

Белорусский государственный университет



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

А.Л. Толстик

2017

Регистрационный № УД- 4008/уч.

ОСНОВЫ МЕДИЦИНСКОЙ БИОФИЗИКИ И НАНОМЕДИЦИНЫ

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий**

Минск 2017

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 07-2013 и учебных планов УВО №G31-143/уч. от 30.05.2013 г., №G31-179/уч. от 30.05.2013 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Г.Г. Мартинович – профессор кафедры биофизики Белорусского государственного университета, доктор биологических наук, доцент;

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой биофизики физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 15 от 02.06.2017);

Советом физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 11 от 08.06. 2017 г.).

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа курса "Основы медицинской биофизики и наномедицины" разработана для специальности 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий (специализация «Нанобиоматериалы и нанобиотехнологии»).

Цель учебной дисциплины – ознакомление студентов с основами медицинской биофизики и наномедицины. *Основные задачи учебной дисциплины* – дать представление о молекулярно-клеточных и физико-химических механизмах развития социально-значимых заболеваний; об особенностях молекулярных медицинских технологий и нанобиотехнологий; об физических основах современных методов диагностики заболеваний; об основных направлениях развития наномедицины.

Необходимым этапом развития современной медицины является активное использование достижений биофизической науки. Создание и развития новых нанобиоматериалов, молекулярных медицинских технологий и нанобиотехнологий является одним из прикладных аспектов современной биофизики и невозможно без глубокого понимания молекулярно-клеточных и физико-химических принципов строения и функционирования биологических систем. В связи с этим, курс лекций по основам медицинской биофизики и наномедицины является важной составляющей подготовки специалиста физика специализации «Нанобиоматериалы и нанотехнологии». Курс состоит из двух основных разделов, один из которых посвящен медицинской биофизике, второй – наномедицине.

Медицинская биофизика направлена на изучение физических и физико-химических основ функционирования организма живых систем в норме и при патологии. Достижения медицинской биофизики служат фундаментом для разработки адекватных методов диагностики, лечения и профилактики заболеваний, осуществляемых на молекулярном и клеточном уровнях организации биологических систем. Наномедицина – это раздел современной инженерии, разрабатывающий комплекс подходов для применения нанотехнологий и наноматериалов в области практической медицины и здравоохранения.

Материал курса основан на базовых знаниях и представлениях, заложенных в следующих курсах: «Физика коллоидных систем», «Нанофотоника», «Основы биохимии», «Физика мембранных систем», «Биоэнергетика и биофизика клетки», «Биоинженерия: молекулярная и клеточная» и др. Программа данного курса может пересекаться с дисциплинами «Генетическая инженерия» и «Нанобиотехнологии», с которыми необходимо согласование.

В результате изучения дисциплины "Основы медицинской биофизики и наномедицины" студент должен:

знать:

- основные понятия и представления медицинской биофизики и наномедицины;
- физико-химические и молекулярно-клеточные особенности патофизиологических процессов;

– основные направления применения нанотехнологий и наноматериалов в медицине;

уметь:

– прогнозировать изменения функционирования биосистем на молекулярно-клеточном уровне их организации при действии физических и физико-химических факторов;

владеть:

– базовыми принципами строения и функционирования биологических систем на молекулярно-клеточном уровне их организации.

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций.

Академические компетенции:

1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения практических задач.

2. Владеть системным и сравнительным анализом.

3. Владеть исследовательскими навыками.

4. Уметь работать самостоятельно.

5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).

6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

8. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.

9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

Социально-личностные компетенции:

1. Быть способным к социальному взаимодействию.

2. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

3. Быть способным к критике и самокритике (критическое мышление).

4. Уметь работать в команде.

Профессиональные компетенции:

1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, современных технологий и материалов, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин.

2. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.

3. Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.

4. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

5. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-исследовательской работы.

Общее количество часов, отводимое на изучение учебной дисциплины – 134, из них количество аудиторных часов – 60.

Форма получения высшего образования – очная, дневная,

Аудиторные занятия проводятся в виде лекций и аудиторного контроля управляемой самостоятельной работы (УСР) студентов. На проведение лекционных занятий отводится 50 часа, на УСР – 10 часов.

Занятия проводятся на 5-м курсе в 9-м семестре.

Формы текущей аттестации по учебной дисциплине – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. «Медицинская биофизика»

Тема 1.1. Введение

Медицинская биофизика: основные направления развития. Научная основа и современные достижения медицинской биофизики. Нанобиотехнологии и наномедицина. Молекулярная медицина. Геномная медицина, фармакогеномика, трансляционная медицина. Молекулярная диагностика. Геном человека и молекулярная медицина. Генетическое разнообразие людей. Персонализированная медицина.

Тема 1.2. Клеточный гомеостаз и механизмы его нарушения

Клеточный гомеостаз. Базовые механизмы нарушения клеточного гомеостаза. Клеточный стресс и стрессоры. Молекулярные механизмы отклика клетки на стресс.

Стресс и тепловой шок. Белки теплового шока. Гипоксия и клеточная адаптация. Фактор, индуцируемый гипоксией (HIF). Ишемическое прекондиционирование. Клетка в условиях осмотического стресса. Активные формы кислорода. Редокс-гомеостаз. Окислительный стресс. Механизмы окислительного повреждения макромолекул. Окисление белков.

Антиокислительная система клеток. Синтетические и природные антиоксиданты. Механизмы действия антиоксидантов. Антиоксидантная терапия. Стресс-индуцированное клеточное старение и клеточная гибель. Восстановительный стресс.

Тема 1.3. Патология клеточных мембран

Функционирование клеточных мембран при патологии. Молекулярные механизмы нарушений структуры и функций биологических мембран при патологии.

Перекисное окисление липидов. Реакции и механизмы регуляции. Мишени повреждающего действия продуктов пероксидации. Окислительная модификация липопротеинов и атеросклероз.

Липидные поры и проницаемость мембран. Модель липидной поры. Электрический пробой мембран.

Адгезия клеток и воспаление. Иммунные реакции. Белки клеточной адгезии. Межклеточные контакты при патологии и стрессе. Механотрансдукция внешнего сигнала.

Тема 1.4. Физиология и патофизиология программированной клеточной гибели

Основные пути гибели клеток: апоптоз, аутофагия и некроз. Морфологические и биохимические характеристики апоптоза. Основные стадии апоптоза. Молекулярные основы апоптоза. Рецепторы смерти. Иницирующие и эффекторные каспазы. Апоптосомы. Рецептор-зависимый сигнальный путь апоптоза. Митохондриально-опосредованный сигнальный путь апоптоза. Поры

высокой проводимости. Роль апоптоза в патогенезе заболеваний. Методы исследования апоптоза.

Редокс-регуляция апоптоза клеток. Редокс-зависимый механизм активации апоптоза.

Тема 1.5. Митохондриальная медицина

Роль митохондрий в патогенезе. Заболевания, ассоциированные с патологией митохондрий. Активные формы кислорода и митохондрии. Механизмы генерации активных форм кислорода митохондриальными оксидоредуктазами.

Митохондриальные мишени действия активных форм кислорода. Митохондриальная ДНК и заболевания человека. Митохондрии и старение.

Лекарственные препараты, действующие на митохондрии. Нанотранспортеры для антиоксидантов. Антиоксиданты, адресованные в митохондрии. Противоопухолевые агенты, адресованные в митохондрии. Антигипоксанта.

Тема 1.6. Биофизические основы канцерогенеза

Канцерогенез. Митохондрии и теория рака О. Варбурга. Теория двойного удара Кнудсона. Теория онкогенов. Характерные свойства опухолевых клеток (высокая пролиферативная активность, иммортализация, ослабление апоптоза). Молекулярно-генетические механизмы регуляции свойств клеток опухолевых тканей. Митогенные сигналы и тиразинкиназный каскад. Циклины и циклинзависимые киназы. Протоонкогены, онкогены и гены-супрессоры. Мутаторные гены.

Метаболизм кислорода и биоэнергетика трансформированных клеток. Молекулярные маркеры канцерогенеза.

Антиоксиданты и химиорезистентность клеток. Редокс-зависимая сигнальная система Keap1/Nrf2/ARE. Редокс-регуляция химиорезистентности опухолевых клеток.

Раздел 2. «Наномедицина»

Тема 2.1. Медицинская диагностика и наноматериалы

Наноматериалы и наночастицы в биомедицинских приложениях. Нанодиагностикумы. Молекулярные детекторы на основе нанопор и нанопроводов. Мониторинг взаимодействия биоструктур. Молекулярное узнавание, аффинность и термодинамика взаимодействия биомолекулярных структур.

Квантовые точки. Физические свойства квантовых точек. Мультиплексный анализ. Визуализация органов и тканей. Физические основы применения наночастиц в томографических методах (магнитно-резонансная томография, позитронно-эмиссионная и однофотонная эмиссионная компьютерная томография).

Тема 2.2. Адресная доставка лекарств

Лекарственный препарат. Фармакокинетика и фармакодинамика. Направленный транспорт лекарств. Общие закономерности и особенности фармакокинетики и фармакодинамики наночастиц. Полиморфизм наночастиц. Физико-химические свойства фармакологически значимых наночастиц.

Связь структуры наночастиц с их биологическими эффектами *in vivo* и *in vitro*. Наноконтейнер. Наносистемы адресной доставки лекарств (фуллерены, нанотрубки, дендримеры, фосфолипидные наночастицы, полимерные нанокапсулы, полимерные и биополимерные системы типа «матрикс – наночастицы»). Нанокапсулы и наносферы. Адресная доставка с помощью наногелей. Направленный транспорт биodeградирующих полимерных наночастиц. Основные стратегии адресной доставки. Пассивный и активный перенос. Молекулярно-клеточные механизмы активного переноса наноконтейнеров. Рецептор-опосредованный эндоцитоз. Биофизические процессы, регулирующие захват наночастиц. Механизмы транспорта через гематоэнцефалический барьер.

Физико-химические процессы в области контакта искусственных нанообъектов и биологических систем. Факторы, определяющие свойства области контакта «нано-био». Силы взаимодействия в области контакта искусственных и биологических наноструктур. Физико-химические свойства поверхности наночастиц и их модификация нанобиоструктурами.

Тема 2.3. Наночастицы как лекарства

Применение наночастиц в фотодинамической терапии опухолей. Применение наночастиц в радиотерапии опухолей. Применение наночастиц в адресной доставке ДНК в генной терапии.

Применение наночастиц в противовирусной и антибактериальной терапии, Наноструктуры серебра в асептике и дезинфекции. Коллоидные растворы наночастиц. Применение наночастиц как антиоксидантов и стимуляторов тканевого дыхания.

Тема 2.4. Биомедицинские наноматериалы

Биосовместимые наноматериалы и тканевая инженерия. Биофункционализация поверхности. Углеродные нанотрубки. Углеродные нанотрубки в нейромедицине. Углеродные нанотрубки как модуляторы роста нейронов.

Нанoeлектромеханические системы. Полипептидные и ДНК нанопроволоки. Сверхпроводимые гели для нейроимплантатов на основе углеродных трубок.

Наноматериалы для иммуноизоляции (иммуновыделения) клеток для клеточной терапии. Стационарные фазы для аффинной хроматографии сигнальных белков и рецепторов (фуллерен-содержащие лиганды и пр.).

Тема 2.5. Биомедицинские нанороботы и наноустройства

Биологические актуаторы и коммутаторы. Биологические моторы. Бимолекулярные вычисления. Бимолекулярные устройства памяти. Светозависимые молекулярные приборы.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

| Номер раздела, темы | Название раздела, темы | Количество аудиторных часов | | | | | Количество часов УСР | Литература | Формы контроля знаний |
|---------------------|--|-----------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|------|----------------------|------------|-----------------------|
| | | Лекции | Практические занятия | Семинарские занятия | Лабораторные занятия | Иное | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | 7 | 8 | 9 |
| | Раздел 1. «Медицинская биофизика» | | | | | | | | |
| 1.1 | Предмет и задачи медицинской биофизики | 2 | | | | | | [1–3] | |
| 1.2 | Основные направления развития медицинской биофизики и наномедицины | 2 | | | | | | [1–3] | |
| 1.3 | Клеточный гомеостаз | 2 | | | | | | [1–3] | |
| 1.4 | Стресс и стрессовые факторы | 2 | | | | | | [3–6] | |
| 1.5 | Молекулярные механизмы отклика клетки на стресс | 2 | | | | | | [3–6] | |
| 1.6 | Редокс-гомеостаз и механизмы его нарушения | 2 | | | | | 2 | [3–6] | Контрольная работа |
| 1.7 | Клеточные мембраны при патологии | 2 | | | | | | [3–6] | |
| 1.8 | Перекисное окисление липидов | 2 | | | | | | [3–6] | |
| 1.9 | Липидные поры | 2 | | | | | 2 | [3–6] | Опрос |
| 1.10 | Запрограммированная гибель клеток | 2 | | | | | | [3–6] | |
| 1.11 | Механизмы регуляции апоптоза | 2 | | | | | | [3–6] | |
| 1.12 | Митохондриальная медицина | 2 | | | | | | [3–6] | |

| | | | | | | | | | |
|------|---|-----------|--|--|--|--|-----------|--------|-------------------------|
| 1.13 | Биофизика старения | 2 | | | | | | [3–6] | |
| 1.14 | Молекулярно-клеточные основы канцерогенеза | 2 | | | | | | [2, 5] | |
| 1.15 | Физико-химические основы канцерогенеза | 2 | | | | | 2 | [3–6] | Контроль- ная работа |
| | Всего часов по разделу 1 « Медицинская биофизи- ка » | 30 | | | | | 6 | | |
| | Раздел 2. «Наномедицина» | | | | | | | | |
| 2.1 | Нанодиагностикумы | 2 | | | | | | [7-11] | |
| 2.2 | Физика молекулярного узнавания | 2 | | | | | | [7-11] | |
| 2.3 | Фармакокинетика и фармакодинамика | 2 | | | | | | [7-11] | |
| 2.4 | Материалы для наноконтейнеров. | 2 | | | | | | [7-11] | |
| 2.5 | Нанокapsулы и наносферы | 2 | | | | | | [7-11] | |
| 2.6 | Биофизические механизмы транспорта наноконтей- неров | 2 | | | | | 2 | [7-11] | Защита ре- фератов |
| 2.7 | Физико-химические процессы в области контакта искусственных и биологических нанообъектов | 2 | | | | | | [7-11] | |
| 2.8 | Наночастицы как лекарства | 2 | | | | | | [7-11] | |
| 2.9 | Биомедицинские наноматериалы | 2 | | | | | | [7-11] | |
| 2.10 | Биомедицинские наноустройства | 2 | | | | | 2 | [7-11] | Контроль- ная работа |
| | Всего часов по разделу 2 « Наномедицина » | 20 | | | | | 4 | | |
| | Всего часов | 50 | | | | | 10 | | экзамен |

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рекомендуемая литература

Основная

1. Основы молекулярной медицины: В 2-х т. / Под ред. Дж. Джеймсона: Пер. с англ. - М.: Мир, 2002. Т. 1. – 444 с; Т. 2. – 346 с.
2. Альбертс Б., Брей Д., Льюис Дж., Рэфф М., Робертс К., Уотсон Дж. Молекулярная биология клетки: В 3-х т., 2-е изд., пер. и доп. Пер. с англ. – М.: Мир, 1994 – 517 с.
3. Биофизика: учеб. для студентов вузов. /Антонов В.Ф. и др. – М.: ВЛАДОС, 2006.
4. Мартинович Г.Г., Черенкевич С.Н. Окислительно-восстановительные процессы в клетках. Мн.: БГУ, 2008.
5. Мартинович Г.Г., Сазанов Л.А., Черенкевич С.Н. Клеточная биоэнергетика: Физико-химические и молекулярные основы: Учебное пособие. М.: ЛЕНАНД, 2017. 200 с.
6. Артюхов В.Г., Наквасина М.А. Биологические мембраны. Воронеж. ВГУ. 2000.
7. Dragoman D., Dragoman M. Bionanoelectronics: Bioinquiring and Bioinspired Devices. – Springer, 2013. – 254 p.
8. Nanomedicine and nanobiotechnology // ed. By S Logothetidis – Springer, 2012. – 145 p.
9. Nanotechnology for Biology and Medicine: At the Building Block Level // ed. G. Silva and V. Papura – Springer, 2012. – 234 p.
10. Nanoparticles and Nanodevices in Biological Applications: Lecture Notes in Nanoscale Science and Technology. – Springer, 2009. – 197 p.
11. Jain K.K. The Handbook of Nanomedicine. — Humana Press, 2012. – 562 p.

Дополнительная

1. Введение в биомембранологию. Учеб. пособие/ под ред. Болдырева А.А. – М.: МГУ, 1990.
2. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию / Н. Кобаяси.— М.: Бином. Лаборатория знаний, 2005.— 134 с.
3. Арчаков А.И. Нанобиотехнологии в медицине: нанодиагностика и нанолекарства // Биомедицинская химия, 2010 – Том 56, вып. 1, – с. 7-25.
4. Медведева Н.В., Ипатова Ю.Д., Иванов Ю.Д., Дрожжин А.И., Арчаков А.И. Нанобиотехнология и наномедицина // Биомед. Химия. – 2006. – Т.52, №6. – С.529-546.
5. Черенкевич С.Н., Мартинович Г.Г., Хмельницкий А.И.. Биологические мембраны: пособие. Минск: БГУ, 2009. 184 с.
6. Черенкевич С.Н., Мартинович Г.Г., Драпеза А.И., Мартинович И.В., Лобан В.А., Лисиченок А.Н. Клеточные технологии и их применение в медицине. // Здравоохранение. 2004. №6, С.26-32.

Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности

1. Контрольные работы по разделам дисциплины
2. Устные опросы
3. Защита реферативных работ

Примерный перечень мероприятий для контроля качества усвоения знаний по учебной дисциплине

Рекомендуемые темы для составления тестовых и контрольных заданий по учебной дисциплине

1. Клеточный гомеостаз и механизмы его нарушения.
2. Адгезия и межклеточные контакты при патологии.
3. Биофизические основы канцерогенеза.
4. Биомедицинские наноустройства.

Примерная тематика реферативных работ по учебной дисциплине

1. Митохондриальная медицина и митохондриальные биотехнологии.
2. Роль митохондрий в патогенезе сердечно-сосудистых заболеваний.
3. Роль митохондрий в патогенезе нейродегенеративных заболеваний.
4. Роль митохондрий в патогенезе онкологических заболеваний.
5. Редокс-терапия.
6. Клетка в условиях осмотического стресса.
7. Клетка в условиях окислительного стресса.
8. Антиоксиданты, адресованные в митохондрии и феноптоз.
9. Молекулярная диагностика.
10. Белковые чипы.
11. ДНК-чипы.
12. Белки как природные наноструктуры.
13. Фуллерены и их применение в наномедицине.
14. Дендримеры и их применение в наномедицине.
15. Углеродные нанотрубки и их применение в наномедицине.
16. Липосомы и их применение в наномедицине.
17. Полимерные нанокапсулы и их применение в наномедицине.
18. Пленки Лэнгмюра-Блоджетт и их применение в нанобиотехнологиях.
19. Бимолекулярные устройства памяти.
20. Нанотехнологии и бимолекулярные вычислительные устройства.
21. Информационные процессы в живой клетке и современные биотехнологии.
22. Биосовместимые наноматериалы и тканевая инженерия.
23. Светозависимые молекулярные приборы.

Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведению аттестации

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать тестовые и контрольные задания по разделам дисциплины, защиту реферативных работ, устные опросы. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Оценка каждой из контрольных работ должна быть не ниже 4 баллов, оценка ниже 4 баллов считается неудовлетворительной. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Контрольные мероприятия проводятся в письменной форме. Каждая из контрольных работ включает тестовые задания и контрольные вопросы. На выполнение контрольной работы отводится 90 мин. Оценка каждой контрольной проводится по десятибалльной шкале.

Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций с последующей дискуссией. Реферат оформляется подобно обзору литературных данных в курсовой работе и должен включать около 10-15 страниц (включая титульный лист, оглавление, иллюстрации и список литературы). Оценка рефератов проводится по десятибалльной шкале.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за каждую из письменных контрольных и оценок за защиту реферата.

Текущий контроль по дисциплине (Т, максимум 10 баллов) включает 3 промежуточные письменные контрольные работы по различным темам раздела (K_1 , K_2 , K_3 , максимум 10 баллов по каждой) и 2 выступления на семинарских занятиях по вопросам и рефератам (C_1 , C_2 , максимум 10 баллов по каждому мероприятию).

$$\text{Оценка текущего контроля} \quad T = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + C_1 + C_2}{5}$$

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме экзамена.

Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Рекомендуемые весовые коэффициенты для оценки текущей успеваемости – 0,3; для экзаменационной оценки – 0,7.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

| Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование | Название кафедры | Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине | Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) |
|---|-------------------|---|---|
| Нанобиотехнологии | Кафедра биофизики | Замечаний нет | Изменение не требуется протокол №15 от 02.06.2017 г. |
| Генетическая инженерия | Кафедра биофизики | Замечаний нет | Изменение не требуется протокол №15 от 02.06.2017 г. |

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО

на ____ / ____ учебный год

| №№ пп | Дополнения и изменения | Основание |
|----------|------------------------|-----------|
| | | |

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № ____ от _____ 20__ г.)

Заведующий кафедрой

биофизики

академик, профессор

_____ С.Н. Черенкевич

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

д.ф.-м.н., профессор

_____ В.М. Анищик