

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

А.Л. Толстик

(подпись) (И.О.Фамилия)

27.09.2012г.

(дата утверждения)

Регистрационный № УД- 8269 /баз.

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ

(название дисциплины)

Учебная программа для специальности:

1- 31 04 01 – Физика

(код специальности) (наименование специальности)

(1-31 04 01-01 научно-исследовательская деятельность)

(1-31 04 01-02 научно-производственная деятельность)

(1-31 04 01-03 научно-педагогическая деятельность)

(1-31 04 01-04 управленческая деятельность)

СОСТАВИТЕЛЬ:

А.И. Комяк – профессор кафедры лазерной физики и спектроскопии Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор физики.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Г.А. Пицевич – доцент кафедры физической оптики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук

Д.С. Умрейко – главный научный сотрудник НИИ ПФП им. А.Н. Севченко, доктор физико-математических наук, профессор

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой лазерной физики и спектроскопии Белорусского государственного университета (протокол № 12 от 20 апреля 2012);

Учебно-методической комиссией физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 9 от 15.05 2012 г.).

Рассмотрена научно-методическим советом Белорусского государственного университета (протокол № 5 от 28.05 2012 г.).

Ответственный за редакцию: **А.И. Комяк**

Ответственный за выпуск: **А.И. Комяк**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Свечение молекул и конденсированного вещества, предварительно облученных различными видами жесткого или мягкого электромагнитного излучения, находит все более широкое применение как в области техники и научного приборостроения (люминесцентные источники света, детекторы ядерных излучений и др.), так и в различных областях науки, включая молекулярную спектроскопию, спектральный анализ, фотохимию, радиационную и лазерную физику. Особое место при этом занимают методы качественного и количественного анализа состава и строения вещества по спектру излучаемого этим веществом света люминесценции. Большинство материалов, применяемых в квантовой электронике в качестве активных генерирующих сред, являются хорошо люминесцирующими веществами со сравнительно высоким квантовым выходом, хотя в случае достаточно высокоинтенсивной накачки данное условие не является обязательным.

Жидкие и твердые растворы красителей, используемые в качестве люминофоров, фотосенсибилизаторов люминесцентных меток, компонентов кино- и фотоматериалов, отбеливателей для тканей, пластмасс и др., широко применяются в химической промышленности. Получение новых материалов и совершенствование методов анализа вещества должно базироваться на глубоком фундаментальном изучении всех физических и физико-химических процессов, происходящих в веществе под действием падающего и поглощаемого электромагнитного излучения. Поэтому все вопросы преобразования энергии поглощаемого света внутри вещества и последующего его испускания в виде света люминесценции приобретают существенное значение при подготовке специалистов по квантовой электронике и спектроскопии, как физиков – исследователей, так и физиков-инженеров.

Таким образом, целью предлагаемого курса является освоение студентами фундаментальных основ поглощения, преобразования и испускания света молекулами и молекулярными системами с учетом их дальней-

шего использования в практической деятельности. Материал курса основывается на базовых знаниях и представлениях, полученных студентом при изучении общих курсов оптики, атомной физики, квантовой механики и др. Общее число часов 46 (для 1-31 04 01-01 и 1-31 04 01-02, в том числе 26 аудиторных, из них лекции -18, КСР-8) и 42 (для 1-31 04 01-03 и 1-31 04 01-04, в том числе 26 аудиторных, из них лекции -12, КСР-4) .Форма отчетности– *зачет*.

Примерный тематический план

№п/п	Название темы	Количество часов				
		Аудиторные				Самост. работ
		Лекции	Практич., семинар.	Лаб. занят.	КСР	
1.	Введение в люминесценцию	2	0	0	0	2
2.	Люминесценция растворов.	6	0	0	0	8
3.	Перенос энергии электронного возбуждения.	2	0	0	0	2
4.	Люминесценция свободных и изолированных в матрицах молекул	2	0	0	2	4
5.	Люминесценция молекулярных кристаллов	2	0	0	2	4
6.	Спектры люминесценции активированных кристаллов.	2	0	0	2	4
7.	Спектры люминесценции полупроводниковых кристаллов.	2	0	0	2	4

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. Введение в люминесценцию. Свечение органических и неорганических соединений. Различные виды свечения. Определение люминесценции. Люминесценция как явление и как наука. Основные характеристики люминесценции. Основы квантовой теории поглощения и испускания света. Вероятности оптических переходов в молекуле. Спонтанные и вынужденные переходы. Коэффициенты Эйнштейна. Соотношение между вероятностями переходов для двухуровневой системы. Распределение молекул по уровням энергии. Длительность люминесценции. Равновесные и неравновесные процессы. Флуоресценция и фосфоресценция. Методы измерения длительности флуоресценции.

Соотношение между спектрами поглощения и испускания многоатомной молекулы. Правило Стокса. Правило зеркальной симметрии В.Л.Левшина. Универсальное соотношение Б.И.Степанова. Квантовый и энергетический выходы люминесценции. Зависимость квантового и энергетического выхода от длины волны возбуждения и люминесценции. Закон С.И.Вавилова. Различная запись выходов люминесценции через вероятности переходов. Тушение люминесценции 1-го и 2-го рода по С.И.Вавилову. Уравнение Штерна – Фольмера. Замедленная флуоресценция. Методы измерения квантовых выходов флуоресценции и фосфоресценции.

2. Люминесценция растворов. Зависимость спектра люминесценции от концентрации молекул растворенного вещества и температуры раствора. Поляризация люминесценции. Формулы Левшина и Левшина – Перрена. Влияние температуры и вязкости раствора на степень поляризации. Предельная степень поляризации люминесценции. Деполяризующие факторы в растворе. Влияние неоднородного уширения спектра на поляризацию люминесценции. Эффект Вебера. Поляризационные спектры по поглощению и испусканию. Зависимость поляризации люминесценции от симметрии молекулярных колебаний. Поляризационные диаграммы С.И. Вавилова и природа осциллятора поглощения и испускания.

3. Перенос энергии электронного возбуждения. Взаимодействие люминесцирующих молекул. Индуктивно-резонансный перенос энергии электронного возбуждения. Радиус переноса. Другие механизмы миграции энергии возбуждения (обменный, экситонный, электронно-колебательный). Миграция энергии возбуждения как деполяризующий фактор.

4. Люминесценция свободных и изолированных в матрицах молекул. Соотношение между спектром возбуждения и структурой спектра люминесценции. Спектры люминесценции охлажденных в сверхзвуковой струе молекул. Спектры люминесценции молекул в органических и неорганических матрицах (средах). Эффект Шпольского. Влияние температуры

и матрицы на колебательную структуру спектра люминесценции. Электрон – фононное взаимодействие.

5. Люминесценция молекулярных кристаллов. Спектры поглощения молекулярных кристаллов. Экситоны Френкеля в молекулярных кристаллах. Экситонная люминесценция. Свечение локализованных экситонов. Экситон – фононное взаимодействие. Низкотемпературные спектры люминесценции кристаллов бензола, нафталина и антрацена.

6. Спектры люминесценции активированных кристаллов. Активированные кристаллы Классификация электронных состояний ионов- активаторов. Положение уровней энергии ионов с незаполненной d – и f - оболочками в кристаллическом поле. Кристаллические поля различной силы: слабое, среднее, и сильное. Диаграммы Танабе –Сугано для ионов с незаполненными d – оболочками. Уровни энергии иона Cr^{3+} в кристалле корунда и его спектр поглощения.

Спектры люминесценции иона Cr^{3+} в кристалле корунда. Длительности возбужденных состояний и квантовый выход люминесценции. Генерация на люминесцентных уровнях R_1 и R_2 .

Структура гранатов. Расщепление уровней энергии иона Nd^{3+} в кристаллическом поле. Спектр поглощения и люминесценции иона Nd^{3+} в кристалле алюмо-иттриевого граната . Длительность возбужденных состояний иона неодима и квантовый выход люминесценции с метастабильного уровня ${}^4F_{3/2}$. Стимулирование излучения иона Nd^{3+} в кристалле алюмо-иттриевого граната ($Y_3Al_5O_{12}$).

7. Спектры люминесценции полупроводниковых кристаллов. Общая характеристика полупроводников. Уровни энергии электронов в полупроводниках. Эффективная масса электрона. Колебания кристаллической решетки. Фононы. Спектр поглощения полупроводника. Возникновение экситона Ванье-Мотта. Спектр поглощения экситона. Прямые и не прямые оптические переходы в полупроводниках. Экситонная люминесценция полупроводниковых кристаллов Примесные дефекты. Локализованные экситоны. Свечение локализованных экситонов. Люминесценция локализованных экситонов в кристаллах CdS и $CdTe$. Люминесценция сложных экситонных комплексов. Свечение экситонных молекул и электронно-дырочной жидкости. Свечение связанных многоэкситонно - примесных комплексов (МЭПК).

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рекомендуемые работы лабораторного практикума.

1. Изучение законов затухания люминесценции.
2. Измерение квантового выхода люминесценции.
3. Изучение спектров поглощения и испускания света многоатомными молекулами. Проверка правила зеркальной симметрии В.Л.Левшина и соотношения Б.И.Степанова.
4. Изучение поляризованной люминесценции. Зависимость степени поляризации люминесценции от длины волны.
5. Зависимость спектров люминесценции от концентрации красителя.

Рекомендуемые темы для самостоятельной работы

1. Вероятности оптических переходов в поглощении и испускании.
2. Соотношение между спектрами поглощения и испускания. Правило зеркальной симметрии Левшина. Универсальное соотношение Степанова.
3. Спектры люминесценции молекул в органических матрицах при низкой температуре.
4. Спектры люминесценции молекул, охлажденных в сверхзвуковой струе.

Рекомендуемые темы контрольных работ (рефератов)

1. Люминесценция как явление и как наука.
2. Поляризованная люминесценция красителей.
3. Поляризационные диаграммы С.С.Вавилова и природа осциллятора излучения.
4. Однородное и неоднородное уширение спектров. Влияние неоднородного уширения спектров на поляризационные характеристики растворов
5. Спектры люминесценции молекулярных кристаллов.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Б.И.Степанов, В.П. Грибковский. Введение в теорию люминесценции. Мн., 1963
2. С.Паркер. Фотолюминесценция растворов. М., «Мир», 1972

3. Л.В.Левшин, А.М. Салецкий. Люминесценция и ее измерения. Молекулярная люминесценция. М., 1989
4. В.А.Гайсенюк, А.М.Саржевский. Анизотропия поглощения и люминесценции многоатомных молекул. Мн., БГУ, 1986
- 5 Дж.Лакович. Основы флуоресцентной спектроскопии. М., «Мир», 1986
6. И.М. Гулис, А.И. Комяк. Люминесценция. Мн. БГУ, 2009.

Дополнительная

1. В.П. Грибковский. Теория поглощения и испускания света в полупроводниках. Мн., 1975
2. А.С.Давыдов. Теория молекулярных экситонов. М., «Наука», 1968
3. В.М.Агранович, М.Д. Галанин. Перенос энергии электронного возбуждения в конденсированных средах. М., «Наука», 1978
4. А.А.Каминский, Л.М.Аминов и др. Физика и спектроскопия лазерных кристаллов. М., «Наука», 1986
5. А.И.Комяк. Молекулярная спектроскопия. Мн., БГУ, 2005
6. Б.И.Степанов. Введение в современную оптику. Поглощение и испускание света квантовыми системами. Мн., Изд. «Наука и техника», 1991.