

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан физического факультета
С.Н. Филимонов

Оценочные материалы по дисциплине

Теория атомных спектров

по направлению подготовки

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная и прикладная физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
С.Н. Филимонов

Председатель УМК
О.М. Сюсина

Томск – 2025

1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

- ОПК-2 – способность проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;
- ПК-1 Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-2.2 Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования;

ИПК-1.1 Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования.

2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Элементы текущего контроля.

- посещаемость;
- опрос на лекции и практических занятиях.

Критерии оценивания:

Текущий контроль по дисциплине проводится с применением балльно-рейтинговой системы, включающей контроль посещаемости, результаты участия в работе в течение лекции и на практических занятиях, и фиксируется в форме баллов (нарастающим итогом):

- посещаемость, максимальный балл 10,
- выступление и работа на лекциях/практических занятиях, максимальный балл 10 баллов на одном занятии.

3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания

Экзамен в 1 семестре проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет включает 2 вопроса (перечень вопросов приведен ниже), проверяющих сформированность компетенции ПК-1 в соответствии с индикаторами ИПК-1.1 и ИПК-1.2. Ответы даются в развернутой форме. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Критерии оценивания.

На промежуточную аттестацию планируется не более 50 баллов.

Итоговая оценка по дисциплине складывается из суммы баллов, полученных по итогам текущего контроля и промежуточной аттестации.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Экзаменационная оценка определяется исходя из результатов экзамена и текущей аттестации в течение семестра и согласуется с принятым соответствием с 5-ти балльной шкалой оценивания: 100-86 – «отлично»; 85-66 – «хорошо»; 65-50 – «удовлетворительно», менее 50 – «неудовлетворительно».

Оценка «отлично», с учетом промежуточной успеваемости, выставляется, если даны правильные ответы на все теоретические вопросы по билету, а также даны правильные ответы на дополнительные и/или уточняющие вопросы по основным темам и содержанию курса.

Оценка «хорошо», с учетом промежуточной успеваемости, выставляется, если даны неполные правильные ответы на теоретические вопросы по билету, но имеются так же правильные ответы на часть дополнительных и/или уточняющих вопросов по основным темам и содержанию курса.

Оценка «удовлетворительно», с учетом промежуточной успеваемости, выставляется, если даны неправильные ответы на теоретические вопросы, но при этом даны правильные ответы на дополнительные и/или уточняющие вопросы по основным темам и содержанию курса.

Оценка «неудовлетворительно», с учетом промежуточной успеваемости, выставляется, если даны неправильные ответы на оба теоретических вопроса билета и отсутствуют ответы на дополнительные или уточняющие вопросы.

Перечень теоретических вопросов, выносимых на экзамен.

1. Приближение центрального поля.
2. Оператор поворота. Функции Вигнера и их основные свойства.
3. Общие правила отбора для мультипольных моментов: точные и приближенные для LS - связи.
4. Спектры щелочных металлов.
5. Неприводимые тензорные операторы.
6. Энергия термов неэквивалентных электронов.
7. Спектры щелочно-земельных металлов и **He**.
8. Сложение трех угловых моментов. $6j$ - символы.
9. Волновая функция оболочки из N неэквивалентных взаимодействующих электронов. Генеалогическая схема.
10. Основные характеристики спектров атомов с заполняющимися p -оболочками.
11. Вычисление приведенного матричного элемента оператора углового момента J .
12. Сила линии и мультиплета. Правило сумм для относительных сил линий.
13. Интерпретация электронных взаимодействий как взаимодействий угловых моментов.
14. Квадратичный эффект Штарка.
15. Спин-орбитальное взаимодействие для одного электрона вне заполненной оболочки.
16. Волновые функции двух электронов в случае LS - и jj - связей.
17. Теорема Вигнера-Экарта.
18. Спин-орбитальное взаимодействие в конфигурации l^N .
19. Квантовое число старшинства.
20. Тензорное произведение неприводимых тензорных операторов.
21. Сила осциллятора. Правило сумм для сил осцилляторов.
22. Выразить одноэлектронные операторы энергии атома через неприводимые тензорные операторы.
23. Сложение четырех и более угловых моментов. $9j$ - и $3nj$ - символы Вигнера.
24. Нормальный эффект Зеемана в слабых магнитных полях.
25. Движение электрона в одновалентных атомах: щелочные металлы.
26. Сложение двух угловых моментов. Коэффициенты Клебша-Гордона.
27. Спин-орбитальное взаимодействие в конфигурации $l^N l'$.
28. Типы связей и классификация уровней в атоме.
29. Матричные элементы тензорных произведений неприводимых тензорных операторов: тензоры действуют на одни переменные.
30. Эффект Зеемана (Пашена-Бака) в сильных магнитных полях.
31. Эмпирические правила Гунда, Ланде, Лапорте.
32. Волновая функция оболочки из N эквивалентных взаимодействующих электронов. Генеалогические коэффициенты.
33. Общее выражение для матричного элемента оператора спин-орбитального взаимодействия.
34. Система уравнений для генеалогических коэффициентов (на примере оболочки l^3).

35. Спектры атомов с достраивающимися d - и f - оболочками. Особенности классификации состояний f^N оболочки.
36. Матричные элементы тензорных произведений неприводимых тензорных операторов: тензоры действуют на разные переменные.
37. Рентгеновские спектры.
38. Движение электрона в одновалентных атомах: атом водорода. Тонкая структура.
39. Дипольный момент и правила отбора для электродипольного излучения.
40. Квадрупольный момент и правила отбора для квадрупольного излучения.
41. Оператор углового момента. Его основные свойства.
42. Выразить двухэлектронные операторы энергии атома через неприводимые тензорные операторы.
43. Магнитно-дипольный момент и правила отбора для магнитно-дипольного излучения .
44. Показать связь тензорного произведения неприводимых тензорных операторов с векторным произведениями векторов.
45. Энергия термов полностью заполненных оболочек.
46. Интенсивность мультипольных переходов.
47. Определение термов конфигураций из эквивалентных электронов.
48. Волновая функция полностью заполненной оболочки.
49. Линейный эффект Штарка.
50. Гамильтониан многоэлектронного атома.
51. Квазиспин.
52. Принцип спектроскопической устойчивости.
53. Прямое произведение неприводимых тензорных операторов. Матричные элементы прямого произведения неприводимых тензорных операторов.
54. Аномальный эффект Зеемана в слабых магнитных полях.
55. Эмпирические законы электромагнитного поля
56. Дифференциальная и интегральная формы уравнений Максвелла.
57. Учет атомной структуры вещества. Уравнения Максвелла-Лоренца.
58. Понятие мод поля. Плотность мод поля в полости.
59. Моды электромагнитного поля как гармонические осцилляторы.
60. Квантовомеханическое описание электромагнитного поля.
61. Гамильтониан взаимодействия частиц с электромагнитным полем.
62. Феноменологическая теория Эйнштейна. Кинетическое уравнение.
63. Квантовая теория коэффициентов Эйнштейна.
64. Общий вид уравнения переноса излучения.
65. Частные формы уравнения переноса излучения.
66. Предельные случаи решений уравнения переноса излучения: оптически тонкие среды и большие оптические толщ.
67. Теория теплового излучения: законы Планка, Вина, Рэлея-Джинса, Стефана-Больцмана, смещения Вина.
68. Полная плотность тока и поляризация среды. Средняя плотность тока.
69. Уравнение матрицы плотности подсистемы в термостате.
70. Общее определение восприимчивости и проводимости среды.
71. Классическая теория восприимчивости.
72. Квантовая теория восприимчивости: линейная восприимчивость.
73. Квантовая теория восприимчивости: квадратичная нелинейная восприимчивость.
74. Квантовая теория восприимчивости: кубичная нелинейная восприимчивость.
75. Ориентационная поляризация среды.
76. Диамагнитная восприимчивость.
77. Классическая модель уширения столкновением.
78. Квантовомеханическая теория уширения столкновением.

Ударное приближение в теории уширения столкновением. Приближения Андерсена-Тсао-Курньюта, Робера-Бонами, приближение точных траекторий.

Перечень вопросов, выносимых на практические занятия

1. Построить электронные конфигурации произвольных нейтральных атомов и ионов Периодической системы элементов в основном и возбужденных электронных состояниях .
2. Найти наиболее глубокие термы произвольных нейтральных атомов и ионов Периодической системы элементов (в приближении связи LS d^N).
3. Найти термы атомов с незаполненными оболочками s^N , d^N , f^N (N – число электронов в оболочке).
4. Вычислить приведенные матричные элементы скалярного тензорного произведения неприводимых тензорных операторов, когда операторы действуют на одинаковые переменные.
5. Вычислить приведенные матричные элементы скалярного тензорного произведения неприводимых тензорных операторов, когда операторы действуют на различные переменные.
6. Получить в одноэлектронном приближении выражения для термов оболочки p^2 в LS связи. Показать выполнение правила Гунда.
7. Получить в одноэлектронном приближении выражения для уровней энергии расщепленных термов оболочки p^2 из-за спин-орбитального взаимодействия в LS связи. Показать выполнение правила Гунда.

4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

Проверка сформированности компетенций ИОПК-2, ПК-1 в соответствии с индикаторами достижения ИОПК-2.2, ПК-1.

Вариант №1

1. Построить электронную конфигурацию атомов в основном электронном состоянии.
2. Построить электронную конфигурацию атомов в возбужденном электронном состоянии.

Вариант №2

1. Найти наиболее глубокие термы атомов в случае одной незаполненной оболочки (в приближении связи LS)
2. Найти наиболее глубокие термы атомов в случае нескольких незаполненных оболочек (в приближении связи LS).

Вариант №3

1. Найти термы атомов в случае неэквивалентных электронов (для LS и jj связей).
2. Найти термы возбужденных состояний атомов инертных газов в jl связи.
3. Установить соответствие уровней атома (конфигурация валентных электронов p^2) для LS связи с уровнями для случая jl связи.

Вариант №4

1. Найти термы атомов с незаполненными оболочками p^N (N – число электронов в оболочке).

2. Найти термы атомов с незаполненными оболочками d^N (N – число электронов в оболочке).
3. Найти термы атомов с незаполненными оболочками f^N (N – число электронов в оболочке).

Вариант №5

1. Записать волновую атомную двухэлектронную функцию для LS связи.
2. Записать волновую атомную двухэлектронную функцию для jj связи

Вариант №6

1. Записать двухэлектронную часть нерелятивистского гамильтониана атома в тензорном виде.
2. Изложить основные свойства $3j$, $6j$ и $9j$ символов Вигнера

Вариант №7

1. Получить правила отбора для электродипольного излучения атома.
2. Получить правила отбора для электроквадрупольного излучения атома.
3. Получить правила отбора для магнитодипольного излучения атома.

Вариант №8

1. Получить схему расщеплений уровней энергии атома Na, последовательно, в отсутствие магнитного постоянного поля, при слабом и сильном постоянных магнитных полях (использовать LS связь).
2. Объяснить различия расщеплений энергетических уровней атома при эффекте Штарка и эффекте Зеемана.

Информация о разработчиках

Черепанов Виктор Николаевич, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой оптики и спектроскопии ФФ НИ ТГУ