.Займан. Принципы теории твердого тела.
4. Э.В.Шпольский. Атомная физика т.1, т.2.
5. А.С.Давыдов. Квантовая механика.

СПИСОК ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ

1. Интегрирование уравнений движения в одномерном случае. Движение в центральном поле.
2. Свободные и вынужденные колебания. Затухающие колебания.
3. Пространство и время в специальной теории относительности. Преобразования Лоренца.
4. Энергия и масса в теории относительности.
5. Распространение света в веществе. Показатель преломления. Дисперсия. Поглощение.
6. Термодинамические потенциалы. Законы термодинамики.
7. Функция распределения. Теорема Лиувилля.
8. Кинетическая теория газов. Уравнение состояния идеального газа.

9. Потенциал электрического поля. Энергия электрического поля.
10. Магнитное поле тока. Сила Лоренца. Векторный потенциал.
11. Движение зарядов в электрическом и магнитном полях.
12. Операторы физических величин. Уравнения Шредингера.
13. Фермионы и бозоны. Принцип Паули.
14. Уравнения движения идеальной жидкости.
15. Вязкие течения. Число Рейнольдса.

ПРОФИЛЬ
«ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

I. КЛАССИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Уравнения Лагранжа первого рода. Уравнения Лагранжа второго рода для голономных систем. Потенциальные, гироскопические и диссипативные силы. Принцип Даламбера. Диссипативная функция Рейли. Функция Гамильтона. Принцип Гамильтона. Законы сохранения. Задача двух тел. Рассеяние частиц. Канонические преобразования. Уравнения Гамильтона. Уравнение Гамильтона-Якоби. Переменные действие-угол. Адиабатические инварианты. Движение твердого тела. Уравнения Эйлера. Линейные колебания. Вынужденные колебания. Резонансы. Нелинейные колебания. Метод Крылова-Боголюбова. Ангармонические колебания.

II. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Принцип относительности и релятивистская механика. Преобразование Лоренца. Четырехмерное векторное и тензорное описание физических величин. Четырехмерный потенциал поля, тензор электромагнитного поля. Ковариантная запись уравнения движения точечного заряда.

Движение заряда в постоянном электромагнитном поле. Движение релятивистского заряда в поле электромагнитной волны - интегрирование уравнения Гамильтона-Якоби.

Уравнения электромагнитного поля. Микроскопические уравнения Максвелла. Законы сохранения энергии и заряда. Тензор энергии-импульса.

Постоянное электромагнитное поле. Уравнения электростатики и магнитостатики. Метод функции Грина. Поле, создаваемое системой зарядов и стационарных токов на далеких расстояниях. Мультипольные моменты.

Свободные электромагнитные волны. Монохроматическая плоская волна, типы поляризации. Немонохроматический и частично поляризованный свет. Время когерентности, продольная и поперечная длина когерентности, объем когерентности. Корреляционные функции первого и второго порядка. Явления дифракции.

Излучение электромагнитных волн. Запаздывающие потенциалы. Излучение точечного заряда, двигающегося произвольным образом. Излучение электрического и магнитного диполей, и электрического квадруполя. Сферический и цилиндрический резонаторы. Задача Дебая – Ми. Тормозное излучение. Классическая теория рассеяния света на атомах.

Макроскопический подход в описании электромагнитного поля в материальных средах. Тензор диэлектрической проницаемости, временная и пространственная дисперсия. Дисперсионные соотношения. Простейшие модели поляризуемости вещества. Эффекты локального поля, формула Лорентц-Лоренца.

Отражение и преломление волн на границе диэлектрической среды. Формулы Френеля. Эффекты полного внутреннего отражения, поверхностные волны. Распространение электромагнитного поля в проводнике, эффект скинирования, поверхностный импеданс и граничное условие Леонтовича. Распространение волн в анизотропных диэлектрических средах, двойное лучепреломление. Излучение Вавилова-Черенкова.

Магнитное поле в магнетиках. Гипотеза Ампера и токи намагниченности. Магнитный момент и вектор намагниченности. Диамагнетизм, парамагнетизм и ферромагнетизм

вещества. Критическая точка Кюри фазового перехода в ферромагнитное состояние. Формула Кюри-Вейса, спиновые домены.

III. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

Основы квантовой механики. Несостоятельность классических теорий для микромира и фундаментальные опытные данные квантовой механики. Принципы исследования микромира. Измерения. Принцип неопределенности. Понятие волновой функции. Принцип суперпозиции. Основное уравнение квантовой механики. Основные свойства волновой функции. Принцип соответствия. Теоремы Эренфеста. Гильбертово пространство и вектора состояния в Гильбертовом пространстве. Операторы. Оператор Гамильтона. Дифференцирование по времени. Квантовые числа. Оператор импульса. Соотношения неопределенностей. Теорема Вейля.

Уравнение Шрёдингера. Стационарные состояния. Общие свойства одномерного движения. Уравнение непрерывности. Плотность тока вероятности. Прохождение частиц через потенциальные барьеры. Туннельный эффект. Линейный гармонический осциллятор.

Матричная формулировка квантовой механики. Линейный гармонический осциллятор, решение Гейзенберга-Иордана. Теория представлений. Представления Шрёдингера и Гейзенберга. Представление взаимодействия. Метод вторичного квантования. Матрица плотности.

Момент импульса. Оператор момента импульса. Собственные значения и собственные функции момента. Четность состояний. Сложение моментов. Центрально-симметричное поле. Задача о двух взаимодействующих частицах. Атом водорода. Теория рассеяния. Упругое рассеяние на центральном потенциале. Формализм S и T матриц. Фазовая теория рассеяния. Резонансное рассеяние.

Спин. Понятие спина. Спиновой формализм. Собственные значения и собственные функции оператора спина. Спиноры. Полный момент импульса. Тождественность частиц. Принцип неразличимости одинаковых частиц. Принцип Паули. Обменное взаимодействие.

Приближенные методы квантовой механики. Квазиклассическое приближение. Правила квантования Бора-Зоммерфельда. Стационарная теория возмущений. Нестационарная теория возмущений. Вероятность перехода под действием периодического возмущения. Переходы в непрерывном спектре. Формула Резерфорда. Приближение Борна. Соотношение неопределённостей для энергии и времени.

Атомы и молекулы. Основные методы описания атомов. Атом гелия. Метод самосогласованного поля. Метод Томаса-Ферми. Молекулы. Вариационные методы.

Элементы квантовой электродинамики. Движение релятивистской бесспиновой частицы, уравнение Клейна-Гордана. Движение электрона в электромагнитном поле. Уравнение Паули. Уравнение Дирака. Решение уравнения Дирака для свободного электрона. Квантование свободного электромагнитного поля. Причинная функция Грина. Квантование электрон-позитронного поля. Плотность тока. Взаимодействующие электромагнитное и электрон-позитронное поля. Правила Фейнмана. Сечение Комптон-эффекта. Современные проблемы квантовой электродинамики. Эксперименты. Квантовая хромодинамика. Единая теория взаимодействий.

IV. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Принципы статистического описания квантовых систем (матрица плотности). Чистый и смешанный ансамбль, матрица плотности. Матрица плотности (м.п.) равновесных систем.

Представление взаимодействия для м.п. Формула Кубо для обобщенной восприимчивости. Флуктуации в квантовых системах, флуктуационно-диссипационная теорема Каллена-Велтона. Представление Вигнера, квазиклассический предел.

Принципы статистического описания классических систем.

Эргодическая гипотеза. Теорема Лиувилля, уравнение Лиувилля, Энтропия равновесных и неравновесных систем. Адиабатическая теорема, термодинамический предел.

Статистическая интерпретация и способы вычисления через плотность микросостояний интенсивных термодинамических параметров – температура, давление, химический потенциал. *Малое каноническое распределение Гиббса*, *расширенное каноническое распределение, большое каноническое распределение* Гиббса. Термодинамические следствия канонического распределения, начала термодинамики, их статистическая интерпретация, экстремальный принцип термодинамики.

Вырожденный идеальный газ. Термодинамические величины и функции распределения идеальных газов с учетом интерференционного перераспределения плотности частиц в пространстве. Уравнение состояния нерелятивистских и релятивистских квантовых газов. Термодинамические свойства Ферми-газа. Термодинамические свойства Бозе-газа, конденсация Бозе-Эйнштейна. Бозе–газ в магнитной ловушке. Осцилляторные системы – термодинамика кристаллической решетки в фононной модели. Равновесное тепловое излучение, термодинамика фотонов. Магнитные явления в вырожденном электронном газе. Парамагнетизм. Диамагнетизм, эффект Де-Гааза – Ван-Альфена. *Цепочка уравнений Боголюбова*. Вывод кинетического уравнения Больцмана из цепочки Боголюбова. Вывод уравнения Власова из цепочки Боголюбова. *Реальные газы*. Вириальное разложение. Уравнение состояния Ван-дер-Ваальса.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Голдстейн. Классическая механика М: Наука 1975
2. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Курс теоретической физики. Т.I-X М.Наука 2010
3. В.В. Батыгин, И.Н. Топтыгин. Современная электродинамика ч.1,2 М: Наука 2003
4. Дирак П.А.М. Принципы квантовой механики. – 1979 г.
5. Мессиа А. Квантовая механика, т.I, т.II. – 1978 г., 1979 г.
6. А. Мессиа. Квантовая механика М: Наука 1978
7. Давыдов А.С. Квантовая механика. – 1973 г.
8. Флюгге З. Задачи по квантовой механике, т.I, т.II – 1974 г.
9. Галицкий В.М., Карнаков Б.М., Коган В.И. Задачи по квантовой механике–1992 г.
10. Р. Кубо Статистическая механика и термодинамика, М: Мир 1967
11. Дж. Джексон. Классическая электродинамика М: Мир 1965
12. И.А. Квасников «Термодинамика и статистическая физика», т1. Теория равновесных систем, Издательство Московского университета, 1987, 560с. т.2. Теория неравновесных систем. Издательство Московского университета, 1987, 559с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Базь А.И., Зельдович Я.Б., Переломов А.М. Рассеяние, реакции и распады в нерелятивистской квантовой механике. – 1971 г.
2. M. Toda, R. Kubo, “Statistical Physics”, I and II bands, Springer.

СПИСОК ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ

Классическая механика

1. Принцип Даламбера. Уравнения Лагранжа второго рода.
2. Принцип наименьшего действия. Интегралы движения, связанные с симметрией функции Лагранжа.
3. Движение в центральном поле. Задача Кеплера
4. Движение твердого тела. Уравнения Эйлера.
5. Уравнения Гамильтона.
6. Канонические преобразования. Скобки Лагранжа и скобки Пуассона.
7. Теорема Лиувилля.
8. Задача рассеяния. Пример: формула Резерфорда.
9. Свободные и вынужденные колебания вблизи равновесия. Параметрический резонанс.
10. Колебания с большим числом степеней свободы. Собственные частоты и нормальные координаты.
11. Уравнение Гамильтона-Якоби. Метод разделения переменных.
12. Переменные действие-угол для одномерного периодического движения. Адиабатический инвариант.

Электродинамика

13. Принцип относительности. Преобразования Лоренца
14. Релятивистское уравнение движения точечного заряда. Ковариантная форма записи уравнения.
15. Интеграл действия. Построение микроскопических уравнений Максвелла из принципа наименьшего действия.
16. Законы сохранения. Тензор энергии-импульса.
17. Функция Грина для уравнения Пуассона.
18. Поле, создаваемое системой зарядов на далеких расстояниях. Мультипольные моменты.
19. Магнитное поле, создаваемое системой стационарных токов. Закон Био-Савара.
20. Энергия магнитного поля. Коэффициенты индукции.
21. Плоские электромагнитные волны. Поляризация волн.
22. Явления когерентности и интерференции. Корреляционная функция поля.
23. Формула Кирхгофа. Явления дифракции.
24. Запаздывающие потенциалы. Излучение точечного заряда, двигающегося произвольным образом.
25. Потери энергии при излучении. Сила радиационного торможения.
26. Рассеяние света гармоническим осциллятором.
27. Макроскопические уравнения Максвелла.
28. Диэлектрическая проницаемость. Соотношения Крамерса-Кронинга.
29. Формула Лорентц-Лоренца
30. Распространение волн в прозрачной диэлектрической среде.
31. Отражение и преломление волн. Формулы Френеля. Эффект полного внутреннего отражения. Поляризация волн при отражении. Угол Брюстера.
32. Распространение волн в проводящей среде. Поверхностный импеданс и граничное условие Леонтовича.

33. Распространение волн в анизотропных диэлектрических средах, двойное лучепреломление.
34. Излучение Вавилова-Черенкова.

Квантовая механика

35. Фундаментальные опытные данные квантовой механики.
36. Основное уравнение квантовой механики.
37. Волновая функция и ее свойства.
38. Операторы.
39. Дифференцирование по времени в квантовой механике.
40. Оператор импульса.
41. Соотношение неопределенностей. Теорема Вейля.
42. Стационарные состояния.
43. Общие свойства одномерного движения.
44. Уравнение непрерывности.
45. Линейный гармонический осциллятор.
46. Квантовомеханические представления.
47. Матрица плотности.
48. Оператор момента импульса.
49. Собственные значения и собственные функции момента.
50. Четность состояний.
51. Сложение моментов.
52. Задача двух тел.
53. Атом водорода.
54. Задача рассеяния в квантовой механике. Амплитуда и сечение рассеяния.
55. Формула Факсена-Хольцмарка.
56. Рассеяние при низких энергиях. Резонансное рассеяние.
57. Общий формализм теории рассеяния. S- и T- матрицы в задаче рассеяния.
58. Квазиклассическое приближение.
59. Стационарная теория возмущений без вырождения.
60. Стационарная теория возмущений при наличии вырождения.
61. Переходы под воздействием периодического возмущения.
62. Формула Резерфорда.
63. Приближение Борна.
64. Спин. Оператор спина. Спиноры.
65. Принцип неразличимости тождественных частиц.
66. Обменное взаимодействие.
67. Многоэлектронные атомы и молекулы. Атом гелия. Молекула водорода.
68. Уравнение Клейна-Гордана, решение для свободной частицы без спина.
69. Уравнения Паули.
70. Уравнение Дирака. Биспиноры.
71. Решение уравнения Дирака для свободного электрона.
72. Квантование свободного электромагнитного поля. Причинная функция Грина.
73. Квантование электрон-позитронного поля. Плотность тока.
74. Взаимодействующие электромагнитное и электрон-позитронное поля. Правила Фейнмана. Сечение Комптон-эффекта.

Статистическая физика и термодинамика

75. Статистические распределения в классической статистике.

76. Понятие энтропии. Условие термодинамического равновесия. адиабатическая теорема, энтропия идеального газа, термодинамический предел.
77. Связь термодинамических параметров – температура, давление, химический потенциал - с энтропией системы.
78. Открытые системы с постоянной температурой – малое каноническое распределение Гиббса, малая статистическая сумма и свободная энергия,
79. Открытые системы с постоянной температурой и давлением – расширенное каноническое распределение и термодинамический потенциал Гиббса-Гельмгольца.
80. Открытые системы с постоянным числом частиц и энергией – большое каноническое распределение и большой термодинамический потенциал.
81. Термодинамические следствия канонического распределения, начала термодинамики, их статистическая интерпретация, экстремальный принцип термодинамики.
82. Динамическое равновесие в системах, где идут реакции. Ионизационное равновесие, формула Саха.
83. Фазовые переходы первого рода. Формула Клапейрона-Клаузиуса.
84. Вириальное разложение. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
85. Теория Ландау для фазовых переходов второго рода.
86. Статистическое описание квантовых систем. Чистый и смешанный ансамбль. Матрица плотности, матрица плотности в координатном и собственном энергетическом представлении.
87. Уравнение для матрицы плотности в операторном виде и в координатном представлении.
88. Матрица плотности (м.п.) равновесных систем. Парамагнетизм Паули. Парамагнетизм системы частиц с произвольным спином, формулы Блоха и Ланжевена.
89. Представление взаимодействия для м.п., собственный магнитный момент в произвольном магнитном поле – теорема Блоха о прецессии магнитного момента.
90. Фомула Кубо для обобщенной восприимчивости. Флуктуации в квантовых системах, флуктуационно- диссипационная теорема Каллена-Велтона. Формула Найквиста.
91. Представление Вигнера, квазиклассический предел.
92. Вырожденный идеальный газ. Принцип неразличимости тождественных частиц и критерий «квантовости» газа. Термодинамические величины и функции распределения идеальных газов с учетом интерференционного перераспределения плотности частиц в пространстве.
93. Уравнение состояния нерелятивистских и релятивистских квантовых газов.
94. Термодинамические свойства Ферми-газа.
95. Термодинамические свойства Бозе-газа, конденсация Бозе-Эйнштейна. Бозе–газ в магнитной ловушке, температура конденсации, эффект Джозефсона для двух конденсатных облаков
96. Осцилляторные системы –термодинамика кристаллической решетки в фононной модели.
97. Осцилляторные системы Равновесное тепловое излучение, термодинамика фотонов.
98. Магнитные явления в вырожденном электронном газе. Парамагнетизм.
99. Магнитные явления в вырожденном электронном газе. Диамагнетизм, эффект Де-Гааза – Ван-Альфена..
100. Цепочка уравнений Боголюбова.

101. Вывод кинетического уравнения Больцмана из цепочки Боголюбова.
102. Вывод уравнения Власова из цепочки Боголюбова
103. Пример решения уравнения Больцмана – диффузия электронов в плазме.
104. Пример решения уравнения Власова – распространение продольных электрических волн в плазме, механизм затухания Ландау .
105. Вывод уравнений гидро- и газодинамики из уравнения Больцмана.
106. Квантовое кинетическое уравнение. Пример – система уравнений Максвелла-Блоха.

ПРОФИЛЬ
«РАДИОФИЗИКА»

Введение

Программа соответствует специальности 01.04.03 «Радиофизика». В основу программы положены дисциплины: теория колебаний; теория волн; статистическая радиофизика; принципы усиления, генерации и управления сигналами; антенны и распространение радиоволн. Программа разработана на основе материалов экспертного совета по физике Высшей аттестационной комиссии.

1. Теория колебаний

Линейные колебательные системы и с одной степенью свободы. Силовое (прямое) и параметрическое воздействие на линейные колебательные системы. Автоколебательная система с одной степенью свободы. Энергетические соотношения в автоколебательных системах. Методы расчета автоколебательных систем. Воздействие гармонического сигнала на автоколебательные системы. Явления синхронизации, затягивания и гашения колебаний. Применение затягивания для стабилизации частоты.

Параметрическое усиление и параметрическая генерация. Параметрические усилители и генераторы.

Устойчивость стационарных режимов автономных и неавтономных колебательных систем. Временные и спектральные методы оценки устойчивости.

Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем. Собственные функции системы (моды). Разложение вынужденных колебаний по системе собственных функций.

Хаотические колебания в динамических системах. Понятие о хаотическом (странном) аттракторе. Возможные пути потери устойчивости регулярных колебаний и перехода к хаосу.

2. Теория волн

Плоские однородные и неоднородные волны. Электромагнитные волны, поток энергии, состояние поляризации. Распространение электромагнитных волн в диспергирующей среде. Простейшие модели диспергирующей среды, волновой пакет, фазовая и групповая скорости, уширение импульсов. Гауссовские пучки, пучки Лаггера-Гаусса. Свойства электромагнитных волн в анизотропных средах, обыкновенная и необыкновенная волны, двойное лучепреломление.

Волноводы, длинные линии и резонаторы. Критическая частота и критическая длина волновода. *TE*-, *TH*,- и *TEM*-волны. Электромагнитные волны в металлических волноводах. Диэлектрические волноводы.

Метод Кирхгофа в теории дифракции, функции Грина, условия излучения. Дифракция в зоне Френеля и Фраунгофера. Характеристики поля в фокусе линзы.

Оптические резонаторы, резонатор Фабри-Перо. Продольные и поперечные типы колебаний (моды резонатора). Спектр частот и расходимость излучения, добротность.

Генерация гармоник монохроматической электромагнитной волны в нелинейных средах, трехволновое и четырехволновое смешение, параметрическое усиление и преобразование частоты. Волны в нелинейных средах с дисперсией, понятие о солитонах.

3. Статистическая радиофизика

Случайные величины и процессы, способы их описания. Стационарный случайный процесс. Статистическое усреднение и усреднение во времени, эргодичность. Корреляционные и спектральные характеристики стационарных случайных процессов. Теорема Винера-Хинчина. Белый шум, узкополосный и широкополосный стационарные случайные процессы. Модели случайных процессов: гауссовский процесс, марковские и диффузионные процессы, импульсные случайные процессы.

Тепловой шум; классический и квантовый варианты формулы Найквиста.

Случайные поля. Пространственная и временная когерентность.

4. Принципы усиления, генерации и управления сигналами

Принцип работы, устройство и параметры лазеров (примеры: гелий-неоновый лазер, лазер на рубине, полупроводниковый лазер, волоконный лазер).

Усилители СВЧ-диапазона (резонаторный, бегущей волны). Принципы генерация волн в СВЧ диапазоне.

Принципы работы устройств акустооптики. Линейный электрооптический и магнитооптический эффекты и их применение для управления светом.

5. Антенны и распространение радиоволн

Вибратор Герца, ближняя и дальняя зоны. Диаграмма направленности, коэффициент усиления и коэффициент рассеяния антенны. Антенны для ДВ, СВ и СВЧ диапазонов. Параболическая антенна. Фазированные антенные решетки. Эффективная площадь и шумовая температура приемной антенны.

Геометрическое и дифракционное приближения при анализе распространения радиоволн. Влияние неровностей земной поверхности. Земные и тропосферные радиоволны. Рассеяние и поглощение радиоволн в тропосфере. Эффект "замирания". Распространение радиоволн в ионосфере. Дисперсия и поглощение радиоволн в ионосферной плазме.

Основная литература

1. Н. В. Карлов, Н.А. Кириченко. Колебания, волны, структуры. – М.: Физматлит, 2001.
2. М. Б. Виноградова, О.В. Руденко, А.П. Сухоруков. Теория волн. – М.: Наука, 1990.
3. М. И. Рабинович, Д.И. Трубецков. Введение в теорию колебаний и волн. – М.: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика. 2000.
4. Н. Н. Моисеев. Асимптотические методы нелинейной механики. – М.: Наука, 1981
5. С.А. Ахманов, Ю.Е. Дьяков, А.С. Чиркин. Введение в статистическую радиофизику и оптику, – М.: М.: Физматлит, 2010.
6. Н. М. Цейтлин. Антенная техника и радиоастрономия. – М.: Радио и связь, 1976.
7. В. И. Тихонов, В. Н. Харисов. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем: Учебн. пособие для вузов. – М.: Изд. «Горячая линия – Телеком», 2015.
8. А. Ярив, П.Юх. Оптические волны в кристаллах. – М.: Мир, 1987.

9. Г. Кайно. Акустические волны. Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов. – М.: Мир, 1990.
10. В. В. Никольский, Т.И. Никольская. Электродинамика и распространение радиоволн. – "Либроком", 2015.
11. Трубецков Д.И., Храмов А.Е. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. В 2 т. М.: Физматлит, 2004.

Дополнительная литература

1. А. А. Андронов, А. А. Витт, С. Э. Хайкин. Теория колебаний. – М.: Наука, 1981.
2. В. В. Мигулин, В. И. Медведев, Е. Р. Мустель, В. Н. Парыгин. Основы теории колебаний. – М.: Наука, 1988.
3. Г. М. Заславский, Р. З. Сагдеев. Введение в нелинейную физику: От маятника до турбулентности и хаоса. – М.: Наука, 1988.
4. Н. Н. Боголюбов, Ю. А. Митропольский. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. – М.: Наука, 1974.
5. С. М. Рытов. Введение в статистическую радиофизику. Часть 1. Случайные процессы. – М.: Наука, 1976.
6. С. М. Рытов, Ю. А. Кравцов, В. И. Татарский. Введение в статистическую радиофизику. Часть 2. Случайные поля. – М.: Наука, 1978.
7. Дж. Гауер. Оптические системы связи. – М.: Радио и связь, 1989.
8. Л. Д. Бахрах, С. Д. Кременецкий. Синтез излучающих систем. – М.: Радио и связь, 1974.
9. В. И. Балакший, В. Н. Парыгин, Л. Е. Чирков. Физические основы акустооптики. – М.: Радио и связь, 1985.
10. Ф. Качмарек. Введение в физику лазеров. – М.: Мир, 1981.
11. Л. А. Вайнштейн, В. А. Солнцев. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. – М.: Сов. радио, 1973.
12. В. А. Зверев. Радиооптика. – М.: Сов. радио, 1975.
13. М. Букингем. Шумы в электронных приборах и ситемах. – М.: Мир, 1986.
14. Н. В. Карлов. Лекции по квантовой электронике. – М.: Наука, 1983.
15. Б. Р. Левин. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989.
17. Л. В. Ландау, Е. М. Лифшиц. Статистическая физика. – М.: Наука. 1999, том V, часть 1.
18. Е. Л. Фейнберг. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. – М.: Наука. 1999.
19. Л.А. Островский, А.И. Потапов Введение в теорию модулированных волн. – М.: Физматлит, 2003. – 400с.

Список вопросов к экзамену

1. Теория колебаний

1. Линейные колебательные системы и с одной степенью свободы. Силовое (прямое) и параметрическое воздействие на линейные колебательные системы.
2. Автоколебательная система с одной степенью свободы. Энергетические соотношения в автоколебательных системах. Методы расчета автоколебательных систем.

3. Воздействие гармонического сигнала на автоколебательные системы. Синхронизация. Явления затягивания и гашения колебаний. Применение затягивания для стабилизации частоты.

4. Параметрическое усиление и параметрическая генерация. Параметрические усилители и генераторы.

5. Устойчивость стационарных режимов автономных и неавтономных колебательных систем. Временные и спектральные методы оценки устойчивости.

6. Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем. Собственные функции системы (моды). Разложение вынужденных колебаний по системе собственных функций.

8. Хаотические колебания в динамических системах. Понятие о хаотическом (странном) аттракторе. Возможные пути потери устойчивости регулярных колебаний и перехода к хаосу.

2. Теория волн

1. Плоские однородные и неоднородные волны. Электромагнитные волны, поток энергии, поляризация.

2. Распространение электромагнитных волн в диспергирующей среде. Простейшие модели диспергирующей среды, волновой пакет, фазовая и групповая скорости, уширение импульсов.

3. Гауссовские пучки, пучки Лаггера-Гаусса.

4. Свойства электромагнитных волн в анизотропных средах, обыкновенная и необыкновенная волны, двойное лучепреломление.

5. Волноводы, длинные линии и резонаторы. Критическая частота и критическая длина волновода. *TE*-, *TH*,- и *TEM*-волны. Электромагнитные волны в металлических волноводах. Диэлектрические волноводы.

6. Метод Кирхгофа в теории дифракции. Функции Грина, условия излучения. Дифракция в зоне Френеля и Фраунгофера. Характеристики поля в фокусе линзы.

7. Оптические резонаторы. Резонатор Фабри-Перо. Продольные и поперечные типы колебаний (моды резонатора). Спектр частот и расходимость излучения. Добротность.

8. Генерация гармоник монохроматической волны в нелинейных средах, трехволновое и четырехволновое смешение, параметрическое усиление и преобразование частоты. Волны в нелинейных средах с дисперсией. Понятие о солитонах.

3. Статистическая радиофизика

1. Случайные величины и процессы, способы их описания. Стационарный случайный процесс. Статистическое усреднение и усреднение во времени. Эргодичность.

2. Корреляционные и спектральные характеристики стационарных случайных процессов. Теорема Винера-Хинчина. Белый шум, узкополосный и широкополосный стационарные случайные процессы.

3. Модели случайных процессов: гауссовский процесс, марковские и диффузионные процессы, импульсные случайные процессы.

4. Тепловой шум; классический и квантовый варианты формулы Найквиста.

5. Случайные поля. Пространственная и временная когерентность.

4. Принципы усиления, генерации и управления сигналами

1. Принцип работы, устройство и параметры лазеров (примеры: гелий-неоновый лазер, лазер на рубине, полупроводниковые лазеры, волоконный лазер).
2. Усилители СВЧ-диапазона (резонаторный, бегущей волны).
3. Принципы генерации волн в СВЧ диапазоне.
4. Принципы работы устройств акустооптики. Линейный электрооптический и магнитооптический эффекты и их применение для управления светом.

5. Антенны и распространение радиоволн

1. Вибратор Герца, ближняя и дальняя зоны. Диаграмма направленности. Коэффициент усиления и коэффициент рассеяния антенны.
2. Антенны для ДВ, СВ и СВЧ диапазонов. Параболическая антенна. Фазированные антенные решетки. Эффективная площадь и шумовая температура приемной антенны.
3. Геометрическое и дифракционное приближения при анализе распространения радиоволн. Влияние неровностей земной поверхности. Земные и тропосферные радиоволны. Рассеяние и поглощение радиоволн в тропосфере. Эффект "замирания" (федингa). Распространение радиоволн в ионосфере. Дисперсия и поглощение радиоволн в ионосферной плазме.

ПРОФИЛЬ

«ФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

I. КОРПУСКУЛЯРНАЯ ОПТИКА

Законы движения заряженных частиц в статических электрических и магнитных полях. Показатель преломления в корпускулярной оптике. Оптический и механический подходы при решении задач корпускулярной оптики. Законы подобия. Параксиальные пучки. Основные свойства аксиально симметричных электростатических и магнитных полей. Теорема Буша и закон сохранения углового момента. Теорема Лагранжа-Гельмгольца и ее следствия.

Основные типы электростатических линз. Тонкие линзы. Линза-диафрагма. Одиночная линза, иммерсионный объектив и иммерсионная линза. Магнитные линзы. Расчет фокусных расстояний. Аберрации линз.

Электронные микроскопы. Общие принципы работы. Конструкции электронных микроскопов. Особенности электронно-оптических систем. Корпускулярные микроскопы.

II. ЭМИССИОННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Термоэлектронная эмиссия (ТЭЭ). Работа выхода. Основное уравнение ТЭЭ. Вакуумный диод с термокатодом и его вольт-амперная характеристика.

Эмиссия под воздействием частиц. Взаимодействие электронов подпороговых энергий с твердым телом. Упругие взаимодействия, сечения процессов. Спектры вторичных электронов. Оже-электроны. Электронно-стимулированная десорбция.

Взаимодействие атомных частиц с твердым телом. Распыление. Механизмы распыления. Вторичная ионная эмиссия. Коэффициент вторичной ионной эмиссии. Рассеяние ионов низких и средних энергий. Обратное резерфордовское рассеяние. Ионно-электронная эмиссия. Потенциальная и кинетическая эмиссия. Ионно-фотонная эмиссия.

Фотоэлектронная эмиссия. Трехступенчатый механизм эмиссии.

Автоэлектронная, экзоэлектронная и взрывная эмиссия.

III. ВАКУУМНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Формирование электронных пучков большой плотности. Пушка Пирса. Ограничение тока пространственным зарядом. Предельный ток нейтрализованных пучков – ток Пирса. Устойчивость пучков в дрейфовом пространстве.

Спонтанное и вынужденное излучение потоков заряженных частиц. Черенковское, циклотронное (синхротронное) и ондуляторное излучения. Нормальный и аномальный эффекты Допплера. Томсоновское рассеяние.

Источники СВЧ-излучения, основанные на вынужденном излучении потоков заряженных частиц: лампа бегущей волны (ЛБВ), магнетроны, гиратроны, убитроны, виркаторы, лазеры на свободных электронах.

Релятивистские эффекты, умножение частоты, параметрические усилители и генераторы.

Волны пространственного заряда. Пространственная и энергетическая группировки потоков частиц. Нелинейные механизмы насыщения излучения – захват частиц в волнах пространственного заряда, сдвиг резонансной частоты излучения. КПД СВЧ-источников излучения.

IV. ЭЛЕКТРОНИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Физические основы электроники твердого тела. Особенности динамики электрона в идеальном твердом теле. Волновая функция, квазиимпульс, зоны Бриллюэна, зонный энергетический спектр, закон дисперсии. Энергетический спектр электрона в кристалле во внешних полях (электрическом и магнитном). Полуклассическая модель динамики электрона в кристалле, границы применимости. Дырки как способ описания ансамбля электронов, свойства и законы движения дырок.

Энергетический спектр электрона в ограниченном кристалле. Условия локализации. Локализованные состояния Тамма. Поверхностные состояния Шокли.

Особенности энергетического спектра электронов в тонких пленках (квантовый размерный эффект).

Типы точечных дефектов в кристаллах. Акцепторные и донорные примеси в полупроводниках. Водородоподобная модель примесного центра.

Неупорядоченные системы – аморфные полупроводники. Понятие идеального аморфного твердого тела (идеального стекла). Случайная структура и случайное поле. Энергетический спектр неупорядоченных систем (без случайного поля и со случайным полем). Дефекты в аморфных материалах.

Статистика носителей заряда в полупроводниках. Обоснование применения статистики Ферми—Дирака к электронам в твердом теле (идеальном). Статистика примесных состояний. Невырожденные и вырожденные полупроводники. Уровень электрохимического потенциала и концентрация свободных и связанных носителей в вырожденных полупроводниках: в собственном, с одним типом примеси, в частично компенсированном. Явление компенсации.

Явления переноса заряда в твердом теле. Интеграл столкновений. Механизмы рассеяния носителей заряда. Электропроводность полупроводников и металлов. Электропроводность в сильных электрических полях. Эффект Ганна. Классический и квантовый размерный эффекты в электропроводности.

Электропроводность в неупорядоченных системах. Прыжковая проводимость по локализованным состояниям вблизи уровня Ферми (закон Мотта) и хвостах плотности состояний вблизи краев щели подвижности.

Неравновесные носители заряда в полупроводниках и диэлектриках. Генерация и рекомбинация. Механизмы рекомбинации.

Диффузия и дрейф неравновесных носителей, соотношение Эйнштейна. Плотность тока и градиент уровня Ферми. Уравнение непрерывности, анализ частных случаев локального возбуждения и инжекции.

Контактные явления. Различные типы контактов. Контакт твердое тело – вакуум.

Контакт металл – полупроводник. Диоды Шоттки. Диодная и диффузионная теории выпрямления.

Электронно-дырочный переход. Количественная теория инжекции и экстракции неосновных носителей. Выпрямление и усиление с помощью *p*-*n* переходов. Статическая вольт-амперная характеристика (ВАХ) *p*-*n* перехода. Туннельный эффект в *p*-*n* переходах.

Основные представления о полупроводниковых гетеропереходах, их применение.

Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках.

Поглощение и испускание света полупроводниками. Механизмы поглощения. Поглощение и отражение электромагнитных волн свободными носителями заряда. Поглощение и излучение

при оптических переходах зона—зона. Прямые и непрямые переходы. Разрешенные и запрещенные переходы. Спектральные характеристики поглощения кристаллами.
Спонтанное и вынужденное излучение. Полупроводниковые лазеры. Оптические свойства аморфных полупроводников. Фотоэффект в p-n переходах. Солнечные батареи. Преобразование электрических сигналов в световые.
Наноэлектроника. Квантовые ямы и сверхрешетки. Квантовые нити и квантовые точки. Электронные состояния в наноструктурах. Транспортные явления в низкоразмерных системах. Оптические свойства наноструктур. Одноэлектронные явления в наноэлектронных устройствах. Нанотехнология. Приборы наноэлектроники.

V. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ ПОВЕРХНОСТИ И ПЛЕНОЧНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Энергетическая диаграмма реальной поверхности. Поверхностные состояния. Эффект поля и поверхностная проводимость. Влияние адсорбированных частиц на поверхностную проводимость. Полевые транзисторы.
Проблема микроминиатюризации элементов микроэлектроники. Полупроводниковые, пленочные и гибридные интегральные схемы. Фотолитография, рентгеновская и электронная литографии.
Особенности структуры пленок, связанные с характером зарождения.
Текстурированные и эпитаксиальные пленки. Структурные несовершенства.
Явления переноса в тонких металлических пленках. Дисперсные пленки. Сплошные пленки. Размерные эффекты в пленках.
Тонкие диэлектрические и полупроводниковые пленки. Диэлектрические потери.
Токопрохождение через диэлектрические слои. Туннелирование. Надбарьерная эмиссия электронов. Токи, ограниченные пространственным зарядом (ТОПЗ).
Пленочные активные элементы. Использование неравновесных (горячих) электронов в металлических пленках. Активные элементы, основанные на использовании характеристик с отрицательным сопротивлением. Аналоговые триоды на основе ТОПЗ в диэлектриках. Пленочный полевой триод.

VI. МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТИ И ТОНКИХ ПЛЕНОК

Методики определения плотности поверхностных состояний, основанные на эффекте поля (*C-V* метод и метод, основанный на изменении поверхностной проводимости).
Основы энергоанализа заряженных частиц. Основные типы энергоанализаторов. Методы регистрации частиц. Вторичный электронный умножитель. Детекторы для быстрых частиц (поверхностно-барьерный детектор).
Дифракция медленных и быстрых электронов (на просвет и отражение) как методы исследования структуры поверхности.
Электронная Оже-спектроскопия. Основное уравнение. Методы количественной Оже-спектроскопии.
Фотоэлектронная спектроскопия (ФЭС и УФЭС). Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС или ЭСХА – электронная спектроскопия для химического анализа) и конструкции приборов. Химические сдвиги уровней. Количественная РФЭС.
Спектроскопия характеристических потерь энергии (СХПЭЭ). Конструкции приборов. Одночастичные и многочастичные возбуждения электронов в твердом теле. Количественная СХПЭЭ.

Растровая электронная микроскопия. Режимы работы. Особенности формирования контраста. Рентгеновский микроанализ. Конструкции растровых электронных микроскопов и микроанализаторов.

Туннельная и атомно-силовая микроскопия. Физические основы. Конструкция микроскопов. Применения.

Методы ионной спектроскопии. Масс-спектрометрия вторичных ионов (МСВИ). Стигматический и растровый режим МСВИ. Ионно-нейтрализационная спектроскопия. Обратное резерфордовское рассеяние. Спектроскопия рассеяния ионов низких и средних энергий.

VII. ГАЗОРАЗРЯДНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Элементарные процессы. Понятие плазмы, квазинейтральность, микрополя, дебаевский радиус, идеальная и неидеальная плазма. Столкновения заряженных частиц, дальнодействие, частоты столкновений, столкновения электронов с атомами (упругие и неупругие), столкновения тяжелых частиц. Ионизация, рекомбинация, перезарядка и прилипание. Возбуждение и диссоциация молекул электронным ударом.

Физическая кинетика. Уравнения Больцмана и Власова, интеграл столкновений, время максвеллизации и скорость выравнивания температур различных компонент плазмы. Скорость ионообразования и рекомбинации электронов и ионов, образование и разрушение возбужденных атомов (ионов). Явления переноса в плазме, электропроводность, диффузия и теплопроводность частиц при наличии и отсутствии магнитного поля. Кинетика возбужденных молекул в плазме.

Электрический разряд в газах. Явление пробоя. Теория Таунсенда. Основные виды разряда: тлеющий разряд, искра, электрическая дуга, ВЧ-, СВЧ- и оптический разряд. Условия стационарности разряда.

VIII. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Молекулярная электроника. Основные принципы молекулярной электроники. Электронные возбуждения, используемые для передачи и хранения информации в молекулярных системах. Фотопроводимость.

Криоэлектроника. Электронные свойства твердых тел (металлы, диэлектрики, полупроводники) при низких температурах. Явление сверхпроводимости. Эффект Мейснера. Особенности туннелирования в условиях сверхпроводимости.

Высокотемпературная сверхпроводимость. Свойства и параметры сверхпроводников с высокой T_k .

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Силадьи М. Электронная и ионная оптика. — М.: Мир. 1990.
2. Хокс П., Каспер Э. Основы электронной оптики. В 2-х т. — М.: Мир. 1993
3. Кельман В.М., Явор С.Я. Электронная оптика, Л.: Наука 1968.
4. Физика низкоразмерных систем / А.Я. Шик, Л.Г.Бакуева, С.Ф.Мусихин, С.А.Рыков — СПб.: Наука, 156 с., 2001.
5. Электроника / А.А. Щука — СПб: БХВ-Петербург, 2008. – 752 с.
6. Вакуумная электроника / А. Н. Диденко и др. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008

7. М.И. Рабинович, Д.И. Трубецков. Введение в теорию колебаний и волн. М.: Наука. - 1984. 432 с.
8. Д.И. Трубецков, А.Е. Храмов. Лекции по электронике СВЧ для физиков. В 2-х томах. — М.: Физматлит. 2003 (2004). — 496 с., 648 с.
9. Маршалл Т. Лазеры на свободных электронах. М.: Мир, 1987.
10. С.И. Молоковский, А.Д. Сушков. Интенсивные электронные и ионные пучки. 1991. М.: Энергоатомиздат. 302 с.
11. Епифанов Е.И., Мома Ю.А. Твердотельная электроника. М.: Высш. шк., 1986.
12. Гусева М.Б., Дубинина Е.М. Физические основы твердотельной электроники. М.: Изд-во МГУ, 1986.
13. Электронные процессы на поверхности полупроводников при хемосорбции. — М.: Наука, 1987. — 432 с.
14. Теория двойного слоя / Р.Р. Салем. — М.: Физматлит, 2003. — 104 с.
15. Электроны в неупорядоченных средах / В.Ф. Гантмахер. — М: Физматлит, 2003. — 176 с.

СПИСОК ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ

Корпускулярная оптика

1. Законы движения заряженных частиц в статических электрических и магнитных полях. Показатель преломления в корпускулярной оптике.
2. Законы подобия. Параксиальные пучки. Основные свойства аксиально симметричных электростатических и магнитных полей.
3. Основные типы электростатических линз.
4. Магнитные линзы.
5. Расчет фокусных расстояний. Аберрации линз.
6. Электронные микроскопы. Общие принципы работы. Особенности электронно-оптических систем.
7. Конструкции электронных микроскопов.
8. Корпускулярные микроскопы.

Эмиссионная электроника

1. Термоэлектронная эмиссия (ТЭЭ). Работа выхода. Основное уравнение ТЭЭ.
2. Эмиссия под воздействием частиц. Взаимодействие электронов подпороговых энергий с твердым телом. Упругие взаимодействия, сечения процессов. Спектры вторичных электронов. Оже-электроны. Электронно-стимулированная десорбция.
3. Взаимодействие атомных частиц с твердым телом. Распыление. Механизмы распыления.
4. Вторичная ионная эмиссия. Коэффициент вторичной ионной эмиссии.
5. Рассеяние ионов низких и средних энергий. Обратное резерфордовское рассеяние.
6. Ионно-электронная эмиссия. Потенциальная и кинетическая эмиссия.
7. Ионно-фотонная эмиссия.
8. Фотоэлектронная эмиссия. Трехступенчатый механизм эмиссии.
9. Автоэлектронная, экзоэлектронная и взрывная эмиссия.

Вакуумная электроника

1. Формирование электронных пучков большой плотности. Ограничение тока пространственным зарядом.
2. Устойчивость пучков в дрейфовом пространстве.
3. Спонтанное и вынужденное излучение потоков заряженных частиц.
4.Черенковское, циклотронное (синхротронное) и ондуляторное излучения.
5. Волны пространственного заряда. Пространственная и энергетическая группировки потоков частиц. Нелинейные механизмы насыщения излучения – захват частиц в волнах пространственного заряда, сдвиг резонансной частоты излучения. КПД СВЧ-источников излучения.
6. Источники СВЧ-излучения, основанные на вынужденном излучении потоков заряженных частиц: лампа бегущей волны (ЛБВ), магнетроны, гиратроны, убитроны, виркаторы, лазеры на свободных электронах.

Электроника твердого тела
1. Физические основы электроники твердого тела. Особенности динамики электрона в идеальном твердом теле. Волновая функция, квазиимпульс, зоны Бриллюэна, зонный энергетический спектр, закон дисперсии.
2. Энергетический спектр электрона в кристалле во внешних полях (электрическом и магнитном). Полуклассическая модель динамики электрона в кристалле, границы применимости.
3. Полуклассическая модель динамики электрона в кристалле, границы применимости. Дырки как способ описания ансамбля электронов, свойства и законы движения дырок.
4. Энергетический спектр электрона в ограниченном кристалле. Условия локализации.
5 Типы точечных дефектов в кристаллах. Акцепторные и донорные примеси в полупроводниках. Водородоподобная модель примесного центра.
6. Статистика носителей заряда в полупроводниках. Обоснование применения статистики Ферми—Дирака к электронам в твердом теле (идеальном). Статистика примесных состояний.
7.Невырожденные и вырожденные полупроводники. Уровень электрохимического потенциала и концентрация свободных и связанных носителей в вырожденных полупроводниках.
8. Явления переноса заряда в твердом теле.
9. Электропроводность в неупорядоченных системах. Прыжковая проводимость по локализованным состояниям вблизи уровня Ферми (закон Мотта) и хвостах плотности состояний
10. Контактные явления. Различные типы контактов. Контакт металл – полупроводник. Диоды Шоттки. Диодная и диффузионная теории выпрямления.
11. Электронно-дырочный переход. Количественная теория инжекции и экстракции неосновных носителей. Выпрямление и усиление с помощью *p-n* переходов. Статическая вольт-амперная характеристика (ВАХ) *p-n* перехода. Туннельный эффект в *p-n* переходах.
12. Поглощение и испускание света полупроводниками. Механизмы поглощения. Прямые и непрямые переходы. Разрешенные и запрещенные переходы. Спектральные характеристики поглощения.

13. Квантовые ямы и сверхрешетки. Квантовые нити и квантовые точки. Электронные состояния в наноструктурах.
14. Транспортные явления в низкоразмерных системах. Оптические свойства наноструктур.

Физические основы электроники поверхности

1. Энергетическая диаграмма реальной поверхности. Поверхностные состояния. Эффект поля и поверхностная проводимость. Влияние адсорбированных частиц на поверхностную проводимость.
2. Особенности структуры пленок, связанные с характером зарождения. Текстурированные и эпитаксиальные пленки. Структурные несовершенства.
3. Явления переноса в тонких металлических пленках. Дисперсные пленки. Сплошные пленки. Размерные эффекты в пленках.
4. Тонкие диэлектрические и полупроводниковые пленки. Диэлектрические потери.
5. Токопрохождение через диэлектрические слои. Туннелирование. Надбарьерная эмиссия электронов. Токи, ограниченные пространственным зарядом (ТОПЗ).

Методы анализа поверхности и тонких пленок

1. Методики определения плотности поверхностных состояний, основанные на эффекте поля (*C-V* метод и метод, основанный на изменении поверхностной проводимости).
2. Дифракция медленных и быстрых электронов (на просвет и отражение)
3. Электронная Оже-спектроскопия. Основное уравнение. Методы количественной Оже-спектроскопии.
4. Фотоэлектронная спектроскопия (ФЭС и УФЭС). Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.
5. Спектроскопия характеристических потерь энергии. (СХПЭЭ).
6. Растровая электронная микроскопия. Конструкции растровых электронных микроскопов и микроанализаторов.
7. Туннельная и атомно-силовая микроскопия. Физические основы. Конструкция микроскопов.
8. Методы ионной спектроскопии. Масс-спектрометрия вторичных ионов (МСВИ).
9. Обратное резерфордовское рассеяние. Спектроскопия рассеяния ионов низких и средних энергий.

Газоразрядная электроника

1. Понятие плазмы, квазинейтральность, микрополя, дебаевский радиус, идеальная и неидеальная плазма.
2. Элементарные процессы в ионизованном газе. Упругие и неупругие столкновения. Классическая теория столкновений. Сечения столкновительных процессов
3. Уравнения Больцмана, интеграл столкновений, Скорость столкновительных процессов.
4. Явления переноса в плазме, электропроводность, диффузия и теплопроводность частиц при наличии и отсутствии магнитного поля.
5. Явление пробоя. Теория Таунсенда.
6. Основные виды разряда: тлеющий разряд, искра, электрическая дуга, ВЧ-, СВЧ- и оптический разряд. Условия стационарности разряда.

ПРОФИЛЬ
«ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ»

I. ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА.

Целью данного раздела экзамена являются: проверка комплекса знаний о типах твердых тел, структуре кристаллических решеток, о межатомных взаимодействиях и силах сцепления в твердых телах, об элементарных возбуждениях и взаимодействиях между ними, об электронных зонных спектрах кристаллов, о колебательных модах кристалла, о явлениях переноса в твердых телах, о воздействии внешних полей на твердые тела, об оптических свойствах твердых тел, об основных типах наноструктур.

Кристаллические решетки. Дифракция волн и частиц на решетке. Типы твердых тел и кристаллических решеток. Обратная решетка. Дифракция волн и частиц на кристаллической решетке. Рассеяние электронов решеткой. Приближение почти свободных электронов. Теория металлов Друде-Зоммерфельда. Межатомные взаимодействия и силы сцепления в твердых телах. Ван-дер-ваальсово взаимодействие. Передача энергии возбуждения в твердых телах. Ионная и ковалентная связи. Твердотельная плазма. Металлическая связь. Ион-ионное взаимодействие. Электронные состояния. Методы расчета зонной структуры. Метод сильной связи. Экситоны. Колебания решетки и тепловые свойства. Колебания трехмерной решетки. Фононы. Теплоемкость решетки. Диэлектрическая проницаемость решетки. Электрон-фононное взаимодействие. Оптические явления в твердых телах. Оптическое поглощение. Двухфотонные переходы. Электростатика диэлектриков. Диэлектрические свойства изоляторов. Наноструктуры. Гетероструктуры. Размерное квантование. Электрооптические эффекты в наноструктурах.

II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ФИЗИКЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА.

Целью данного раздела экзамена являются: проверка знаний об основных экспериментальных методах определения ионной и электронной структуры твердых тел, носителей заряда и их эффективной массы, энергетического спектра электронов и дырок, квантовых свойств наноструктур и низкоразмерных структур.

Дифракция электронов и нейтронов. Метод циклотронного резонанса. Экспериментальное определение эффективной массы носителей. Оптические методы исследования. Классический и квантовый методы Холла. Баллистическая проводимость. Туннельная спектроскопия. Эмиссионная и Оже- спектроскопия. Методы исследования дефектов с мелкими и глубокими уровнями. Особенности исследования двумерных и одномерных проводимостей и низкоразмерных наноструктур. Эксперименты в МДП структурах.

III. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ В СВЕТЕ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЙ ДЛЯ НАНОСИСТЕМ

Целью данного раздела экзамена являются: проверка комплекса знаний о фундаментальных законах квантовой механики и квантовых явлениях, возникающих в современных наноскопических и мезоскопических материалах и устройствах на основе

нанокристаллов, электронных и фотонных волноводов и нанопленок, включая теоретическую интерпретацию экспериментальных методов их исследования;

проверка представлений о принципиальных возмущениях при квантовых измерениях и специфике концепций корпускулярно-волнового дуализма, амплитуд вероятности квантовых переходов, квантовой интерференции и основных теоретических методах, используемых для их описания;

проверка опыта постановки и самостоятельного решения практических задач квантовой механики, ознакомление студентов с приближенными методами и с теоретическим описанием таких эффектов как квантование Ландау, эффект Ааронова-Бома и другими.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. *Физика твердого тела.* Т. 1,2. “Мир”, Москва, 1979.
2. Ч. Киттель. *Введение в физику твердого тела*. “Наука”, Москва, 1978.
3. А. Анималу. *Квантовая теория кристаллических твердых тел*. “Мир”, Москва, 1981.
4. Ч. Киттель. *Квантовая теория твердых тел.* “Наука”, Москва, 1967.
5. В.Г. Вакс. *Межатомные взаимодействия и связь в твердых телах.* “ИздАТ”, Москва. 2002.
6. Н.Б. Брандт, В.А. Кульбачинский. *Квазичастицы в физике конденсированного состояния.* “Физматлит”. Москва. 2005.
7. G. Dresselhaus, A. F. Kip, and C. Kittel, Cyclotron Resonance of Electrons and Holes in Silicon and Germanium Crystals, Phys. Rev. 98, 368 - 384 (1955).
8. Гершензон Е.М., Циклотронный резонанс в полупроводниках, Соросовский Общеобразовательный Журнал, N°10, с.87–94 (2000).
9. Демиховский В.Я., Квантовые ямы, нити, точки. Что это такое, Соросовский Образовательный Журнал, №5, с.80 (1997).
10. Шик А.Я., Квантовые нити, Соросовский Образовательный Журнал, №5, с.87 (1997).
11. Л. Эсаки, ПУТЕШЕСТВИЕ В СТРАНУ ТУННЕЛИРОВАНИЯ, УФН, т. 116, с.569 (1975)
12. И. Гиавер, ТУННЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ И СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ, УФН, т. 116, с.585 (1975)
13. Б. Джозефсон, ОТКРЫТИЕ ТУННЕЛЬНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ТОКОВ, УФН, т. 116, с.597 (1975)
14. H.G. Grimmeiss et al in Deep Centers in Semiconductors, ed by S.T. Pantelides, Gordon & Breach, 1986.
15. S.T. Pantelides. In: Deep centers in semiconductors, ed. by S.T. Pantelides (Gordon & Breach, N.Y., 1986) p.3.
16. А. Милнс. Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках (Мир, М., 1977)
17. Т. Андо, А. Фаулер, Ф. Стерн. Электронные свойства двумерных систем. М., “Мир,” 1985.
18. Лафлин Р.Б., Дробное квантование, УФН, т.170, с.292 (2000).
19. Штермер Х., Дробный квантовый эффект Холла, УФН, т.170, с.304 (2000).

СПИСОК ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ

I. ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА.

1. Кристаллические структуры. Симметрия кристаллов.
2. Обратная решетка и зона Бриллюэна. Векторы обратной решетки и атомные плоскости.
3. Дифракция рентгеновских волн. Картины Лауэ и Брэгга.
4. Теорема Блоха.
5. Дифракция блоховских волн. Явления на границе зоны Бриллюэна.
6. Эффект Холла и магнетосопротивление в теории металлов Друде.
7. Теплопроводность. Эффекты Видемана-Франца и Зеебека в теории Друде и в теории Зоммерфельда.
8. Ионная связь.
9. Ковалентная связь.
10. Электрон-ионное взаимодействие в металле. Экранирование. Диэлектрическая проницаемость Хартри.
11. Обменная энергия в металле.
12. Длина экранирования в плазме.
13. Плазменные колебания.
14. Пространственная дисперсия в плазме.
15. Теплоемкость решетки. Модели Эйнштейна и Дебая.
16. Колебания трехмерных решеток. Акустические и оптические моды.
17. Квантование колебаний решетки. Фононы.
18. Дисперсия решеточной диэлектрической проницаемости.
19. Взаимодействие поперечных оптических фононов с фотонами. Поляритоны.
20. Методы расчета зонной структуры твердых тел. Приближение сильной связи.
21. Методы расчета зонной структуры твердых тел. Метод ячеек Вигнера-Зейтца.
22. Методы расчета зонной структуры твердых тел. Метод ортогонализованных плоских волн.
23. Методы расчета зонной структуры твердых тел. Метод присоединенных плоских волн.
24. Методы расчета зонной структуры твердых тел. Метод гриновских функций Корринги-Кона-Ростокера.
25. Экситоны. Энергия связи и боровский радиус экситона.
26. Взаимодействие электронов с акустическими фононами. Деформационный потенциал.
27. Взаимодействие электронов с оптическими фононами. Гамильтониан Фрелиха потенциал.
28. Поляроны. Среднее число виртуальных фононов, сопровождающих электрон в полярном кристалле.
29. Энергия связи и эффективная масса полярона.
30. Дисперсия диэлектрической проницаемости.
31. Типы оптических переходов в твердых телах.
32. Многофотонное поглощение и комбинационное рассеяние света в твердых телах.
33. Размерное квантование. Структуры с квантовыми ямами, проводами и точками.
34. Экситоны в наноструктурах. Случаи сильного и слабого конфайнмента.
35. Электрооптические и нелинейные оптические эффекты в наноструктурах.
36. Сегнетоэлектрики. Классификация сегнетоэлектрических кристаллов.
37. Фазовые переходы первого и второго рода в сегнетоэлектриках.
38. Пьезоэлектрики.
39. Сегнетоэлектрические домены.
40. Диамагнетизм и парамагнетизм.
41. Ферромагнитный порядок.

42. Магнитная структура ферромагнетика и антиферромагнетика.
43. Магноны.
44. Ферромагнитные домены.
45. Локализованные моменты. Эффект Кондо.

II. Экспериментальные методы в физике твердого тела.

1. Энергетический спектр электронов в магнитном поле. Уровни Ландау. Классическая теория циклотронного резонанса в случае изотропной эффективной массы.
2. Циклотронный резонанс электронов и дырок в кристаллах кремния и германия. Экспериментальная техника. Спектры циклотронного резонанса. Экспериментальное определение тензора эффективной массы электронов и дырок.
3. Циклотронный резонанс в низкоразмерных системах:
   (а) квазидвумерный газ электронов и дырок в квантовых ямах; размерное квантование;
   (б) уровни Ландау в зоне проводимости и валентной зоне;
   (г) квантовый циклотронный резонанс: определение значений эффективной массы дырок, принадлежащих различным подзонам размерного квантования. Сравнение с данными оптических измерений.
4. Эффект Холла. Коллективизированные электроны в полупроводниках без магнитного поля. Кинетическая энергия – основные соотношения. Энергетический спектр электронов в магнитном поле. Переход от классического к квантовому эффекту Холла.
5. Двумерные системы: размерное квантование, уровни Ландау. Баллистическая проводимость. Осцилляции Шубникова - де Газа. Интегральный квантовый эффект Холла в кремниевом полевом транзисторе.
6. Дробный квантовый Холл – эффект в AlGaAs/GaAs наноструктурах.
7. Модель Лафлина. Краевые каналы проводимости. Метастабильность квантового эффекта Холла. Температурная зависимость подвижности двумерных носителей тока.
8. Туннельный эффект в полупроводниках (эксперимент Л. Есаки).
9. Туннельный эффект в низкоразмерных системах. Классические и квантовые законы движения электронов. Низкоразмерные полупроводниковые структуры: квантовые ямы, квантовые нити, квантовые точки.
10. Квантованная проводимость в квантовых нитях. Резонансное туннелирование в квантовых точках.
11. Резонансные туннельные структуры. Сверхрешетки. Каскадные лазеры.
12. Туннельные эффекты в сверхпроводниках. Контакт металл-сверхпроводник. Контакт сверхпроводник-сверхпроводник.
13. Точечные дефекты с мелкими и глубокими уровнями в запрещенной зоне. Метод эффективной массы в расчетах спектра возбужденных состояний водородоподобного примесного центра.
14. ИК Фурье-спектроскопия и фотоэлектрическая спектроскопия возбужденных состояний мелких водородоподобных центров. Влияние анизотропии эффективной массы и многодолинности зоны проводимости. Водородоподобные мелкие доноры в кремнии и германии.
15. Спектры водородоподобных состояний глубоких центров. Идентификация центров на основе сравнительного анализа данных ЭПР и ИК Фурье-спектроскопии. ИК фотоприемники.
16. Метастабильность глубоких дефектов в полупроводниках. Одноэлектронные и двухэлектронные конфигурационные диаграммы. Глубокие дефекты: двойные доноры, двойные акцепторы, амфотерные центры. Метастабильные центры.
17. Расчет двухэлектронных адиабатических потенциалов глубокого дефекта в электрическом поле. Зарядовые и спиновые корреляции. Емкостная спектроскопия точечных центров в полупроводниках.

18. Рекомбинационно-индуцированные реакции дефектов в полупроводниках. Теория и Эксперимент.
19. Фотоэмиссия. Отрицательное электронное сродство. Тушение и регенерация фотоэмиссии в эмиттерах с отрицательным электронным сродством.

III. Физические основы квантовой механики в свете ее применений для наносистем

1. Характерные масштабы длины и энергии в мезоскопической физике.
2. Общие свойства волновых функций. Бегущие и стоячие волны. Плотность потока вероятности. Сферические и цилиндрические волны.
3. Квантовый принцип суперпозиции для амплитуд перехода.
4. Сравнение баллистического, диффузионного и квантового транспорта. Управляющие транспортные уравнения.
5. Селективные и неселективные измерения в квантовой механике. Измерение проекции спина электрона в промежуточном состоянии.
6. Эффект Ааронова-Бома в эксперименте по дифракции на двух щелях.
7. Расплывание волнового пакета частицы. Соотношение неопределенностей.
8. Принцип Гюйгенса и функция распространения частицы в системах с низкой размерностью.
9. Размерное квантование в квантовой нити квадратного сечения.
10. Плотность состояний и квантованная проводимость в одномерной системе.
11. Движение носителя заряда в постоянном однородном магнитном поле – полуклассическое приближение.
12. Орбитальное квантование Ландау.
13. Кратность вырождения уровней Ландау в двумерной системе.
14. Релаксация импульса при рассеянии. Электропроводность Больцмана-Друде.
15. Транспортное время релаксации и его связь с сечением рассеяния. Сильно анизотропное (дифракционное) рассеяние.
16. Квантовая теория рассеяния. Оптическая теорема.
17. Амплитуда и вероятность рассеяния на случайном потенциале примесей.
18. Квантовая теория двумерного рассеяния. Рассеяние на цилиндрическом проводе. Связь особенностей амплитуды рассеяния с энергетическим спектром системы – формула Брейта-Вигнера.
19. Коэффициенты отражения и прохождения в случае потенциальной ступеньки. Полное внутреннее отражение.
20. Формулировка задачи о туннелировании в терминах матрицы переноса.
21. Простые и составные потенциальные барьеры в наносистемах. Резонансное туннелирование.

ПРОФИЛЬ

«ФИЗИКА ПЛАЗМЫ»

I. МЕХАНИКА

Законы сохранения. Их роль в механике и физике. Движение частиц в центральном поле. Движение двух частиц, взаимодействующих по закону $1/r^2$. Приведенная масса. Финитное и инфинитное движения. Задача Кеплера. Распад и рассеяние частиц. Дифференциальное сечение рассеяния. Формула Резерфорда. Малые колебания. Обобщенные координаты. Функция Лагранжа. Диссипативные функции. Свободные колебания систем с несколькими степенями свободы, собственные частоты и главные колебания. Устойчивость движения. Вынужденные колебания, резонанс. Параметрический резонанс. Адиабатические инварианты., условие сохранения инварианта, осциллятор с медленно меняющейся частотой, частица в медленно меняющемся магнитном поле. Канонические переменные. Функция Гамильтона., уравнение Гамильтона. Циклические координаты. Фазовое пространство и теорема Лиувилля. Основные уравнения гидродинамики – неразрывности и Навье-Стокса. Звук. Ударные волны. Понятие о солитонах.

II. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И ОСНОВЫ КИНЕТИКИ

Фазовое пространство и фазовые траектории. Эргодическая гипотеза. Статистический смысл энтропии. Необратимость и возрастание энтропии. Идеальный газ. Распределения Максвелла и Больцмана. Уравнение состояния идеального газа. Распределения Больцмана и Ферми. Термодинамические функции и теплоемкости идеального газа и черного излучения. Теплоемкость молекул. Флуктуации. Корреляция флуктуаций. Броуновское движение. Уравнение Фоккера-Планка. Формула Найквиста. Кинетическая теория газов. Функция распределения. Принцип детального равновесия. Уравнение Больцмана. Столкновительный интеграл. Время релаксации. Н-теорема. Переход к макроскопическим уравнениям. Кинетическое уравнение для слабонеоднородного газа. Кинетические коэффициенты – вязкость, теплопроводность, диффузия. Метод Чепмена решения кинетического уравнения. Проводимость.

III. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Уравнения Максвелла. Поток энергии Электромагнитные волны. Волновое уравнение. Плоские волны, пакет волн. Электромагнитные волны в ограниченном пространстве, волноводы, резонаторы. Излучение движущихся зарядов. Запаздывающие потенциалы. Волновая зона. Дипольное и квадрупольное излучения. Синхротронное излучение. Рассеяние излучения на свободных зарядах.

Специальная теория относительности. Интервал. Собственное время. Преобразование скоростей. Уравнения Максвелла в четырехмерной форме. Релятивистское движение заряженных частиц в кулоновском поле. Экспериментальные основы теории относительности. Уравнения электромагнитного поля в среде. Тензор диэлектрической проницаемости. Временная и пространственная дисперсии. Диссипация энергии. Распространение волн в неоднородной среде. Приближение геометрической оптики. Интерференция света. Пространственная и временная когерентность. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Теория дифракции Кирхгофа. Дифракция Френеля и

Фраунгофера. Электростатика в средах. Поляризация вещества в электрическом поле. Постоянное магнитное поле в средах. Диамагнетизм, парамагнетизм и ферромагнетизм.

IV. ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

Свойства ядер. Масса ядер и нуклонов. Энергия связи. Спины и магнитные моменты ядер. Природа ядерных сил., теория Юкавы. Электромагнитное, слабое и сильное взаимодействие. Нестабильные ядра. Радиоактивность. Ядерные реакции. Деление и синтез. α-распад. Типы β-распадов. Гипотеза Паули о существовании нейтрино. Несохранение четности. γ-излучение. Внутренняя конверсия. Ядерная изометрия. Эффект Мессбауэра. Элементарные частицы. Частицы и античастицы. Систематика частиц. Фотоны, лептоны, мезоны, барионы и их свойства. Резонансы. Величины, сохраняющиеся при сильных, слабых и электромагнитных взаимодействиях. Изотопический спин, барионный и лептонный заряды, странность, гиперзаряд. Мезоны, барионы, мезонные и барионные резонансы как «составные» частицы. Кварки и их свойства. Систематика кварков. «Цвет» кварков. Глюоны.

V. АТОМНАЯ ФИЗИКА

Корпускулярные и волновые свойства электрона. Соотношение неопределенности для импульса и координаты., для энергии и времени. Вероятность локализации частицы в координатном и импульсном пространствах. Волновые функции, их свойства. Уравнение Шредингера. Стационарные состояния. Уравнение Шредингера для прямоугольной ямы и для потенциального барьера / решение /. Решение уравнения Шредингера для линейного гармонического осциллятора и для ротатора. Атом водорода. Решение уравнения Шредингера для атома водорода. Энергетический спектр и полные волновые функции. Квантовые числа. Атом водорода в магнитном поле. Учет релятивистских эффектов, сведения об уравнении Дирака. Спин частиц. Нестационарные состояния. Принцип суперпозиции состояний. Вынужденное и спонтанное излучения. Оптическая сила осцилляторов. Правила отбора. Поляризация излучения. Оптический спектр водорода. Системы, содержащие несколько электронов. Принцип неразличимости тождественных частиц. Фермионы и бозоны. Принцип Паули. Атомы, содержащие несколько электронов, векторная модель. Молекулы. Оптические спектры атомов. Молекулярные спектры. Комбинационное рассеяние света в молекулярных газах. Столкновения частиц. Сечения рассеяния – квантовомеханическая трактовка. Решение задачи о рассеянии. Борновское приближение. Теория возмущений. Эффект Штарка. Эффект Зеемана в сильных и слабых магнитных полях. Фактор Ланде. Уравнение Шредингера для кристаллического твердого тела. Электрические состояния. Модель Зоммерфельда для линейного и циклического кристалла. Решения для периодического хода потенциала. Приближение слабой и сильной связи. Энергетические зоны. Эффективная масса. Распределение электронов по энергиям. Статистика Ферми-Дирака. Слабый парамагнетизм и теплоемкость электронного газа. Электропроводность твердых тел. Колебания кристаллической решетки. Фононы.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА (по разделам)

Механика

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика. М.: Наука, 1973.
2. Ольховский И.И. Курс теоретической механики для физиков. М: МГУ , 1978.

3. Лифшиц Е.М., Питаевский, Л. П. Физическая кинетика. Солитоны в действии.— изд. 2. — М.: Физматлит, 2001 («Теоретическая физика», том X).

Статистическая физика и основы кинетики

1. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. Статистическая физика. Часть 1. — М.: Наука, 1976
2. Левич В.Г. Введение в статистическую физику. — М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы ,1952.
3. А.И.Ансельм. Основы статистической физики и термодинамики. — М.: Наука, 1973

Электродинамика

1. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Том 3. Курс общей физики. — М.: Физматгиз, 1961
2. Тамм И.Е. Основы теории электричества. — М.: Наука, 1989
3. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. Теория поля. — М.: Наука, 1973.
4. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. — М.: Наука, 1973.

Ядерная физика

Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика. — М.: Наука, 1980.

Атомная физика

1. Шпольский Э.В. Атомная физика. Том 1, 2. — М.: Наука, 1974.
2. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. Квантовая механика. — М.: Наука, 1974.
3. Китель Ч. Квантовая теория твердых тел. — М.: Наука, 1967.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики - в 5-ти томах. — М.: Физматлит; Изд-во МФТИ, 2005.
2. В.Е.Голант, А.П. Жилинский, И.Е. Сахаров. Основы физики плазмы. 2 изд. Спб. Лань. 2011г. 448 стр.

СПИСОК ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ

1. Законы сохранения. Их роль в механике и физике.
2. Движение частиц в центральном поле. Движение двух частиц, взаимодействующих по закону $1/r^2$.
3. Приведенная масса. Финитное и инфинитное движения. Задача Кеплера.
4. Распад и рассеяние частиц. Дифференциальное сечение рассеяния. Формула Резерфорда.
5. Малые колебания. Обобщенные координаты.
6. Функция Лагранжа. Диссипативные функции.
7. Свободные колебания систем с несколькими степенями свободы, собственные частоты и главные колебания.
8. Устойчивость движения. Вынужденные колебания, резонанс. Параметрический резонанс.
9. Адиабатические инварианты., условие сохранения инварианта, осциллятор с медленно меняющейся частотой, частица в медленно меняющемся магнитном поле.
10. Канонические переменные. Функция Гамильтона., уравнение Гамильтона.
11. Циклические координаты. Фазовое пространство и теорема Лиувилля.
12. Основные уравнения гидродинамики – неразрывности и Навье-Стокса.
13. Звук. Ударные волны. Понятие о солитонах.

14. Фазовое пространство и фазовые траектории. Эргодическая гипотеза. Статистический смысл энтропии. Необратимость и возрастание энтропии.
15. Идеальный газ. Распределения Максвелла и Больцмана.
16. Уравнение состояния идеального газа. Распределения Больцмана и Ферми.
17. Термодинамические функции и теплоемкости идеального газа и черного излучения. Теплоемкость молекул.
18. Флуктуации. Корреляция флуктуаций. Броуновское движение.
19. Уравнение Фоккера-Планка. Формула Найквиста.
20. Кинетическая теория газов. Функция распределения. Принцип детального равновесия.
21. Уравнение Больцмана. Столкновительный интеграл.
22. Время релаксации. Н-теорема.
23. Переход к макроскопическим уравнениям. Кинетическое уравнение для слабонеоднородного газа.
24. Кинетические коэффициенты – вязкость, теплопроводность, диффузия.
25. Метод Чепмена решения кинетического уравнения. Проводимость.
26. Уравнения Максвелла. Поток энергии
27. Электромагнитные волны. Волновое уравнение.
28. Плоские волны, пакет волн. Электромагнитные волны в ограниченном пространстве, волноводы, резонаторы.
29. Излучение движущихся зарядов.
30. Запаздывающие потенциалы. Волновая зона. Дипольное и квадрупольное излучения.
32. Синхротронное излучение. Рассеяние излучения на свободных зарядах.
33. Специальная теория относительности.
34. Интервал. Собственное время. Преобразование скоростей.
35. Уравнения Максвелла в четырехмерной форме.
36. Релятивистское движение заряженных частиц в кулоновском поле.
37. Экспериментальные основы теории относительности.
38. Уравнения электромагнитного поля в среде. Тензор диэлектрической проницаемости.
40. Временная и пространственная дисперсии. Диссипация энергии.
41. Распространение волн в неоднородной среде. Приближение геометрической оптики.
42. Интерференция света. Пространственная и временная когерентность.
43. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля.
44. Теория дифракции Кирхгофа. Дифракция Френеля и Фраунгофера.
45. Электростатика в средах. Поляризация вещества в электрическом поле.
46. Постоянное магнитное поле в средах. Диамагнетизм, парамагнетизм и ферромагнетизм.
47. Свойства ядер. Масса ядер и нуклонов.
48. Энергия связи. Спины и магнитные моменты ядер.
49. Природа ядерных сил., теория Юкавы. Электромагнитное, слабое и сильное взаимодействие.
50. Нестабильные ядра. Радиоактивность. Ядерные реакции.
51. Деление и синтез. α -распад. Типы β -распадов.
52. Гипотеза Паули о существовании нейтрино.
53. Несохранение четности. γ -излучение.
54. Внутренняя конверсия. Ядерная изометрия. Эффект Мессбауэра.
55. Элементарные частицы. Частицы и античастицы. Систематика частиц.
56. Фотоны, лептоны, мезоны, барионы и их свойства.
57. Резонансы. Величины, сохраняющиеся при сильных, слабых и электромагнитных взаимодействиях.
58. Изотопический спин, барионный и лептонный заряды, странность, гиперзаряд.
59. Мезоны, барионы, мезонные и барионные резонансы как «составные» частицы.
60. Кварки и их свойства. Систематика кварков. «Цвет» кварков. Глюоны.

61. Корпускулярные и волновые свойства электрона. Соотношение неопределенности для импульса и координаты, для энергии и времени.
62. Вероятность локализации частицы в координатном и импульсном пространствах. Волновые функции, их свойства.
63. Уравнение Шредингера. Стационарные состояния. Уравнение Шредингера для прямоугольной ямы и для потенциального барьера / решение /.
64. Решение уравнения Шредингера для линейного гармонического осциллятора и для ротатора.
65. Атом водорода. Решение уравнения Шредингера для атома водорода.
66. Энергетический спектр и полные волновые функции.
67. Квантовые числа. Атом водорода в магнитном поле.
68. Учет релятивистских эффектов, сведения об уравнении Дирака. Спин частиц.
69. Нестационарные состояния. Принцип суперпозиции состояний.
70. Вынужденное и спонтанное излучения. Оптическая сила осцилляторов. Правила отбора.
71. Поляризация излучения. Оптический спектр водорода.
72. Системы, содержащие несколько электронов. Принцип неразличимости тождественных частиц.
73. Фермионы и бозоны. Принцип Паули.
74. Атомы, содержащие несколько электронов, векторная модель.
75. Молекулы. Оптические спектры атомов. Молекулярные спектры. Комбинационное рассеяние света в молекулярных газах.
76. Столкновения частиц. Сечения рассеяния – квантовомеханическая трактовка.
77. Решение задачи о рассеянии. Борновское приближение.
78. Теория возмущений. Эффект Штарка. Эффект Зеемана в сильных и слабых магнитных полях. Фактор Ланде.
79. Уравнение Шредингера для кристаллического твердого тела. Электрические состояния.
80. Модель Зоммерфельда для линейного и циклического кристалла. Решения для периодического хода потенциала.
81. Приближение слабой и сильной связи. Энергетические зоны. Эффективная масса.
82. Распределение электронов по энергиям. Статистика Ферми-Дирака.
83. Слабый парамагнетизм и теплоемкость электронного газа. Электропроводность твердых тел.
84. Колебания кристаллической решетки. Фононы.

ПРОФИЛЬ
«ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ»

I. ТЕРМОДИНАМИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Статистический способ описания поведения макросистем. Энтропия. Характерные особенности систем, состоящих из большого числа частиц. Статистический способ описания. Основные понятия теории вероятностей. Теоремы сложения и умножения вероятностей. Среднее значение и математическое ожидание. Среднее, значение в случае непрерывного распределения вероятностей. Биноминальное распределение.

Среднее число частиц в выделенном объеме. Пространство скоростей. Фазовое пространство. Статистический вес макро-состояния и энтропия. Закон возрастания энтропии, как следствие вероятностного статистического описания макросистемы. Обратимые и необратимые процессы.

Термодинамика. Внутренняя энергия. Аддитивность внутренней энергии и энтропии. Внутренняя энергия в положении равновесия. Условие теплового равновесия двух тел. Абсолютная температура. Направление теплообмена. Давление. Изменение внутренней энергии при постоянном объеме и энтропии. Условие механического равновесия. Работа и количество тепла. Функции состояния системы. Работа при изменении объема газа. Закон сохранения энергии для тепловых процессов. Неравенство Клаузиуса. Изохорический, изобарический, изотермический и адиабатический процессы. Теплоемкость многоатомных газов. Максимальная работа. КПД тепловых машин. Цикл Карно. Теорема Нернста. Термодинамические функции: энтальпия, свободная энергия, термодинамический потенциал. Критерии термодинамического равновесия.

Распределение Гиббса. Вывод распределения Гиббса из условий теплового и диффузионного равновесия. Статистическая сумма. Свойства распределения Гиббса. Вывод распределений Максвелла и Больцмана из распределения Гиббса. Свойства идеального газа. Теорема о равнораспределении энергии по степеням свободы. Броуновское движение. Распределение Максвелла по квадратам скоростей. Характерные скорости молекул идеального газа. Опытная проверка максвелловского закона распределения скоростей. Идеальный газ во внешнем силовом поле. Барометрическая 'формула. Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга и Пти. Связь свободной энергии и статистической суммы. Уравнение состояния идеального газа.

Реальные газы. Взаимодействие молекул в газе. Эмпирическое уравнение Ван-дер-Ваальса. Уравнение состояния неидеального газа малой плотности. Изотермы реального газа. Критическое состояние. Метастабильные состояния. Эффект Джоуля — Томсона. Методы получения низких температур и сжижения газов. Машина Линде. Обратимое адиабатическое расширение с совершением внешней работы. Турбодетандер П. Л. Капицы. Адиабатическое размагничивание парамагнитных солей. Фазы и фазовые превращения. Условия равновесия фаз. Диаграммы состояния. Фазовые переходы 1-го и 2-го рода. Особенности поведения жидкого гелия. Уравнение Клапейрона — Клаузиуса.

Процессы переноса. Необратимость процессов переноса. Уравнения диффузии, вязкости и теплопроводности.

II. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Историческое введение. Электромагнитное поле как самостоятельный физический объект.

Уравнения Максвелла. Основные опытные законы электромагнетизма. Закон Кулона. Сила Лоренца. Закон Фарадея. Ток смещения и закон Максвелла. Элементы векторного анализа. Оператор ∇. Теорема Остроградского — Гаусса. Теорема Стокса. Уравнения Максвелла для электромагнитного поля в вакууме. Закон Фарадея и уравнение для rot **E**. Закон Кулона и уравнение для div **E**. Отсутствие магнитных зарядов и уравнение для div **B**. Закон сохранения заряда и уравнение непрерывности. Закон Био — Савара и уравнение для rot **B**. Система уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной форме.

Электростатика. Условие существования медленно меняющихся полей. Уравнения электростатики. Принцип суперпозиции как следствие уравнений Максвелла. Электрическое поле заряженной поверхности и равномерно заряженной бесконечной плоскости. Поле сферически симметричного распределения зарядов. Потенциальный характер электростатического поля как следствие уравнения для rot **E**. Электрический потенциал. Поле системы зарядов. Мультипольное разложение. Дипольный и квадрупольный моменты системы зарядов. Электрическое поле диполя. Энергия системы зарядов во внешнем поле. Момент сил, действующих на диполь во внешнем поле.

Электрическое поле в веществе. Макроскопические и микроскопические поля. Усреднение уравнений электростатики. Проводники в электрическом ноле. «Теорема» Фарадея. Электростатическая защита. Электростатический генератор. Поляризация диэлектриков. Связанные заряды на поверхности и в объеме диэлектрика. Вектор поляризации. Вектор электрической индукции. Поляризуемость и диэлектрическая проницаемость. Вывод граничных условий для векторов **E** и **D** из уравнений Максвелла. Измерение **E** и **D** в диэлектрике. Уравнение Пуассона. Электрическая емкость проводников и конденсаторов. Единицы емкости. Энергия электрического поля. Энергия заряженного конденсатора. Энергия взаимодействия системы зарядов. Объемная плотность энергии электрического поля. Сегнетоэлектричество. Полярная и неполярная фазы. Точка Кюри. Доменная структура сегнетоэлектриков. Гистерезис.

Стационарный электрический ток. Основные положения классической теории электропроводности. Вывод законов Ома и Джоуля — Ленца в дифференциальной и интегральной форме. Границы применимости закона Ома.

Магнитостатика и электромагнитная индукция. Уравнения Максвелла в случае магнитостатики. Усреднение уравнений во времени.

Математическое приложение: некоторые дифференциальные операции с оператором ∇. Векторный потенциал магнитного поля. Преобразование калибровки. Уравнения для векторного потенциала. Векторный потенциал однородного магнитного поля. Магнитное поле системы токов. Поле линейного тока. Закон Био-Савара. Магнитное поле системы токов на большом расстоянии. Магнитный момент системы движущихся точечных зарядов. Связь магнитного и механического моментов. Магнитные моменты объемного и линейного токов. Сравнение полей кольца с током и электрического диполя.

Магнитное поле в, веществе. Макроскопические и микроскопические поля. Вектор намагничивания. Вектор H. Магнитная восприимчивость и магнитная проницаемость. Граничные условия для векторов **B** и **H**. Магнитная защита. Измерение **B** и **H** в веществе.

Электромагнитная индукция. Закон Ампера. Закон Фарадея. Максвелловская трактовка явления электромагнитной индукции. Вихревое электрическое поле. Индуктивность.

Явления самоиндукции и взаимной индукции. Индуктивность соленоида. Магнитная энергия токов. Объемная плотность энергии магнитного поля.

Сила и момент сил, действующих на систему токов во внешнем магнитном поле. Уравнение моментов. Ларморова прецессия. Энергия витка с током в магнитном поле. Магнитные свойства вещества с атомистической точки зрения. Диамагнетизм как следствие Ларморовой прецессии магнитного момента во внешнем поле. Микротеория магнитной восприимчивости диамагнетиков. Парамагнетизм. Микротеория магнитной восприимчивости парамагнетиков. Качественное описание ферромагнетизма. Поле Вейсса. Доменная структура ферромагнетиков. Гистерезис.

III. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Плоские электромагнитные волны. Общие свойства волновых процессов. Плоская, круговая и сферическая волна. Волновое уравнение. Дисперсия. Групповая и фазовая скорость. Стоячие волны. Эффект Доплера.

Плоские электромагнитные волны. Получение волнового уравнения для электромагнитных волн из уравнений Максвелла. Поперечность электромагнитных волн. Амплитудные и фазовые соотношения векторов E и H в плоской электромагнитной волне. Поляризация электромагнитных волн. Линейная, эллиптическая и круговая поляризация. Шкала электромагнитных волн. Опыты Герца. Энергия электромагнитной волны. Вектор Умова — Пойнтинга. Комплексное представление электромагнитных волн. Волновой пакет. Передача сигналов с помощью электромагнитных волн. Импульс и момент импульса бегущей электромагнитной волны. Опыты П. Н. Лебедева по исследованию светового давления. Излучение электромагнитных волн. Картина далекого поля. Излучение ускоренно движущегося заряда. Излучение электрического диполя. Магнитный резонанс. Уравнение движения магнитного момента. Условие магнитного резонанса. Электронный и ядерный магнитные резонансы.

Интерференция электромагнитных волн. Основные этапы развития оптики. Единицы фотометрических величин.

Условия возникновения интерференции. Пространственная и временная когерентность. Интерференционная картина в далеком поле. Влияние конечного размера источника на интерференционную картину. Интерференция немонохроматических волн. Статистика фотонов. Практическое применение интерференции. Кольца Ньютона. Интерферометры.

Дифракция волн. Принцип Гюйгенса-Френеля и его связь с принципом суперпозиции. Дифракция от широкой щели. Интерференционная картина от N узких щелей. Дифракционная картина от двух широких щелей. Дифракция Фраунгофера и дифракция Френеля. Зоны Френеля. Дифракционная решетка. Дифракционная картина от двух скрещенных решеток. Дифракция рентгеновских лучей на кристаллической решетке. Условие Брегга-Вульфа. Дисперсия и разрешающая способность спектральных аппаратов. Голография. Принцип построения плоского фотографического изображения. Запись и восстановление интерференционного голографического изображения. Голограмма точки. Основные свойства голограмм. Запись голограмм по методу Ю. Н. Денисюка. Восстановление в белом свете.

Геометрическая оптика, условия ее применимости. Принцип Ферма. Основные законы геометрической оптики. Тонкая стеклянная призма. Фокусировка параксиальных лучей тонкой линзой. Необходимое условие существования фокуса. Увеличительное стекло, телескоп, микроскоп.

Световые волны на границе раздела изотропных сред. Законы отражения и преломления света как следствие уравнений Максвелла. Формулы Френеля. Соотношение фаз отраженной и преломленной волн. Закон Брюстера. Полное внутреннее отражение.

Распространение электромагнитных волн в анизотропных средах. Анизотропия молекул и кристаллов. Лучевой и волновой векторы. Уравнение Френеля. Одноосные и двуосные кристаллы. Двойное лучепреломление. Поляризационные приборы. Обнаружение и анализ эллиптически и циркулярно поляризованного света. Вращение плоскости поляризации. Спиральные молекулы. Искусственная анизотропия. Эффект Керра. Электрооптический эффект в кристаллах и жидкостях. Элементы магнитооптики. Эффект Фарадея.

Дисперсия и поглощение света. Классическая линейная теория дисперсии и поглощения света. Дисперсионные кривые реальных диэлектриков в оптической области, методы наблюдения дисперсии. Аномальная дисперсия. Спектры поглощения. Границы применимости классических представлений.

IV. ИЗЛУЧЕНИЕ

Люминесценция. Оптические спектры атомов. Постоянная Ридберга. Строение атомов по Бору. Тепловое излучение. Равновесное тепловое излучение. Плотность энергии излучения. Вывод формулы Рэлея — Джинса. Вывод формулы Планка по Эйнштейну. Заселенность уровней атомов. Спонтанное испускание и поглощение света. Вынужденное испускание. Коэффициент поглощения с учетом возбужденных атомов.

Активные среды с инверсной заселенностью. Эффект насыщения. Принцип действия лазера. Импульсные лазеры и лазеры непрерывного действия. Свойства лазерного излучения. Газовые и твердотельные лазеры. Нелинейная оптика. Учет нелинейной зависимости P(E). Классическая теория нелинейной восприимчивости. Оптическое детектирование. Генерация 2-й гармоники. Самофокусировка. Самодифракция.

V. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Основные эксперименты, лежащие в основе квантовой механики: фотоэффект, тормозное излучение, эффект Комптона, электронная дифракция.

Волны де-Бройля. Уравнение Шредингера. Волны амплитуды вероятности. Принцип неопределенности с точки зрения волновых представлений об электроне. Фазовая и групповая скорости волн де-Бройля. Расплывание волнового пакета. Временное уравнение Шредингера. Уравнение Шредингера для стационарных состояний. Волновая функция. Принцип, суперпозиции. Границы применимости нерелятивистской волновой механики. Корпускулярно-волновой дуализм.

Движение частиц в потенциальном поле. Движение частицы в поле потенциального барьера. Надбарьерное отражение. Прозрачность барьера. Барьер произвольной формы, α-радиоактивность. Физическая модель потенциальной ямы для α-распада. Коэффициент пропускания. Зависимость периода полураспада от энергии α-частиц. Движение частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Собственные значения и собственные функции уравнения Шредингера. Уровни энергии частицы в яме. Полуклассический метод определения уровней энергии частицы в яме и его связь с условием квантования по Бору. Полуклассическое решение уравнения Шредингера для гармонического осциллятора.

Импульс в квантовой механике. Оператор импульса. Среднее значение оператора импульса. Измеряемая физическая величина. Закон сохранения импульса в квантовой механике. Временная производная в квантовой механике Физический смысл

коммутативности операторов и связь с соотношением неопределенностей. Импульс — квантовое число при движении свободного электрона.

Момент импульса в квантовой механике. Оператор момента импульса и его свойства. Оператор квадрата момента импульса.

Движение электрона в центральном поле (атом водорода). Сохраняющиеся величины L_z и L^2 и квантовые числа электрона в центральном поле. Волновые функции основного и 1-го возбужденного состояния электрона и его уровни энергии.

Собственный момент импульса электрона - спин. Опыты Штерна-Герлаха. Оператор спина и его связь с операцией бесконечно малого поворота. Сложение орбитального и спинового моментов электрона. Принцип неразличимости одинаковых частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Принцип Паули. Периодическая система элементов Д. И. Менделеева. Заполнение электронных оболочек в атомах. Правило Хунда. Электронная конфигурация. Постоянная тонкой структуры. Молекулы. Валентность и ее связь со спином. Возможные валентности для групп периодической системы элементов. Гетерополярная (ионная) и гомеополярная (ковалентная) связи.

Квантовая статистика. Элементарный объем фазового пространства. Вывод распределения Ферми и Бозе из распределения Гиббса. Распределение Больцмана как предельный случай распределения Бозе и Ферми. Термодинамический смысл химического потенциала. Примеры систем, подчиняющихся статистикам Бозе и Ферми.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Физика макросистем. Основные законы / Иродов И.Е. — Изд. Бином. Лаборатория знаний, 2010
2. Электромагнетизм. Основные законы / Иродов И.Е. — Изд. Бином. Лаборатория знаний, 2010
3. Квантовая физика. Основные законы / Иродов И.Е. — Изд. Бином. Лаборатория знаний, 2010
4. Волновые процессы. Основные законы / Иродов И.Е. — Изд. Бином. Лаборатория знаний, 2010

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Общий курс физики т.т.1-5 / Сивухин С.П. — М., Наука, 2006
2. Курс физики т.т.1-2 / Ипатова и др. — Изд.СПбГПУ, 2006
3. Савельев И.В., Курс общей физики, Наука, 1982. – 304 с.
4. Матвеев А.И., Молекулярная физика . – М., Высшая школа, 1981. – 400 с.
5. Ландсберг Г.С., Оптика. – М., Высшая школа, 1976. – 926 с.
6. Шпольская Э.В., Атомная физика. М., Наука, 1974. – 447 с.

СПИСОК ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ

Термодинамика и молекулярная физика

1. Закон возрастания энтропии, как следствие вероятностного статистического описания макросистемы. Обратимые и необратимые процессы.

2. Закон сохранения энергии для тепловых процессов.

3. Максимальная работа. КПД тепловых машин. Цикл Карно.

4. Термодинамические функции: энтальпия, свободная энергия, термодинамический потенциал. Критерии термодинамического равновесия.

5. Вывод распределения Гиббса из условий теплового и диффузионного равновесия.

6. Вывод распределения Ферми и Бозе из распределения Гиббса. Распределение Больцмана как предельный случай распределения Бозе и Ферми.

7. Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга и Пти.

8. Методы получения низких температур и сжижения газов.

9. Фазовые переходы 1-го и 2-го рода.

10. Уравнение Клапейрона — Клаузиуса.

11. Необратимость процессов переноса. Уравнения диффузии, вязкости и теплопроводности.

12. Фазы и фазовые превращения. Условия равновесия фаз. Диаграммы состояния.

Электричество и магнетизм

1. Система уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной форме.

2. Принцип суперпозиции как следствие уравнений Максвелла.

3. Мультипольное разложение. Дипольный и квадрупольный моменты системы зарядов.

4. Электрическое поле в веществе. Макроскопические и микроскопические поля.

5. Поляризуемость и диэлектрическая проницаемость.

6. Объемная плотность энергии электрического поля.

7. Сегнетоэлектричество. Полярная и неполярная фазы. Точка Кюри.

8. Основные положения классической теории электропроводности.

9. Магнитная восприимчивость и магнитная проницаемость.

10. Электромагнитная индукция. Закон Ампера. Закон Фарадея.

11. Сила и момент сил, действующих на систему токов во внешнем магнитном поле. Уравнение моментов. Ларморова прецессия.

12. Диамагнетизм как следствие Ларморовой прецессии магнитного момента во внешнем поле.

13. Парамагнетизм. Микротеория магнитной восприимчивости парамагнетиков

14. Доменная структура ферромагнетиков.

15. Электрическая емкость проводников и конденсаторов

Электромагнитные волны

1. Плоские электромагнитные волны. Получение волнового уравнения для электромагнитных волн из уравнений Максвелла.

2. Поляризация электромагнитных волн. Линейная, эллиптическая и круговая поляризация.

3. Излучение электрического диполя.

4. Электронный и ядерный магнитные резонансы.

5. Интерференция электромагнитных волн.

6. Дифракция Фраунгофера и дифракция Френеля. Зоны Френеля.

7. Дифракционная решетка.

8. Дифракция рентгеновских лучей на кристаллической решетке. Условие Брегга — Вульфа.

9. Основные законы геометрической оптики.

10. Световые волны на границе раздела изотропных сред. Законы отражения и преломления света как следствие уравнений Максвелла.

11. Формулы Френеля. Закон Брюстера. Полное внутреннее отражение.

12. Одноосные и двуосные кристаллы. Двойное лучепреломление.

13. Распространение электромагнитных волн в анизотропных средах

14. Эффект Керра.

15. Эффект Фарадея.

16. Классическая линейная теория дисперсии и поглощения света.

Излучение

1. Равновесное тепловое излучение. Плотность энергии излучения.

2. Спонтанное испускание и поглощение света. Вынужденное испускание.

3. Активные среды с инверсной заселенностью. Эффект насыщения. Принцип действия лазера.

4. Классическая теория нелинейной восприимчивости. Оптическое детектирование. Генерация 2-й гармоники.

Квантовая физика

1. Временное уравнение Шредингера. Уравнение Шредингера для стационарных состояний.

2. Движение частицы в поле потенциального барьера. Надбарьерное отражение.

3. Движение частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Собственные значения и собственные функции уравнения Шредингера.

4. Закон сохранения импульса в квантовой механике. Импульс — квантовое число при движении свободного электрона.

5. Момент импульса в квантовой механике. Оператор момента импульса и его свойства.

6. Движение электрона в центральном поле (атом водорода).

7. Оператор спина и его связь с операцией бесконечно малого поворота.

8. Сложение орбитального и спинового моментов электрона.

9. Принцип неразличимости одинаковых частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Принцип Паули.

10. Заполнение электронных оболочек в атомах. Правило Хунда.

11. Гетерополярная (ионная) и гомеополярная (ковалентная) связи.

12. Вывод распределения Ферми и Бозе из распределения Гиббса. Распределение Больцмана как предельный случай распределения Бозе и Ферми.

13. Физический смысл коммутативности операторов и связь с соотношением неопределенностей.

14. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Принцип Паули

ПРОФИЛЬ

«ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ»

I. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

Электростатика. Закон Кулона. Теорема Гаусса. Проводники в электрическом поле. Работа электрических сил, потенциал электрического поля. Уравнение Пуассона и Лапласа. Потенциал объемных и поверхностных зарядов. Двойной электрический слой. Энергия взаимодействия электрических зарядов. Энергия электрического поля. Пондермоторные силы.

Диэлектрики. Поляризация диэлектриков. Свободные и связанные заряды. Уравнение электрического поля в произвольной среде. Пондермоторные силы в диэлектриках. Энергия электрического поля в диэлектриках. Тензор напряжений электрического поля. Пьезоэлектрики. Сегнетоэлектрики.

Магнитостатика. Магнитное поле постоянных токов. Сила Лоренца. Векторный потенциал магнитного поля. Уравнения магнитного поля. Потенциальные и соленоидальные магнитные поля. Граничные условия в магнитном поле токов. Пондермоторные силы в магнитном поле. Взаимная индукция и самоиндукция линейных проводников.

Магнитное поле в веществе. Намагниченность магнитов. Уравнения макроскопического магнитного поля в магнетиках. Механизмы намагничивания магнетиков. Теорема Лармора. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Ферромагнетизм.

Электромагнитное поле в неподвижной среде. Электромагнитные волны. Уравнения Максвелла. Теорема Пойнтинга. Уравнение для потенциалов электромагнитного поля. Решение волнового уравнения. Запаздывающие и опережающие потенциалы. Скорость распространения электромагнитных возмущений.

Квазистационарное электромагнитное поле. Глубина проникновения магнитного поля в проводник. Скин-эффект.

Распространение электромагнитного поля в волноводах. Критическая длина волны. Фазовая и групповая скорости. Дисперсия.

Электромагнитные колебания в полых резонаторах.

Излучение заряженных частиц. Условия излучения в неограниченном пространстве. Поле излучения системы зарядов. Волновая зона. Дипольное излучение осциллятора. Излучение релятевистской частицы. Магнитотормозное излучение. Переходное излучение. Черенковское излучение электромагнитных волн в среде. Спонтанное и индуцированное излучение. Вынужденное комбинационное рассеяние.

Численные методы решения краевых задач электродинамики. Метод конечных разностей. Быстрое преобразование Фурье, методы прогонки и циклической редукции. Метод конечных элементов. Вариационные разностные методы. Функция Грина. Метод конечных элементов.

II. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Линейные цепи. Методы расчета линейных электрических цепей в стационарном режиме. Уравнения Кирхгофа. Метод комплексных амплитуд. Метод контурных токов. Метод узловых напряжений. Метод эквивалентного генератора. Цепи с зависимыми источниками. Цепи с взаимными индуктивностями.

Методы расчета линейных цепей в нестационарных режимах. Классический метод. Операторный метод (преобразование Лапласа). Метод переменных состояний. Спектральный метод (преобразование Фурье). Интеграл Дюамеля. Цепные схемы, передаточные функции. Обратная связь, электрические фильтры.

Цепи с распределенными параметрами. Длинные линии. Телеграфные уравнения. Решение телеграфных уравнений в стационарном режиме. Падающие и отраженные волны. Распределение токов и напряжений в линии. Входное сопротивление линии. Согласование длинных линий.

Решение телеграфных уравнений в нестационарном режиме. Переходные процессы при коммутации предварительно заряженных линий.

Синтез линейных электрических цепей. Синтез пассивных двухполюсников. Свойства входных функций пассивных двухполюсников. Положительные вещественные функции. Критерии физической реализуемости. Алгоритм Кауэра. Алгоритм Фостера.

Элементы синтеза четырехполюсника. Синтез четырехполюсников по трем заданным Z- или Y-параметрам, по передаточной функции в виде Г-образного звена из rC- или rL-элементов. Синтез неуравновешенных четырехполюсников в виде каскадного соединения.

Нелинейные цепи. Методы расчета нелинейных цепей постоянного тока. Метод условной линеаризации. Графические методы – лестничная структура, схемы с двумя узлами. Метод кусочно-линейной аппроксимации. Трансформатор с ферромагнитным сердечником. Цепи с ферромагнетиками. Феррорезонанс.

Методы расчета нелинейных цепей в нестационарном режиме. Метод интегрируемой аппроксимации. Метод кусочно-линейной аппроксимации. Метод медленно меняющихся амплитуд. Метод малого параметра. Метод интегральных уравнений. Вариационные методы. Цепи с инерционными элементами, параметрические цепи.

III. СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

Газы. Основы кинетической теории газов. Давление газа, уравнение состояния идеального газа. Распространение звуковых волн в идеальном газе. Ударные волны в идеальном газе. Эффективное сечение и средняя длина свободного пробега. Процессы переноса.

Плазма. Основные понятия. Кинетическая теория плазмы, распределение частиц по скоростям, эффективные сечения и частоты столкновений. Механизмы ионизации и рекомбинации в плазме. Термическая ионизация, уравнение Саха. Дебаевский радиус. Плазменная частота. Испускание и поглощение фотонов. Диффузия и дрейф частиц. Амбиполярная диффузия. Соотношение между подвижностью и коэффициентами диффузии.

Проводимость низкотемпературной плазмы. Проводимость полностью ионизированного газа (формула Спитцера). Образование непрерывного спектра в плазме. Свободно-свободные и свободно-связанные переходы в нагретом ионизированном газе.

Системы и методы плазменной энергетики. Плазменный пиролиз органических веществ. Плазменные системы переработки токсичных отходов. Генераторы низкотемпературной плазмы (плазмотроны), физические основы и техническая реализация.

Жидкости. Макроскопические свойства жидкостей. Силы взаимодействия молекул. Явление переноса в жидкостях.

Твердые тела. Кристаллическая решетка. Силы связи в решетке. Электронный газ, модель потенциальной ямы Шоттки. Зонная модель. Проводники, полупроводники, диэлектрики. Работа выхода. Явление сверхпроводимости.

IV. ВЕЩЕСТВО В СИЛЬНОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Эмиссия заряженных частиц с поверхности вещества. Эмиссия электронов из твердого. Термоэмиссия, автоэлектронная эмиссия, фотоэмиссия, вторичная электронная эмиссия, взрывная эмиссия, ионная эмиссия.

Газовый разряд. Формы разряда в газах. Самостоятельный и несамостоятельный разряды. Лавинный разряд. Закон Пашена. Стримерная форма разряда, переход от стримера к канальной форме разряда. Коронный и тлеющий разряды. Дуговой разряд. Изоляционные свойства газовых диэлектриков. Сильноточный газовый разряд в плотных средах.

Прохождение тока через жидкость. Проводимость электролитов. Топливные элементы. Технический электролиз. Проводимость жидких изоляторов. Диэлектрические потери. Электрическая прочность и пробой жидких диэлектриков. Ударные волны, генерируемые в конденсированной среде. Разряд в жидкостях.

Проводники, твердые диэлектрики, полупроводники в сильных полях. Проводимость. Криопроводимость. Сверхпроводимость. Эффект Холла. Термоэлектричество. Электрический взрыв проводников. Диэлектрические потери, электрическая прочность, пробой в твердом диэлектрике. Поверхностный разряд.

Механическая прочность диэлектриков в сверхсильных магнитных полях. Магнитные материалы.

Сверхпроводимость в постоянных и высокочастотных полях. Эффект Месснера. Остаточное сопротивление.

V. НАКОПЛЕНИЕ И КОММУТАЦИЯ ЭНЕРГИИ БОЛЬШИХ МОЩНОСТЕЙ

Пространственно-временная концентрация энергии. Способы накопления энергии и типы накопителей. Характеристики накопителей энергии, сравнительные характеристики различных типов накопителей. Максимальная плотность энергии у различных типов накопителей, физические ограничения на плотность энергии в накопителях. Способы передачи энергии от накопителей к нагрузке, оптимизация процесса передачи энергии. Согласование энергии различных видов.

Емкостные накопители энергии. Емкостные накопители энергии на основе малоиндуктивных импульсных конденсаторов. Принципы построения генераторов импульсных напряжений и генераторов импульсных токов. Классификация емкостных накопителей энергии. Защита конденсаторных батарей на высокую энергию. Коммутаторы емкостных накопителей энергии на основе конденсаторов (вакуумные, газовые, жидкостные разрядники, разрядные колонны). Схемы поджига и синхронизации разрядников. Особенности работы коммутаторов в генераторах импульсных напряжений и генераторах импульсных токов.

Методы формирования импульсов с помощью емкостных накопителей энергии. Емкостные накопители на линиях с распределенными параметрами. Первичные и промежуточные емкостные накопители энергии. Особенности работы емкостных накопителей энергии на линиях с распределенными параметрами в режиме заряда (хранения) и разряда. Оптимизация по напряжению и мощности накопителей энергии на линиях коаксиального типа с распределенными параметрами. Коммутаторы емкостных накопителей энергии на линиях с распределенными параметрами различных типов (газовые, жидкостные и твердотельные разрядники, разрядники V/N-типа, рельсовые разрядники). Особенности работы коммутаторов накопителей на линиях, конструкции коммутаторов. Методы обеспечения режима многоканальной коммутации.

VI. ФИЗИКА СИЛЬНОТОЧНЫХ ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Распространение сильноточных пучков в вакууме. Предельный ток, ограниченный пространственным зарядом. Предельный ток Альвена. Формирование виртуального катода. Нейтрализованный, самосфокусированный пучок. Е-слой. Магнитная изоляция в диодах и линиях передач.

Распространение сильноточных пучков в плазме и газе. Электромагнитные поля, возбуждаемые пучком при инжекции. Равновесное состояние пучка в плазме. Нестационарная ионизация при инжекции пучка в газах. Токовая нейтрализация пучка.

Генерация сильноточных электронных и ионных пучков. Взрывная эмиссия в сильноточном диоде. Плоский диод в режиме Богуславского—Ленгмюра. Парапотенциальный поток в плоском диоде. Коаксиальный диод с магнитной изоляцией. Сильноточные ионные диоды – диод с магнитной изоляцией, рефлексный диод, пинч-рефлексный диод.

Волны и неустойчивости в сильных пучках заряженных частиц. Волны в холодной стационарной плазме. Продольные волны в холодной дрейфующей плазме. Собственные волны в сильноточных пучках. Волны пространственного заряда в замагниченном пучке.

Электростатическая и электродинамическая неустойчивости волн пространственного заряда. Циклотронный резонанс. Неустойчивости в многокомпонентной системе.

Физика и техника устройств на основе низкотемпературной плазмы

Особенности физических процессов в низкотемпературной плазме. Плазмохимические, металлургические и другие устройства на основе совместного применения мощных электрических дуговых разрядов и электромагнитных полей. Физика приэлектродных процессов в сильноточных дуговых разрядах.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Зельдович И.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966.
2. Шнеерсон Г.А. Поля и переходные процессы в аппаратуре сверхсильных токов. Изд. 2-е. М.: Энергоатомиздат, 1992.
3. Бурцев В.А., Калинин Н.В., Лучинский А.В. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. М.: Энергоатомиздат, 1990.
4. Техника больших импульсных токов и магнитных полей, Комельков В.С., ред. М. Атомиздат, 1970;
5. Монтгомери Д. В., Получение сильных магнитных полей с помощью соленоидов..., пер. с англ., М.:Мир, 1971;
6. Кнопфель Г., Сверхсильные импульсные магнитные поля, пер. с англ., М.:Мир, 1972;
7. Шнеерсон Г.А. Основы техники получения сильных и сверхсильных импульсных магнитных полей. Учебное пособие. Изд. СПбГПУ, 2010.

СПИСОК ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ

1. Использование электрических и магнитных полей для накопления энергии. Сравнительные характеристики емкостных и индуктивных накопителей энергии.
2. Основные типы конструкций емкостных накопителей энергии. Генераторы импульсных напряжений и токов. Особенности малоиндуктивных генераторов импульсных токов.

3. Основные типы коммутаторов емкостных накопителей энергии. Газовые и твердотельные разрядники. Полупроводниковые ключи.
4. Конструкции индуктивных накопителей энергии, проблемы коммутации индуктивных накопителей энергии и пути их решения.
5. Поверхностный эффект в электрофизических устройствах и установках. Его влияние на конфигурацию магнитного поля и распределение тока.
6. Импульсный электрические разряды в газах и жидкостях. Электрический разряд в воде и его применение для формирования ударных волн.
7. Получения сильных и сверхсильных импульсных магнитных полей в много – и одновитковых магнитах. Проблемы нагрева и механического разрушения магнитов и пути решения этих проблем.
8. Получение сверхсильных магнитных полей методом магнитной кумуляции.
9. Электрический взрыв проводников (ЭВП). Физическая картина явления. Применение ЭВП.

ПРОФИЛЬ
«ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА»

1. ТЕРМОДИНАМИКА

Термодинамика и ее метод. Параметры состояния. Понятие о термодинамическом процессе. Идеальный газ. Законы идеального газа. Смеси идеальных газов.

Первый закон термодинамики. Теплота. Опыт Джоуля. Эквивалентность теплоты и работы. Закон сохранения и превращения энергии. Внутренняя энергия и внешняя работа. Энтальпия. Обобщенные силы и обобщенные координаты. Уравнение первого закона термодинамики.

Второй закон термодинамики. Циклы. Понятие термического КПД. Источники теплоты. Обратимые и необратимые процессы. Формулировка второго закона термодинамики. Цикл Карно. Теорема Карно. Термодинамическая шкала температур. Энтропия. Изменение энтропии в необратимых процессах. Объединенное уравнение первого и второго законов термодинамики. Энтропия и термодинамическая вероятность.

Дифференциальные уравнения термодинамики. Основные математические методы термодинамики. Уравнение Максвелла. Частные производные внутренней энергии и энтальпии. Теплоемкости.

Равновесие термодинамических систем и фазовые переходы. Гомогенные и гетерогенные термодинамические системы. Термодинамическое равновесие. Условия фазового равновесия. Фазовые переходы. Уравнение Клапейрона—Клаузиуса. Фазовые переходы при искривленных поверхностях раздела.

Термодинамические свойства веществ. Термические и калорические свойства жидкостей. Критическая точка. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Термические и калорические свойства реальных газов и влажного воздуха. Уравнение состояния реальных газов. Термодинамические свойства веществ на линии фазовых переходов и в критической точке. Термодинамические свойства вещества в метастабильном состоянии.

Основные термодинамические процессы. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Политропные процессы. Дросселирование, эффект Джоуля—Томпсона. Адиабатическое расширение реального газа в вакуум (процесс Джоуля). Процесс смешения. Процессы сжатия в компрессоре.

Процессы истечения газов и жидкостей. Параметры торможения. Сопло, диффузор. Полное и статическое давление. Уравнение Бернулли. Число Маха. Показатель адиабаты.

Термодинамические циклы. Термический КПД. Эксергия. Циклы Карно, Отто, Дизеля, Брайтона, Ренкина. Регенерация теплоты в цикле.

Холодильные циклы. Обратные тепловые циклы и процессы. Холодильные установки. Цикл воздушной холодильной установки. Цикл парокомпрессионной холодильной установки. Цикл пароэжекторной холодильной установки. Понятие о цикле абсорбционной холодильной установки. Цикл термоэлектрической холодильной установки. Принцип работы теплового насоса. Методы сжижения газов.

Основы химической термодинамики. Термохимия. Закон Гесса. Уравнения Кирхгофа. Химическое равновесие и второй закон термодинамики. Константы равновесия и степень диссоциации. Тепловой закон Нернста.

II. ТЕПЛО- И МАССООБМЕН

Теплопроводность. Уравнение сохранения энергии, закон Фурье, краевые условия задач теплопроводности. Механизм теплопроводности веществ в твердом (кристаллическом и аморфном), жидком и газообразном состояниях. Теплопроводность через плоскую стенку. Число Био. Коэффициент теплопередачи. Теплопроводность через цилиндрическую стенку, критический диаметр изоляции. Нестационарное температурное поле в плоской пластине, регулярный режим охлаждения (нагревания) тел. Метод перемножения решений.

Конвективный теплообмен в однокомпонентной среде. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в сплошной среде. Эмпирические законы переноса (Ньютона, Фурье, Фика). Приведение уравнений к безразмерному виду, критерии подобия. Физический смысл чисел подобия конвективного тепло- и массообмена. Тройная аналогия.

Теплообмен при внешнем обтекании тела. Система уравнений теплового пограничного слоя. Анализ теплообмена при ламинарном течении в пограничном слое методами размерностей. Автомодельное решение Польгаузена. Соотношения для расчета теплообмена при различных числах Прандтля. Условные толщины пограничного слоя. Интегральные уравнения импульса и энергии.

Переход ламинарного течения в турбулентное, влияние на турбулентный переход параметров набегающего потока, массовых сил, характеристик обтекаемой поверхности. Теоретические и экспериментальные аспекты перехода ламинарного течения в турбулентное. Осредненные уравнения движения и энергии для турбулентного течения. Кажущиеся напряжения турбулентного трения, турбулентный тепловой поток. Структура пристенной турбулентной области. Аналогия Рейнольдса для теплообмена при турбулентном течении в пограничном слое, ее модернизированный вариант (двухслойная схема), расчетные соотношения для теплоотдачи. Конвективный теплообмен при высоких скоростях течения. Адиабатическая температура стенки, коэффициент восстановления, методы расчета теплоотдачи. Теплообмен на проницаемой поверхности. Теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра и пучков труб.

Теплообмен при течении жидкости в каналах. Математическое описание, среднемассовая скорость и температура. Стабилизированный теплообмен при граничных условиях 2-го рода. Профили скорости, температуры, теплового потока при ламинарном и турбулентном течении, интеграл Лайона. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в начальном термическом участке круглой трубы. Начальный гидродинамический участок. Стабилизированный теплообмен при ламинарном течении. Стабилизированный теплообмен при турбулентном течении, результаты исследований для неметаллических жидкостей и жидких металлов, расчетные формулы. Влияние переменности свойств жидкости на теплообмен при течении капельных жидкостей и газов в трубах.

Теплообмен при свободной конвекции. Механизм и математическое описание, приближение Буссинеска. Развитие пограничного слоя на вертикальной плоской поверхности, расчет коэффициента теплоотдачи. Свободная конвекция на поверхности горизонтального цилиндра и сферы. Свободная конвекция в замкнутых объемах; теплопередача через прослойку.

Теплообмен при фазовых превращениях. Математическое описание и модели двухфазных сред. Универсальные условия совместности на межфазных границах. Специальные условия совместности для процессов тепло- и массообмена. Неравновесность на межфазных границах, квазиравновесное приближение.

Пленочная и капельная конденсация. Теплообмен при пленочной конденсации на вертикальной поверхности: решение Нуссельта, анализ основных допущений. Конденсация на поверхности горизонтального цилиндра. Конденсация движущегося пара. Качественные закономерности капельной конденсации.

Кипение жидкостей. Условия зарождения парового зародыша в объеме перегретой жидкости и на твердой поверхности нагрева. Основные закономерности роста и отрыва паровых пузырьков. «Кривая кипения». Теплообмен при пузырьковом кипении в большом объеме, теплообмен при пленочном кипении. Кризисы кипения в большом объеме.

Режимы течения двухфазных потоков в трубах. Характер изменения среднемассовой температуры жидкости, температуры стенки, расходного массового паросодержания по длине обогреваемого канала. Кипение жидкости, недогретой до температуры насыщения. Кризис теплоотдачи при кипении в трубах.

Совместные процессы тепло- и массопереноса. Общая характеристика процессов переноса массы и энергии. Состав смеси, диффузионные потоки, коэффициент диффузии. Перенос энергии и импульса в смеси.

Аналогия процессов тепло- и массообмена. Расчет интенсивности переноса энергии и массы компонента при умеренных и высоких скоростях массообмена.

Тепло- и массообмен при химических превращениях. Диффузия, сопровождаемая гомогенной или гетерогенной химической реакцией. Процессы на поверхности тела, обтекаемого гиперзвуковым потоком газа.

Сублимация поверхности тела, обтекаемого высокотемпературным газовым потоком. Коэффициент аккомодации. Зависимость скорости сублимации от температуры поверхности тела.

Термическое разложение тела, обтекаемого высокотемпературным потоком химически активного газа.

Химическое взаимодействие на поверхности тела, обтекаемого высокотемпературным газовым потоком.

Разрушение композиционных материалов в высокотемпературном газовом потоке. Взаимодействие процессов горения и испарения.

Теплообмен излучением. Основные понятия и законы излучения. Природа излучения. Интегральная и спектральная плотности потока излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способности тел. Абсолютно черное тело.

Законы теплового излучения (Планка, Вина, Стефана—Больцмана, Кирхгофа, Ламберта). Излучение реальных тел. Радиационные свойства реальных материалов.

Теплообмен излучением в диатермичной среде. Геометрия излучения (локальные и средние угловые коэффициенты). Зональный метод расчета теплообмена в системе тел, разделенных прозрачной средой.

Теплообмен излучением в поглощающих и излучающих средах. Излучение и поглощение в газах. Основной закон переноса энергии излучения в излучающе-поглощающей среде. Собственное излучение газа. Методы расчета теплообмена.

3. ОСНОВЫ РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ И СРЕДСТВ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ

Современные теплообменные системы: парогенераторы тепловых электрических станций, ядерные энергетические реакторы, камеры сгорания ракетных двигателей, бланкет

термоядерного реактора. Теплообменные аппараты: рекуперативные, регенеративные, смесительные.

Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Средний температурный напор. Расчет поверхности теплообмена, конечной температуры теплоносителей. Основы гидравлического расчета теплообменников. Определение мощности, затрачиваемой на прокачку теплоносителей.

Особенности выбора средств и методов тепловой защиты. Способы тепловой защиты от конвективного и совместного (конвективно-лучистого) нагрева.

Проникающее охлаждение. Эффект вдува. Теплообмен между пористой матрицей и фильтрующимся охладителем.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Барилович В.А., Смирнов Ю.А. Основы технической термодинамики и теории тепло- и массообмена: Учебн.пособие.-СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2014. 453с.
2. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: учебник для вузов по направлению подготовки "Теплоэнергетика". — М.: МЭИ, 2011.— 558 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Теория тепломассообмена /Под ред. А.И. Леонтьева. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997.
2. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. Изд. 4-е. М.: Энергоатомиздат, 1983.
3. Сычев В.В. Дифференциальные уравнения термодинамики. Изд. 2-е. М.: Высш. шк., 1991.
4. Теплоэнергетика и теплотехника (справочная серия). В 4 книгах. Книга вторая. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент. М.: Изд- во МЭИ.
5. Теоретическая механика. Термодинамика. Теплообмен. / Энциклопедия. Машиностроение. Т. 1–2 / Под общ. Ред. К.К. Колесникова, А.И. Леонтьева. М.: Машиностроение, 1999.
6. Шпильрайн Э.Э., Кессельман П.М. Основы теории теплофизических свойств веществ. М.: Энергия, 1977.
7. Лабунцов Д.А., Ягов В.В. Механика двухфазных сред. М.: Изд-во МЭИ, 2000.
8. Базаров И.П. Термодинамика. Изд. 2-е. М.: Высшая школа, 1976.
9. Новиков И.И. Термодинамика. М.: Машиностроение, 1984.
10. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. М.: Атомиздат, 1979.
11. Теплообмен в ядерных энергетических установках / Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А. Соловьев С.Л. – 2-е изд., перер. и доп.М.: Изд-во МЭИ, 2003.

СПИСОК ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ

1. Термодинамика и ее метод. Параметры состояния. Понятие о термодинамическом процессе. Идеальный газ.
2. Первый закон термодинамики. Теплота. Опыт Джоуля. Внутренняя энергия и внешняя работа. Энтальпия. Уравнение первого закона термодинамики.

3. Второй закон термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Формулировка второго закона термодинамики. Циклы Цикл и теорема Карно. Термодинамическая шкала температур. Энтропия. Изменение энтропии в необратимых процессах. Объединенное уравнение первого и второго законов термодинамики. Энтропия и термодинамическая вероятность.
4. Равновесие термодинамических систем и фазовые переходы. Гомогенные и гетерогенные термодинамические системы. Термодинамическое равновесие. Условия фазового равновесия. Уравнение Клапейрона—Клаузиуса. Фазовые переходы при искривленных поверхностях раздела.
5. Термодинамические свойства веществ. Термические и калорические свойства жидкостей. Критическая точка. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Термические и калорические свойства реальных газов и влажного воздуха. Уравнение состояния реальных газов. Термодинамические свойства веществ на линии фазовых переходов и в критической точке.
6. Основные термодинамические процессы: изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный. Политропные процессы. Дросселирование, эффект Джоуля—Томпсона. Процессы сжатия в компрессоре.
7. Термодинамические циклы. Термический КПД. Эксергия. Циклы Карно, Отто, Дизеля, Брайтона, Ренкина. Регенерация теплоты в цикле.
8. Холодильные циклы. Цикл воздушной холодильной установки. Цикл парокомпрессионной холодильной установки. Понятие о цикле абсорбционной холодильной установки. Принцип работы теплового насоса.
9. Основы химической термодинамики. Химическое равновесие и второй закон термодинамики. Тепловой закон Нернста.
10. Теплопроводность. Закон Фурье, краевые условия задач теплопроводности. Теплопроводность через плоскую стенку. Коэффициент теплопередачи. Теплопроводность через цилиндрическую стенку, критический диаметр изоляции. Нестационарное температурное поле в пластине, регулярный тепловой режим.
11. Конвективный теплообмен в однокомпонентной среде. Уравнения Навье-Стокса и энергии. Эмпирические законы переноса (Ньютона, Фурье, Фика). Дифференциальные уравнения и краевые условия. Основы теории подобия. Физический смысл чисел подобия. Тройная аналогия.
12. Теплообмен при внешнем обтекании тела. Анализ теплообмена при ламинарном течении в пограничном слое методами размерностей. Автомодельное решение Польгаузена. Соотношения для расчета теплообмена при различных числах Прандтля.
13. Переход ламинарного течения в турбулентное. Осредненные уравнения движения и энергии для турбулентного течения. Кажущиеся напряжения турбулентного трения, турбулентный тепловой поток. Структура пристенной турбулентной области. Аналогия Рейнольдса для теплообмена при турбулентном течении в пограничном слое. Конвективный теплообмен при высоких скоростях течения. Адиабатическая температура стенки, коэффициент восстановления, расчет коэффициента теплоотдачи. Теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра и пучков труб.
14. Теплообмен при течении жидкости в каналах. Профили скорости, температуры, теплового потока при ламинарном и турбулентном течении. Интеграл Лайона. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в начальном участке круглой трубы. Стабилизированный теплообмен при ламинарном и турбулентном течении. Влияние

переменности свойств жидкости на теплообмен при течении капельных жидкостей и газов в трубах.

15. Теплообмен при свободной конвекции. Приближение Буссинеска. Развитие пограничного слоя на вертикальной плоской поверхности, расчет коэффициента теплоотдачи. Свободная конвекция на поверхности горизонтального цилиндра и шара. Свободная конвекция в замкнутых объемах; теплопередача через прослойку.
16. Теплообмен при фазовых превращениях. Пленочная и капельная конденсация. Теплообмен при пленочной конденсации на вертикальной поверхности: решение Нуссельта, анализ основных допущений. Конденсация на поверхности горизонтального цилиндра. Конденсация движущегося пара.
17. Кипение жидкостей. Условия зарождения парового зародыша. Основные закономерности. Рост, отрыв и схлопывание паровых пузырьков. «Кривая кипения». Теплообмен при пузырьковом кипении в большом объеме, теплообмен при пленочном кипении. Кризисы кипения в большом объеме.
18. Совместные процессы тепло- и массопереноса. Общая характеристика процессов переноса массы. Состав смеси, диффузионные потоки, коэффициент диффузии. Перенос энергии и импульса в смеси. Аналогия процессов тепло- и массообмена.
19. Режимы течения двухфазных потоков в трубах. Кипение жидкости, недогретой до температуры насыщения. Кризис теплоотдачи при кипении в трубах.
20. Теплообмен излучением. Основные понятия и законы излучения. Природа излучения. Интегральная и спектральная плотности потока излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способности тел. Абсолютно черное тело.
21. Законы теплового излучения (Планка, Вина, Стефана—Больцмана, Кирхгофа, Ламберта). Излучение реальных тел. Радиационные свойства реальных материалов.
22. Теплообмен излучением в диатермичной среде. Геометрия излучения (локальные и средние угловые коэффициенты).
23. Теплообмен излучением в поглощающих и излучающих средах. Излучение и поглощение в газах.
24. Теплообменные аппараты: рекуперативные, регенеративные, смесительные. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Средний температурный напор. Расчет поверхности теплообмена, конечной температуры теплоносителей. Основы гидравлического расчета теплообменников.

ПРОФИЛЬ

«ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ»

I. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

1.Элементы кинематики. Модели в механике. Системы отсчета, траектория, длина пути, вектор перемещения. Скорость, ускорение, угловая скорость, угловое ускорение.

2. Динамика материальной точки и поступательное движение твердого тела. Законы Ньютона. Законы сохранения импульса, момента импульса.

3. Работа и энергия. Кинетическая и потенциальная энергии. Графическое представление энергии.

4. Механика твердого тела. Момент инерции. Кинетическая энергия вращения. Момент сила. Момент импульса. Деформации твердого тела.

5. Тяготение. Элементы теории поля. Законы Кеплера. Закон всемирного тяготения. Сила тяжести и вес. Поле тяготения, напряженность. Работа в поле тяготения, потенциал. Космические скорости. Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции.

6. Элементы механики жидкости. Давление в жидкости и газе. Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли и следствия из него. Вязкость, методы ее определения. Движение тел в жидкостях и газах.

7. Элементы специальной теории относительности. Преобразования Галилея. Постулаты теории относительности. Преобразования Лоренца, следствия из них. Основной закон релятивистской динамики материальной точки. Закон взаимодействия массы и энергии.

II. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ.

1. Молекулярно-кинетическая теория идеальных газов. Опытные законы идеальных газов. Уравнение Менделеева-Клапейрона. Основное уравнение идеальных газов. Закон Максвелла для распределения молекул идеального газа по скоростям и энергиям теплового движения. Барометрическая формула. Распределение Больцмана. Распределение Максвелла-Больцмана. Среднее число столкновений и средняя длина свободного пробега. Опытное обоснование молекулярно-кинетической теории.

2. Основы термодинамики. Первое начало термодинамики. Работа газа при изменении его объема. Теплоемкость. Изопроцессы, адиабатический процесс. Обратимые и необратимые процессы. Энтропия и ее свойства. Второе начало термодинамики. Цикл Карно. Уравнение Ван-дер-Ваальса и его изотермы. Эффект Джоуля-Томсона.

III. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ.

1 .Электростатика. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Электростатическое поле, напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции электростатических полей. Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме. Применение теоремы Гаусса. Циркуляция вектора напряженности электростатического поля. Потенциал электростатического поля. Типы диэлектриков. Поляризация диэлектриков. Поляризованность. Напряженность поля в диэлектриках. Теорема Гаусса для электростатического поля в диэлектрике. Условия на границе раздела двух диэлектрических сред. Проводники в электростатическом поле. Электрическая емкость уединенного проводника. Конденсаторы. Энергия системы зарядов, уединенного проводника, конденсатора. Энергия электростатического поля.

2. Постоянный электрический ток. Электрический ток, сила, плотность тока. Сторонние силы. ЭДС и напряжение. Закон Ома. Работа и мощность тока. Закон Джоуля-

Ленца. Закон Ома для неоднородного участка цепи. Правила Кирхгофа для разветвленных цепей.

3. Магнитное поле и его характеристики. Закон Био-Савара-Лапласа. Закон Ампера. Магнитная постоянная. Единицы магнитной индукции и напряженности магнитного поля. Магнитное поле движущегося заряда. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Движение заряженных частиц в магнитное поле. Эффект Холла. Циркуляция магнитной индукции в вакууме. Поток вектора магнитной индукции. Теорема Гаусса для магнитной индукции. Работа по перемещению проводника и контура с током в магнитном поле.

4. Электромагнитная индукция. Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея и его вывод из закона сохранения энергии. Вращение рамки с током в магнитном поле. Индуктивность контура, самоиндукция. Взаимная индукция. Энергия магнитного поля.

5. Магнитные свойства вещества. Магнитные моменты электронов и атомов. Намагниченность. Магнитное поле в веществе. Условия на границе раздела двух магнетиков.

6. Электромагнитная теория Максвелла. Ток смещения. Уравнения Максвелла. Волновые уравнения в диэлектрике. Вектор Умова-Пойтинга. Электромагнитные волны в металлах.

IV. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ.

1. Механические и электромагнитные колебания. Гармонические колебания (механические, свободные, их сложение). Дифференциальное уравнение свободных затухающих и вынужденных колебаний. Амплитуда и фаза вынужденных колебаний. Резонанс. Переменный ток. Резонанс напряжений. Резонанс токов. Мощность, выделяемая в цепи переменного тока.

2. Упругие волны. Волновые процессы. Продольные и поперечные волны. Уравнение бегущей волны. Фазовая скорость. Волновое уравнение. Принцип суперпозиции. Групповая скорость. Интерференция волн. Стоячие волны. Дифференциальное уравнение электромагнитной волны. Энергия электромагнитной волн. Импульс электромагнитного поля.

V. ОПТИКА.

1. Элементы геометрической и электронной оптики. Основные законы оптики. Полное отражение. Изображение предметов с помощью линз. Основные фотометрические величины и их единицы.

2. Интерференция света. Когерентность и монохроматичность световых волн. Интерференция. Интерференция света. Методы наблюдения интерференции света. Интерференция света в тонких пленках.

3. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция Френеля на круговом отверстии и диске. Дифракция Фраунгофера (на одной щели, на дифракционной решетке). Пространственная решетка. Рассеяние света. Дифракция на пространственной решетке. Формула Вульфа-Брэгга. Разрешающая способность.

4. Взаимодействие электромагнитных волн с веществом. Дисперсия света. Электронная теория. Абсорбция света. Эффект Доплера.

5. Поляризация света. Естественный и поляризованный свет. Угол Брюстера. Анализ поляризованного света. Эффект Керра. Эффект Фарадея (вращение плоскости поля поляризации).

6. Квантовая теория излучения. Тепловое излучение и его характеристики. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана, смещение Вина. Формулы Релэя-Джинса и Планка. Оптическая пирометрия. Виды фотоэффекта. Три закона внешнего фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Масса и импульс фотона, давление света. Эффект Комптона.

VI. АТОМНАЯ ФИЗИКА.

1. *Боровская теория атома.* Закономерности в атомных спектрах. Модель атома Томсона. Опыты по рассеянию α - частиц. Ядерная модель атома. Постулаты Бора. Опыт Франка и Герца. Элементарная боровская теория водородного атома.

2. *Квантово-механическая теория водородного атома.* Гипотеза де-Бройля. Волновые свойства вещества. Уравнение Шредингера. Квантово-механическое описание движения микрочастиц. Свойства волновой функции. Квантование. Частица в бесконечно глубокой одномерной потенциальной яме. Атомы водорода.

3. *Многоэлектронные атомы.* Спектры щелочных металлов. Нормальный эффект Зеемана. Мультиплетность спектров и спин электрона. Момент количества движения в квантовой механике. Результирующий момент многоэлектронного атома. Аномальный эффект Зеемана. Распределение электронов в атоме по энергетическим уровням. Периодическая система элементов Менделеева. Рентгеновские спектры. Ширина спектральных линий.

4. *Молекулы и кристаллы.* Энергия молекулы. Молекулярные спектры. Комбинационное рассеяние света. Теплоемкость кристаллов. Эффект Мёссбауэра. Лазеры.

VII. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА.

1. *Введение.* Исторический обзор развития физики атомного ядра. Роль ядерной физики в научно – техническом прогрессе.

2. *Основные свойства атомных ядер*.

Состав, масса, энергия связи, формула Вейцзеккера, энергия отделения, заряд, спин, магнитный момент, модель Шмидта, радиус и форма, квадрупольный электрический момент, четность, статистика, изотопический спин. Свойства ядерных сил.

3. *Модели ядер.*

Классификация моделей. Гидродинамическая модель, введение в теорию деления. Модель Ферми – газа. Модель оболочек, схема построения модели ядерных оболочек, моменты и четности ядерных уровней, роль спин – орбитального взаимодействия. Обобщенная модель ядра, одночастичные состояния в несферической яме, вращательные состояния, колебательные состояния. Дипольные колебания, гигантский резонанс сечения фотоядерных реакций. Эффекты кластеризации в ядрах.

4. *Радиоактивность ядер.*

Типы радиоактивного распада. Радиоактивные семейства, законы радиоактивного распада, вековое уравнение.

α - распад. Законы сохранения при α - распаде, элементарная теория α - распада.

β-распад. Три вида β - распада. Гамильтониан β - взаимодействия. Введение в теорию β - распада. График Кюри. Разрешенные и запрещенные

β - переходы. Несохранение четности в слабых взаимодействиях. Двойной

β - распад.

γ - излучение ядер. Вероятность γ - переходов, мультипольность излучения, правила отбора. Каскадные γ - переходы. Внутренняя конверсия электронов. Ядерная изомерия. Эффект Мессбауэра.

5. *Взаимодействие излучения с веществом.*

Общая характеристика взаимодействия заряженных частиц, нейтронов и γ-квантов с веществом. Ионизационное торможение заряженных частиц. Формула Бора для удельной ионизации. Учет релятивистских эффектов и эффекта плотности. Зависимость ионизационных потерь от среды. Связь пробега с энергией. Радиационное торможение электронов. Излучение Вавилова-Черенкова. Взаимодействие нейтронов с веществом.

Взаимодействие γ-излучения с веществом. Фотоэффект. Рассеяние γ-излучения. Образование электрон-позитронных пар. Диффузия и замедление нейтронов. Закон Фика. Диффузионное уравнение. Длина диффузии. Альбедо. Уравнение возраста. Площадь миграции нейтронов. Термализация нейтронов.

6. *Общие закономерности ядерных реакций.*

Классификация ядерных реакций. Законы сохранения в ядерных реакциях: энергии, импульса, момента количества движения, четности, изоспина. Принцип детального равновесия.

7. *Ядерные реакции с образованием составного ядра.*

Модель составного ядра. Ядерные реакции в области квазидискретного спектра энергий возбуждения, формулы Брейта – Вигнера. Ядерные реакции в области непрерывного спектра энергий возбуждения составного ядра. Статистическая модель. Модель испарения, испарительный каскад, энергетические и угловые распределения вторичных частиц.

8. *Оптическая модель ядерных реакций.*

Комплексный ядерный потенциал. Широкие структуры в сечениях и их интерпретация. Оптический потенциал и его зависимость от массового числа и энергии налетающих частиц. Схема расчета сечений в оптической модели. Понятие силовой функции.

Дифракционное приближение для анализа процессов рассеяния и поглощения. Схема расчета сечений, учет прозрачности ядер. Схема расчета для заряженных частиц. Сравнение результатов расчета с экспериментом.

9. *Прямые ядерные реакции.*

Условия применимости модели прямого взаимодействия. Типы прямых взаимодействий: квазиупругое выбивание, срыв, подхват, реакции передачи. Прямые ядерные реакции под действием дейтонов: электрорасщепление дейтона в поле ядра, реакции срыва, теория Батлера.

Прямые ядерные реакции при высоких энергиях. Модель Сербера – Гольдбергера. Угловые распределения и угловые корреляции, энергетические спектры продуктов реакции, измерение энергии связи выбиваемых частиц. Импульсное приближение с плоскими и искаженными волнами.

Многочастичные ядерные реакции при высоких энергиях. Внутриядерный каскад, методы моделирования внутриядерного каскада на ЭВМ.

10. *Предравновесные ядерные реакции.*

Модель релаксации Ферми – газа, кинетическое уравнение, сравнение экспериментальных данных с предсказаниями модели. Экситонная модель, мастер – уравнение модели, оценка членов этого уравнения, мгновенный, интегральный и полный энергетический спектры испускаемых частиц, сравнение с экспериментальными данными.

11. *Фотоядерные реакции.*

Фотоядерные реакции в области гигантского дипольного резонанса. Основные экспериментальные данные о гигантском резонансе. Элементарная теория взаимодействия ядер с электромагнитным излучением, оценка зависимости от массового числа ядра мишени характеристик резонанса. Составное ядро и прямой фотоэффект. Описание гигантского дипольного резонанса в рамках одночастичной модели оболочек. Фоторасщепление ядер в области энергий выше гигантского резонанса, квазидейтонная модель. Кулоновское возбуждение ядер, механизм возбуждения.

12. *Деление ядер.*

Энергия деления, механизм деления, элементарная теория деления. Свойства осколков деления, мгновенные и запаздывающие нейтроны, механизмы образования, число и энергетические спектры, мгновенные гамма – кванты деления, распределение энергии деления, спонтанное деление. Атомная энергетика.

VIII. ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ.

1. Введение.

1.1 Основные этапы развития физики атомного ядра и частиц. Масштабы явлений микромира. Определение физики высоких энергий как науки об элементарных частицах и их взаимодействиях и превращениях при энергиях выше порогов образования пионов и проявления кварковой структуры материи. Познавательное значение физики элементарных частиц и ее роль в выработке современного мировоззрения. Неисчерпаемость материи и основные этапы развития знания о ее структуре. Познаваемость и объективность законов природы и их диалектический характер. Краткий очерк развития науки об элементарных частицах и техники эксперимента. Роль физики высоких энергий в научно-техническом прогрессе. Краткий очерк о современных научных центрах, связанных с исследованиями в области физики высоких энергий и физики элементарных частиц, современные и будущие ускорители.

1.2 Система единиц и системы отсчета, используемые в физике элементарных частиц. Элементы релятивистской кинематики. Общий случай преобразований Лоренца.

1.3 Фундаментальные взаимодействия (гравитационное, слабое, электромагнитное (электрослабое), сильное) и первичная классификация частиц по их участию в различных взаимодействиях. Фундаментальные степени свободы: лептоны, кварки, калибровочные бозоны - носители взаимодействия.

1.4 Основные характеристики частиц, законы сохранения.

2. *Физика пионов и нуклонов*.

2.1 Изоспин. Изоспиновая инвариантность сильных взаимодействий. Закон сохранения изоспина. Опыты по подтверждению закона сохранения изоспина. Изоспин системы частиц. Изоспиновая структура амплитуд рассеяния (NN, πN, $\pi\pi$, KN, ΛN, ΣN системы). Симметрия волновых функций и обобщенный принцип Паули. Возможные состояния системы двух нуклонов.

2.2 Формальная теория рассеяния. Релятивистская кинематика распада частиц, взаимодействий $2\rightarrow2$, $2\rightarrow3$, $2\rightarrow n$ частиц. Рассеяние частиц с произвольным спином. Метод Блатта-Биденхарна и метод спиральностей. Фазовый анализ. Уравнение Липпмана-Швингера. Решение уравнения Липпмана-Швингера для сепарабельного потенциала и потенциала произвольного вида. Амплитуда рассеяния вне массовой поверхности. Сравнительный анализ внемассового поведения амплитуд рассеяния нуклонов, пионов, К-мезонов на нуклонах.

2.3 Нуклон-нуклонное рассеяние. NN потенциал. Поляризация нуклонов при рассеянии.

2.4 Основные свойства пионов (масса, заряд, спин, изоспин, внутренняя четность, время жизни, моды распада). Образование пионов в нуклон-нуклонных соударениях. Пороговая энергия образования одиночных пионов. Изотопические соотношения между эффективными сечениями отдельных реакций однопионного рождения.

2.5 Рассеяние пионов на нуклонах. Энергетическая зависимость сечения упругого рассеяния пионов на нуклонах. Резонансные состояния в системе пион-нуклон. Определение их квантовых чисел. (3.3) резонанс.

2.6 Пион-пионное взаимодействие. Пионные резонансы. ρ,ω, η мезоны. Их характеристики и методы их определения. Диаграмма Далица для трехпионной системы.

2.7 Множественное рождение пионов. Модели, описывающие множественные процессы. Масштабная инвариантность.

2.8 Фоторождения пионов на нуклонах Множественное образование мезонов. Модель векторной доминантности.

2.9 Антинуклоны. Открытие антинуклонов и антиядер. Взаимодействие антинуклонов с нуклонами и ядрами. Аннигиляция антинуклонов.

3. *Странные частицы.*

3.1 Открытие странных частиц. Основные особенности процессов их образования и распада. Теоретические модели их распада и образования.

3.2 Классификация К-мезонов и гиперонов по изоспину. Правило $\Delta T=1/2$ для адронных распадов странных частиц. Квантовое число странность. Теория Гелл-Мана-Нишиджимы.

3.3 Нейтральные K^o мезоны. Зарядовое сопряжение. CP-преобразование. K^o_1 и K^o_2. K^o_L и K^o_s состояния. Регенерация нейтральных каонов. Измерение разности масс K^o_1 и K^o_2. Осцилляции K^o мезонов.

3.4 Взаимодействия $K^{\pm}$ -мезонов с нуклонами и ядрами. Фазовый анализ $K^{\pm}N$ рассеяния. $K^{\pm}N$ резонансы. Особенности каон-ядерного взаимодействия.

3.5 Особенности рождения каонов в адрон-ядерных ядро-ядерных взаимодействиях. Подпороговое рождение каонов.

3.6 Взаимодействие Λ гиперонов с нуклонами и ядрами. Сечения взаимодействия. Методы исследования. Гиперядра. Энергия связи Λ гиперона в ядре. Двойные гиперядра. Σ гиперядра

3.7 С-частицы, частицы со скрытым очарованием. В-частицы. Частицы со скрытой прелесть.

4. *Кварковая модель адронов. Взаимодействия кварков и квантовая хромодинамика.*

4.1Кварковая модель адронов. Кварковая структура легчайших барионов и мезонов. Цвет. Барионы и мезоны как наборы цветных кварков. Глюоны. Взаимодействия кварков и квантовая хромодинамика. Сравнение КЭД и КХД. Экранировка и антиэкранировка заряда. Асимптотическая свобода. Конфайнмент. Эксперименты, подтверждающие наличие кварков в адронах. Тяжелые кварки.

4.2 Барионный декуплет. Спин кварков и цвет. Барионный октет. Кварк-антикварковые комбинации: псевдоскалярные мезоны. Векторные мезоны. Распады векторных мезонов.

4.3 Спектроскопия тяжелых мезонов и модель кварков. Сравнение уровней кваркония и позитрония. Интерпретация правила Цвейга. t-кварк. Поиски свободных кварков.

4.4 νN и e^+e^- -сечения при высоких энергиях. Партоны.

4.5 Глубоко неупругое электрон-нуклонное рассеяние. Масштабная инвариантность.. Рождение лептонных пар на адронных коллайдерах, процесс Дрелла-Яна.

4.6 Квантовая хромодинамика и кварк-кварковое взаимодействие. КХД потенциал на малых расстояниях. КХД потенциал на больших расстояниях: модель струн.

5. *Слабое взаимодействие. Универсальное электрослабое взаимодействие и единые теории.* 5.1 Классификация слабого взаимодействия. Теория Ферми. Взаимодействия свободных нейтрино. Обратный бета-распад. Нарушение четности в бета-распаде. Спиральность нейтрино. V-A - взаимодействие. Нарушение четности в распаде лямбда-гиперона. Распады пиона и мюона.

5.2 Слабый распад странных частиц, теория Кабиббо. Слабый нейтральный ток.

5.3 Наблюдение W и Z бозонов. Распад K^o -мезонов. Семейства лептонов, масса нейтрино и нейтринные осцилляции.

5.4 Универсальное электрослабое взаимодействие и единые теории.

5.5 Перенормировка в квантовой электродинамике и связь со слабыми взаимодействиями. Введение нейтральных токов. Калибровочная инвариантность в квантовой электродинамике. Обобщенная калибровочная инвариантность. Модель Вайнберга-Салама. Экспериментальная проверка нейтральных токов в модели Вайнберга-Салама. Сравнение наблюдаемых и предсказанных теорией масс *W и Z* бозонов. Бозоны Хиггса. Единые модели. Концептуальные проблемы теории поля: великое объединение, суперсимметрия, суперструны.

6. *Вселенная. Большой Взрыв. Барионная асимметрия вселенной.*

Вселенная. Свидетельства Большого взрыва. Первые мгновения Вселенной, Дозвездный синтез ядер. Барионная асимметрия. Отсутствие антивещества во Вселенной.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Д. В. Сивухин. Общий курс физики в 5-ти т. Т. 1. Механика.- М.: ФИЗМАТЛИТ; ISBN 5-9221-0715-1; 2006 г.
2. Д. В. Сивухин. Общий курс физики в 5-ти т. Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика.- М.: ФИЗМАТЛИТ; ISBN 5-9221-0601-5,5-9221-0226-5; 2006 г.
3. Д. В. Сивухин. Общий курс физики в 5-ти т. Т. 3. Электричество.- М.ФИЗМАТЛИТ; ISBN 978-5-9221-0673-3; 2009 г.
4. Д. В. Сивухин. Общий курс физики в 5-ти т. Т. 4. Оптика. М.: ФИЗМАТЛИТ, ISBN 5-9221-0228-1,5-9221-0763-1 5-9221-0229-X, 5-89155-087-3, 5-89155-077-6; 2006 г.
5. Д. В. Сивухин. Общий курс физики в 5-ти т. Т. 5. Атомная и ядерная физика. М.: ФИЗМАТЛИТ, ISBN 5-9221-0645-7, 2006.
6. Л.Д.Ландау и Е.М.Лифшиц. Механика. М.ФИЗМАТЛИТ; ISBN 978-5-9221-0819-5; 2007 г.
7. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Статистическая физика., М.ФИЗМАТЛИТ; ISBN 5-9221-0054-0, 2010 г.
8. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теория поля. М.ФИЗМАТЛИТ; ISBN 5-9221-0056-4, 2006
9. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Электродинамика сплошных сред. М.ФИЗМАТЛИТ; ISBN 5-9221-0123-4, 2003 г.
10. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Квантовая механика. М.ФИЗМАТЛИТ; ISBN 978-5-9221-0530-9, 2008
11. Берестецкий В. Б., Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. . Квантовая электродинамика. М.: Физматлит, 2002. — Т. IV — 720 с. — ISBN 5-9221-0058-0
12. К.Н.Мухин Экспериментальная ядерная физика, Издательство Лань. Учебник для ВУЗов. ISBN: 978-5-8114-0738-5, 2008 г.
13. И.М. Капитонов. Введение в физику ядра и частиц. М.: КомКнига, 2006., 328 с., ISBN 5-484-00309-1, 2006 г.
14. О.М. Бояркин. Введение в физику элементарных частиц. КомКнига, 2006., 264 с., ISBN 5-484-00375-X, 2006 г.
15. Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин. Частицы и атомные ядра. М.: ЛКИ, 2007, 584 с., ISBN 978-5-382-00060-2, 2007 г.

СПИСОК ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ

1. Закон всемирного тяготения. Поле тяготения, напряженность. Работа в поле тяготения, потенциал.
2. Преобразования Галилея. Постулаты теории относительности. Преобразования Лоренца, следствия из них.
3. Закон Максвелла для распределения молекул идеального газа по скоростям и энергиям теплового движения. Барометрическая формула. Распределение Больцмана.
4. Опытное обоснование молекулярно кинетической теории. Среднее число столкновений и средняя длина пробега.
5. Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея и его вывод из закона сохранения энергии. Индуктивность контура, самоиндукция. Энергия магнитного поля.

6. Первое начало термодинамики. Работа газа при изменении его объема. Теплоемкость. Изопроцессы, адиабатический процесс.
7. Обратимые и необратимые процессы. Энтропия и ее свойства. Второе начало термодинамики.
8. Принцип суперпозиции электростатических полей. Теорема Гаусса для электростат. поля в вакууме. Применение т.Гаусса. Циркуляция вектора напряженности электростат. поля. Потенциал электростат. поля.
9. Типы диэлектриков. Поляризация диэлектриков. Поляризованность. Напряженность поля в диэлектриках. Теорема Гаусса в диэлектриках. Условия на границе раздела двух диэлектрических сред.
10. Проводники в электростат. поле. Электр. емкость уединенного полупроводника. Конденсаторы. Энергия системы зарядов, уединенного проводника, конденсатора. Энергия электростат. поля.
11. Закон Био-Савара-Лапласа. Закон Ампера. Магнитная постоянная.
12. Магнитное поле движущегося заряда. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Теорема Гаусса для поля В. Циркуляция В для магнитного поля в вакууме.
13. Тепловое излучение. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана, смещение Вина. Вывод формулы Релея-Джинса и Планка.
14. Естественный и поляризованный свет. Угол Брюстера. Анализ поляризованного света. Эффект Керра. Эффект Фарадея (вращение плоскости поляризации).
15. Дисперсия света, электронная теория.
4. 16. Пространственная решетка. Рассеяние света. Дифракция на пространственной решетке. Формула Вульфа-Брегга. Разрешающая способность.
16. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция Френеля на отверстии или диске. Дифракция Фраунгофера (на щели или решетке).
17. Когерентность и монохроматичность световых волн. Интерференция. Методы наблюдения интерференции. Интерференция света в тонких пленках.
18. Дифференциальное уравнение электромагнитной волны. Энергия электромагнитной волны.
19. Интерференция волн. Стоячие волны.
20. Волновые процессы. Продольные и поперечные волны. Уравнение бегущей волны. Фазовая скорость. Волновое уравнение.
21. Гармонические колебания (механические, свободные, их сложение). Дифференциальное уравнение свободных затухающих и вынужденных колебаний. Амплитуда и фаза вынужденных колебаний. Резонанс.
22. Магнитные моменты электронов и атомов. Намагниченность. Магнитное поле в веществе. Условия на границе раздела двух магнетиков.
23. Вихревое эл. поле. Ток смещения. Уравнения Максвелла для электромагнитного поля.
24. Волновые свойства микрочастиц. Уравнение Шредингера. Соотношение неопределенности. Энергия свободной частицы.
25. Прохождение частицы через потенциальный барьер, движение в потенциальном ящике.
26. Кристаллическая решетка (индексы узлов, направления, плоскости). Моно- и поликристаллические твердые тела. Дефекты в кристаллах.
27. Упругая и пластическая деформации. Скольжение, механическое двойникование, сдвиг. Дислокации (линейные, винтовые). Преодоление препятствий дислокациями.
28. Теория свободных электронов. Два приближенных метода описания поведения в тв. теле (сильной связи, слабой связи).
29. Классическая теория теплоемкости тв. тела. Закон Дюлонга и Пти. Квантовая теория теплоемкости тв. тел по Эйнштейну. Теория Дебая.
30. Отличие квантовой статистики от классической. Электронный газ. Функция распределения Ферми-Дирака.

31. Распределение электронов по энергиям, по составляющим импульса, по импульсам. Вырожденный электронный газ. Теплоемкость электронного газа.
32. Энергетические зоны, внутренняя структура энергетических зон кристалла. Движение электрона в периодическом поле кристалла под действием внешнего поля. Эффективная масса электрона. Понятие о дырках. Заполнение зон электронами.
33. Электропроводность металлов (классическая, квантовая, сверхпроводимость).
34. Собственные и примесные полупроводники. Уровень Ферми в собственных и примесных полупроводниках. Концентрация носителей тока в полупроводниках.
35. Подвижность носителей. Собственная и примесная проводимость. Эффект Холла.
36. Массовое число A, электрический заряд Z масса атомного ядра.
37. Деление ядер. Свойства осколков деления. Массовый состав осколков деления.
38. Энергия связи. Удельная энергия связи. β стабильные ядра.
39. Деление ядер. Свойства осколков деления. Радиоактивность осколков деления.
40. Радиус ядра. Упругое рассеяние электронов на ядрах.
41. Свойства продуктов деления. Радиоактивность продуктов деления.
42. Радиус ядра. Исследование рентгеновского излучения мюонных атомов.
43. Свойства продуктов деления. Запаздывающие нейтроны.
44. Радиус ядра. Исследование рассеяния быстрых нейтронов на ядрах.
45. Капельная модель ядра. Формула Вейцзекера и капельная модель ядра.
46. Спин и магнитный момент ядра. Магнитный момент нуклонов. Результаты измерений спинов и магнитных моментов. Однонуклонная модель Шмидта.
47. Основы теории деления.
48. Четность. Закон сохранения четности.
49. Сечения фотоядерных реакций. Гигантский дипольный резонанс.
50. Форма ядер.
51. Формула Вейцзекера и капельная модель ядра.
52. Изоспин. Изоспиновая инвариантность сильных взаимодействий.
53. Модели ядер. Модель оболочек без остаточных взаимодействий.
54. Спин и четность состояний ядер. Модель оболочек со спариванием.
55. Законы радиоактивного распада.
56. Модель Ферми-газа.
57. Альфа распад ядер. Законы сохранения в альфа-распаде.
58. Обобщенная модель ядра. Обобщенная модель со слабой связью.
59. Механизм альфа-распада.
60. Обобщенная модель ядра. Обобщенная модель с сильной связью.
61. β-распад. Энергетический спектр β-частиц.
62. Обобщенная модель ядра. Колебания поверхности ядра.
63. β-распад. Сравнительный период полураспада (fτ). Правила отбора в β-распаде.
64. Фундаментальные взаимодействия и первичная классификация частиц.
65. Основные этапы развития физики атомного ядра и частиц. Масштабы явлений микромира.
66. Роль физики высоких энергий в научно-техническом прогрессе. Краткий очерк о современных научных центрах, связанных с исследованиями в области физики высоких энергий и физики элементарных частиц, современные и будущие ускорители.
67. Неупругие столкновения. Комплексный фазовый сдвиг.
68. Система единиц и системы отсчета, используемые в физике элементарных частиц. Элементы релятивистской кинематики. Общий случай преобразований Лоренца.
69. Фундаментальные степени свободы: лептоны, кварки, калибровочные бозоны - носители взаимодействия.
70. Основные характеристики частиц, законы сохранения.

71. Изоспин. Изоспиновая инвариантность сильных взаимодействий. Закон сохранения изоспина. Опыты по подтверждению закона сохранения изоспина.
72. Изоспин системы частиц. Изоспиновая структура амплитуд рассеяния (NN, πN, ππ, KN, ΛN, ΣN системы).
73. Формальная теория рассеяния.
74. Симметрия волновых функций и обобщенный принцип Паули. Возможные состояния системы двух нуклонов.
75. Релятивистская кинематика двух- и трех- частичных распадов частиц.
76. Рассеяние частиц с произвольным спином. Метод Блатта-Биденхарна
77. Диаграммы Аргана.
78. Фазовый анализ в теории рассеяния. Код SAID.
79. Рассеяние частиц с произвольным спином. Метод спиральности.
80. Уравнение Липпмана-Швингера
81. Теория многократного рассеяния. Упругое рассеяние на ядрах.
82. Оптический потенциал. Приближение когерентного рассеяния.
83. Сравнительный анализ внемассового поведения амплитуд рассеяния нуклонов, пионов,
84. К-мезонов на нуклонах.
85. Оптический потенциал. Приближение некоррелированных нуклонов.
86. Упругое рассеяние пионов и каонов на ядрах. Потенциал Кисслингера.
87. Основные свойства пионов (масса, заряд, спин, изоспин, внутренняя четность, время жизни, моды распада). Методы определения их характеристик
88. Особенности процессов образования и распада странных частиц.
89. Образование пионов в нуклон-нуклонных соударениях. Пороговая энергия образования одиночных пионов. Изотопические соотношения между эффективными сечениями отдельных реакций однопионного рождения.
90. Классификация странных частиц по изоспину. Теория Гелл-Мана- Нишиджимы.
91. Особенности рассеяния пионов на нуклонах. Пион-нуклонные резонансы.
92. Нейтральные K^o мезоны. Зарядовое сопряжение. CP-преобразование. K^o_1 и K^o_2. K^o_L и K^o_s состояния. Регенерация нейтральных каонов.
93. Измерение разности масс K^o_1 и K^o_2. Осцилляции K^o мезонов.
94. Особенности рождения каонов в адрон-ядерных ядро-ядерных взаимодействиях. Подпороговое рождение каонов.
95. Взаимодействие Λ гиперонов с нуклонами и ядрами. Сечения взаимодействия. Методы исследования.
96. Кварковая модель адронов. Кварковая структура легчайших барионов и мезонов. Цвет.
97. νN и e^+e^- -сечения при высоких энергиях. Партоны.
98. Гиперядра. Энергия связи Λ гиперона в ядре. Двойные гиперядра. Σ гиперядра
99. С-частицы, частицы со скрытым очарованием.
100. Квантовая хромодинамика и кварк-кварковое взаимодействие. КХД потенциал на малых расстояниях. КХД потенциал на больших расстояниях: модель струн.
101. В-частицы. Частицы со скрытой прелестью.
102. Кварк-антикварковые комбинации: псевдоскалярные мезоны.
103. Наблюдение W и Z бозонов.
104. Пион-пионное взаимодействие. Пионные резонансы. Векторные мезоны. Распады векторных мезонов.
105. Гиперядра
106. Нейтральный пион. Методы определения его характеристик.
107. Фоторождение пионов на нуклонах. Модель векторной доминантности.
108. Дозвездный синтез ядер. Барионная асимметрия. Отсутствие антивещества во Вселенной.
109. Странные резонансы.

110. Особенности рождения частиц в ядро-ядерных столкновениях при высоких энергиях.
111. Подавление, экранировка, эллиптические потоки, отношение средних множественностей.

ПРОФИЛЬ

«ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА»

I. ОСНОВЫ ФИЗИКИ ЛАЗЕРОВ И ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ

Уравнения Максвелла. Потенциальные и вихревые поля. Теорема Умова-Пойнтинга. Поляризация электромагнитных волн; параметры Стокса.

Уровни энергии атомов, молекул, кристаллов. Поглощение и испускание электромагнитного излучения. Вероятности спонтанных и индуцированных переходов.

Принцип действия лазеров. Методы создания инверсии населенностей. Релаксационные процессы. Ширина линии перехода. Коэффициент усиления. Эффект насыщения.

Оптические резонаторы. Спектр мод резонатора. Добротность резонатора. Устойчивые и неустойчивые резонаторы. Методы модуляции добротности резонатора лазера. Методы активной и пассивной синхронизации мод излучения в лазере.

Основные типы лазеров. Динамика лазерной генерации. Классификация режимов лазерной генерации. Порог генерации. Мультистабильность и динамический хаос в лазерах.

Флуктуации лазерного излучения. Естественная ширина линии и естественная расходимость лазерного излучения. Предельная пространственная когерентность лазерных пучков.

Стабилизация частоты генерации (активная и пассивная). Стабилизация интенсивности. Перестройка частоты лазерной генерации. Методы измерения длительности лазерных импульсов.

II. ВЕЩЕСТВО В ЛАЗЕРНОМ ПОЛЕ. ЛАЗЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА

Отклик вещества на действие электромагнитного поля. Векторы поляризации и намагниченности среды. Разложение поляризации в ряд по степеням поля. Временная (частотная) и пространственная дисперсия. Тензоры линейной и нелинейной восприимчивостей вещества. Влияние симметрии среды на нелинейный отклик. Механизмы поверхностного нелинейного отклика.

Резонансные процессы. Двухуровневый атом. Уравнения Блоха. Когерентные нестационарные процессы: оптическая нутация, затухание свободной поляризации, солитоны самоиндуцированной прозрачности, фотонное эхо, сверхизлучение Дике. Светоиндуцированный дрейф в газах.

Многофотонные резонансные процессы. Обобщенная двухуровневая система. Многофотонное поглощение. Вынужденное комбинационное рассеяние. Генерация гармоник. Смешение частот. Параметрическое рассеяние.

Взаимодействие электромагнитного излучения с кристаллами. Зонная структура энергетических уровней. Энергия Ферми. Диэлектрики, полупроводники, металлы. Возбуждения в кристаллах: фононы, поляритоны, экситоны. Основные нелинейные кристаллы.

Спектроскопия насыщения неоднородно уширенных переходов. Двухфотонная спектроскопия, свободная от допплеровского уширения. Спектроскопия когерентного антистоксова рассеяния света. Спектроскопия многоволнового смешения.

III. ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ. НЕЛИНЕЙНАЯ ВОЛНОВАЯ ОПТИКА. ПРИКЛАДНАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИКА

Волновая оптика световых пучков и импульсов: уравнения Максвелла, волновое уравнение, уравнения квазиоптики, уравнения для медленно меняющихся амплитуд. Гауссовы пучки, их преобразование оптическими системами. Дифракционное расплывание, длина дифракции. Волны в световодах. Дифракция случайных волновых полей, теорема Ван Циттерта-Цернике.

Материальная дисперсия сплошной среды. Распространение импульсов в диспергирующих средах: групповая скорость, дисперсионное расплывание, эффекты дисперсии высших порядков. Спектрально ограниченный импульс.

Волны в пространственно- периодических средах. Запрещенная зона. Фотонные кристаллы и их дисперсионные свойства.

Фурье-оптика волновых пучков и импульсов; пространственная фильтрация. Основы адаптивной оптики: управление фазой световых колебаний в пространстве и во времени, формирование пучков и импульсов с заданной структурой.

Волны в слабонелинейных и диспергирующих средах: методы описания и классификация нелинейных эффектов.

Самовоздействие световых пучков. Природа кубической нелинейности. Самофокусировка в средах с керровской нелинейностью, критическая мощность, длина самофокусировки. Мелкомасштабная самофокусировка. Филаментация. Пространственные оптические солитоны.

Самовоздействие световых импульсов в средах с кубичной нелинейностью: самомодуляция, солитоны, компрессия и расплывание. Самовоздействие случайно модулированных импульсов. Формирование сверхкоротких импульсов методами фазовой самомодуляции и компрессии.

Генерация оптических гармоник. Фазовый синхронизм и его реализация, групповой синхронизм. Спонтанное параметрическое рассеяние света. Параметрическое усиление и генерация. Генерация суммарных и разностных частот. Вынужденное комбинационное рассеяние. Рамановские усилители и генераторы. Вынужденное рассеяние Мандельштама—Бриллюэна. Обращение волнового фронта.

Оптические бистабильные и мультистабильные системы. Оптические логические элементы. Продольная неустойчивость в нелинейных резонаторах: от периодических колебаний через удвоение периода к оптическому хаосу. Поперечные пространственные эффекты в нелинейных резонаторах, образование и эволюция пространственных структур. Оптическое моделирование нейронных сетей.

IV. ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ВЕЩЕСТВО. ЛАЗЕРНАЯ ФОТОФИЗИКА И ФОТОБИОЛОГИЯ. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.

Одно- и многофотонная ионизация атомов и молекул. Туннельная и надбарьерная ионизация атомов и ионов. Пондеромоторное ускорение фотоэлектронов. Уширение спектра. Генерация высоких оптических гармоник и суперконтинуума. Генерация каскада комбинационных частот.

Лазерный пробой газов. Лазерная искра. Лазерная плазма. Лазерный термоядерный синтез. Энергетические спектры электронов, ионов и рентгеновского излучения лазерной плазмы. Ядерные реакции в лазерной плазме.

Многофотонная диссоциация молекул в лазерном поле. Столкновительный и бесстолкновительный режимы многофотонной диссоциации. Лазерное разделение изотопов. Оптическое стимулирование химических реакций.

Лазерное управление движением частиц. Оптическое охлаждение и захват атомов и ионов. Атомные часы. Управление атомными пучками с помощью лазеров. Лазерные методы ускорения частиц.

Поглощение и релаксация энергии лазерного излучения в полупроводниках и металлах. Электрон-электронная, электрон-фононная и фонон-фононная релаксация. Времена релаксации. Нормальный и аномальный скин-эффект.

Лазерный нагрев вещества. Лазерное плавление и испарение поверхности. Лазерный отжиг и легирование полупроводников. Лазерная закалка металлов. Процессы абсорбции и десорбции в поле лазерного излучения. Лазерная фотохимия, типы фотохимических реакций. Фотоакустические явления. Механизмы лазерного возбуждения звука. Фотоакустическая спектроскопия и микроскопия.

Лазерная фотобиология. Фотобиологические реакции: энергетические (фотосинтез), информационные (зрение), биосинтетические, деструктивно- модифицирующие (фотосенсибилизация, фотоионизация) и лазерные методы их изучения. Лазерная микро- и макродиагностика биомолекул, клеток и биотканей. Лазерная оптико-акустическая томография.

V. ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ ОПТИКИ

Квантование поля. Операторы рождения и уничтожения фотонов. Гамильтониан квантованного поля. Коммутационные соотношения для операторов поля.

Пространственная и временная когерентность. Корреляционные функции первого и второго порядка. Когерентность высших порядков. Фоковское, когерентное и сжатое состояния поля. Пуассоновская, субпуассоновская и суперпуассоновская статистика фотонов. Группировка и антигруппировка фотонов. Счет фотонов. Дробовой шум. Связь статистики фотонов и фотоотсчетов, формула Манделя.

Перепутанные состояния света. Оптическая реализация кубитов и их преобразования. Состояния Белла. Парадокс Эйнштейна—Подольского—Розена. Неравенства Белла. Квантовая криптография. Квантовая телепортация.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. М., 1988.
2. Шен И.Р. Принципы нелинейной оптики. М., 1989.
3. Звелто О. Принципы лазеров. М., 1989.
4. Ханин Я.И. Основы динамики лазеров. М., 1999.
5. Аллен Л., Эберли Дж. Оптический резонанс и двухуровневые атомы. М., 1978.
6. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. М., 1998.
7. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. М., 1979.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ильинский Ю.А., Келдыш Л.В. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом. М., 1989.
2. Клышко Д.Н. Физические основы квантовой электроники. М., 1986.

3. Ахманов С.А., Выслоух В.А., Чиркин А.С. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. М., 1988.
4. Мандель Л., Вольф Э. Оптическая когерентность и квантовая оптика. М., 2000.
5. Акулин В.М., Карлов Н.В. Интенсивные резонансные взаимодействия в квантовой электронике. М., 1987.
6. Гудмен Дж. Введение в фурье-оптику. М., 1970.
7. Гиббс Дж. Оптическая бистабильность. М., 1988.
8. Сухоруков А.П. Нелинейные волновые взаимодействия в оптике и радиофизике. М., 1988.
9. Летохов В.С., Чеботаев В.П. Принципы нелинейной лазерной спектроскопии. М., 1990.
10. Приезжев А.В., Тучин В.В., Шубочкин Л.П. Лазерная диагностика в биологии и медицине. М., 1989.
11. Тучин В.В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. Саратов, 1998.
12. Жарков В.П., Летохов В.С. Лазерная оптико-акустическая спектроскопия. М., 1984.
13. Андреев А.В., Емельянов В.И., Ильинский Ю.А. Кооперативные явления в оптике. М., 1988.
14. Гусев В.Э., Карабутов А.А. Лазерная оптоакустика. М., 1991.

СПИСОК ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ

Основы физики лазеров и лазерной техники

1. Принцип действия лазеров. Методы создания инверсии населенностей. Релаксационные процессы. Ширина линии перехода. Коэффициент усиления. Эффект насыщения.
2. Оптические резонаторы. Спектр мод резонатора. Добротность оптического резонатора.
3. . Динамика лазерной генерации. Классификация режимов лазерной генерации. Порог генерации. Флуктуации лазерного излучения. Перестройка частоты лазерной генерации

Вещество в лазерном поле. Лазерная диагностика

1. Резонансные процессы. Двухуровневый атом. Уравнения Блоха.
2. Когерентные нестационарные процессы: затухание свободной поляризации, фотонное эхо, сверхизлучение Дике, светоиндуцированный дрейф в газах.
3. Обобщенная двухуровневая система. Многофотонное поглощение. Вынужденное комбинационное рассеяние.
4. Взаимодействие электромагнитного излучения с кристаллами. Возбуждения в кристаллах: фононы, поляритоны, экситоны. Основные нелинейные кристаллы.
5. Спектроскопия насыщения неоднородно уширенных переходов. Двухфотонная спектроскопия, спектроскопия многоволнового смешения.

Прикладная нелинейная оптика

1. Волновая оптика световых пучков: уравнения Максвелла, волновое уравнение.
2. Гауссовы пучки, их преобразование оптическими системами.
3. Дифракционное расплывание, длина дифракции.

4. Дифракция случайных волновых полей.
5. Волны в световодах.
6. Волны в пространственно - периодических средах. Запрещенная зона. Фотонные кристаллы и их дисперсионные свойства.
7. Волны в слабонелинейных и диспергирующих средах: методы описания и классификация нелинейных эффектов.
8. Вынужденное комбинационное рассеяние.
9. Вынужденное рассеяние Мандельштама—Бриллюэна.
10. Обращение волнового фронта.

Лазерная фотофизика и фотобиология

1. Лазерный пробой газов. Лазерная искра. Лазерная плазма. Лазерный термоядерный синтез.
2. Поглощение и релаксация энергии лазерного излучения в полупроводниках и металлах.
3. Электрон-электронная, электрон-фононная и фонон-фононная релаксация.
4. Процессы абсорбции и десорбции в поле лазерного излучения.
5. Лазерная фотохимия, типы фотохимических реакций.
6. Фотоакустические явления. Механизмы лазерного возбуждения звука.
7. Фотоакустическая спектроскопия и микроскопия.
8. Лазерная фотобиология.
9. Фотобиологические реакции и лазерные методы их изучения.
10. Лазерная микро- и макродиагностика биомолекул, клеток и биотканей.
11. Лазерная оптико-акустическая томография

ПРОФИЛЬ

«БИОФИЗИКА»

I. Теоретическая и химическая физика

1. *Химическая термодинамика*. Энтальпия, энтропия, свободная энергия Гиббса, химический потенциал. Сопряжение физико-химических процессов. Основные энергетические процессы в биосфере.
2. *Основы термодинамики открытых и неравновесных систем*. Энтропия открытой системы. Самоорганизация и хаотизация. Диссипативные структуры.
3. *Основы кинетики химических реакций*. Кинетические уравнения. Константы скорости и равновесия. Порядок реакции. Уравнение Эйринга-Аррениуса. Катализ.
4. *Квантовое описание многоатомных молекул*. Волновая функция. Уравнение Шредингера. Принципы квантовомеханического описания строения молекул (приближения Борна-Оппенгеймера и Хартри-Фока).
5. *Ковалентные и нековалентные взаимодействия.* Ковалентная связь. Нековалентные взаимодействия. Водородная связь. Молекулярное узнавание. Аффинное взаимодействие биомолекул. Аллостерия.
6. *Электромагнитные колебания и волны*. Диапазоны электромагнитных волн. Классификация частотных интервалов, принятая в медицине.
7. *Равновесное и неравновесное излучение*. Распределение Планка. Источники электромагнитного излучения различных диапазонов. Лазеры.
8. *Распространение излучений в среде*. Оптические характеристики среды. Закон Бера. Хиральность и оптическая активность.
9. *Взаимодействие молекул с электромагнитным излучением*. Молекулярный спектр. Квантовое описание взаимодействия ЭМ-излучения с молекулами. Правило Ферми.
10. *Дипольное приближение взаимодействия частицы с ЭМ-излучением*. Рассеяние света, его характеристики. Приближение Рэлея. Неупругое рассеяние света.
11. *Флуоресценция*. Количественные характеристики флуоресценции молекулярных растворов. Применение флуоресцентных методов в биофизике.
12. *Хемилюминесценция*. Использование её в медицине и экспериментальной практике.

II. Экспериментальные методы биофизики

1. *Методы выделения и фракционирования молекул и частиц* (ультрацентифугирование, хроматография, электрофорез).
2. *Кислотно-основные свойства молекул*, pH, буферные растворы, титрование. Кислотно-основные свойства белков.
3. *Методы исследования специфичности связывания молекул*.
4. *Абсорбционная спектроскопия в видимом и инфракрасном диапазоне*.
5. *Преломление света и рефрактометрические свойства биологических систем*.
6. *Отражение света*. Оптическое волокно. Светодиоды. Практическое применение в медицине.
7. *Оптические спектральные свойства биополимеров* (поглощение, флуоресценция, оптическая активность). Методы измерения концентрации. Методы анализа спектров смесей.

8. *Рентгеновское излучение.* Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Рентгеноструктурный анализ. Рентгеновское излучение в медицинской диагностике.
9. *Спиновый магнитный резонанс.* ЭПР-спектроскопия. ЯМР-спектроскопия и магнитная томография. Определение структуры молекул с помощью ЯМР.
10. *Пассивные электрические свойства живых тканей.* Особенности их электропроводности и диэлектрических свойств. Электрический импеданс живых тканей и его дисперсия.

III. Молекулярная биофизика

1. *Химический состав биологических систем.* Классы биомолекул. Биополимеры.
2. *Низко- и высокомолекулярные соединения; виды и строение полимеров.* Природные, синтетические, органические и неорганические полимеры. Методы получения.
3. *«Центральная догма» молекулярной биологии.* Ген. Экспрессия гена. Стадии экспрессии гена у прокариот и эукариот.
4. *Белки. Химическое строение, уровни структуры*. Фолдинг белка. Выделение и фракционирование белков (электрофорез, изофокусирование, хроматография…)
5. *Ферменты.* Ферментативный катализ. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Ингибирование. Методы исследования ферментативной активности.
6. *Реакции полимеризации.* Понятие радикала, цепной реакции. Радикалообразующие реакции. Цепная полимеризация виниловых мономеров. Кинетика радикальной полимеризации. Химическое строение мономера и способность к полимеризации.Поликонденсация. Факторы, определяющие получение линейных и высокомолекулярных полимеров. Кинетика поликонденсации.
7. *Катаболизм и анаболизм.* Метаболизм глюкозы. Гликолиз. Цикл лимонной кислоты.
8. *Метаболизм азота.* Основные пути биосинтеза и деградации аминокислот и нуклеотидов. Цикл мочевины. Фиксация азота.
9. *Окислительно-восстановительные свойства молекул, уравнение Нернста.* Перенос электронов в биологических системах. Дыхание и фотосинтез как транспорт электронов. Роль ионов переходных металлов.
10. *Липиды и фосфолипиды.* Биосинтез и окисление. Липиды биологических мембран. Жидкокристаллическое состояние биомембран.
11. *Полисахариды*. Нахождение в природе: целлюлоза, хитин, бактериальные полисахариды.
12. *Нуклеиновые кислоты* (НК). Химическое строение, структура. Тепловая денатурация НК. Гибридизация НК. Оптические спектральные свойства НК. Фракционирование НК.
13. *Метод рекомбинантных ДНК*. Генетическая инженерия. Ферменты генетической инженерии. Плазмиды и бактериофаги. Генетические векторы. Получение рекомбинантных белков.
14. *Репликация.* Матричный синтез НК. ДНК-полимеразы. Механизмы репликации. Репликационная вилка. ПЦР. Принципы секвенирования ДНК.
15. *Мутагенез и репарация.* Классификация мутаций. Системы репарации. Основные концепции молекулярной эволюции.
16. *Рекомбинация.* Виды рекомбинации (по механизму, по результату). Структура Холлидея; гомологическая рекомбинация. Мобильные генетические элементы. Горизонтальный перенос генов. Биологическое значение рекомбинации.
17. *Транскрипция и сплайсинг.* РНК-полимеразы. Регуляция транскрипции (на примерах генов прокариот). Сплайсинг.

18. *Трансляция.* Рибосомы, строение и функции. Рибосомальные и транспортные РНК. Генетический код. Аминоацилирование тРНК. Синтез белка на рибосоме.
19. *Хроматин*, уровни организации. Гистоны и негистоновые белки хроматина. Регуляция экспрессии генов на уровне хроматина.
20. *Антитела и антигены*. Строение молекул иммуноглобулинов. Специфичность антител. Использование антител в исследовательской практике.

IV. Клеточная биофизика

1. *Общие принципы морфофункциональной организации эукариотической клетки* (животной и растительной). Классификация органоидов, их структура и функциональное значение.
2. *Плазматическая мембрана*, ее функции, биологическая роль. Транспорт через биологические мембраны. Мембранный потенциал. Уравнение Нернста. Каналы и переносчики. Эндоцитоз. Рецептор-опосредованный эндоцитоз.
3. *Клеточный цикл*. Фазы клеточного цикла эукариот. Митоз. Мейоз. Регуляция клеточного цикла. Апоптоз. Методы исследования клеточного цикла, проточная цитометрия.
4. *Митохондрии и хлоропласты*. Строение и функции. Окислительное фосфорилирование и синтез АТФ, другие биохимические функции митохондрий. Митохондриальная ДНК геном. Фотосинтез в хлоропластах.
5. *Секреторный путь клетки*. Эндоплазматический ретикулум, аппарат Гольджи, лизосомы. Везикулярный транспорт. Понятие сигнальных пептидов. Гликозилирование белков. Экзоцитоз. Секреция.
6. *Цитоскелет*. Актиновые филаменты, микротрубочки, промежуточные филаменты. Моторные белки. Миофибрилла. Роль цитоскелета в митозе, движении и морфогенезе клеток.
7. *Клеточные сигнальные системы*. Природа биологических сигналов. Обратные связи. Рецепторы, основные типы рецепторных белков. Межклеточная коммуникация.
8. *Нервные волокна*. Бездекрементное проведение возбуждения. Потенциал действия. Уравнения Ходжкина-Хаксли. Структура миелиновой оболочки аксонов в периферической и центральной нервной системе.
9. *Генерация потенциалов действия в аксонном холмике*. Нейрон как интегратор. Закономерности синаптической передачи (в сопоставлении с закономерностями проведения возбуждения по нервному волокну).
10. *Синаптическая передача возбуждения в нервной системе*. Классификация синапсов (по способу передачи, по местоположению, по характеру реакции постсинаптических структур).
11. *Химические синапсы*. Строение. Медиаторы и модуляторы. Механизм синаптической передачи.
12. *Нервно-мышечная передача*. Потенциал концевой пластинки. Распространение мышечного импульса по сарколемме. Значение Т-трубочек в мышечном сокращении. Саркомер. Биофизический механизм электромеханического сопряжения.

V. Биофизика органов и систем

1. *Гомеостазис*. Внутренняя среда организма. Биологические жидкости. Механизмы обмена веществ между кровью и интерстициальной жидкостью, между интерстициальной жидкостью и лимфой.

2. *Обмен энергии в организме*. Уравнения теплового баланса организма. Терморегуляция гомойотермного организма.
3. *Биофизические механизмы трансдукции в рецепторах разных типов*. Свойства рецепторного и генераторного потенциалов. Генерация потенциалов действия.
4. *Биофизика и физиология зрительного анализатора*. Механизм фотоизомеризации родопсина.
5. *Биофизика и физиология слухового анализатора*. Механизм слуховой рецепции. Роль эндокохлеарного потенциала.
6. *Ремоделирование костной ткани*. Соединение костей скелета человека между собой, типы соединений. Классификация суставов, объём движений в них. Биомеханика суставов.
7. *Физиология мышечной ткани*. Сила и работа мышцы. Изометрическое и изотоническое сокращение. Уравнение Хилла.
8. *Дыхательная система человека*, бронхиальное "дерево", генерации бронхов. Строение трахеи и бронхов, реснитчатые и секреторные клетки. Мукоцилиарный клиренс.
9. *Сердце*. Клапанный аппарат сердца. Его роль в кровообращении, механизм функционирования. Цикл сердечной деятельности, его фазовая структура. Изменения кровяного давления в камерах сердца в течение цикла сердечной деятельности. Работа и мощность сердца. Электрическая активность сердца.
10. *Сердечно-сосудистая система*. Артерии. Капилляры. Механизм обмена веществ через стенку капилляра. Вены. Общая характеристика систем верхней и нижней полых вен, воротные вен. Строение стенки венозных сосудов, клапаны. Факторы, определяющие величину венозного возврата крови. Механизм венного пульса, флебограмма.
11. *Гемодинамика.* Понятия идеально упругого и идеально вязкого элементов. Уравнения Гука и Ньютона-Стокса. Функции резистивных сосудов. Регуляция сосудистого тонуса. Закономерности движения крови по сосудам. Анализ уравнения Пуазейля. Эффект Доплера. Доплерография. Основные показатели гемодинамики.
12. *Кровяное давление.* Уравнение Бернулли. Среднее кровяное давление как энергетический эквивалент. Расчет среднего кровяного давления (формула среднего). Статический и динамический компоненты работы сердца.
13. *Транспорт кислорода кровью*. Кислородная ёмкость крови и кислородное насыщение. Кривая диссоциации оксигемоглобина. Артерио-венозная разница по кислороду.
14. *Интегративные функции ЦНС*. Безусловные и условные рефлексы. Различия между ними. Правила выработки условных рефлексов. Понятие о форпостном регулировании. Безусловное, условное и запредельное торможение условнорефлекторной деятельности.
15. *Иммунная система организма.* Центральные и периферические органы - строение и функциональное значение. Взаимодействия В-лимфоцитов, макрофагов и Т-лимфоцитов в обеспечении иммунопоэза.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Медицинская биофизика: учебник для вузов / В.О. Самойлов. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб : СпецЛит, 2007. – 560 с.
2. Медицинская и биологическая физика/А.Н. Ремизов. – 4–е изд., испр. и доп. – М: Высшая школа, 2012. – 616 с. Дополнительная

3. Молекулярная биология клетки - в 3-х т. / Альбертс Б., Брей Д., Льюис Дж., Рэфф М., Робертс К., Уотсон Дж. Т. — М.: Мир, 1994
4. Биофизика / М. В. Волькенштейн . – СПб. : Лань, 2008. - 594 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Рубин А.Б. Биофизика. В 2-х т. Изд-во Московского университета; 1999.
2. Кантор Ч., Шиммел П. Биофизическая химия: В 3 т. М.: Мир, 1984.
3. Кольман Я., Рём К.-Г. Наглядная биохимия. М.: 2000. - 469 с.
4. Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Математическая биофизика. М., 1984.
5. Седова В.М., Боголюбов Д.С. «Физико-химические основы цитологии», 2009. Учебное пособие, Библиотека СПбГПУ.
6. Седова В.М., Боголюбов Д.С., Спивак И.М. «Регуляторные механизмы экспрессии генома», 2011, Учебное пособие, библиотека СПбГПУ.
7. Остроумова О.С.,.Ефимова С.С, Малев В.В., Шагина Л.В. Ионные каналы в модельных липидных мембранах .СПб.:Изд-во Политехнического университета, 2013.
8. Власова О.Л. Экспериментальные методы исследований. Физико-химические основы многопараметрического оптического анализа биодисперсий. СПб.:Изд-во Политехнического университета, 2013.
9. Паутов В.Д. Прикладная физика. Гидродинамические и оптические методы исследования лекарственных веществ. Учебное пособие. СПб.: Издательство Политехнического университета. 2006. 99 с.
10. Паутов В.Д. Прикладная физика. Спектроскопические методы исследования лекарственных веществ. Учебное пособие. СПб.: Издательство Политехнического университета. 2006. 127 с.
11. Панарин Е.Ф. «Полимеры в медицине и фармации». Учебное пособие. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2008. 192 с.
12. Писарев О.А., Полякова И.В. «Фракционирование биологически активных веществ. Часть 1: Аналитические методы». Учебное пособие. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2009. 95 с.
13. Е.Ф. Панарин «Химия высокомолекулярных соединений». Учебное пособие. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2010. 203 с.
14. Ганин П.Г, Писарев О.А. «Физико-химические основы культивирования микроорганизмов и выделения целевых продуктов биосинтеза». Издательство Политехнического университета.2010.140с.
15. Писарев О.А, Полякова И.В. «Фракционирование биологически активных веществ. Часть 2: Препаративные методы». Учебное пособие. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2011. 180с.
16. Соловский. М.В. Физиологически активные полимеры. Учебное пособие. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2011. 110с.

СПИСОК ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ

1. Химическая термодинамика
2. Основы термодинамики открытых и неравновесных систем

3. Основы кинетики химических реакций
4. Квантовое описание многоатомных молекул
5. Ковалентные и нековалентные взаимодействия
6. Электромагнитные колебания и волны
7. Равновесное и неравновесное излучение
8. Распространение излучений в среде
9. Взаимодействие молекул с электромагнитным излучением
10. Дипольное приближение взаимодействия частицы с ЭМ-излучением
11. Флуоресценция
12. Хемилюминесценция
13. Кислотно-основные свойства молекул
14. Методы выделения и фракционирования молекул и частиц
15. Методы исследования специфичности связывания молекул
16. Абсорбционная спектроскопия в видимом и инфракрасном диапазоне
17. Преломление света и рефрактометрические свойства биологических систем
18. Отражение света
19. Оптические спектральные свойства биополимеров
20. Рентгеновское излучение
21. Спиновый магнитный резонанс
22. Пассивные электрические свойства живых тканей
23. Химический состав биологических систем
24. Низко- и высокомолекулярные соединения; виды и строение полимеров
25. Реакции полимеризации
26. Белки. Химическое строение, уровни структуры
27. Ферменты
28. Полисахариды
29. Нуклеиновые кислоты
30. Липиды и фосфолипиды
31. Катаболизм и анаболизм
32. Метаболизм азота
33. Окислительно-восстановительные свойства молекул, уравнение Нернста
34. «Центральная догма» молекулярной биологии
35. Репликация
36. Мутагенез и репарация
37. Рекомбинация
38. Метод рекомбинантных ДНК
39. Транскрипция и сплайсинг
40. Трансляция
41. Хроматин
42. Общие принципы морфофункциональной организации эукариотической клетки
43. Митохондрии и хлоропласты
44. Секреторный путь клетки
45. Цитоскелет
46. Клеточные сигнальные системы
47. Клеточный цикл
48. Плазматическая мембрана

49. Нервные волокна
50. Генерация потенциалов действия в аксонном холмике
51. Синаптическая передача возбуждения в нервной системе
52. Химические синапсы
53. Нервно-мышечная передача
54. Интегративные функции ЦНС
55. Гомеостазис
56. Обмен энергии в организме
57. Биофизические механизмы трансдукции в рецепторах разных типов
58. Биофизика и физиология зрительного анализатора
59. Биофизика и физиология слухового анализатора
60. Ремоделирование костной ткани
61. Физиология мышечной ткани
62. Дыхательная система человека
63. Сердечно-сосудистая система
64. Сердце
65. Гемодинамика
66. Кровяное давление
67. Транспорт кислорода кровью
68. Антитела и антигены
69. Иммунная система организма