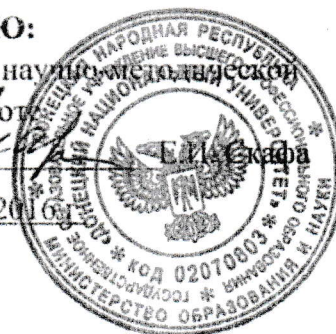


ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра биофизики

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной, методической
и учебной работе

«22» декабря 2016 г.



Рабочая программа учебной дисциплины
«БИОФИЗИКА»

Направление подготовки: 06.03.01 Биология

Профиль подготовки: _____

Образовательный уровень выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная, заочная

Донецк 2016

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебно-методической
и учебной работе

«21» декабря 2016 г.



Программа учебной дисциплины «Биофизика» составлена на основе ГОС ВПО по направлению подготовки 06.03.01 «Биология», утвержденного приказом Министерства образования и науки ДНР от «20» апреля 2016 г. № 457, зарегистрированного в Министерстве юстиции ДНР от 01 августа 2016 г. № 1437 и «Положения об организации учебного процесса в образовательных организациях высшего профессионального образования Донецкой Народной Республики», утвержденного приказом Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики «30» октября 2015 г. №750.

Разработчики:

д.б.н., проф., профессор кафедры биофизики

Горецкий О.С.

ст. преп. кафедры биофизики

Корниенко В.О.

Программа учебной дисциплины утверждена на заседании кафедры биофизики

Протокол № 1 от "29" августа 2016 г.

Зав. кафедрой

Беспалова С.В.

Программа учебной дисциплины одобрена учебно-методической комиссией биологического факультета

Протокол № 2 от "21" октября 2016 г.

Председатель учебно-методической
комиссии факультета

Прокопенко Е.В.

1. Область применения и место дисциплины в учебном процессе.

Учебная дисциплина «Биофизика» является вариативной частью профессионального блока дисциплин подготовки студентов по направлению подготовки 06.03.01 Биология.

Дисциплина реализуется на биологическом факультете ГОУ ВПО «ДонНУ» кафедрой биофизики.

Основывается на базе дисциплин: Физика, Физические методы в биологии, Введение в биофизику, Математические методы в биологии, Математика, Физика, Органическая химия, Биохимия, Молекулярная биология, Физиология человека.

Является основой для изучения следующих дисциплин: спецкурсы кафедры биофизики.

2. Нормативные ссылки (при необходимости)

3. Структура дисциплины

Характеристика учебной дисциплины	очная форма обучения на базе		заочная форма обучения на базе		
	ОСО	СПО (сокращ.)	ОСО	СПО (сокращ.)	ВПО (сокращ.)
Образовательный уровень:	Бакалавр				
Направление подготовки	06.03.01 Биология				
Профиль	Биофизика				
Количество содержательных модулей (тем)	4				
Дисциплина базовой / вариативной части образовательной программы ¹	Вариативная часть, профессиональный блок				
Формы контроля	Зачёт, Экзамен				
Показатели	очная форма обучения на базе		*заочная форма обучения на базе		
	ОСО	*СПО (сокращ.)	ОСО	СПО (сокращ.)	ВПО (сокращ.)
Количество зачетных единиц (кредитов)	5		5	5	
Количество часов	180		180	180	
Год подготовки	4		4	3	
Семестр	7,8				
Количество часов	114				
- лекционных	24+22		4+8	4+8	
- практических, семинарских	-				
- лабораторных	24+44		4+12	4+12	
- самостоятельной работы	66		152	152	
в т.ч. индивидуальное задание	-				
Недельное количество часов, т.ч.	-				
аудиторных	7 - 2+2; 8 - 2+4				

ОСО – общее среднее образование

СПО – среднее профессиональное образование

ВПО – высшее профессиональное образование

1-в соответствии с ОП (образовательной программой)

4. Описание дисциплины

Цели и задачи

Цель - сформировать у студентов фундаментальные знания по биофизике и различные виды умений по решению задач, связанных с физическими и физико-химическими закономерностями строения и функционирования биологических систем на молекулярном, клеточном, органном уровнях и на уровне целостного организма.

Задачи - развивать у студентов понимание сути основных явлений и проблем по разным направлениям биофизики и видение перспектив практического использования ее достижений; научить студентов современным биофизическим методам исследований и самостоятельно проводить анализ практических задач по биофизике; ознакомить студентов с проблемами прикладной биофизики – медицинской биофизики, биофизики мембранных процессов, биофизических технологий и др.

Требования к результатам освоения дисциплины: Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ГОС ВПО по данному направлению подготовки 06.03.01 Биология:

а) общекультурных (ОК):

способность к осуществлению просветительской и воспитательной работы в профессиональной и общественной сфере деятельности, владение методами пропаганды научных достижений (ОК-10);

осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной и просветительской деятельности (ОК-12);

способность к самоорганизации и самообразованию (ОК-13).

б) общепрофессиональных (ОПК):

способность применять в профессиональной деятельности современные представления о принципах структурной и функциональной организации биологических объектов и механизмах их гомеостатической регуляции; владеть основными методами анализа и оценки состояния живых систем (ОПК-6);

способность применять современные представления о принципах клеточной организации биологических объектов, биофизических и биохимических основах и молекулярных механизмах жизнедеятельности при решении профессиональных задач (ОПК-7).

в) профессиональных (ПК) :

научно-исследовательская деятельность:

способность применять современные экспериментальные методы работы с биологическими объектами в полевых и лабораторных условиях, навыки работы с современной аппаратурой и оборудованием (ПК-1);

владеть базовыми методами первичной математической и статистической обработки экспериментальных данных; уметь анализировать и интерпретировать полученные результаты на основании современных литературных источников (ПК-2);

иметь навыки использования основных технических средств поиска научной биологической информации, пакетов прикладных компьютерных программ, работы с профессиональной информацией в глобальных компьютерных сетях (ПК-3);

научно-производственная и проектная деятельность:

готовность применять на производстве базовые общепрофессиональные знания теории и методов современной биологии (ПК-5).

лабораторно-диагностическая деятельность:

владение химическими, бактериологическими и биофизическими методами исследований различных биологических материалов (ПК-8).

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать: основные принципы строения и функционирования биомембран; основные положения молекулярной биофизики, принципы функционирования биомакромолекул;

сочетать знания о строении биологических мембран с особенностями их функционирования и обеспечения транспортных процессов, поступающих в клетках; основные физические законы и уравнения для анализа скоростей транспортировки различных веществ сквозь мембрану; основные физические и физико-химические закономерности строения и функционирования биологических систем для оценки биофизических процессов на клеточном, органном и системном уровнях; терминологию и основные понятия изученного курса; роль и место Биофизики в общей естественно-научной картине мира;

уметь: формулировать физическую задачу, цель и задачи в пределах экспериментальных и теоретических исследований; применять основные понятия, законы и модели математики, физики, химии и биологии при решении профессиональных задач; использовать на профессиональном уровне физические и математические методы теоретического и экспериментального исследования живых систем; систематизировать результаты наблюдений; делать обобщение и оценивать их достоверность и область применения; применять изученные явления к описанию биофизических процессов; решать задачи по изученным темам; использовать измерительные приборы и оборудование.

владеть: методами исследования состояния биологических мембран, приёмами постановки лабораторных экспериментов по изучению процессов функционирования биомембран; основами биофизических методов исследования клеток, органов и сложных систем организма; навыками работы по проведению биофизических исследований и их анализа.

5. Содержание учебной дисциплины и формы организации учебного процесса

Курс дисциплины «Биофизика» предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, лабораторные занятия, самостоятельная работа студента.

Материал излагается с использованием объяснительно-иллюстративных, эвристических и исследовательских методов преподавания. При проведении лекций для обсуждения материала используются мультимедийные презентации, графопроектор и др.

В учебном процессе широко применяются активные и интерактивные формы проведения занятий (разбор конкретных ситуаций, дискуссия), внеаудиторная самостоятельная работа, балльно-рейтинговая система оценки успеваемости, блочно-модульное обучение.

Использование в учебном процессе интернет ресурсов по данному курсу; рассмотрение и решение задач, максимально приближенных к конкретным ситуациям и условиям; тесты и контрольная работа.

Самостоятельная работа студентов предусматривает выполнение индивидуальных заданий, подготовку к лабораторным занятиям, изучение учебной и методической литературы, составление конспектов, изучение приборов и оборудования, проведение эксперимента, обработку полученных результатов, анализ полученных результатов.

МОДУЛЬ 1 (7 семестр)

Порядковый номер и тема	Краткое содержание темы
Содержательный модуль I. «Основы молекулярной биофизики»	
Тема 1. Физические свойства макромолекул.	Сильные и слабые взаимодействия. Ионные связи. Диполь-дипольные взаимодействия. Индукционные и дисперсионные силы в макромолекулах. Водородная связь и её роль в биологических системах. Гидрофобные взаимодействия. Роль в биосистемах.
Тема 2. Физика белка	Химическая структура белковой молекулы. Аминокислоты и их свойства. Основные типы вторичной структуры полипептидов и

	<p>белков. Стабилизация вторичной структуры. Стабилизация белковой глобулы. Роль водного окружения. Динамика белков. Гемоглобин и миоглобин. Конформационные изменения гемоглобина при оксигенации. Механизмы ферментативного катализа. Модели Фишера, Кошланда. Модель Чернавского «белок-машина».</p>
<p>Содержательный модуль 2 «Основы биофизики мембранных процессов»</p>	
<p>Тема 3. Структура и функционирование биологических мембран.</p>	<p>Состав и строение биомембран. Структура клеточных мембран. Модели. Физическое состояние и фазовые переходы в липидном бислое биомембран. Липиды биомембран. Мембрана как универсальный компонент биологических систем. Характеристика мембранных липидов, классификация. Процесс мицеллообразования. Динамика структурных элементов мембраны. Метод спиновых меток и флуоресценции для исследования особенностей вращательной и трансляционной подвижности фосфолипидов, флип-флоп переходов. Асимметрия бислоя липидов. Холестерин, его влияние на толщину липидного бислоя.</p>
<p>Тема 4. Биофизические основы транспорта через мембраны.</p>	<p>Транспорт веществ и электролитов через биологические мембраны. Уравнение диффузии Фика. Пассивный транспорт молекул и ионов через биологические мембраны. Электродиффузионное уравнение Нернста-Планка. Транспорт молекул через биологические мембраны путем облегченной диффузии. Транспорт ионов через биологические мембраны при участии переносчиков. Подвижные переносчики. Виды пассивного транспорта через биологические мембраны. Активный транспорт веществ через биологические мембраны. Активный перенос ионов через биологические мембраны при участии АТФаз. Мембранный потенциал покоя. Уравнение Нернста. Уравнение стационарного мембранного потенциала Гольдмана. Мембранный потенциал действия. Уравнение Ходжкина-Хаксли для ионных токов в биологических мембранах.</p>

МОДУЛЬ 2 (8 семестр)

Порядковый номер и тема	Краткое содержание темы
Содержательный модуль 1. «Биофизика клеточных процессов, клеток, органов и сложных систем»	
Тема 1. Сократительные процессы в мышечных клетках.	Структура мышечной клетки и мышечных белков. Модель скользящих нитей. Хаксли и ее основные положения. Кинетическая теория мышечного сокращения В. Дещеревского. Электромеханическое сопряжение в мышечной клетке сердца (кардиомиоците) и в клетках скелетных мышц. Пассивные механические свойства мышцы. Механическая модель мышцы Хилла. Активное сокращение мышцы в изометрическом и изотоническом режимах. Работа мышцы при разных режимах сокращения. Уравнение Хилла. Механическая эффективность работы мышцы.
Тема 2. Фотобиологические процессы.	Физико-химические основы фотобиологических процессов. Условия поглощения света (взаимодействия квантов света) в биологических системах. Биолуминесценция как частный случай хемилюминесценции. Фотобиологические реакции. Биологические эффекты ультрафиолетового излучения и их использование в медицине.
Тема 3. Электрические явления в биологических системах.	Пассивные электрические свойства биологических объектов. Явление поляризации. Сопротивление биологических объектов электрическому току. Электропроводимость биологических объектов. Активные электрические свойства органов и методы их исследования. Принцип эквивалентного генератора. Физические основы электрической активности сердца. Модель Эйтховена. Методы регистрации. Электрическая активность головного мозга, метод регистрации.
Тема 4. Биофизические основы зрения.	Структура фоторецепторных клеток. Молекулярный механизм фоторецепции. Фотопревращение зрительного пигмента. Рецепторные потенциалы. Цветовое зрение. Чувствительность к цвету. Теории ощущения цвета. Нарушения чувствительности к цвету.
Тема 5. Биофизические основы восприятия звука.	Понятия, которые используются в биоакустике. Закон Вебера-Фехнера. Пороги чувствительности звука у человека. Биофизические процессы восприятия звуковых колебаний в наружном и среднем ухе. Механизм восприятия звуковых колебаний во внутреннем ухе. Методы изучения слуха человека. Нарушения слуха у человека.
Тема 6. Биофизика системы кровообращения.	Биофизические особенности кровотока в различных сосудах. Режимы кровотока. Гемодинамические показатели и процессы, их количественная характеристика.
Содержательный модуль 2. «Физические поля окружающей среды и организма человека»	
Тема 7. Физические поля окружающей среды.	Природные источники электромагнитных излучений как фактор среды существования человека. Шкала электромагнитных волн. Особенности взаимодействия электромагнитных волн радио-, УВЧ- и СВЧ-диапазонов окружающей среды с биологическими объектами. Взаимодействия инфракрасного, видимого, ультрафиолетового и ионизирующего излучений окружающей среды с биологическими объектами.

<p>Тема 8. Собственные физические поля организма человека.</p>	<p>Виды физических полей организма человека и их источники. Электрическое и магнитное поля тела человека, методы их регистрации. Инфракрасное, оптическое и СВЧ-излучения тела человека. Природа и методы регистрации электромагнитных полей организма. Низкочастотные механические колебания в теле человека. Кохлеарная акустическая эмиссия. Источники и методы регистрации акустических полей организма.</p>
---	--

Тематический план учебной дисциплины

МОДУЛЬ 1 (7 семестр)

Содержательный модуль 1. Основы молекулярной биофизики.

Названия содержательных модулей и тем	Содержательный модуль 1. Основы молекулярной биофизики.																					
	Количество часов																					
	Очная форма						Заочная форма															
							на базе общего среднего образования						на базе среднего профессионального образования					на базе высшего профессионального образования				
всего	В Т.Ч.					всего	В Т.Ч.					всего	В Т.Ч.					всего	В Т.Ч.			
	лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа		лекции	практические	самостоятельная работа	индивидуальная работа
Тема 1. Физические свойства макромолекул.	19	6		8	5		22	1		1	20		22	1		1	20					
Тема 2. Физика белка	19	6		8	5		22	1		1	20		22	1		1	20					
Итого по 1 содержательному модулю	38	12		16	10		44	2		2	40		44	2		2	40					

Названия содержательных модулей и тем	Содержательный модуль 2. Основы биофизики мембранных процессов.																						
	Количество часов																						
	Очная форма						Заочная форма																
							на базе общего среднего образования					на базе среднего профессионального образования					на базе высшего профессионального образования						
	всего	В Т.Ч.					всего	В Т.Ч.					всего	В Т.Ч.					всего	В Т.Ч.			
лекции		практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа	лекции		практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа	лекции		практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа	лекции		практические	самостоятельная работа	индивидуальная работа	
Тема 3. Структура и функционирование биологических мембран.	20	6		4	10		18	1		1	16		18	1		1	16						
Тема 4. Биофизические основы транспорта через мембраны.	22	6		4	12		18	1		1	16		18	1		1	16						
Итого по 2 содержательному модулю	42	12		8	22		36	2		2	32		36	2		2	32						
Всего часов по 1 Модулю	80	24		24	32		80	4		4	72		80	4		4	72						

МОДУЛЬ 2 (8 семестр)

Названия содержательных модулей и тем	Содержательный модуль 1. Биофизика клеточных процессов, клеток, органов и сложных систем.																					
	Количество часов																					
	Очная форма						Заочная форма															
							на базе общего среднего образования					на базе среднего профессионального образования					на базе высшего профессионального образования					
	всего	В Т.Ч.					всего	В Т.Ч.					всего	В Т.Ч.					всего	В Т.Ч.		
лекции		практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа	лекции		практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа	лекции		практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа	лекции		практические	самостоятельная работа	индивидуальная работа
Тема 1. Сократительные процессы в мышечных клетках.	6	2			4		11	1			10		11	1			10					
Тема 2. Фотобиологические процессы.	10	4			6		11	1			10		11	1			10					
Тема 3. Электрические явления в биологических системах.	29	3		24	2		19	1		8	10		19	1		8	10					
Тема 4. Биофизические основы зрения.	14	2		8	4		11	1			10		11	1			10					
Тема 5. Биофизические основы восприятия звука.	18	2		12	4		15	1		4	10		15	1		4	10					
Тема 6. Биофизика системы кровообращения.	9	3			6		11	1			10		11	1			10					
Итого по 1 содержательному модулю	85	16		44	26		78	6		12	60		78	6		12	60					

Названия содержательных модулей и тем	Содержательный модуль 2. Физические поля окружающей среды и организма человека																					
	Количество часов																					
	Очная форма						Заочная форма															
							на базе общего среднего образования					на базе среднего профессионального образования					на базе высшего профессионального образования					
	всего	В Т.Ч.					всего	В Т.Ч.					всего	В Т.Ч.					всего	В Т.Ч.		
лекции		практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа	лекции		практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа	лекции		практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа	лекции		практические	самостоятельная работа	индивидуальная работа
Тема 7.Физические поля окружающей среды.	7	3			4		11	1			10		11	1			10					
Тема 8. Собственные физические поля организма человека.	7	3			4		11	1			10		11	1			10					
Итого по 2 содержательному модулю	14	6			8		22	2			20		22	2			20					
Всего часов по 2 Модулю	100	22		44	34		100	8		12	80		100	8		12	80					
Всего часов	180	46		68	66		180	12		16	152		180	12		16	152					

6. Темы семинарских занятий
 7. Темы практических занятий
 8. Темы лабораторных занятий

№ п/п	Тема лабораторного занятия
МОДУЛЬ 1	
Лабораторная работа 1	Полуэмпирический квантово-химический расчет молекул
Лабораторная работа 2	Расчет удельной энергии связи в циклических соединениях
Лабораторная работа 3	Изучение симметрии молекулярных орбиталей двухатомных молекул
Лабораторная работа 4	Неэмпирический квантово-химический расчет молекул
Лабораторная работа 5	Моделирование молекулярных переходных процессов
Лабораторная работа 6	Исследование водородной связи
Лабораторная работа 7	Сольватация молекул и моделирование молекулярной динамики
Лабораторная работа 8	Построение поверхности потенциальной энергии
Лабораторная работа 9	Изучение транспортных процессов через искусственную мембрану
Лабораторная работа 10	Изучение кинетики разрушения мембраны детергентами
Лабораторная работа 11	Расчет термодинамических параметров фазового перехода липидного бислоя на основании данных дифференциальной сканирующей микрокалориметрии
Лабораторная работа 12	Определение отрицательных зарядов на поверхности эритроцитов.
МОДУЛЬ 2	
Лабораторная работа 1	Изучение электропроводимости биологических объектов.
Лабораторная работа 2	Исследование транспорта ионов через искусственную мембрану.
Лабораторная работа 3	Исследование мембранного потенциала клеток симпласта высшего растения.
Лабораторная работа 4	Исследование электрической активности сердца у человека.
Лабораторная работа 5	Изучение спектральных характеристик слуха человека.
Лабораторная работа 6	Изучение цветовой чувствительности у человека

9. Самостоятельная работа

Вопросы для самостоятельного изучения

МОДУЛЬ 1

1. Строение и свойства биологических мембран
2. Транспорт неэлектролитов
3. Транспорт электролитов. Насосы.
4. Осмос. Доннатовское равновесие
5. Окислительно-восстановительные потенциалы. Окислительное фосфорилирование

МОДУЛЬ 2

Содержательный модуль 1. Биофизика клеточных процессов, клеток, органов и сложных систем.

1. Биофизические (конформационно-чувствительные) методы анализа биосистем.

2. Механические свойства мышц и костей.
3. Механические свойства стенки кровеносных сосудов.
4. Механические процессы в легких.
5. Общие физико-математические закономерности движения крови по кровеносному руслу.
6. Автоколебания и автоволны в органах и тканях.
7. Распространение пульсовых волн по кровеносным сосудам.
8. Сверхслабое свечение клеток.

Содержательный модуль 2. Физические поля окружающей среды и организма человека.

1. Электромагнитные излучения радиочастот и сверхвысоких частот.
2. Измерения бытовых электромагнитных полей.
3. Сверхнизкочастотные электромагнитные поля.
4. Острое и хроническое воздействие сверхнизкочастотных электромагнитных полей.
5. Реакции органов и систем организма на воздействие сверхнизкочастотных полей и излучений.
6. Влияние сверхнизкочастотных полей и излучений на микроорганизмы и растения.
7. Электромагнитные и радиоактивные излучения в медицине.

10. Индивидуальные задания

11. Контрольные вопросы к промежуточной аттестации

Пример задания к модульному контролю

1. Регуляция поступления питательных веществ в клетку - основная функция плазматической мембраны. Эта функция особенно отчетливо проявляется у эпителиальных клеток, выстилающих кишечник, поскольку через них проходит весь поток питательных веществ, поступающих в организм. В соответствии с этим и плазматическая мембрана устроена так, что на той стороне клеток которая обращена в полость кишечника, она уложена в вид многочисленных пальцевидных выростов, называемых микроворсинками. За счет этого поверхность эпителиальных клеток многократно возрастает, что способствует более эффективному поглощению питательных веществ. Представив каждую микроворсинку в виде цилиндра диаметром 0,1 мкм и высотой 1 мкм и считая, что лишь половина поверхности плазматической мембраны покрыта микроворсинками, попытайтесь оценить, во сколько раз увеличивается поверхность клетки (обращенная в полость кишечника) за счет дополнительной поверхности микроворсинок по сравнению с поверхностью клетки, покрытой плоской плазматической мембраной.

2. В яде змеи присутствуют протеаза (разрывающая пептидные связи в белках), нейраминидаза (отщепляющая остатки силовой кислоты от ганглиозидов) и фосфолипаза (расщепляющая фосфолипиды). В результате обработки изолированных эритроцитов этими очищенными ферментами были получены данные, свидетельствующие о том, что только фосфолипаза вызывает гемолиз эритроцитов.

Анализ продуктов гемолиза, вызываемого фосфолипазой, показал необычно высокое содержание в них свободного фосфорилхолина (холина, соединенного с остатком фосфорной кислоты) и диацилглицерола (глицерола, соединенного с двумя цепями жирных кислот).

2.1. Что служит субстратом для фосфолипазы, в каком участке молекулы субстрат расщепляется?

2.2. На основании ваших знаний о структуре плазматической мембраны объясните, почему фосфолипаза вызывает лизис эритроцитов, а протеаза и нейраминидаза - нет.

3. Предположим, что вас интересует распределение различных фосфолипидов в плазматической мембране эритроцитов человека. Прежде всего, на долю фосфолипидов в

бислой эритроцитов приходится 60% массы всех липидов, тогда как доля холестерина составляет 30%, а гликолипидов – 10%. Фосфолипиды включают: фосфатидилхолин (28%), фосфатидилэтаноламин (27%), сфингомиелин (26%), фосфатидилсерин (13%) и некоторые другие, минорные, фосфолипиды (несколько процентов). Чтобы выявить распределение этих фосфолипидов, зрелые эритроциты и их тени обрабатывают: 1) двумя различными фосфолипазами и 2) не проникающим через мембрану флуорохромом (SITS), который, связываясь химически с первичными аминогруппами, специфически метит их.

Под действием сфингомиелиназы разрушается до 85% сфингомиелина в случае эритроцитов (лизиса клеток при этом не происходит) и немного больше в случае теней эритроцитов. После обработки интактных эритроцитов смесью фосфолипаз из яда морских змей в среду выходят продукты расщепления фосфатидилхолина (лизиса клеток не происходит), а при обработке теней эритроцитов эти же фосфолипазы вызывают, кроме того, разрушение фосфатидилсерина и фосфатидилэтаноламина. Реагент SITS метит почти полностью фосфатидилэтаноламин и фосфатидилсерин в тенях эритроцитов и лишь около 1 % этих соединений в целых клетках.

А. Результаты этих опытов представлены в табл. 3.1. Они позволяют судить о распределении четырех основных фосфолипидов в мембранах эритроцитов. Какие фосфолипиды сосредоточены в обоих монослоях этих мембран и есть ли такие?

Б. Почему в этих опытах использовали эритроциты?

Таблица 3.1. Чувствительность фосфолипидов в составе эритроцитов человека и в составе теней этих клеток к фосфолипазам и к метке SITS, не проникающей через мембрану.

Фосфолипид	Сфингомиелиназа		Яд морских змей		Флуоресценция SITS	
	Эритроциты	Тени	Эритроциты	Тени	Эритроциты	Тени
Фосфатидилхолин	–	–	+	+	–	–
Фосфатидилдиэтаноламин	–	–	–	+	–	+
Сфингомиелин	+	+	–	–	–	–
Фосфатидилсерин	–	–	–	+	–	+

4. За поведением липидов в двух монослоях мембраны можно проследить, введя в отдельные молекулы в качестве метки нитроксильную группу, являющуюся стабильным органическим свободным радикалом (рис. 4.1). Такие спин-меченые липиды можно изучать методом электронного парамагнитного спинового резонанса (ЭПР) непосредственно в живых клетках. Перед тем как ввести спин-меченые липиды в мембраны клеток, смесь меченых и немеченых фосфолипидов обрабатывают ультразвуком с целью получения маленьких липидных везикул. При добавлении последних к суспензии целых клеток в определенных условиях везикулы сливаются с клетками, перенося меченые лиганды в их плазматическую мембрану.

Меченые фосфолипиды вводили в мембраны эритроцитов описанным выше методом. Для того чтобы выяснить, одинаково ли встраиваются меченые фосфолипиды в два монослоя бислойной мембраны, в среду добавляли аскорбиновую кислоту (витамин С). Будучи восстановителем, растворимым в воде, этот реагент не проникает сквозь мембрану и разрушает все нитроксильные радикалы на внешней поверхности клетки. На рис. 4.2 представлена зависимость сигнала ЭПР от продолжительности инкубации клеток с двумя различными метками в присутствии витамина С и без него.



Нитроксильный
радикал



Спин-меченный
фосфолипид 1



Спин-меченный
фосфолипид 2

Рис. 4.1. Схематическое изображение двух одинаковых липидов, меченных нитроксильным радикалом в различных положениях.

А. Не учитывая пока различий в степени уменьшения сигнала ЭПР, попытайтесь объяснить, почему фосфолипид 1 (рис. 4.2, А) взаимодействует с аскорбиновой кислотой быстрее, чем фосфолипид 2 (рис. 4.2, Б). Заметьте, что область плато в случае фосфолипид 1 достигается за 15 мин, а в случае фосфолипид 2 – гораздо медленнее, за 1 ч.

Б. Для выяснения причин того, почему эти фосфолипиды различаются по скорости и величине уменьшения сигнала ЭПР, были проведены аналогичные опыты с теньями эритроцитов, обработанными так, что они были непроницаемы для аскорбата (из-за замыкания мембраны). В этих опытах в отсутствие аскорбата не наблюдалось снижения величины сигнала ЭПР для обоих фосфолипидов, а при добавлении аскорбата сигнал устанавливался на уровне 50%. Попробуйте объяснить, чем обусловлены различия в изменениях сигнала ЭПР в опытах с теньями эритроцитов и с целыми эритроцитами.

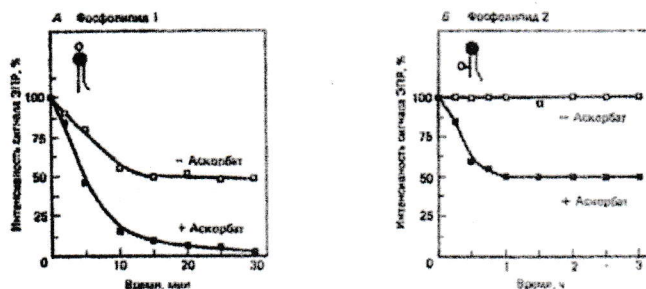


Рис. 4.2. Уменьшение интенсивности сигнала ЭПР в зависимости от длительности инкубации эритроцитов с меченым фосфолипидом 1 (А) и фосфолипидом 2 (Б) в присутствии аскорбата и без него.

В. Одинаково ли встраивались спин-меченные фосфолипиды 1 и 2 в оба монослоя мембраны эритроцитов?

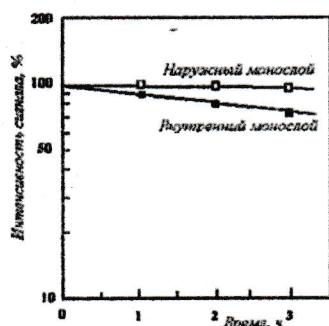


Рис. 5.1. Уменьшение величины сигнала ЭПР от эритроцитов, содержащих спин-меченные фосфолипиды в наружном и внутреннем монослоях мембраны

5. Асимметрическое распределение фосфолипидов по двум слоям плазматической мембраны указывает на то, что спонтанный перескок липида с одной стороны мембраны на другую – редкое событие, хотя, возможно, любой спонтанный перескок быстро компенсируется соответствующими переносчиками фосфолипидов возвращающими их на прежнее место в монослой. Для того, чтобы определить, какая из этих двух возможностей реализуется, была измерена скорость перескока фосфолипидов в плазматической мембране интактных эритроцитов.

В одном из экспериментов использовали те же два фосфолипиды со спин-метками (задача 4). С целью измерения скорости транслокации от внутреннего монослоя к наружному эритроциты со спин-мечеными фосфолипидами, сосредоточенными только во внутреннем монослое плазматической мембраны, инкубировали в течение различных периодов времени в присутствии аскорбата и следили за изменением интенсивности сигнала ЭПР. Для измерения скорости перескока фосфолипидов от наружного монослоя к внутреннему

определяли снижение сигнала ЭПР при инкубации эритроцитов в той же среде, но без аскорбата. Результаты этих опытов представлены на рис. 5.1.

1. По результатам, представленным на рис. 5.1, рассчитайте скорость транслокации от внутреннего монослоя к наружному и от наружного к внутреннему. Удобно выражать такие величины как полупериод транслокации, т. е. время, за которое половина фосфолипидов перескакивает из одного монослоя в другой.

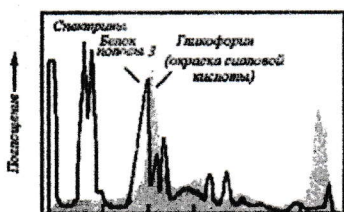
2. Из того что вы знаете относительно поведения двух спин-меченых фосфолипидов в задаче 4, попробуйте решить, какой из них был использован для мечения внутреннего монослоя плазматической мембраны целых эритроцитов, а какой – для мечения наружного монослоя.

3. Предложите способ получения эритроцитов, содержащих спин-меченые фосфолипиды только во внутреннем или только в наружном монослое плазматической мембраны.

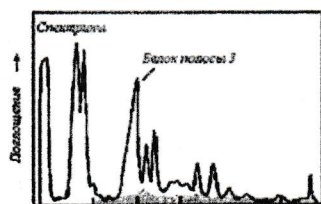
6. Белки, пронизывающие мембрану, обладают характерной структурой в области бислоя. Какая из трех приведенных последовательностей, состоящих из 20 аминокислот, более всего подходит на роль такого трансмембранного сегмента и подходит ли какая-то из них вообще? Объясните причины вашего выбора.

1. ITLIYFGVMAGVIGTILLIS
2. ITPIYFGPMAGVIGTPLLIS
3. ITEIYFGRMAGVIGTDLLIS

А НОРМАЛЬНЫЕ "ТЕНИ"



Б "ТЕНИ" ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ СИАЛИДАЗОЙ



В. "ТЕНИ" ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ПРОНАЗОЙ

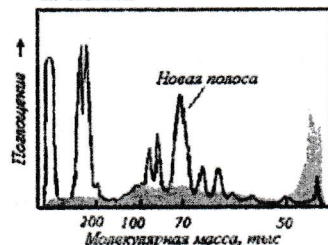


Рис.7.1. Анализ белков, входящих в состав теней эритроцитов.

7. Для определения того, с какой стороны плазматической мембраны связаны основные мембранные белки – спектрин, белок полосы 3 и гликофорин, первоначально применяли ферментативный гидролиз теней эритроцитов. В этих опытах использовали сиалидазу, которая отщепляет остатки сиаловой кислоты от белка, и проназу для расщепления пептидных связей. Белки из нормальных теней и из теней, обработанных ферментом, разделяли с помощью электрофореза в ДСН-полиакриламидном геле, а затем окрашивали на белки либо на углеводы (рис.7.1).

А. Каким образом информация, содержащаяся в рис. 7.1, позволяет решить, на какой стороне клеточной мембраны находится углеводная часть гликофорина: на внутренней, цитоплазматической или на наружной, и какие из белков эритроцитов экспонированы на наружной поверхности последних?

В. Как следовало бы модифицировать методику с использованием ферментов для выявления тех белков эритроцитов, которые пронизывают плазматическую мембрану?

8. Расчеты количества белков, связанных с мембраной, на клетку и доли поверхности плазматической мембраны, занятой этими белками, важны для понимания структуры плазматической мембраны. Для белков плазматической мембраны эритроцитов это вычислить наиболее просто,

поскольку эритроциты легко выделить из крови и в них не содержится внутренних мембран, которые могли бы служить помехой при расчетах. С этой целью выделяют плазматические мембраны, после чего белки, связанные с мембранами, разделяют методом электрофореза в полиакриламидном геле с ДСН, а затем окрашивают красителем Кумасси синим. Поскольку интенсивность окраски в первом приближении пропорциональна количеству белка в полосе, то можно количественно определить белки (табл.8.1)

Табл. 8.1. Доля красителя, связанного с тремя белками.

Белок	Молекулярная масса	Процент красителя
Спектрин	250 000	25
Белок полосы 3	100 000	30
Гликофорин	30 000	2,3

1. По данным табл. 8.1 рассчитайте число молекул спектрина, белка полосы 3 и гликофорина на одну клетку. Исходите из того, что в 1 мл суспензии теней эритроцитов содержится 10^{10} клеток и 5 мг белка мембран.

2. Рассчитайте долю поверхности плазматических мембран, занятую белком полосы 3. Считайте, что молекула этого белка представляет собой цилиндр с радиусом 3 нм и высотой 10 нм, ориентированный перпендикулярно поверхности мембраны. Общая поверхность эритроцита- 10^8 нм².

9. Рассчитайте молярное соотношение между липидом и белком в мембране, содержащей 40% липида и 60% белка по весу. Считайте, что средний молекулярный вес липидов равен 800, а средний молекулярный вес белка – 50 000. Какие функции должны быть характерны для данной мембраны.

10. Данные, полученные методом магнитного резонанса, показывают, что коэффициент диффузии фосфолипидов в биомолекулярной фосфолипидной мембране составляет около 10^{-8} см²/с. Рассчитайте время, необходимое для перемещения молекулы фосфолипида с одного конца клетки на другой (длина клетки может быть принята равной $2 \cdot 10^{-4}$ см).

11. Исследования эритроцитов методом замораживания травления выявили глобулярные частицы, которые, как полагают, находятся внутри бислоя. Средний диаметр этих частиц 9 нм и их количество примерно $2,7 \cdot 10^{-3}$ частиц на 1 мкм². Средняя площадь поверхности человеческого эритроцита 145 мкм². Установите, имеется ли достаточно места в бислое для того, чтобы частицы могли расположиться между молекулами липида.

12. В животных клетках большинство мембран содержит около 60 % белка и 40% фосфоглицеридов.

а) Вычислите среднюю плотность мембраны, считая плотность белка равной 1,2 г/см³ и плотность фосфоглицерида – 0,92 г/см³.

б) Будет ли образец такого мембранного материала всплывать или оседать при центрифугировании в растворе NaCl с удельной массой 1,05 г/см³.

13. При pH=7,0 был проведен электрофорез смеси липидов, содержащей а) кардиолипин, б) фосфатидилглицерин, в) фосфатидилэтанолламин, г) фосфатидилсерин. Укажите, какие из этих соединений должны двигаться к аноду, какие к катоду и какие оставаться на старте.

14. Сколько молекул фосфолипидов содержится в 1 мкм² фосфолипидной двухслойной мембраны? Предположим что одна молекула фосфолипида занимает площадь 0,7 нм²

15. Некоторые клетки, функция которых состоит в поглощении питательных веществ из окружающей среды (например, клетки, выстилающие просвет тонких кишок), приспособлены к этой роли благодаря тому, что площадь их поверхности, соприкасающаяся с питательными веществами, увеличена за счет микроворсинок. Предположим, что эпителиальная клетка, расположенная в просвете тонкой кишки, имеет форму сферы диаметром 20 мкм. Поскольку лишь часть клетки обращена в просвет кишки, будем считать, что микроворсинки имеют форму цилиндров высотой 1 мкм и диаметром 0,1 мкм и располагаются в виде решетки с расстоянием 0,2 мкм между центрами двух соседних микроворсинок. Исходя из этих данных, рассчитайте: а) число микроворсинок на покрытом ими участке; б) площадь поверхности участка с учетом микроворсинок; в) на сколько процентов увеличивается поглощающая способность (определяемая соотношением площади поверхности клетки к ее объему) благодаря наличию микроворсинок?

16. Плазматические мембраны клетки - не статические структуры. В подвижных клетках, например культивируемых фибробластах, новые участки липидного бислоя обычно добавляются к плазматической мембране путем экзоцитоза в том конце клетки, который находится впереди по ходу движения, тогда как старые участки липидного бислоя изымаются путем эндоцитоза почти по всей клеточной поверхности. Этот процесс создает направленный поток липидов от передней границы клетки со скоростью около 1 мкм в минуту. Белки, распределение которых в мембране продолжает быть случайным, должны достаточно быстро диффундировать, чтобы противостоять такому потоку, иначе они соберутся в хвостовой части клетки. Оценки скорости диффузии белков в плазматической мембране дают величину от 10^{-8} до 10^{-10} см²/с при 37°C. Достаточны ли такие скорости диффузии для поддержания равномерного распределения белков в мембране?

Белок можно считать равномерно распределенным, если отношение его концентраций в двух достаточно удаленных друг от друга точках поверхности близко к 1; если же оно гораздо ниже 1, то молекулы белков распределены по поверхности мембраны неслучайным образом. Уравнение, связывающее скорость мембранного потока и скорость диффузии белков с их концентрациями в двух точках на поверхности клетки, записывается следующим образом: $\frac{C_A}{C_B} = e^{-Fl/D}$, где C_A и C_B – концентрации белка в точках А и В на поверхности клетки;

F – скорость мембранного потока; l – расстояние между точками А и В вдоль направления этого потока и D – коэффициент диффузии мембранных белков.

1. Используя это уравнение, определите, какая из измеренных для мембранных белков скоростей диффузии (10^{-8} , 10^{-9} или 10^{-10} см²/с) достаточна для сохранения их равномерного распределения в плазматической мембране.

2. К чему приведет снижение скорости диффузии мембранного белка, вызванное объединением молекул в большие агрегаты за счет перекрестного взаимодействия со специфическими антителами?

17. Фазовый переход мультиламеллярных липосом дипальмитоилфосфатидилхолина идет в интервале температур 41,8–43,5°C. Энтальпия Вант-Гоффа (молярная энтальпия) составляет 774 кДж/моль. Рассчитайте константу равновесия фазового перехода.

18. T_c фазового перехода пальмитоила (C_{16}) 41,8°C. ΔH – 40,5 кДж/моль. Рассчитайте C_p , ΔS , фазового перехода.

19. В клетках пойкилотермных («холоднокровных») животных содержание ненасыщенных жирных кислот обычно выше, чем в клетках гомеотермных («теплокровных») животных. Как вы это объясните.

20. Средняя площадь поверхности человеческого эритроцита равна 145 мкм². Каждая клетка содержит $1,26 \cdot 10^{-11}$ мг липидного фосфата и $1,39 \cdot 10^{-10}$ мг холестерина. Предполагается, что весь липид находится в мембране. Исследования области, занятой липидами в монослое дали следующие результаты.

При сжатии монослоя усилием в 5 дин/см область, занятая одной молекулой холестерина, равна 0,35 нм² и одной молекулой фосфолипида – 0,9 нм². При сжатии усилием в 40 дин/см области соответственно равны 0,35 нм² и 0,5 нм². Вычислить, какую часть поверхности клетки занимает липидный монослой. Относительная молекулярная масса холестерина равна 386. Относительная атомная масса фосфора 31. Число Авагадро $6,02 \cdot 10^{23}$.

21. Каков электрический заряд мембраны, если её емкость 1 мкФ·см⁻¹, а равновесный мембранный потенциал 70 мВ.

22. Толщину двойного слоя на границе мембрана – электролит характеризует дебаевский радиус δ . Определите δ для случая, когда в растворе электролита, окружающем мембрану есть только ионы калия с концентрацией: 1) 10^{-5} М, 2) 10^{-2} М.

23. Найдите дебаевский радиус экранирования, создаваемого присутствующими в растворе ионами кальция с концентрацией 10^{-5} М и натрия с концентрацией 10^{-4} М. Как изменяется δ , если в растворе будут только ионы кальция в концентрации 10^{-4} М?

- 3) упругостью миозиновой нити
7. Элементарной сократительной единицей мышечной клетки является:
- 1) миозин
 - 2) актин
 - 3) тропомиозин
 - 4) саркоплазматический ретикулум
 - 5) саркомер
8. Зависимость скорости V одиночного сокращения мышцы от нагрузки P описывается:
- 1) линейной зависимостью
 - 2) экспоненциальной зависимостью
 - 3) гиперболической зависимостью
 - 4) полиномиальной зависимостью
9. Укорочение мышцы не происходит, если:
- 1) нагрузка равна нулю
 - 2) нагрузка мышцы максимальная
 - 3) нагрузка мышцы равна полной изометрической нагрузке, развиваемой мышцей
 - 4) нагрузка мышцы минимальна
10. При мышечном сокращении: а – нити актина скользят внутрь саркомера вдоль миозина, б – миозин сжимается подобно пружине, в – мостики прикрепляются к активным центрам актина, г – мостики размыкаются. Укажите правильную последовательность:
- 1) а, в
 - 2) б, г
 - 3) б, в
 - 4) а, г
11. Мышечное сокращение индуцируется повышением внутриклеточной концентрации ионов:
- 1) Na^+
 - 2) Ca^{2+}
 - 3) Mg^{2+}
 - 4) K^+
12. Поглощение света хромоформной группой молекулы биосистемы происходит тогда, когда:
- 1) электрическая составляющая падающей световой волны будет перпендикулярна дипольному моменту осциллятора
 - 2) электрическая составляющая падающей световой волны будет параллельна дипольному моменту ротатора
 - 3) электрическая составляющая падающей световой волны будет перпендикулярна дипольному моменту ротатора
 - 4) электрическая составляющая падающей световой волны будет параллельна дипольному моменту осциллятора
13. В фотобиологическом процессе наибольших затрат энергии на поглощение света требует следующий электронный переход в молекуле:
- 1) с несвязывающей неподеленной n -орбитали на разрыхляющую σ -орбиталь
 - 2) с связывающей π -орбитали на разрыхляющую π -орбиталь
 - 3) с несвязывающей неподеленной n -орбитали на разрыхляющую π -орбиталь
 - 4) с связывающей σ -орбитали на разрыхляющую σ -орбиталь
14. В основе биоломинисценции лежат излучательные переходы в молекуле, вызванные:
- 1) светом
 - 2) ионизирующей радиацией
 - 3) электрическим полем
 - 4) химическими реакциями

15. Результатом деструктивно-модифицирующих фотобиологических реакций может быть:
- 1) запас световой энергии
 - 2) стимуляция жизненных процессов
 - 3) получение информации из окружающей среды
 - 4) повреждение молекул биообъекта
16. Летальное и мутагенное действие на клетки и живые организмы оказывает:
- 1) вакуумный ультрафиолет
 - 2) коротковолновое УФ-излучение
 - 3) средневолновое УФ-излучение
 - 4) длинноволновое УФ-излучение.
17. Фосфоресценция это:
- 1) безизлучательный путь дезактивации электронно-возбужденного квантом света состояния молекулы
 - 2) излучательный путь дезактивации синглетного, возбужденного квантом света, состояния молекулы
 - 3) излучательный путь дезактивации триплетного, возбужденного квантом света, состояния молекулы
 - 4) высвечивание в результате поглощения молекулой кванта света
18. Стимулирующее влияние на биологические объекты ультрафиолетового излучения проявляется в диапазоне длин волн:
- 1) около 200 нм;
 - 2) 200–250 нм;
 - 3) 250–300 нм;
 - 4) около 400 нм.
19. Фотобиологические процессы происходят при действии:
- 1) радиоволн УВЧ-диапазона
 - 2) ультрафиолетового излучения
 - 3) инфракрасного излучения
 - 4) радиоволн СВЧ-диапазона
 - 5) видимого света.
20. Зрительный пигмент родопсин сосредоточен (укажите вариант наиболее полного ответа):
- 1) во внутреннем сегменте палочек
 - 2) в наружных сегментах палочек
 - 3) в соединительной ножке палочек
 - 4) в наружных сегментах палочек, где он встроен в зрительные диски
21. Для нормальной фоторецепции важно, чтобы молекулы зрительного пигмента имели возможность совершать:
- 1) трансглобулярный конформационный переход
 - 2) латеральную диффузию
 - 3) вращение вокруг оси
 - 4) флип-флоп переход
22. Вся совокупность фотохимических превращений при фоторецепции основана на двух фундаментальных явлениях. Назовите их:
- 1) изомеризация ретиналя под действием света
 - 2) ориентация хромофорной группы способствует максимальному поглощению падающих фотонов
 - 3) только одна форма изомера ретиналя структурно соответствует центру связывания на опсине
 - 4) для мембран наружных сегментов палочек проницаемость для Na^+ выше, чем для других ионов
 - 5) АТФ-зависимое связывание циклических нуклеотидов под действием света
23. Реакции цис-транс-фотоизомеризации ретиналя способствует следующая особенность строения молекулы:
- 1) плоская структура молекулы хромофора

- 2) длинная система сопряженных двойных связей
 - 3) наличие цикла в молекуле
 - 4) длинная углеводородная цепь в молекуле
 - 5) изгиб в молекуле цис-ретиная
24. Ранний рецепторный потенциал обусловлен:
- 1) изменением ионной проницаемости мембраны наружного сегмента палочек
 - 2) АТФ зависимым связыванием цГМФ центрами, расположенными на мембране наружного сегмента палочек
 - 3) конформационными перестройками молекулы родопсина
 - 4) особенностями строения цитоплазматической мембраны палочек
25. Поздний рецепторный потенциал обусловлен:
- 1) изменением ионной проницаемости мембраны наружного сегмента палочек
 - 2) АТФ зависимым связыванием цГМФ центрами, расположенными на мембране наружного сегмента палочек
 - 3) конформационными перестройками молекулы родопсина
 - 4) особенностями строения цитоплазматической мембраны палочек
26. Под действием света происходит протекание реакции:
- 1) родопсин → батородопсин
 - 2) батородопсин → люминородопсин
 - 3) люминородопсин → метародопсин I
 - 4) метародопсин I → родопсин
 - 5) опсин + ретинальдегид → родопсин
 - 6) люминородопсин → родопсин
27. Хромофорная группа родопсина расположена так, что вектор дипольного момента электронного перехода:
- 1) параллелен направлению падающего света
 - 2) перпендикулярен направлению падающего света
 - 3) образует угол 45^0 с направлением падающего света
28. Зрительный пигмент родопсин – сложный белок. Он состоит из:
- 1) гликопротеидной части – опсина
 - 2) гликопротеидной части – йодопсина
 - 3) хромофорной группы – ретинальдегида
 - 4) хромофорной группы – ретинола
 - 5) хромофорной группы – рубомицина
29. Соотношение цис- и транс-форм ретиная зависят от следующих условий:
- 1) интенсивности освещения
 - 2) стерических условий образования изомера
 - 3) длины волны падающего света
 - 4) температуры
30. В процессе изомеризации 11-цис-ретиная ↔ транс-ретиная, будет накапливаться тот изомер, который:
- 1) имеет наибольшее поглощение в спектральной области действующего света
 - 2) имеет наименьшее поглощение в спектральной области действующего света
 - 3) имеет большую концентрацию в смеси
 - 4) имеет большее число двойных связей в молекуле
31. Фотообратимость цис-транс-изомеризации имеет два важных следствия:
- 1) под действием света осуществляется полный переход 11-цис в транс-конформацию
 - 2) полный переход 11-цис в транс-форму не осуществим
 - 3) в ходе реакции цис-транс-изомеризации происходит регенерация зрительного пигмента
 - 4) в ходе реакции образуется большое количество цис-транс-изомеров
 - 5) в ходе реакции происходит полное отделение хромофорной группы от белка

32. Переход опсин + ретинальдегид → родопсин осуществим:
- 1) в темноте
 - 2) при высокой интенсивности освещения
 - 3) при освещении короткой вспышкой света
 - 4) в присутствии фермента изомеразы
33. Цитоплазматическая мембрана наружных сегментов палочек имеет:
- 1) знак «+» снаружи
 - 2) знак «+» внутри
 - 3) знак «-» снаружи
 - 4) знак «-» внутри
34. В покое цитоплазматическая мембрана палочек имеет повышенную проницаемость:
- 1) для Na^+
 - 2) для K^+
 - 3) для H^+
 - 4) для Ca^{2+}
35. Информация о фотовыцветании родопсина передается Na^+ -каналом медиаторами, которыми являются:
- 1) ионы Ca^{2+}
 - 2) циклические нуклеотиды
 - 3) АТФ
 - 4) циклический гуанозинмонофосфат
 - 5) циклический аденозинмонофосфат
36. Зрительный пигмент колбочек:
- 1) родопсин
 - 2) иодопсин
 - 3) 11-цис-ретиналь
 - 4) опсин
 - 5) транс-ретиналь
37. Цветовое зрение обусловлено наличием в сетчатке пигментов, имеющих максимумы поглощения в следующих участках спектра:
- 1) синем, красном
 - 2) желтом, зеленом
 - 3) красном, зеленом, синем
 - 4) синем, желтом, красном, зеленом
38. Глаз ощущает белый цвет:
- 1) при определенной интенсивности падающего света
 - 2) если возбуждение рецепторов происходит в равной степени
 - 3) если в большей степени возбуждаются рецепторы, поглощающие в красной и фиолетовой области спектра
 - 4) если в большей степени возбуждаются рецепторы, поглощающие в зеленой и фиолетовой области спектра
 - 5) если в большей степени возбуждаются рецепторы, поглощающие в красной и зеленой области спектра
39. В основе классической трехкомпонентной теории цветового зрения Ломоносова–Юнга–Гельмгольца лежит предположение:
- 1) в зрительном анализаторе имеется 2 вида светочувствительных окончаний, каждое из которых реагирует на 1 из 2 цветов
 - 2) в зрительном анализаторе имеется 3 вида светочувствительных окончаний, каждое из которых реагирует на 1 из 3 основных цветов
 - 3) за цветовое зрение отвечают те же рецепторы клетки, что и за черно-белое
 - 4) в зрительном анализаторе имеется 3 вида светочувствительных окончаний, возбуждающихся в одинаковой степени при освещении

40. Изменение величины и направления интегрального электрического вектора сердца за один цикл его работы обусловлено:
- 1) метаболической активностью клеток сердечной мышцы
 - 2) сокращением желудочков сердца
 - 3) скоростью проведения волны возбуждения в атриовентрикулярном узле
 - 4) последовательным охватом возбуждения различных структур сердца
41. Регистрируемая разность потенциалов при электрокардиографии составляет:
- 1) 1-10 В
 - 2) 50-100 мВ
 - 3) 0,1-5 мВ
 - 4) 0,1-0,5 В
42. Наибольшую амплитуду имеют следующие волны электроэнцефалограммы:
- 1) β -ритм
 - 2) α -ритм
 - 3) Δ -ритм
 - 4) γ -ритм
43. При движении крови по сосудам эритроциты в основном деформируются в:
- 1) артериолах
 - 2) венах
 - 3) капиллярах
 - 4) мелких артериях
44. На цитоплазматической мембране каких клеток потенциал имеет знак «+» внутри и знак «-» снаружи:
- 1) сердечной мышцы
 - 2) дисках наружных сегментов фоторецепторов
 - 3) нейронов коры головного мозга
 - 4) слизистой обонятельного эпителия
45. Максимальная чувствительность слуха наблюдается при частоте:
- 1) 500 Гц
 - 2) 1000 Гц
 - 3) 3 кГц
 - 4) 5 кГц
46. Трансформация звуковых колебаний воздуха в звуковые колебания жидкой среды внутреннего уха выполняют:
- 1) барабанная перепонка и слуховые косточки
 - 2) слуховые косточки (молоточек, наковальня и стремечко)
 - 3) стремечко и овальное окно внутреннего уха
 - 4) слуховые косточки и овальное окно внутреннего уха
47. Движение какой из структур внутреннего уха вызывает деформацию волосковых клеток (рецепторы звуков):
- 1) мембраны Рейснера
 - 2) овального окна
 - 3) базилярной мембраны
 - 4) перелимфы
48. С помощью метода аудиометрии определяют следующие параметры:
- 1) громкость
 - 2) тембр
 - 3) порог слышимости
 - 4) тон
49. К пассивным электрическим свойствам биологических объектов относятся:
- 1) электропроводность
 - 3) электрическое поле

- 2) электрическая емкость 4) диэлектрическая проницаемость
50. Явление поляризации присуще только:
1) диэлектрикам 2) мертвым тканям
3) живым тканям
51. В биологических объектах протекание электрического тока зависит от:
1) активного сопротивления 2) индуктивного сопротивления
3) емкостного сопротивления
52. Жизнеспособность клеток и тканей можно определить по:
1) величине их электрического сопротивления, измеренного на частоте 10^4 Гц
2) величине их электрического сопротивления, измеренного на частоте 10^6 Гц
3) соотношению величин их электрического сопротивления, измеренного на частоте 10^6 Гц, к величине электросопротивления на частоте 10^4 Гц
4) соотношению величины их электрического сопротивления, измеренного на частоте 10^4 Гц к величине электросопротивления на частоте 10^6 Гц
53. К активным электрическим свойствам биологических объектов относятся:
1) емкостное сопротивление электрическому току
2) разность потенциалов
3) электродвижущая сила поляризации.
54. Разность потенциалов сердца на поверхности человеческого тела будет тем больше, чем:
1) меньше удельное сопротивление тканей организма
2) больше сокращение сердечной мышцы
3) чем больше расстояние между точками, в которых регистрируется разность потенциалов
55. Наибольшую амплитуду на электрокардиограмме (в норме) имеет зубец:
1) T 3) Q
2) R 4) S
56. Интервалами нулевого потенциала на электрокардиограмме являются интервалы:
1) Q-R-S 3) S-T 2) P-Q 4) T-U
5) STU
57. Какой элемент электрокардиограммы отражает процесс деполяризации предсердий (длительность интервалов или зубцов):
1) QRS 2) T 3) S-T 4) U 5) P
58. Наибольшую частоту на электроэнцефалограмме имеют следующие волны:
1) Δ -ритм 2) α -ритм 3) β -ритм 4) γ -ритм 5) θ -ритм
59. Вязкость крови в крупных сосудах в норме:
1) равна вязкости плазмы крови
2) равна вязкости воды
3) в 4–6 раз больше вязкости воды
4) в 2 раза больше вязкости плазмы крови
60. Турбулентное движение крови может быть:
1) в венах 3) в капиллярах
2) у входа в аорту 4) у мест разветвления сосудов
61. В системе кровеносный сосуд – кровь с наибольшей скоростью распространяются:
1) пульсовая волна 2) звуковая волна 3) частицы крови
62. Максимум чувствительности глаза человека при слабом освещении находится в диапазоне около:
1) 450 нм; 2) 500 нм; 3) 550 нм; 4) 600 нм;
63. Минимальный дифференциальный порог цветоразличия у человека в диапазоне 500–590 нм ($\Delta\lambda$) составляет:
1) 1 нм; 2) 3 нм; 3) 5 нм; 4) 10 нм.
64. Ощущение интенсивности звука связано с создающим его физическим раздражением:

- 1) прямо-пропорционально
 - 2) логарифмически
 - 3) обратно-пропорционально
65. Среднее ухо у человека выполняет следующие функции:
- 1) трансформирует энергию механического колебания в электрический потенциал
 - 2) защищает орган слуха от воздействия очень громких звуков
 - 3) трансформирует звуковую волну в колебания барабанной перепонки
 - 4) трансформирует звуковые колебания воздуха в звуковые колебания жидкой среды внутреннего уха.
66. Низкие звуковые частоты (до 100 Гц) приводят в движение участок базилярной мембраны улитки внутреннего уха, расположенный у ее:
- 1) основания
 - 2) вершины
 - 3) в средней части
67. Пороговые колебания барабанной перепонки у человека составляют:
- 1) 10^{-1} нм
 - 2) 10^{-3} нм
 - 3) 10^{-5} нм
 - 4) 10^{-8} нм.

Содержательный модуль 2. Физические поля окружающей среды и организма человека.

68. К ионизирующим видам излучения относятся:
- 1) радиоволны и инфракрасное излучение
 - 2) видимый свет и ультрафиолетовое излучение
 - 3) рентгеновское и гамма излучения
 - 4) коротковолновое УФ излучение, потоки нейтронов и протонов
69. Наибольшей энергией кванта (фотона) обладают:
- 1) радиоволны
 - 2) видимый свет
 - 3) гамма-излучение
 - 4) инфракрасное излучение
70. Искусственными источниками радиоволн являются:
- 1) атомные электростанции
 - 2) телевизионные станции
 - 3) тепловые электростанции
 - 4) спутниковые системы связи
71. Активацию терморцепторов вызывают:
- 1) видимый свет
 - 2) радиоизлучение
 - 3) инфракрасное излучение
 - 4) ультрафиолетовое излучение
72. Источниками инфракрасного излучения тела человека являются:
- 1) трибозаряды
 - 2) процессы, протекающие в сердце
 - 3) процессы, протекающие в кишечнике
 - 4) теплообразование организма
73. Электромагнитное поле человека включает в себя:
- 1) рентгеновское излучение
 - 2) радиоволны сверхвысокочастотные
 - 3) оптическое излучение
 - 4) ультразвуковое излучение
74. Магнитное поле человека создается токами, которые генерируют клетки:
- 1) мозга
 - 2) кишечника
 - 3) нервов
 - 4) сердца

75. Инфракрасное излучение тела человека дает информацию о:
- 1) температуре внутренних органов
 - 2) электрической активности внутренних органов
 - 3) движении крови в мышцах
 - 4) кожном кровотоке.
76. Источником оптического излучения тела человека являются:
- 1) тепловое излучение кожи
 - 2) биотоки
 - 3) биопотенциалы
 - 4) хемилюминисценция.
77. Источником кохлеарной акустической эмиссии являются:
- 1) «звон в ушах»
 - 2) движение перелимфы во внутреннем ухе
 - 3) изменение размеров волосковых клеток
 - 4) колебание базилярной мембраны.
78. Эффект взаимодействия электромагнитных излучений окружающей среды с биологическими структурами (тканями) наиболее зависит от:
- 1) температуры;
 - 2) длины волны излучений;
 - 3) атмосферного давления;
 - 4) агрегатного состояния структуры;
 - 5) размеров структуры.
79. Тепловую природу имеют собственно электромагнитные излучения тела человека:
- 1) оптическое;
 - 2) магнитное;
 - 3) инфракрасное;
 - 4) электрическое;
 - 5) сверхвысокочастотное.
80. Глубинную температуру в тканях организма человека можно измерить с помощью:
- 1) электротермометра;
 - 2) фотоумножителя;
 - 3) тепловизора;
 - 4) СВЧ-радиометра;
 - 5) магнитометра;
 - 6) акустотермометра.

Вопросы к зачету

1. Мембрана как универсальный компонент биологических систем. Развитие представлений о структурной организации мембран
2. Основные положения теории ассоциации-индукции Г. Линга
3. Характеристика мембранных липидов. Одноцепные липиды.
4. Образование мицелл. Принцип противодействующих сил. Критическая концентрация мицеллообразования.
5. Пространственная организация липидов в бислое.
6. Ассиметрия бислоя.
7. Холестерин. Биологическая роль холестерина.
8. Белки мембран. Классификация белков.
9. Характеристика взаимодействий белок-липид, белок-белок.
10. Белки цитоскелета, их характеристика и функции.
11. Вода как составной элемент биомембран
12. Динамика структурных элементов мембраны. Метод спиновых меток для определения подвижности компонентов мембраны
13. Метод флуоресценции для изучения подвижности компонентов биомембран.
14. Взаимодействия в мембранах: липид-липидные, белок-липидные, белок-белок.
15. Монослой на границе раздела двух фаз, π -A изотермы. Монослой как модельная мембранная система.
16. Плоские бислойные мембраны. Способы получения. Возможности бислойных модельных систем для изучения функционирования биомембран.
17. Липосомы, протеоллипосомы. Области их применения.

18. Гели, их свойства. Использование гелевых структур в качестве моделей цитоплазмы клетки.
19. Водно-липидные смеси. Полиморфизм.
20. Термодинамика полиморфизма липидных структур.
21. Образование мицелл. ККМ. Принцип противодействующих сил.
22. Геометрия мицелл и критический параметр упаковки.
23. Термотропный фазовый переход. Область и порядок перехода.
24. Изменение термодинамических характеристик в области фазового перехода.
25. Метод калориметрии для определения термодинамических параметров фазового перехода.
26. Жидкокристаллическое состояние мембран.
27. Регуляция динамических свойств мембраны в ответ на изменение температуры окружающей среды.
28. Гипотеза кинков.
29. Поверхностный заряд мембранных систем. Уравнение Пуассона-Больцмана.
30. Уравнение Гуи-Чемпмена для поверхностной плотности заряда мембранных систем.
31. Уравнение Штерна для поверхностной плотности заряда мембранных систем.
32. Емкость плотного и диффузионного слоев. Толщина диффузионного слоя.
33. Электрокинетический потенциал мембранных систем, его практическое значение.
34. Характеристика свободных радикалов, образующихся в организме человека. Свободнорадикальное окисление липидов.
35. Функционирование антиоксидантных систем: СОД – каталаза, глутатиона, аскорбиновой кислоты. Антиоксиданты.
36. Биологические последствия перекисидации липидов.
37. Простая диффузия. Коэффициент диффузии, уравнение Стокса-Эйнштейна
38. Уравнение Теорелла. Первый закон Фика.
39. Второй закон Фика.
40. Диффузионный поток веществ через мембрану. Коэффициент проницаемости биомембран.
41. Кинетические уравнения диффузионных процессов.
42. Влияние примембранной воды для проницаемости веществ через мембрану.
43. Термодинамика процессов активного и пассивного транспорта.
44. Транспорт неэлектролитов через биомембрану. Облегченная диффузия. Белки-переносчики.
45. Пассивный транспорт глюкозы через мембрану. Переносчики глюкозы. Инсулинзависимый транспорт глюкозы.
46. Активный транспорт неэлектролитов через биомембрану с участием переносчиков.
47. K/Na -АТФаза – свойства и биологическая роль.
48. Ca^{2+} – насос. Ca^{2+} – АТФаза.
49. Транспортные антибиотики.
50. Природа мембранного потенциала. Уравнение Нернста.
51. Профиль потенциала в двойном электрическом слое
52. Соотношение концентраций и потенциала в объеме фаз вода- неполярный растворитель.
53. Равновесие Доннана. Отношение Доннана. Потенциал Доннана.
54. Осмотическое давление. Определение молекулярной массы биополимеров.
55. Электрохимический потенциал и уравнение электродиффузии Нернста-Планка.
56. Уравнение Гольдмана для ионного потока.
57. Опыты Уссинга по изучению процессов активного транспорта. Уравнение Уссинга.
58. Уравнение Гольдмана для равновесного потенциала.
59. Описание транспорта ионов в теории ассоциации-индукции Г. Линга
60. Окислительно- восстановительные потенциалы. Вычисление свободной энергии Гиббса окислительно –восстановительной реакции.

61. Локализация электрон-транспортных цепей в мембране митохондрий; структурные аспекты функционирования связанных с мембраной переносчиков.
62. Хемиосмотический протонный цикл.
63. Электрохимический протонный градиент митохондрий. Протондвижущая сила. Относительный вклад $\Delta\phi$ и ΔpH в электрохимический протонный градиент.
64. Основные положения теории Митчела.
65. Структура АТФ-синтетазы. Функционирование F_0 .
66. Условия функционирования АТФ-азы, АТФ-синтетазы.
67. Явление апоптоза. Молекулярные и клеточные механизмы.
68. Сильные и слабые взаимодействия. Ионные связи.
69. Диполь-дипольные взаимодействия. Индукционные и дисперсионные силы в макромолекулах.
70. Водородная связь и её роль в биологических системах.
71. Гидрофобные взаимодействия. Роль в биосистемах.
72. Химическая структура белковой молекулы.
73. Аминокислоты и их свойства.
74. Основные типы вторичной структуры полипептидов и белков.
75. Стабилизация вторичной структуры.
76. Стабилизация белковой глобулы. Роль водного окружения.
77. Динамика белков.
78. Гемоглобин и миоглобин. Конформационные изменения гемоглобина при оксигенации.
79. Механизмы ферментативного катализа. Модели Фишера, Кошланда.
80. Модель Чернавского «белок-машина».

Вопросы к экзамену

1. Структура мышечной клетки и мышечных белков.
2. Модель скользящих нитей Хаксли и ее основные положения.
3. Кинетическая теория мышечного сокращения В. Дещеревского.
4. Электромеханическое сопряжение в мышечной клетке сердца (кардиомиоците) и в клетках скелетных мышц.
5. Пассивные механические свойства мышцы. Механическая модель мышцы Хилла.
6. Активное сокращение мышцы в изометрическом и изотоническом режимах.
7. Работа мышцы при разных режимах сокращения. Уравнение Хилла.
8. Механическая эффективность работы мышцы.
9. Физико-химические основы фотобиологических процессов. Условия поглощения света (взаимодействия квантов света) в биологических системах.
10. Биоломинисценция как частный случай хемилюминисценции.
11. Фотобиологические реакции.
12. Биологические эффекты ультрафиолетового излучения и их использование в медицине.
13. Пассивные электрические свойства биологических объектов.
14. Явление поляризации. Сопротивление биологических объектов электрическому току.
15. Электропроводимость биологических объектов.
16. Активные электрические свойства органов и методы их исследования. Принцип эквивалентного генератора.
17. Физические основы электрической активности сердца. Модель Эйтховена. Методы регистрации.
18. Электрическая активность головного мозга, метод регистрации.
19. Структура фоторецепторных клеток.
20. Молекулярный механизм фоторецепции.

21. Фотопревращение зрительного пигмента. Рецепторные потенциалы. Цветовое зрение. Чувствительность к цвету.
22. Теории ощущения цвета. Нарушения чувствительности к цвету.
23. Понятия, которые используются в биоакустике. Закон Вебера-Фехнера.
24. Пороги чувствительности звука у человека. Биофизические процессы восприятия звуковых колебаний в наружном и среднем ухе.
25. Механизм восприятия звуковых колебаний во внутреннем ухе.
26. Методы изучения слуха человека. Нарушения слуха у человека.
27. Биофизические особенности кровотока в различных сосудах. Режимы кровотока.
28. Гемодинамические показатели и процессы, их количественная характеристика.
29. Природные источники электромагнитных излучений как фактор среды существования человека. Шкала электромагнитных волн.
30. Особенности взаимодействия электромагнитных волн радио-, УВЧ- и СВЧ-диапазонов окружающей среды с биологическими объектами.
31. Взаимодействия инфракрасного, видимого, ультрафиолетового и ионизирующего излучений окружающей среды с биологическими объектами.
32. Виды физических полей организма человека и их источники.
33. Электрическое и магнитное поля тела человека, методы их регистрации.
34. Инфракрасное, оптическое и СВЧ-излучения тела человека. Природа и методы регистрации электромагнитных полей организма.
35. Низкочастотные механические колебания в теле человека. Кохлеарная акустическая эмиссия.
36. Источники и методы регистрации акустических полей организма.

12. Образец экзаменационного билета

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

Образовательно-квалификационный уровень	Бакалавр
Направление подготовки	06.03.01 «Биология»
Семестр	8
Учебная дисциплина	«Биофизика»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №

1. Биофизические особенности движения крови по различным кровеносным сосудам. Законы гемодинамики.
2. Инфракрасное излучение тела человека и его источники. Методы регистрации.

Утверждено на заседании кафедры биофизики
 Протокол № ____ от „____” _____ 20 ____ г.

Заведующий кафедры
 Экзаменатор

Беспалова С.В.
 Горецкий О.С.

13. Образец тестового задания (при наличии)

14. Критерии оценивания (разрабатываются и утверждаются кафедрой)

Оценка знаний студента проводится по 100-балльной шкале согласно следующим критериям:

Зачетные модули	Форма контроля	Баллы
МОДУЛЬ 1		
Содержательный модуль 1	Лабораторные работы	30
Содержательный модуль 2	Самостоятельная работа студента/Устный опрос	10
	Лабораторные работы	30
Зачёт		30
Общий итог		100
МОДУЛЬ 2		
Содержательный модуль 1	Самостоятельная работа студента	10
	Лабораторные работы	10
Содержательный модуль 2	Самостоятельная работа студента	10
	Модульный контроль	20
Экзамен		50
Общий итог		100

Шкала оценивания академической успеваемости:

По шкале ECTS	Оценка по 100-балльной шкале	Оценка по государственной шкале (экзамен, дифференцированный зачет)	Оценка по государственной шкале (зачет)
A	90–100	5 (отлично)	зачтено
B	80–89	4 (хорошо)	зачтено
C	75–79	4 (хорошо)	зачтено
D	70–74	3 (удовлетворительно)	зачтено
E	60–69	3 (удовлетворительно)	зачтено
FX	35–59	2 (неудовлетворительно) с возможностью повторной сдачи	не зачтено
F	0–34	2 (неудовлетворительно) с возможностью повторной сдачи при условии обязательного набора дополнительных баллов	не зачтено

15. Материально-техническое обеспечение учебного процесса

1. Для проведения лекционных занятий требуется аудитория, оборудованная меловой или интерактивной доской, мультимедийным проектором, графопроектором и экраном.

2. Для проведения лабораторных занятий по данному курсу необходим компьютерный класс, а также аудитория, оборудованная лабораторными столами, измерительными приборами и аппаратурой, химической посудой и реактивами.

16. Рекомендованная литература

Основная

1. Рубин А. Б. Биофизика: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 020400 (020200) "Биология" и специальности 020207 "Биофизика": [в 3 т.]. Т. 2: Биофизика клеточных процессов; Биофизика мембранных процессов / А. Б. Рубин. – Москва: Институт компьютерных исследований; Ижевск, 2013. – 381 с.
2. Біофізика: підруч. для студ. біол. спеціальностей вищ. навч. закл. / П. Г. Костюк, В. Л. Зима, І. С. Магура та ін.; Київський нац. ун-т ім. Т. Шевченка. – Київ : Київський ун-т, 2008. – 567 с.
3. Биофизика [Текст]. Т. 59, № 5 / Рос. акад. наук, отд-ние биол. наук ; гл. ред. Е. Е. Фесенко. – Москва, 2014.
4. Волькенштейн, М.В. Биофизика [Электронный ресурс] : учебное пособие. — Электрон. дан. — СПб.: Лань, 2012. — 608 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=3898 переизданный на основе старых.
5. Кузнецов А.А. Биофизические основы живых систем : учеб. пособие / А. А. Кузнецов ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2015. – 112 с.
6. Скулачев В.П., Богачев А. В., Каспаринский Ф. О. «Мембранная биоэнергетика», изд. МГУ, Москва, 2010. 368 с.
7. Биофизика. Ферментативная кинетика. Динамические модели и термодинамика биологических процессов. Молекулярная биофизика. Теория. Лабораторный практикум. Для студентов специальностей «биолог» //Сост. О.И. Доценко, Г.В. Тарадина.-Донецк, ДонНУ, 2012.- 154 с

Дополнительная

1. Тестовый контроль и проверка знаний по биофизике и биологии (для бакалавров специальности "Биофизика") / Сост.: О. С. Горецкий, С. И. Демченко О.И. Доценко и др / Под ред. С. В. Беспаловой – Донецк: ДонНУ, 2012. – 256 с.
2. Горецкий О.С., Беспалова С.В., Нецветов М.В. Методическое пособие к лабораторным работам по биофизике (для студентов биологических специальностей) / Учебное издание. – Донецк: ДонНУ, 2007. – 47 с.
3. Практикум з біофізики : навч. посіб. : [для студ. вищ. навч. закл.] / [А. В. Тарновська, М. Б. Галан, Н. П. Головачук та ін.]. – Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2011. – 181 с. – (Серія «Біологічні Студії»).
4. Лекции по биофизике: учебное пособие. – Томск: Сибирский государственный медицинский университет, 2009. – 200 с.
5. Новиков Д.А., Филимонов М.М. Биофизика. Курс лекций в 2-х частях. Часть 2. – Минск: БГУ, 2012. – 132 с.
6. Медицинская и биологическая физика: учеб. пособие / А. А. Иванов [и др.]. – Минск: БГУИР, 2014. – 330 с.
7. Биофизика [Текст]. Т. 59, № 3,4,5 / Рос. акад. наук, отд-ние биол. наук ; гл. ред. Е. Е. Фесенко. - Москва, 2014. 3 экз.
8. Биофизика [Текст]. Т. 58, № 1 / Рос. акад. наук, отд-ние биол. наук ; гл. ред. Е. Е. Фесенко. - Москва, 2013. 6 экз.
9. Скулачев В.П. Жизнь без старости [Текст] / В. П. Скулачев, М. В. Скулачев, Б. А. Фенюк. - Москва : ЭКСМО, 2014. - 287 с.

17. Информационные ресурсы

<http://molbiol.ru>

http://www.iramn.ru/journal/bbm_cont.htm

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/10111344>

<http://www.medlinks.ru/>

<http://dmb.biophys.msu.ru>

<http://elibrary.ru/defaultx.asp>

18. Программное обеспечение (при наличии)

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры с изменениями.
Протокол заседания кафедры № 1 от 29.08.17.

Заведующий кафедрой биофизики



С.В. Беспалова

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры с изменениями.
Протокол заседания кафедры № ____ от ____.

Заведующий кафедрой биофизики

С.В. Беспалова

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры с изменениями.
Протокол заседания кафедры № ____ от ____.

Заведующий кафедрой биофизики

С.В. Беспалова