

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

« _____ » _____ 2016

Регистрационный номер УД- 2 565/уч.



БИОФИЗИКА КЛЕТКИ

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность)

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 01-2013 и учебных планов УВО №G 31-163/уч. от 30.05.2013 г., № G 31-174/уч. от 30.05.2013 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

С.Н. Черенкевич – заведующий кафедрой биофизики Белорусского государственного университета, академик НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой биофизики физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 12 от 31.05.2016);

Советом физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 11 от 27.06. 2016 г.).

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины "Биофизика клетки" разработана для специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность) (специализация «Биофизика»).

Цель учебной дисциплины – ознакомление студентов с физико-химическими и молекулярными основами строения и функционирования клеток. *Основная задача учебной дисциплины* – сформировать представления о физических и физико-химических процессах, лежащих в основе функционирования клеток и клеточных структур.

В специальном курсе «Биофизика клетки» рассматриваются физические основы организации и функционирования очень обширного класса материальных объектов – клеток. Программа курса включает рассмотрение следующих блоков: структурная организация клеток; физические основы функционирования клеток и клеточных структур; динамика и энергетика процессов в клетках; молекулярные механизмы транспортных процессов в клетках; теоретические и экспериментальные модели транспортных и электрических процессов в клетках.

Изложение курса «Биофизика клетки» построено таким образом, чтобы у студентов сформировались базовые представления о закономерностях мира живых систем. Они должны овладеть основными представлениями молекулярного строения клеток и уметь использовать их для постановки и решения конкретных физических проблем, связанных со строением, свойствами и функционированием клеток, тканей и организмов. При изложении конкретных проблем биофизики клетки особое внимание уделяется разъяснению физической сущности рассматриваемых явлений, современной интерпретации сути биологических явлений и процессов, а также методов экспериментальных исследований клеточных систем.

Материал курса основан на базовых знаниях и представлениях, заложенных в следующих курсах: «Физика мембранных систем», «Молекулярная биофизика», и др.

В результате изучения дисциплины «Биофизика клетки» студент должен:
знать:

- основные представления о строении и функционировании клеток и клеточных структур;
- физические и физико-химические основы клеточных процессов;
- основные физические явления, протекающие в клетках;

уметь:

- выводить уравнения, характеризующие закономерности процессов электрогенеза и преобразования энергии в биосистемах;
- рассчитывать физические характеристики клеток и клеточных структур;

владеть:

- терминологией биофизики клетки;
- базовыми принципами строения и функционирования клеток и клеточных структур.

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций.

Академические компетенции:

1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и 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, методы автоматизации эксперимента.

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

3. Проводить планирование и реализацию физического эксперимента, оценивать функциональные возможности сложного физического оборудования.

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

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

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

7. Применять знания физических основ современных технологий, средств автоматизации, методов планирования и организации производства, правового обеспечения хозяйственной деятельности и налоговой системы, современного

предпринимательства, государственного регулирования экономики и экономической политики.

Общее количество часов, отводимое на изучение учебной дисциплины – 106, из них количество аудиторных часов – 36 (в том числе: лекции – 30 часов; аудиторный контроль управляемой работы (УСР) – 6 часов).

Форма получения высшего образования – дневная.

Занятия проводятся на 4-м курсе в 8-м семестре.

Формы текущей аттестации по учебной дисциплине – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение. Предмет биофизики клетки.

Введение. Предмет биофизики клетки. Направления развития биофизики. Предмет биофизики клетки. Объекты исследования. Методы исследования. Биофизика клетки и уровни структурной организации биосистем.

Тема 2. Строение и свойства клеток.

Строение и свойства клеток. Общее строение (схема) клеток. Клеточные органеллы. Получение и анализ клеточных структур. Маркеры органелл. Общие черты строения: наличие двойного липидного строя, встраивание белков, наличие гликолипидов и гликопротеинов, типы реакций на внешние воздействия, связывание малых молекул. Сходные функции. Размеры и форма клеток. Эволюция клеток.

Тема 3. Физико-химические свойства клеток.

Химический состав клеток. Содержание органических и неорганических веществ. Распределение веществ в клетке и организме. Роль металлов и неорганических веществ в организме. Физические явления в клетках (мембранах). Физико-химические свойства клеток. Гидродинамические свойства клеток. Механизмы движения клеток. Процессы взаимодействия веществ с поверхностью клетки: адсорбция веществ на поверхности, молекулярное узнавание и др.

Тема 4. Термодинамические методы в биофизике клетки. Поверхности раздела фаз.

Термодинамические методы в биофизике клетки. Термодинамические понятия. Термодинамика мембранных (и клеточных) процессов. Свободная энергия. Химический потенциал. Формы превращения энергии в организме. Поверхности раздела фаз. Понятие фазы. Распределение частиц (молекул) в фазах. Коэффициент распределения. Влияние броуновского движения и действие поверхностных сил. Природа и термодинамика жидких поверхностей раздела.

Тема 5. Двойной электрический слой.

Двойной электрический слой. Общая характеристика. Диффузный двойной слой. Теория Гуи-Чепмена. Плотность поверхностного заряда и потенциал поверхности. Теория Штерна. Свободная энергия диффузного слоя. Дзета-потенциал. Электрофорез. Электроосмос. Потенциал течения. Седиментационный потенциал.

Тема 6. Различные типы потенциалов и понятие «разность потенциалов» между фазами. Электрические и электрокинетические свойства клеток.

Различные типы потенциалов и понятие «разность потенциалов» между фазами. Вольт-потенциал. Гальвани-потенциал. Скачок потенциала на поверхности. Электрические и электрокинетические свойства клеток. Дзета-потенциал. Потенциал скольжения. Седиментационный потенциал. Биоэлектрические явления.

Тема 7. Уравнения баланса в термодинамике. Линейная термодинамика необратимых процессов в биофизике.

Законы сохранения и уравнения баланса, используемые при термодинамическом описании систем. Уравнение баланса в интегральной форме. Функция диссипации. Уравнение баланса в локальной форме. Производство и источник величины. Законы сохранения в локальной форме. Феноменологическая формулировка второго начала термодинамики. Термодинамика необратимых процессов. Термодинамический поток и потенциальное поле на примере химического потенциала. Пример зависимости потоков и сил: простая диффузия в бинарном растворе. Закон Фика. Линейная термодинамика необратимых процессов. Обобщенные силы и обобщенные потоки. Феноменологические соотношения. Собственные коэффициенты и коэффициенты взаимности. Соотношение взаимности Онзагера. Функция диссипации и ее свойства. Силы и потоки в растворе и мембранах. Общая характеристика транспортных процессов в мембранах и клетке.

Тема 8. Термодинамика пассивного транспорта неэлектролитов в клетках. Термодинамика пассивного транспорта электролитов в клетках.

Термодинамика пассивного транспорта неэлектролитов в клетках. Непрерывность химического потенциала и разрыв непрерывности его градиента у границы фаз. Свойства мембран и транспорт. Коэффициент отражения. Физическая интерпретация коэффициентов. Термодинамика пассивного транспорта электролитов в клетках. Примеры.

Тема 9. Транспорт веществ через мембраны. Массоперенос через мембраны клеток.

Мембранный транспорт. Типы веществ, переносимых через мембраны. Функции мембранного транспорта. Классификации видов транспорта по механизмам. Пассивный транспорт. Ионные каналы. Активный транспорт. Сравнительные характеристики различных механизмов транспорта веществ. Общие представления о массопереносе. Диффузия. Потоки. Диффузии как результат «случайных блужданий молекул». Первый закон Фика. Коэффициент диффузии. Второй закон Фика. Уравнение неразрывности.

Тема 10. Осмотические процессы в клетках. Транспорт воды в клетках.

Осмоз. Движение воды в клетках. Солевые растворы. Физические основы осмотического давления. Уравнение неразрывности для потока растворителя. Уравнение Дарси. Поток воды через мембрану при наличии гидростатического и осмотического давления. Аквапорины. Классификации, структура, свойства. Механизмы и теория осмотического отклика клеток. Гемолиз эритроцитов.

Тема 11. Диффузия веществ через мембрану.

Диффузия веществ через мембрану при стационарных условиях. Стадии взаимодействия молекул с мембранами. Накопление вещества в клетке: двухкомпарментная модель диффузии. Проницаемость клеточных мембран.

Тема 12. Облегченный транспорт веществ в клетках.

Облегченный транспорт веществ в клетках. Стационарная простая модель переносчика с четырьмя состояниями, который связывает одну молекулу растворенного вещества. Простая симметричная модель переносчика с

четырьмя состояниями, который связывает одну молекулу растворенного вещества. Белки-переносчики. Транспортеры глюкозы – структура и свойства.

Тема 13. Электродиффузия.

Электродиффузия веществ через мембрану. Уравнение Нернста-Планка. Уравнение Нернста.

Тема 14. Электрические свойства мембран клеток. Проницаемость и проводимость клеточных мембран.

Трансмембранный потенциал. Диффузионный потенциал. Мембранный потенциал и уравнение Гольдмана. Измерение трансмембранного потенциала. Трансмембранные потенциалы клеточных органелл. Проницаемость и проводимость клеточных мембран. Формальный анализ проводимости и проницаемости. Проницаемость неэлектролитов. Проницаемость электролитов. Равновесные потенциалы для ионов.

Тема 15. Электрические свойства клеток.

Электронейтральность клеточной среды. Закон Ома для электролитов. Электрические свойства цитоплазмы. Молярная проводимость. Эквивалентные электрические схемы для мембраны и клетки. Вольтамперные характеристики мембраны. Электрические модели малой и большой электровозбудимых клеток.

Тема 16. Каналы в мембранах. Моделирование транспорта ионов через одиночные каналы.

Классификация и структура ионных каналов. Потенциал-управляемые каналы: натриевые, калиевые, кальциевые, хлорные. Ионные каналы утечки. Лигандуправляемые каналы. Протонные каналы. Механочувствительные каналы. Водные каналы. Электрические модели каналов. Перенос ионов через каналы. Биологическое значение каналов. Теория транспорта ионов через одиночные каналы. Теории дискретных состояний канала. Управление ионными каналами. Токи ионных каналов. Токи через калиевые каналы. Токи через натриевые каналы. Токи через кальциевые каналы.

Тема 17. Активный транспорт в клетках. Транспорт веществ в клетках.

Активный транспорт. Натрий-калиевый насос. Na^+ , Ca^{2+} -обменник. Теоретические модели активного транспорта. Классификация типов транспорта веществ в клетках. Мембранный транспорт. Транспорт веществ в цитоплазме. Эпителиальный транспорт. Конвекции. Транспорт веществ в интерстициальной жидкости.

Тема 18. Межклеточные контакты и межклеточный транспорт.

Типы межклеточных контактов. Транспорт веществ через межклеточные соединения. Коннексыны. Межклеточный транспорт.

Тема 19. Перенос массивных структур в клетках.

Транспорт белков в клетке. Перенос белков через мембраны. Эндоцитоз. Окаймленные везикулы. Рецепторопосредованный пиноцитоз. Фагоцитоз. Экзоцитоз.

Тема 20. Клеточный гомеостаз.

Клеточный гомеостаз. Формирование трансмембранного потенциала. Ионный транспорт, осмотическое давление и регуляция объема клеток. Обобщенное уравнение гомеостаза. Гомеостаз отдельной простой клеточной модели.

Тема 21. Строение и физико-химические механизмы функционирования клеточных органелл.

Цитоплазма и клеточные органеллы. Биофизические процессы в органеллах Цитоскелет. Клеточное ядро. Эндоплазматический ретикулум. Комплекс Гольджи.

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(аудиторный контроль УСР)			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1.	Введение. Предмет биофизики клетки.	2						[1,1,13]	
2.	Строение и свойства клеток.					2		[2,14,1д,2д,3д]	Контрольная работа
3.	Физико-химические свойства клеток.	2						[1,4,11,13,14,2д]	
4.	Термодинамические методы в биофизике клетки. Поверхности раздела фаз.	2						[4,6,8,13,7,2,5д]	
5.	Двойной электрический слой.	2						[2,4,9]	
6.	Уравнения баланса в термодинамике. Линейная термодинамика необратимых процессов в биофизике.	2						[1,2,3,4,5,6,13,15,21,19,20]	
7.	Термодинамика пассивного транспорта неэлектролитов в клетках. Термодинамика пассивного транспорта электролитов в клетках.	2						[4,5,8,10,16]	

8.	Транспорт веществ через мембраны. Массо-перенос через мембраны клеток.	2						[4,5,7,14,1,13,16]	
9.	Осмотические процессы в клетках. Транспорт воды в клетках.	2						[4,13,16,18]	
10.	Диффузия веществ через мембрану.	2						[4,5,8,10,16]	
11.	Облегченный транспорт веществ в клетках.	2						[4,3,5,7,8]	
12.	Электродиффузия.	2						[4,1,2,15]	
13.	Электрические свойства мембран клеток. Проницаемость и проводимость клеточных мембран.	2						[4,2,13,17]	
14.	Электрические свойства клеток.					2		[4,3,1,2]	Контрольная работа
15.	Каналы в мембранах. Моделирование транспорта ионов через одиночные каналы. Классификация и структура ионных каналов. Потенциал-управляемые каналы: натриевые, калиевые, кальциевые, хлорные. Ионные каналы утечки. Лигандуправляемые каналы. Протонные каналы. Механочувствительные каналы. Водные каналы. Электрические модели каналов.	2						[3,4,5,6,13, 14, 18]	
16	Каналы в мембранах. Перенос ионов через каналы. Биологическое значение каналов. Теория транспорта ионов через одиночные каналы. Теории дискретных состояний канала. Управление ионными каналами. Токи	2						[3,4,5,6,13, 14, 18]	

	ионных каналов. Токи через калиевые каналы. Токи через натриевые каналы. Токи через кальциевые каналы.								
17.	Активный транспорт в клетках. Транспорт веществ в клетках.	2						[2,10,3,4,5,6,7,14]	
18.	Строение и физико-химические механизмы функционирования клеточных органелл.					2		[12,10,14,15]	Защита рефератов
	Всего часов	30				6			экзамен

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная

1. Черенкевич С.Н., Мартинович Г.Г., Хмельницкий А.И. Биологические мембраны. Минск, БГУ, 2009.
2. Рубин А.Б. Лекции по биофизике, МГУ, 2009.
3. Рубин Ф.Б. Биофизика. Т.2, Биофизика клеточных процессов, 2009, Москва, Книжный дом «Университет».
4. Хмельницкий А.И., Василевская Н.В., Черенкевич С.Н. Структура и свойства ионных каналов биологических мембран, Минск, 2004, БГУ
5. Черенкевич С.Н., Хмельницкий А.И. Транспорт веществ через биологические мембраны. Минск, БГУ, 2007
6. Заболоцкий В.И. Перенос ионов в мембранах 1996
7. Рубин А.Б. Биофизика. Т.1, 2008, Москва, Высшая школа.
8. Рубин А.Б. Биофизика. Т.2, 2008, Москва, Высшая школа.
9. Оглезнева Н.Я. Медицинская и биологическая биофизика, Омск, 1994
10. Пальцев М.А., Иванов А.А. Межклеточные взаимодействия М Мед 1995 224с
11. Авдонин П.В., Ткачук В.А. Рецепторы и внутриклеточный кальций М Н 1994
12. Ичас М.О. природе живого: Механизмы и смысл. М Мир 1994
13. Amos L.A., Amos W.B. Molecules of cytoskeleton, New York, G.P.
14. Костюк П.Г. Биофизика, КГУ, Киев, 1988
15. Марри З. Биохимия человека. Мир, Москва, 1993
16. Биохимия мембран, под. ред. А.А.Болдырева, кн.9, Клеточные мембраны и иммунитет, Высшая школа, Москва, 1991
17. Рубин Ф.Б. Биофизика. Т.1, Теоретическая биофизика, 1999 Москва, Высшая школа
18. Финкельштейн А.В., Птицин О.Б. Физика белка., 2002, М.: Книжный дом «Университет», 376 с.
19. Варфоломеев С.Д., Гуревич К.Г. Биокинетика. 1999, М.:ФАИР-ПРЕСС, 720 с.
20. Геннис Р. Биомембраны. Молекулярная структура и функция. М.:Мир, 1997
21. Николис Г., Пригожин И. Саммоорганизации в неравновесных системах. М.:Мир, 1979
22. Рубин А.Б. Термодинамика биологических процессов. М.: Изд-во МГУ, 1984

Дополнительная

1. Добрецов Г.Е. Флуоресцентные зонды в исследовании биологических мембран. Москва, 1970
2. Альбертс Б. И др. Молекулярная биология клетки, т.1, Москва, Мир, 1994

3. Альбертс Б. И др. Молекулярная биология клетки, т.2, Москва, Мир, 1994
4. Альбертс Б. И др. Молекулярная биология клетки, т.3, Москва, Мир, 1994

Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности

1. Контрольные работы по разделам дисциплины.
2. Рефераты

Примерный перечень мероприятий для контроля качества усвоения знаний по учебной дисциплине

Примерная тематика реферативных работ

1. Клеточная механика.
2. Наномеханика биополимеров.
3. Биоэлектрические потенциалы.
4. Осмотический лизис клеток.
5. Гемолиз эритроцитов.
6. Формирование трансмембранного потенциала.
7. Эндоцитоз.
8. Экзоцитоз.
9. Стационарные состояния клеток.
10. Перенос ионов кальция через мембраны
11. Перенос ионов водорода через мембраны.

Рекомендуемые темы для составления контрольных заданий

1. Термодинамические методы в биофизике клетки
2. Электрические свойства клеток
3. Осмос и транспорт воды через мембраны

Контроль качества усвоения знаний и проведение аттестации

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине используются контрольные задания по разделам дисциплины. 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, контрольные вопросы и задачи. 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 1 выступление на семинарских занятиях по вопросам и рефератам (C_1 , максимум 10 баллов).

Оценка текущего контроля проводится с использованием формулы

$$T = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + C}{4}.$$

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)
Молекулярная биофизика	Кафедра биофизики	Замечаний нет	Изменение не требуется протокол № 12 от 31.05.2016
Физика мембранных систем	Кафедра биофизики	Замечаний нет	Изменение не требуется протокол № 12 от 31.05.2016

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