

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Проректор по образовательной деятельности
« 16 » сентября 2015 г.
Таюрский Д.А.



Программа дисциплины ,

Б1.В.ДВ.8.2 Диффузия и релаксация в молекулярных системах

Направление подготовки: 12.03.04 - Биотехнические системы и технологии
Профиль подготовки: —
Квалификация выпускника: бакалавр

1. КРАТКАЯ АННОТАЦИЯ

В рамках дисциплины «Диффузия и релаксация в молекулярных системах» рассматриваются особенности диффузии и ядерной релаксации в молекулярных системах, устанавливается связь между различными коэффициентами диффузии, вводится понятие однородного и неоднородного распределений времен корреляции и их влияние на затухание поперечной и продольной магнитной релаксации в методе ЯМР.

Цели освоения дисциплины состоят в том, чтобы обучающиеся владели теоретическими аспектами диффузии и ядерной релаксации в сложных молекулярных системах, а также владели физическими основами метода ЯМР и ЯМР-диффузометрии в приложении к исследованию свойств сложных молекулярных систем.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОПОП

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ДВ.8 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 12.03.04 Биотехнические системы и технологии и относится к базовой части. Осваивается на 4 курсе, 7 семестр. Для успешного усвоения данной дисциплины необходимо в качестве предшествующей изучение дисциплины Б1.В.ОД.10 «Молекулярная биология», Б1.В.ОД.9 «Биофизика».

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Обучающийся, завершивший изучение дисциплины, должен знать:

- основы теоретических моделей диффузии в молекулярных системах (диффузия в мембранах, диффузия при наличие сорбции и т.д.);
- определение коэффициентов взаимной, внутренней диффузии, самодиффузии и связь между ними;
- Особенности ЯМ-релаксации протонов жесткоцепных полимеров;

уметь:

- устанавливать связь между различными коэффициентами диффузии и самодиффузии и методами их измерения;
- самостоятельно устанавливать природу распределения времен корреляции молекулярной подвижности из релаксационных и диффузионных измерений метода ЯМР

владеть:

- современными методическими приемами в ЯМР релаксометрии и диффузометрии, методах измерения времен ядерной продольной и поперечной релаксации, коэффициента самодиффузии.

демонстрировать способность и готовность:

- Применять полученные знания в научно-исследовательской деятельности;

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью выполнять эксперименты и интерпретировать результаты по проверке корректности и эффективности решений

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины (в часах) по видам нагрузки обучающегося и по разделам дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 5 зачетных(ые) единиц(ы) 180 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 7 семестре.

	Раздел дисциплины	Семестр	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
1.	Законы диффузии. Диффузия, взаимная диффузия и самодиффузия	7	4	8	0	24
2.	Седиментация и диффузия в разбавленных растворах	7	2	4	0	12
3.	Особенности диффузии в мембранах	7	4	8	0	30
4.	Спектры времен корреляции в молекулярных системах	7	4	8	0	30
5.	Некоторые особенности ядерной магнитной релаксации протонов в молекулярных системах	7	4	8	0	30
	Итого		18	36	0	126

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Законы диффузии. Диффузия, взаимная диффузия и самодиффузия.

Законы диффузии. Определение коэффициентов взаимной, внутренней диффузии, самодиффузии и связь между ними. Коэффициент взаимной диффузии разбавленных растворов полимеров и гидродинамические свойства макромолекул. Экспериментальные методы определения коэффициентов диффузии в разбавленных растворах. Обобщенная концентрационная зависимость коэффициентов самодиффузии и диффузии. Определение коэффициентов самодиффузии методом ЯМР.

Тема 2. Седиментация и диффузия в разбавленных растворах.

Седиментация в разбавленных растворах. Определение молекулярной массы методом ультрацентрифуги. Теория диффузии Коэна-Тенбалла и теории свободного объема.

Тема 3. Особенности диффузии в мембранах.

Понятие мембран, их классификация. Мембранные методы разделения смесей: диффузия через сплошные и пористые мембраны, ультра-фильтрация, обратный осмос, диализ и гемодиализ. Математическое описание диффузии в мембранах. Законы диффузии, Стационарный и нестационарный перенос в плоской пластине. Коэффициенты растворимости и проницаемости. Диффузия при ограниченных объемах внешней среды. Диффузия при наличии сорбции. Многослойные, армированные, гетерогенные и дисперсионные мембраны.

Тема 4. Спектры времен корреляции в молекулярных системах.

Причины появления спектров времен корреляции в молекулярных системах. Учет спектра времен корреляции в методе ЯМР. Модель Восснера как простейший пример спектра, обусловленного механизмом движения. Спад свободной индукции (ССИ) с учетом спектров времен корреляции двух типов (по "образцу" и по "движению").

Тема 5. Некоторые особенности ядерной магнитной релаксации протонов в молекулярных системах.

Особенности ЯМ-релаксации протонов жесткоцепных полимеров на примере нитратов целлюлозы (НЦ) в растворе. Невозможность применения известных из диэлектрических измерений функций распределения типа Фуосса-Кирквуда. Природа биений на ССИ

нитроцеллюлозы в растворе и связь их с жидкокристаллическим состоянием по данным ЯМР, рассеяния света и X-лучей. Аномальные температурные зависимости времени поперечной релаксации T_2 молекул растворителя в растворах НЦ и гелях агарозы и желатины. Применение двухфазной и трехфазной модели для объяснения этих зависимостей.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Чтение лекций, в том числе, с использованием мультимедийных средств.
- Проведение устных опросов.
- Экспериментальный этап, включающий выполнение практических заданий с использованием техники ЯМР.
- Проведение коллоквиума.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Практические занятия и вопросы к практическим занятиям и коллоквиуму

Тема 1. Законы диффузии. Диффузия, взаимная диффузия и самодиффузия

устный опрос, примерные вопросы:

1. Закон диффузии Фика
2. Закон диффузии Онзагера.
3. Определение коэффициентов взаимной, внутренней диффузии, самодиффузии и связь между ними.
4. Коэффициент взаимной диффузии разбавленных растворов полимеров и гидродинамические свойства макромолекул.
5. Обобщенная концентрационная зависимость коэффициентов самодиффузии и диффузии.
6. Определение коэффициентов самодиффузии методом ЯМР.

Тема отчета по практическому заданию:

1. Измерение коэффициентов самодиффузии в сложных многокомпонентных системах на ЯМР-диффузомере.

Тема 2. Седиментация и диффузия в разбавленных растворах.

устный опрос, примерные вопросы:

1. Разбавленные растворы полимеров.
2. Седиментация в разбавленных растворах полимеров.
3. Методы определения молекулярной массы в растворах полимеров.
4. Теория диффузии Коэна-Тенбалла и теории свободного объема.

Тема отчета по практическому заданию:

1. Расчет второго момента малых молекул и макромолекул, используя понятие магнитной неэквивалентности ядер.

Тема 3. Особенности диффузии в мембранах.

устный опрос, примерные вопросы:

1. Мембраны и их классификация.
2. Мембранные методы разделения смесей: диффузия через сплошные и пористые мембраны, ультра-фильтрация, обратный осмос, диализ и гемодиализ.
3. Математическое описание диффузии в мембранах.
4. Стационарный и нестационарный перенос в плоской пластине.
5. Коэффициенты растворимости и проницаемости.
6. Диффузия при ограниченных объемах внешней среды.
7. Диффузия при наличии сорбции.

8. Многослойные, армированные, гетерогенные и дисперсионные мембраны.

Тема отчета по практическому заданию:

1. Измерение коэффициентов самодиффузии в сложных пористых системах на ЯМР-диффузомере.

Тема 4. Спектры времен корреляции в молекулярных системах.

устный опрос, примерные вопросы:

1. Спектры времен корреляции.
2. Причины появления спектров времен корреляции в молекулярных системах.
3. Учет спектра времен корреляции в методе ЯМР.
4. Модель Воснера как простейший пример спектра, обусловленного механизмом движения.
5. Спад свободной индукции (ССИ) с учетом спектров времен корреляции двух типов (по "образцу" и по "движению").

Тема отчета по практическому заданию:

1. Измерение температурной зависимости времени ядерной поперечной релаксации протонов в двухфазном растворе полимеров.

Тема 5. Некоторые особенности ядерной магнитной релаксации протонов в молекулярных системах.

устный опрос, примерные вопросы:

1. Особенности ЯМ-релаксации протонов жесткоцепных полимеров на примере нитратов целлюлозы (НЦ) в растворе.
2. Природа биений на ССИ нитроцеллюлозы в растворе.
3. Аномальные температурные зависимости времени поперечной релаксации T_2 молекул растворителя в растворах НЦ и гелях агарозы и желатины.
4. Применение двухфазной и трехфазной модели для объяснения аномальных температурных зависимостей времени поперечной релаксации T_2 молекул растворителя в растворах НЦ и гелях агарозы и желатины.

Коллоквиум, примерные вопросы

1. Теория диффузии Коэна-Тенбалла.
2. Теоретическое вычисление второго момента линии ЯМР.
3. Связь спада свободной индукции (ССИ) с формой линии поглощения ЯМР и ее моментами.
4. ЯМ-релаксация растворителя и полимера в концентрированных растворах нитроцеллюлозы и зависимость ее от степени нитрации.
5. Коэффициенты внутренней и взаимной диффузии и связь между ними
6. Форма линии поглощения ЯМР для двухспиновых системы.
7. Влияние движения на диполь-дипольное взаимодействие и второй момент линии поглощения ЯМР.
8. Влияние однородного и неоднородного распределений времен корреляции на форму спадов свободной индукции.
9. Коэффициент диффузии в разбавленных растворах полимеров и его измерение.
10. Основы теории времен продольной и поперечной магнитной релаксаций для двухядерной молекулы в жидкостях.
11. Модель Воснера – пример однородного распределения времен корреляции.
12. ЯМ-релаксация жидкостей в пористых средах.
13. Времена релаксации T_1 и T_2 для многоядерных молекул и с учетом однородного распределения времен корреляции.

14. ЯМ-релаксация в двухфазных системах, особенности температурных зависимостей времен T_1 и T_2 при наличии обмена между фазами.
15. Связь между коэффициентами внутренней диффузии и самодиффузии.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

7.1. Регламент дисциплины

Суммарно по дисциплине можно получить максимум 100 баллов, из них текущий контроль в течение семестра оценивается в 50 баллов, зачет - в 50 баллов.

Баллы за работу в течение семестра распределяются следующим образом:

40 баллов – выполнение практических занятий по темам 1-4, написание отчетов.

10 баллов – коллоквиум.

Итого:

40+10=50 баллов.

7.2. Оценочные средства текущего контроля

Отчет по практическому заданию по Теме 1

Практическое задание:

1. Измерение коэффициентов самодиффузии в сложных многокомпонентных системах на ЯМР-диффузомере.

Отчет по практическому заданию по Теме 2

Практическое задание:

1. Расчет второго момента малых молекул и макромолекул, используя понятие магнитной неэквивалентности ядер

Отчет по практическому заданию по Теме 3

Практическое задание:

1. Измерение коэффициентов самодиффузии в сложных пористых системах на ЯМР-диффузомере

Отчет по практическому заданию по Теме 4

Практическое задание:

1. Измерение температурной зависимости времени ядерной поперечной релаксации протонов в двухфазном растворе полимеров.

Вопросы к коллоквиуму:

1. Теория диффузии Козна-Тенбалла.
2. Теоретическое вычисление второго момента линии ЯМР.
3. Связь спада свободной индукции (ССИ) с формой линии поглощения ЯМР и ее моментами.
4. ЯМ-релаксация растворителя и полимера в концентрированных растворах нитроцеллюлозы и зависимость ее от степени нитрации.
5. Коэффициенты внутренней и взаимной диффузии и связь между ними
6. Форма линии поглощения ЯМР для двухспиновых системы.
7. Влияние движения на диполь-дипольное взаимодействие и второй момент линии поглощения ЯМР.
8. Влияние однородного и неоднородного распределений времен корреляции на форму спадов свободной индукции.
9. Коэффициент диффузии в разбавленных растворах полимеров и его измерение.

10. Основы теории времен продольной и поперечной магнитной релаксаций для двухядерной молекулы в жидкостях.
11. Модель Восснера – пример однородного распределения времен корреляции.
12. ЯМ-релаксация жидкостей в пористых средах.
13. Времена релаксации T_1 и T_2 для многоядерных молекул и с учетом однородного распределения времен корреляции.
14. ЯМ-релаксация в двухфазных системах, особенности температурных зависимостей времен T_1 и T_2 при наличии обмена между фазами.
15. Связь между коэффициентами внутренней диффузии и самодиффузии.

7.3. Вопросы к зачету

Билет №1

1. Явление ЯМР и измеряемые величины в методе ЯМР.
2. Теория диффузии Коэна-Тенбалла.

Билет №2

1. Теоретическое вычисление второго момента линии ЯМР.
2. Весовой метод измерения коэффициентов диффузии.

Билет №3

1. Связь спада свободной индукции (ССИ) с формой линии поглощения ЯМР и ее моментами.
2. ЯМ-релаксация растворителя и полимера в концентрированных растворах нитроцеллюлозы и зависимость ее от степени нитрации.

Билет №4

1. Коэффициенты внутренней и взаимной диффузии и связь между ними
2. Форма линии поглощения ЯМР для двухспиновых системы.

Билет №5

1. Влияние движения на диполь-дипольное взаимодействие и второй момент линии поглощения ЯМР, примеры с бензолом и полиарилатом.
2. Влияние однородного и неоднородного распределений времен корреляции на форму спадов свободной индукции.

Билет №6

1. Влияние изотропного движения молекул на форму спада свободной индукции.
2. Коэффициент диффузии в разбавленных растворах полимеров и его измерение.

Билет №7

1. Основы теории времен продольной и поперечной магнитной релаксаций для двухядерной молекулы в жидкостях.
2. ЯМР высокого разрешения в жидкостях.

Билет №8

1. Модель Восснера – пример однородного распределения времен корреляции.
2. ЯМ-релаксация жидкостей в пористых средах.

Билет №9

1. Времена релаксации T_1 и T_2 для многоядерных молекул и с учетом однородного распределения времен корреляции.

2. Метод ультрацентрифуги для измерения коэффициента диффузии и молекулярной массы.

Билет №10

1. ЯМ-релаксация в двухфазных системах, особенности температурных зависимостей времен T_1 и T_2 при наличии обмена между фазами.

2. Связь между коэффициентами внутренней диффузии и самодиффузии.

Билет №11

1. Особенности температурных зависимостей времен T_1 и T_2 растворителя в гелях агарозы и желатины.

2. Неоднородное распределение времен корреляции, пример логнормального распределения.

7.4. Таблица соответствия компетенций, критериев оценки их освоения и оценочных средств

Индекс компетенции	Расшифровка компетенции	Показатель формирования компетенции для данной дисциплины	Оценочное средство
ОПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	<ul style="list-style-type: none"> – системного научного анализа проблем (как природных, так и профессиональных) различного уровня сложности; – знание теоретических основ теории диффузии и самодиффузии в сложных молекулярных системах; – владение навыками работы с научной литературой с использованием новых информационных технологий и методами научных исследований; 	Вопросы к коллоквиуму 1-15; Вопросы к зачету (билеты 1-11).
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью выполнять эксперименты и интерпретировать результаты по проверке корректности и эффективности решений	<ul style="list-style-type: none"> – навыками в проведении физических исследований по заданной тематике; – работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой; 	Отчеты к практическим занятиям по темам 1-4

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ОСВОЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Работа на практических занятиях предполагает активное участие. Для подготовки к занятиям рекомендуется выделять в материале проблемные вопросы, затрагиваемые преподавателем в лекции, и группировать информацию вокруг них. Желательно выделять в используемой литературе постановки вопросов, на которые разными авторам могут быть даны различные ответы. На основании постановки таких вопросов следует собирать аргументы в пользу различных вариантов решения поставленных проблем.

Следует выделять следующие компоненты:

- варианты решения;
- аргументы в пользу тех или иных вариантов решения.

На основе выделения этих элементов проще составлять собственную аргументированную позицию по рассматриваемому вопросу.

При написании отчетов по практическим заданиям в материале следует выделить небольшое количество (не более 5) заинтересовавших Вас проблем и сгруппировать материал вокруг них. Следует добиваться чёткого разграничения отдельных проблем и выделения их частных моментов.

При подготовке к устным опросам Вам может понадобиться материал, изучавшийся в курсе Общей физики, поэтому стоит обращаться к соответствующим источникам (учебникам, монографиям, статьям).

При подготовке к зачету и коллоквиуму необходимо опираться прежде всего на лекции, а также на источники, которые разбирались на занятиях в течение семестра. В каждом билете на зачёте содержится два вопроса.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

9.1. Основная литература

1. Спектроскопия ЯМР в органической химии, Ч. 1. Общая теория ЯМР. Химические сдвиги ^1H и ^{13}C , , 2013г. 21 экз
2. Задачи и упражнения по ЯМР-спектроскопии в органической химии. Ч. 1, , 2007г. 50 экз
3. Спектроскопия ЯМР ^1H и ^{13}C в органической химии, Каратаева, Фарида Хайдаровна; Клочков, В. В., 2007г. 41 экз
4. Шишонок, М.В. Высокмолекулярные соединения [Электронный ресурс] : учеб.пособие / М.В. Шишонок. - Минск: Выш. шк., 2012. - 535 с.: ил. - ISBN 978-985-06-1666-1
<http://znanium.com/bookread2.php?book=508624>

9.2. Дополнительная литература

1. Основы ядерного магнитного резонанса: Учебное пособие / М.П. Евстигнеев, А.О. Лантушенко, В.В. Костюков. и др. - М.: Вузовский учебник, НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 247 с.: 60x90 1/16 (Переплёт) ISBN 978-5-9558-0414-9
<http://znanium.com/bookread2.php?book=496299>

Интернет-ресурсы.

1. Седиментация, диффузия и молекулярные веса
<http://www.activestudy.info/sedimentaciya-diffuziya-i-molekulyarnye-vesa/>
2. Большая Энциклопедия Нефти и Газа. Разбавленный раствор-полимер.
<http://www.ngpedia.ru/id377774p3.html>
3. Краткий экскурс в методы ЯМР-диффузометрии.
<https://www.youtube.com/watch?v=7jV0-c1cj9g>
4. Fundamentals of NMR.
http://qudev.ethz.ch/content/courses/phys4/studentpresentations/nmr/James_Fundamentals_of_NMR.pdf
5. Практический курс спектроскопии ядерного магнитного резонанса.
http://www.chem.msu.su/rus/teaching/nifantev/2006_NMR.pdf

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Освоение дисциплины "Диффузия и релаксация в молекулярных системах" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео- и аудио-информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "БиблиоРоссика", доступ к которой предоставлен обучающимся. В ЭБС "БиблиоРоссика" представлены коллекции актуальной научной и учебной литературы по гуманитарным наукам, включающие в себя публикации ведущих российских издательств гуманитарной литературы, издания на английском языке ведущих американских и европейских издательств, а также редкие и малотиражные издания российских региональных вузов. ЭБС "БиблиоРоссика" обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС

"ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Применяются также следующие средства:

1. Интерактивная доска.
2. Мультимедийный проектор.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом 12.03.04 - Биотехнические системы и технологии.

Автор(ы): Филиппов А.В.

Рецензент(ы): Рудакова М.А.

Скирда В.Д.

Программа одобрена на заседании учебно-методической комиссии Института физики
« 16 » сентября _____ 2015 г.