

Рабочая программа дисциплины

1. Название дисциплины.

Методы мессбауэровской спектроскопии

2. Лекторы.

2.1. Доктор физ.-мат. наук, профессор, Русаков Вячеслав Серафимович, кафедра общей физики, vrusakov@physics.msu.ru, +7 (495) 939-50-70.

3. Аннотация дисциплины.

Содержание дисциплины «Методы мессбауэровской спектроскопии» посвящено последовательному изложению теоретических и экспериментальных основ мессбауэровской спектроскопии. В курсе рассматриваются такие вопросы, как: ядерный энергетический переход, излучение ядра в твердом теле, мессбауэровские изотопы и их характеристики, схема проведения эксперимента, мессбауэровский спектрометр и режимы его работы, мессбауэровский спектр и его огибающая, взаимосвязь динамических свойств и сверхтонких взаимодействий ядер с параметрами мессбауэровского спектра, современные методы анализа и обработки мессбауэровских спектров, отличительные особенности мессбауэровской спектроскопии. Приводятся примеры практического применения мессбауэровской спектроскопии для получения информации об особенностях атомной, кристаллической, магнитной и электронной структур исследуемого вещества в современных исследованиях. В курсе предусмотрено ознакомление с основными методами проведения мессбауэровского эксперимента на спектрометрах с использованием специализированного оборудования. Особенностью дисциплины является широкое использование проекционной и компьютерной техники, интернет-ресурсов.

4. Цели освоения дисциплины.

Овладеть базовыми теоретическими знаниями в области мессбауэровской спектроскопии. Ознакомиться с основными методами проведения мессбауэровского эксперимента и обработки мессбауэровских спектров. Выработать умение использовать полученные базовые знания при интерпретации результатов мессбауэровского эксперимента.

5. Задачи дисциплины.

Получение базовых теоретических знаний в области мессбауэровской спектроскопии. Ознакомление с основными методами проведения мессбауэровского эксперимента и обработки мессбауэровских спектров. Умение использовать полученные базовые знания при интерпретации результатов мессбауэровского эксперимента.

6. Компетенции.

6.1. Компетенции, необходимые для освоения дисциплины:

М-ОНК-2, М-ИК-2, М-СК-2

6.2. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины:

М-ИК-3, М-ПК-1, М-ПК-2, М-ПК-3, М-СПК-5

7. Требования к результатам освоения содержания дисциплины.

В результате освоения дисциплины студент должен (М-СПК-5):

- знать физические основы и методы мессбауэровской спектроскопии, ее отличительные особенности;

- уметь использовать полученные базовые знания при интерпретации результатов мессбауэровского эксперимента для решения задач в области физики конденсированных сред.

8. Содержание и структура дисциплины.

Вид работы	Семестр			Всего
			9	
Общая трудоёмкость, акад. часов			108	108
Аудиторная работа:			36	36
Лекции, акад. часов			18	18
Семинары, акад. часов			18	18
Лабораторные работы, акад. часов			–	–
Самостоятельная работа, акад. часов			72	72
Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен)			Экзамен	Экзамен

N раз- дела	Наименование раздела	Трудоёмкость (академических часов) и содержание занятий			Форма текущего контроля	
		Аудиторная работа				Самостоятельная работа
		Лекции	Семинары	Лабораторные работы		
1	Сущность эффекта Мессбауэра. Основы мессбауэровского эксперимента. Динамические свойства мессбауэровских ядер.	2 часа. <i>Атомное ядро и ядерный энергетический переход. Характеристики ядра. Характеристики энергетического перехода. Мультипольность излучения и правила отбора.</i>			4 часа. <i>Работа с лекционным материалом: Атомное ядро и ядерный энергетический переход. Характеристики ядра. Характеристики энергетического перехода. Мультипольность излучения и правила отбора.</i>	КР, Оп, Об,
		2 часа. <i>Форма линий испускания и поглощения. Типы радиационных переходов. Коэффициенты Эйнштейна и их взаимосвязь. Контур спектральной линии. Сечение резонансного поглощения и рассеяния.</i>			4 часа. <i>Работа с лекционным материалом: Форма линий испускания и поглощения. Типы радиационных переходов. Коэффициенты Эйнштейна и их взаимосвязь. Контур спектральной линии. Сечение резонансного поглощения и рассеяния.</i>	
		2 часа. <i>Потеря энергии на отдачу и доплеровское уширение линии. Эффект Мессбауэра и его вероятность. Линии испускания и поглощения ядрами в твердом теле. Вероятность эффекта Мессбауэра. Общая схема ядерных превращений в эффекте Мессбауэра. Схемы ядерных превращений и основные характеристики мессбауэровских изотопов.</i>			4 часа. <i>Работа с лекционным материалом: Потеря энергии на отдачу и доплеровское уширение линии. Эффект Мессбауэра и его вероятность. Линии испускания и поглощения ядрами в твердом теле. Вероятность эффекта Мессбауэра. Общая схема ядерных превращений в эффекте Мессбауэра. Схемы ядерных превращений и основные характеристики мессбауэровских изотопов.</i>	
		2 часа. <i>Колебательный спектр ядра в твердом теле. Вероятность эффекта и колебательный спектр ядра. Температурный сдвиг и колебательный спектр ядра. Динамика атомов в твердом теле. Однопараметрические (дебаевское и эйнштейновское) приближения. Вероятность эффекта и площадь мессбауэровской линии. Эффект насыщения.</i>			4 часа. <i>Работа с лекционным материалом: Колебательный спектр ядра в твердом теле. Вероятность эффекта и колебательный спектр ядра. Температурный сдвиг и колебательный спектр ядра. Динамика атомов в твердом теле. Однопараметрические (дебаевское и эйнштейновское) приближения. Вероятность эффекта и площадь мессбауэровской линии. Эффект насыщения.</i>	
			2 часа. <i>Схема проведения эксперимента. Мессбауэровский спектрометр.</i>		4 часа. <i>Работа с семинарским материалом. Схема проведения эксперимента.</i>	

			<i>Геометрия эксперимента. Детекторы излучения. Аппаратура для температурных измерений. Программа управления мессбауэровским спектрометром криостатами.</i>		<i>Мессбауэровский спектрометр. Геометрия эксперимента. Детекторы излучения. Аппаратура для температурных измерений. Программа управления мессбауэровским спектрометром криостатами.</i>	
			<i>2 часа. Мессбауэровский спектр и эффект Доплера. Мессбауэровский спектр и распределение Пуассона.. Огибающая мессбауэровского спектра. Величина эффекта и эффективная толщина образца.</i>		<i>4 часа. Работа с семинарским материалом: Мессбауэровский спектр и эффект Доплера. Мессбауэровский спектр и распределение Пуассона.. Огибающая мессбауэровского спектра. Величина эффекта и эффективная толщина образца.</i>	
			<i>2 часа. Форма линии излучения, линии поглощения и резонансной линии. Форма линии Фойгта. Анализ применения различных профилей резонансной линии. Самопоглощение в источнике. Геометрический эффект. Влияние изменения угловой апертуры регистрируемого пучка и угла вылета γ-кванта. Качество спектра и оптимизация эксперимента.</i>		<i>4 часа. Работа с семинарским материалом: Форма линии излучения, линии поглощения и резонансной линии. Форма линии Фойгта. Анализ применения различных профилей резонансной линии. Самопоглощение в источнике. Геометрический эффект. Влияние изменения угловой апертуры регистрируемого пучка и угла вылета γ-кванта. Качество спектра и оптимизация эксперимента.</i>	
			<i>2 часа. Контрольная работа по тематике раздела 1.</i>		<i>4 часа. Подготовка к контрольной работе. Работа с учебными и методическими пособиями и научными статьями по теме раздела 1.</i>	
2	Сверхтонкие взаимодействия и параметры мессбауэровского спектра. Методы обработки и анализа мессбауэровских данных.	<i>2 часа. Энергия электростатического взаимодействия. Электрическое монопольное взаимодействие и сдвиг мессбауэровской линии. Описание электронной конфигурации атома. Водородоподобный атом. Многоэлектронный атом. Одноэлектронное приближение. Эффекты ковалентности.</i>			<i>4 часа. Работа с лекционным материалом: Энергия электростатического взаимодействия. Электрическое монопольное взаимодействие и сдвиг мессбауэровской линии. Описание электронной конфигурации атома. Водородоподобный атом. Многоэлектронный атом. Одноэлектронное приближение. Эффекты ковалентности.</i>	<i>КР, Оп, Об,</i>
		<i>2 часа. Феноменологический подход. Ядра ^{57}Fe и ^{119}Sn. Электрическое квадрупольное взаимодействие и квадру-</i>			<i>4 часа. Работа с лекционным материалом: Феноменологический подход. Ядра ^{57}Fe и ^{119}Sn. Электрическое квадрупольное взаимодействие и квадру-</i>	

		<p>польное смещение компонент спектра. Свойства тензоров квадрупольного момента ядра и градиента электрического поля. Гамильтониан квадрупольного взаимодействия и сверхтонкая структура ядерных уровней. Интенсивности ядерных переходов.</p>			<p>польное взаимодействие и квадрупольное смещение компонент спектра. Свойства тензоров квадрупольного момента ядра и градиента электрического поля. Гамильтониан квадрупольного взаимодействия и сверхтонкая структура ядерных уровней. Интенсивности ядерных переходов.</p>		
	2 часа.	<p>Градиент электрического поля. Эффекты экранирования. Градиент электрического поля локализованных зарядов окружающих ионов. Градиент электрического поля валентных электронов мессбауэровского атома. Атомы Fe. и Sn. Градиент электрического поля электронов проводимости.</p>			4 часа.	<p>Работа с лекционным материалом: Градиент электрического поля. Эффекты экранирования. Градиент электрического поля локализованных зарядов окружающих ионов. Градиент электрического поля валентных электронов мессбауэровского атома. Атомы Fe. и Sn. Градиент электрического поля электронов проводимости.</p>	
	2 часа.	<p>Магнитное дипольное взаимодействие и мессбауэровский спектр. Магнитный момент ядра. Гамильтониан магнитного взаимодействия и сверхтонкая структура ядерных уровней. Интенсивности ядерных переходов.</p>			4 часа.	<p>Работа с лекционным материалом: Магнитное дипольное взаимодействие и мессбауэровский спектр. Магнитный момент ядра. Гамильтониан магнитного взаимодействия и сверхтонкая структура ядерных уровней. Интенсивности ядерных переходов.</p>	
	2 часа.	<p>Эффективное магнитное поле на ядре. Микроскопические вклады – фермиевский, орбитальный, спиновый и электронов проводимости. Макроскопические вклады. Комбинированное сверхтонкое взаимодействие.</p>			4 часа.	<p>Работа с лекционным материалом: Эффективное магнитное поле на ядре. Микроскопические вклады – фермиевский, орбитальный, спиновый и электронов проводимости. Макроскопические вклады. Комбинированное сверхтонкое взаимодействие.</p>	
			2 часа.	<p>Классификация методов анализа и обработки мессбауэровских спектров. Комплексный подход к обработке спектра и роль априорной информации. Улучшение качества спектра – повышение разрешения и шумоподавление. Сравнительный</p>		4 часа.	<p>Работа с семинарским материалом: Классификация методов анализа и обработки мессбауэровских спектров. Комплексный подход к обработке спектра и роль априорной информации. Улучшение качества спектра – повышение разрешения и</p>

			<i>анализ линейных методов улучшения качества спектра.</i>		<i>шумоподавление. Сравнительный анализ линейных методов улучшения качества спектра.</i>	
			<i>2 часа. Методы фильтрации, регуляризации и "невязки". Модельная расшифровка спектра. Восстановление распределений параметров парциальных спектров.</i>		<i>4 часа. Работа с семинарским материалом: Методы фильтрации, регуляризации и "невязки". Модельная расшифровка спектра. Восстановление распределений параметров парциальных спектров.</i>	
			<i>2 часа. Сравнение со спектрами образцов-эталонов. Моделирование спектров. Расчет решеточных сумм и оценка вкладов в сверхтонкие параметры спектра.</i>		<i>4 часа. Работа с семинарским материалом: Сравнение со спектрами образцов-эталонов. Моделирование спектров. Расчет решеточных сумм и оценка вкладов в сверхтонкие параметры спектра.</i>	
			<i>2 часа. Обработка температурных, полевых и временных зависимостей площади и сдвига мессбауэровской линии, сверхтонкого поля. Мессбауэровское температурное сканирование. Отличительные особенности мессбауэровской спектроскопии.</i>		<i>4 часа. Работа с семинарским материалом: Обработка температурных, полевых и временных зависимостей площади и сдвига мессбауэровской линии, сверхтонкого поля. Мессбауэровское температурное сканирование. Отличительные особенности мессбауэровской спектроскопии.</i>	
			<i>2 часа. Контрольная работа по тематике раздела 2.</i>		<i>4 часа. Подготовка к контрольной работе. Работа с учебными и методическими пособиями и научными статьями по теме раздела 2.</i>	
Всего (академических часов)	18	18			72	

Формы текущего контроля успеваемости: КР – контрольная работа (КР); Оп – опрос; Об – обсуждение.

9. Место дисциплины в структуре ООП ВПО

1. Дисциплина является обязательной.
2. Вариативная часть, профессиональный блок, модуль (магистерская программа) "Физика конденсированных сред и сложных систем".
3. Дисциплина входит в модуль (магистерскую программу) "Физика конденсированных сред и сложных систем", входящего в профессиональный блок вариативной части ООП ВПО. Дисциплина является теоретическим и экспериментальным базисом к овладению современными методами мессбауэровской спектроскопии. Дисциплина дополняет дисциплины из ООП, посвященные физике конденсированного состояния, физике магнитных явлений, ядерно-резонансным методам исследования.
 - 3.1. Дисциплины и практики, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины:
 - дисциплины "Физика атомного ядра и частиц" и "Атомная физика" из модуля "Общая физика" профессионального блока базовой части ООП ВПО,
 - дисциплины "Электродинамика" и "Квантовая теория" из модуля "Теоретическая физика" профессионального блока базовой части ООП ВПО.
 - 3.2. Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:
 - научно-исследовательская работа из блока "Научно-исследовательская работа" и выпускная квалификационная работа по направлению "Физика" из блока "Итоговая государственная аттестация".

10. Образовательные технологии

Образовательные технологии, используемые при реализации различных видов учебной работы и дающие наиболее эффективные результаты освоения дисциплины:

- дискуссии,
- консультации,
- мультимедийное и проекционное оборудование;
- средства дистанционного сопровождения учебного процесса (сайт лектора с оригинальными методическими материалами).

11. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Промежуточные аттестации проводятся на 8 и 18 неделях в форме контрольной с оценкой. Критерий формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, восприятие излагаемого материала.

Полный перечень вопросов к зачёту.

1. Атомное ядро и его характеристики (*описание, характерные значения*).
2. Нуклоны и их характеристики (*описание, характерные значения*).
3. Характеристики состояния ядра (*определения, характерные значения*).
4. Время жизни ядра в возбужденном состоянии и время полураспада (*определения, характерные значения*).
5. Соотношение неопределенностей Гейзенберга (*формула, интерпретация*).
6. Радиационная ширина уровня (*определение*).
7. Коэффициент внутренней конверсии (*определение, характерные значения*).
8. Мультипольность излучения (*определение*).
9. Правила отбора по угловому моменту и четности излучения (*формулы, пояснения, примеры*).
10. Заселенность уровня (*определение*).
11. Типы радиационных переходов (*утверждения*).

12. Мощности излучения и поглощения и коэффициенты Эйнштейна (*формулы, физический смысл, единицы измерения*).
13. Соотношения между коэффициентами Эйнштейна (*формулы*).
14. Контур спектральной линии и его форма (*определение, формула, рисунок*).
15. Сечение резонансного поглощения (*определение*).
16. Максимальное сечение резонансного поглощения и рассеяния (*формулы*).
17. Энергия отдачи ядра (*формула, характерные значения*).
18. Линии испускания и поглощения ядрами в твердом теле (*рисунки, пояснения*).
19. Эффект Мессбауэра (*определение*).
20. Вероятность эффекта Мессбауэра и среднее значение квадрата смещения ядра (*определение, формула*).
21. Общая схема ядерных превращений в эффекте Мессбауэра (*рисунок, пояснения*).
22. Схема ядерных превращений для мессбауэровского изотопа ^{57}Fe с источником $^{57}_{26}\text{Fe}$ (*рисунок, пояснения*).
23. Схема ядерных превращений для мессбауэровского изотопа ^{119}Sn с источником $^{119\text{m}}_{50}\text{Sn}$ (*рисунок, пояснения*).
24. Основные характеристики мессбауэровских изотопов (*определения, характерные значения*).
25. Функциональная схема и составные части мессбауэровского спектрометра (*рисунок, описание*).
26. Основные режимы работы мессбауэровского спектрометра (*описание, характерные значения параметров*).
27. Методы регистрации мессбауэровского спектра, геометрия эксперимента (*описание, рисунок*).
28. Мессбауэровский спектр, базовая линия, видимая величина эффекта, статистическая погрешность (*определения, рисунок, описание*).
29. Огибающая мессбауэровского спектра (*определение, формула*).
30. Огибающая мессбауэровского спектра в приближении тонкого образца (*формула*).
31. Величина эффекта и эффективная толщина образца (*определения, формула*).
32. Величина эффекта в приближении тонкого образца (*формула*).
33. Форма линии излучения, линии поглощения и резонансной линии (*формулы, пояснения*).
34. Самопоглощение в источнике (*формула, пояснения*).
35. Геометрический эффект (*рисунки, формула, описание*).
36. Качество спектра и оптимизация эксперимента (*определение, формулы, пояснения*).
37. Колебательный спектр ядра вдоль направления (*определение*).
38. Вероятность эффекта и колебательный спектр ядра (*определения, формула*).
39. Температурный сдвиг мессбауэровской линии и среднее значение квадрата скорости ядра (*определение, формула, характерные значения*).
40. Температурный сдвиг и колебательный спектр ядра (*определения, формула*).
41. Дебаевское и Эйнштейновское приближения колебательного спектра (*описание, формулы*).
42. Дебаевская частота и температура (*определения, формула*).
43. Эйнштейновская частота и температура (*определения, формула*).
44. Температурная зависимость вероятности эффекта Мессбауэра в дебаевском приближении (*рисунок, описание*).
45. Температурная зависимость температурного сдвига Мессбауэровской линии в дебаевском приближении (*рисунок, описание*).
46. Вероятность эффекта и площадь мессбауэровской линии (*формула, описание*).
47. Площадь мессбауэровской линии в приближении тонкого образца (*формула*).
48. Эффект насыщения (*рисунки, описание*).
49. Сверхтонкие взаимодействия (*определение*).

50. Энергия электростатического взаимодействия ядра с внешним электрическим полем (*формула, пояснение*).
51. Энергия сверхтонкого электрического монопольного взаимодействия ядра (*формула, пояснение*).
52. Изомерный (химический) сдвиг мессбауэровской линии (*определение, формула, пояснения, характерные значения*).
53. Мессбауэровский синглет и его параметры (*рисунок*).
54. Электронная конфигурация атома (*определение, формула, пояснение*).
55. Феноменологическое описание связи изомерного сдвига с электронной конфигурацией атома (*формула, пояснение*).
56. Связь изомерного сдвига мессбауэровской линии ядер ^{57}Fe с электронной конфигурацией атома железа (*формула, пояснение*).
57. Связь изомерного сдвига мессбауэровской линии ядер ^{119}Sn с электронной конфигурацией атома олова (*формула, пояснение*).
58. Характерные области значений сдвигов мессбауэровской линии ядер ^{57}Fe (*рисунок, пояснение*).
59. Влияние степени ковалентности связей на сдвиг мессбауэровской линии ядер ^{57}Fe (*рисунок, пояснение*).
60. Влияние спинового состояния атомов железа на сдвиг мессбауэровской линии ядер ^{57}Fe (*рисунок, пояснение*).
61. Характерные области значений сдвигов мессбауэровской линии ядер ^{119}Sn (*рисунок, пояснение*).
62. Влияние степени ковалентности связей на сдвиг мессбауэровской линии ядер ^{119}Sn (*рисунок, пояснение*).
63. Энергия сверхтонкого электрического квадрупольного взаимодействия ядра (*формула, пояснение*).
64. Тензор градиента электрического поля и его свойства (*определение, формула, описание*).
65. Градиент электрического поля и параметр асимметрии (*определение, формулы, описание*).
66. Тензор квадрупольного момента ядра и его свойства (*определение, формула, описание*).
67. Квадрупольного момента ядра (*определение, формула*).
68. Гамильтониан электрического квадрупольного взаимодействия (*формулы, пояснения*).
69. Константа квадрупольного взаимодействия (*определение, формула*).
70. Структура энергетических уровней ядра в неоднородном электрическом поле и межуровневые переходы (*рисунок, пояснения*).
71. Мессбауэровский квадрупольный дублет и его параметры (*рисунок*).
72. Квадрупольные смещение и расщепление мессбауэровской линии (*определения, рисунок, формула*).
73. Угловые зависимости интенсивностей компонент квадрупольного дублета (*рисунки, формулы*).
74. Эффект Гольданского-Корягина (*формулы, пояснения*).
75. Эффект и факторы экранирования (антиэкранирования) (*формулы, рисунки, пояснения*).
76. Градиент электрического поля локализованных зарядов, матрица решеточных сумм (*формулы*).
77. Градиент электрического поля валентных электронов (*формулы, таблица, описание*).
78. Характерные области значений сдвига мессбауэровской линии и квадрупольного смещения компонент спектра ядер ^{57}Fe для ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} (*рисунок, описание, пояснение*).
79. Магнитный дипольный момент ядра (*определение, формула*).

80. Ядерный магнетон (*формула*).
81. g -Фактор ядра (*определение, формула*).
82. Энергия сверхтонкого магнитного взаимодействия ядра (*формула, пояснение*).
83. Гамильтониан сверхтонкого магнитного взаимодействия ядра (*формула, пояснение*).
84. Структура энергетических уровней ядра в магнитном поле и межуровневые переходы (*рисунок, пояснения*).
85. Мессбауэровский зеемановский секстет и его параметры (*рисунок, пояснения*).
86. Угловые зависимости интенсивностей компонент зеемановского секстета (*рисунки, формулы*).
87. Основные микроскопические механизмы формирования эффективного магнитного поля в области расположения ядра (*описание, формулы*).
88. Фермиевский вклад в эффективное магнитное поле в области расположения ядра (*формула, характерные значения*).
89. Основные макроскопические механизмы формирования эффективного магнитного поля в области расположения ядра (*описание, формулы*).
90. Дипольный вклад в эффективное магнитное поле в области расположения ядра (*формула, характерные значения*).
91. Поле Лоренца (*формула, характерные значения*).
92. Размагничивающее поле (*формула, характерные значения*).
93. Гамильтониан комбинированного сверхтонкого взаимодействия (*формулы*).
94. Мессбауэровский спектр при комбинированном сверхтонком взаимодействии (*рисунок, пояснения*).
95. Основные методы анализа и обработки мессбауэровских спектров (*классификация, описание, особенности*).
96. Комплексный подход к обработке спектра и роль априорной информации (*описание, взаимосвязь*).
97. Основные методы анализа и обработки параметров мессбауэровских спектров (*классификация, описание, особенности*).
98. Методы улучшения качества спектра – повышения разрешения и шумоподавления (*формулы, описание*).
99. Линейная модель регистрации спектра (*формула*).
100. Аппаратная функция спектрометра (*определение, формула*).
101. Оперативная характеристика метода (*определение, формула*).
102. Основы метода модельной расшифровки спектров, его характерные особенности (*формулы, описание*).
103. Основы метода восстановления распределений параметров парциальных спектров, его характерные особенности (*формулы, описание*).
104. Методы описания релаксационных спектров (*формулы, описание*).
105. Методы описания спектров спиновых волн (*формулы, описание*).
106. Отличительные особенности мессбауэровской спектроскопии, ее достоинства и недостатки (*описание*).

Примечание. В конце каждого вопроса в скобках указана форма представления материала:

определение – дать определение физической величины или физического понятия;

рисунок – привести рисунок и дать пояснения;

свойства – описать свойства;

схема – нарисовать и описать схему;

описание – дать описание явления, механизма, особенностей и т.д.;

пояснение – дать пояснение к рисунку, формуле, таблице;

оценка – сделать оценку значения интересующей величины;

пример – привести пример применения метода, расчета и т.д.;

формула – написать формулу, дать определение физических величин, входящих в формулу, дать физическую интерпретацию и указать способ ее получения.

Полный перечень вопросов к экзамену.

Билет №1

1. Атомное ядро и ядерный энергетический переход. Характеристики ядра и энергетического перехода. Мультипольность излучения и правила отбора.
2. Описание электронной конфигурации атома. Водородоподобный атом. Многоэлектронный атом. Одноэлектронное приближение. Эффекты ковалентности.

Билет №2

1. Форма линий испускания и поглощения. Типы радиационных переходов. Коэффициенты Эйнштейна и их взаимосвязь. Контур спектральной линии.
2. Обработка температурных, полевых и временных зависимостей площади и сдвига мессбауэровской линии, сверхтонкого поля. Мессбауэровское температурное сканирование.

Билет №3

1. Потеря энергии на отдачу и доплеровское уширение линии. Эффект Мессбауэра и его вероятность. Линии испускания и поглощения ядрами в твердом теле. Вероятность эффекта Мессбауэра.
2. Сравнение со спектрами образцов-эталонов. Расчет решеточных сумм и оценка вкладов в сверхтонкие параметры спектра.

Билет №4

1. Схема проведения эксперимента. Мессбауэровский спектрометр. Мессбауэровский спектр и эффект Доплера. Мессбауэровский спектр и распределение Пуассона.
2. Модельная расшифровка спектра. Восстановление распределений параметров парциальных спектров.

Билет №5

1. Форма линии излучения, линии поглощения и резонансной линии. Форма линии Фойгта. Анализ применения различных профилей резонансной линии. Самопоглощение в источнике.
2. Классификация методов анализа и обработки мессбауэровских спектров. Комплексный подход к обработке спектра и роль априорной информации.

Билет №6

1. Колебательный спектр ядра в твердом теле. Вероятность эффекта и колебательный спектр ядра. Температурный сдвиг и колебательный спектр ядра.
2. Отличительные особенности мессбауэровской спектроскопии.

Билет №7

1. Динамика атомов в твердом теле. Однопараметрические (дебаевское и эйнштейновское) приближения. Вероятность эффекта и площадь мессбауэровской линии. Эффект насыщения.
2. Электрическое квадрупольное взаимодействие и квадрупольное смещение компонент спектра. Свойства тензоров квадрупольного момента ядра и градиента электрического поля.

Билет №8

1. Энергия электростатического взаимодействия. Электрическое монопольное взаимодействие и сдвиг мессбауэровской линии.
2. Гамильтониан квадрупольного взаимодействия и сверхтонкая структура ядерных уровней. Интенсивности ядерных переходов.

Билет №9

1. Феноменологический подход в описании механизма формирования сдвига мессбауэровской линии для ядер ^{57}Fe и ^{119}Sn .
2. Улучшение качества спектра – повышение разрешения и шумоподавление. Методы фильтрации, регуляризации и "невязки".

Билет №10

1. Градиент электрического поля. Эффекты экранирования. Градиент электрического поля локализованных зарядов окружающих ионов.

2. Огибающая мессбауэровского спектра. Величина эффекта и эффективная толщина образца.

Билет №11

1. Градиент электрического поля. Эффекты экранирования. Градиент электрического поля валентных электронов мессбауэровского атома. Атомы Fe. и Sn. Градиент электрического поля электронов проводимости.
2. Геометрический эффект. Влияние изменения угловой апертуры регистрируемого пучка и угла вылета γ -кванта. Качество спектра и оптимизация эксперимента.

Билет №12

1. Магнитное дипольное взаимодействие и мессбауэровский спектр. Магнитный момент ядра. Гамильтониан магнитного взаимодействия и сверхтонкая структура ядерных уровней. Интенсивности ядерных переходов.
2. Общая схема ядерных превращений в эффекте Мессбауэра. Схемы ядерных превращений и основные характеристики мессбауэровских изотопов.

Билет №13

1. Эффективное магнитное поле на ядре. Микроскопические вклады – фермиевский, орбитальный, спиновый и электронов проводимости. Макроскопические вклады. Комбинированное сверхтонкое взаимодействие.
2. Сечение резонансного поглощения и рассеяния.

12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Основная литература:

1. Вертхейм Г. "Эффект Мессбауэра". – М.: Мир. 1966. – 172с.
2. Шпинель В.С. Резонанс гамма-лучей в кристаллах. – М.: Наука. 1969. – 407с.
3. Русаков В.С. Мессбауэровская спектроскопия локально неоднородных систем. – Алматы. ИЯФ НЯЦ РК. 2000. – 431с. ISBN 9965-9111-2-6.
4. Русаков В.С. Основы мессбауэровской спектроскопии. Учебное пособие. - М.: Физический факультет МГУ. 2011. 292 с. ISBN 978-5-8279-0097-9.

Дополнительная литература:

1. Химические применения мессбауэровской спектроскопии. Под ред. В.И. Гольданского и Р. Гербера. - М.: Мир. 1970. – 502с.
2. Иркаев С.М., Кузьмин Р.Н., Опаленко А.А. Ядерный гамма-резонанс. – М: Изд-во Моск. Ун-та. 1970.
3. Литвинов В.С., Каракишев С.Д., Овчинников В.В. Ядерная гамма-резонансная спектроскопия сплавов. М.: "Металлургия". 1982. – 144с.
4. Advances in Mossbauer spectroscopy. Edited by B.V. Thosar and P.K. Lyengar. Amsterdam-Oxford-New York. 1983. - 941p.
5. Николаев В.И., Русаков В.С. Мессбауэровские исследования ферритов. – М: Изд-во Моск. Ун-та. 1985. – 224с.
6. Mossbauer Spectroscopy. Edited by D.P.E. Dickson and F.J. Berry. Cambridge University Press, 1986. – 274p.

Периодическая литература:

1. Русаков В.С., Покатилов В.С., Сигов А.С., Мацнев М.Е., Губайдулина Т.В. Диагностика пространственной спин-модулированной структуры методами ядерного магнитного резонанса и мессбауэровской спектроскопии. // Письма в ЖЭТФ, том 100, вып. 7, с. 518 – 524 (2014).
2. Rusakov V., Yaroslavtsev S., Matsnev M., Kulova T., Skundin A., Novikova S., Yaroslavtsev A. Mössbauer study of $\text{Li}_x\text{Fe}_{1-y}\text{Co}_y\text{PO}_4$ as cathode materials for Li-ion batteries. // Hyperfine Interactions. V. 226, Issue 1-3, pp 791-796 (2014).
3. Русаков В.С., Пресняков И.А., Соболев А.В., Гапочка А. М., Мацнев М.Е., Белик А.А. Пространственно-модулированная магнитная структура AgFeO_2 : мессбауэровское исследование на ядрах ^{57}Fe . // Письма в ЖЭТФ. Т. 98. Вып. 9. Стр. 613-619 (2013).

4. Sedykh V., Rusakov V., Kveder V., Zver'Kova I., Kulakov V. Fluctuations of structural transformations in $\text{La}_{0.95}\text{Ba}_{0.05}\text{Mn}_{0.9857}\text{Fe}_{0.02}\text{O}_{3+\delta}$ under heat treatment. // *Materials Letters*. Volume 96, pp. 82 – 84 (2013) / DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2013.01.031>.
5. Rusakov V.S., Presniakov I.A., Sobolev A.V., Demazeau G., Gapochka A.M., Gubaydulina T.V., Matsnev M.E., Volkova O.S., Vasil'ev A.N. Magnetic exchange interactions and supertransferred hyperfine fields at ^{119}Sn probe atoms in $\text{CaCu}_3\text{Mn}_4\text{O}_{12}$ manganite. // *Solid State Phenomena*, v. 190, p. 695-698 (2012).
6. Chistyakova Nataliya I., Rusakov Vyacheslav S., Shapkin Alexey A., Zhilina Tatyana N., Zavarzina Darya G. Mössbauer study of dissimilatory reduction of iron contained in glauconite by alkaliphilic bacteria. // *Hyperfine Interactions*, **208**, № 1, 85–89 (2012).
7. Matsnev M.E., Rusakov V.S. SpectrRelax: An Application for Mössbauer Spectra Modeling and Fitting. // *AIP Conf. Proc.*, **1489**, 178-185 (2012).
8. Presniakov I. A., Rusakov V. S., Demazeau G., Sobolev A. V., Glazkova Ya. S., Gubaidulina T. V., Gapochka A. M., Volkova O. S., and Vasiliev A. N. Magnetic exchange interactions and supertransferred hyperfine fields at ^{119}Sn probe atoms in $\text{CaCu}_3\text{Mn}_4\text{O}_{12}$. // *Physical Review B*, **85**, 024406-1-13 (2012).
9. Русаков В.С., Пресняков И.А., Соболев А.В., Демазо Ж., Губайдулина Т.В., Мацнев М.Е., Гапочка А.М., Волкова О.С., Васильев А.Н. Сверхтонкие магнитные поля на ядрах зондовых атомов ^{119}Sn и обменные взаимодействия в манганите $\text{CaCu}_3\text{Mn}_{3.96}\text{Sn}_{0.04}\text{O}_{12}$. // *ЖЭТФ*, т. 139, №3, вып. 4, стр. 711-719. (2011).

Интернет-ресурсы:

1. <http://moss.phys.msu.ru/moss>

Методические пособия к лабораторным занятиям:

1. Русаков В.С., Губайдулина Т.В. Специальный физический практикум. Мессбауэровская спектроскопия. Учебное пособие – М.: ООП Физ. фак-та МГУ, 2009. 83 с.

13. Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Лекции по дисциплине проводятся в учебной аудитории им. А.Н. Матвеева (комн. 4-30) физического факультета. Лекционная аудитория обеспечена проекционным оборудованием, ноутбуком и маркерной доской. Ознакомление с основными методами проведения мессбауэровского эксперимента и обработки мессбауэровских спектров проводятся в экспериментальной лаборатории кафедры общей физики (комн. 1-38 и 1-54). Экспериментальная лаборатория оснащена мессбауэровскими спектрометрами, оборудованием для температурных измерений, а также компьютерами для анализа и обработки мессбауэровских данных.