

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «БИОФИЗИКА»  
для студентов I курса заочного отделения  
фармацевтического факультета

*Учебно-методическое пособие*

Составители: Башарина О.В.,  
Артюхов В.Г.

ВОРОНЕЖ  
2007

Утверждено Научно-методическим советом фармацевтического факультета 20.11.2007 г. (протокол № 9).

Учебно-методическое пособие для подготовки студентов к выполнению контрольной работы по дисциплине «Биофизика» подготовлено на кафедре биофизики и биотехнологии биолого-почвенного факультета Воронежского государственного университета.

Пособие написано в соответствии с программой курса «Физика (Биофизика)».

Рекомендуется для студентов 1 курса заочного отделения фармацевтического факультета.

Для специальности: 060108 – Фармация (квалификация – провизор).

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ  | 4  |
| ПРОГРАММА дисциплины «Биофизика»                  | 6  |
| Правила выполнения и оформления контрольных работ | 8  |
| КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА                                | 9  |
| Теоретические задания                             | 9  |
| Задачи  | 13 |
| Вопросы к зачету по биофизике                     | 22 |
| Рекомендуемая литература                          | 24 |
| Приложение  | 27 |

## ВВЕДЕНИЕ

Биофизика – важнейший раздел современной биологии, представляющий собой неотъемлемую часть профессиональной подготовки студентов биологических, медицинских, фармацевтических и других специальностей вузов. Она изучает элементарные взаимодействия и превращения молекул, лежащие в основе биологических процессов и явлений.

Основными разделами биофизики являются:

- молекулярная биофизика, изучающая структурную организацию и механизмы функционирования биомакромолекул и их комплексов;
- биофизика клеточных процессов, исследующая физико-химические основы процессов, протекающих в отдельных клеточных системах,
- биофизика мембран (раздел мембранологии), изучает структуру и функции мембран, в том числе формирование мембранных электрических потенциалов, механизм транспортных процессов, закономерности взаимодействия лигандов с клеточными рецепторами;
- квантовая биофизика, которая рассматривает электронную структуру биомолекул, механизмы поглощения квантов света атомами и молекулами, миграцию энергии, фотохимические реакции, лежащие в основе фотобиологических процессов;
- биофизика сложных систем, включающая важнейшие разделы биофизической науки, в том числе термодинамику и кинетику биопроцессов;
- радиационная биофизика, исследующая процессы взаимодействия ионизирующего излучения с биосистемами, развитие лучевого поражения на молекулярном, клеточном и организменном уровнях;
- прикладная биофизика, которая рассматривает вопросы, связанные с практическим применением положений, понятий, законов, моделей и методов биофизической науки.

Для подготовки квалифицированных провизоров, обладающих высоким интеллектуальным уровнем творческого характера в решении профессиональных задач, необходимо постоянное совершенствование учебного процесса на основе фундаментализации знаний. С другой стороны, знания, умения и навыки по фундаментальным дисциплинам представляют собой ценность для будущего специалиста только тогда, когда они вписываются как элемент в систему знаний по данной специальности. В настоящее время биофизика как комплексная самостоятельная дисциплина изучается на заочном отделении фармацевтического факультета ВГУ на I курсе (2 семестр): учебным планом предусмотрены лекции (12 часов) и лабораторные занятия в таком же объеме. Лабораторные занятия предназначены для расширения и закрепления теоретических знаний, углубленного изучения практического аспекта учебного материала, приобретения навыков в обращении с биофизическими приборами, применяемыми для качественного и количественного анализа биологических и химических систем, умения ставить и решать фармако-биологические и

биофизические задачи. Однако лекционный материал охватывает большее количество тем, чем лабораторные работы.

Мы составили контрольные вопросы и задачи по всем темам, включенным в программу по биофизике. На эти вопросы студенты отвечают письменно в течение семестра. Для облегчения подготовки студента к данным темам приводится список литературы, в которой материал излагается.

В настоящем методическом пособии изложены понятия, которые позволят самостоятельно освоить разделы биофизики, необходимые для успешного выполнения контрольной работы; включены требования к содержанию и оформлению контрольных работ.

**ПРОГРАММА**  
дисциплины "Биофизика" для студентов I курса  
заочного отделения фармацевтического факультета

Лекции - 12 часов,  
Лабораторные занятия - 12 часов,  
Контрольная работа,  
Зачет.

**Предмет и задачи биофизики**

История развития биофизики. Проблемы современной биофизики. Значение биофизики для медицины и фармации.

**Молекулярная биофизика**

Биофизика белка и нуклеиновых кислот. Первичная, вторичная и третичная структура биополимеров. Домены. Олигомерные (субъединичные) белки. Динамическая подвижность белков.

Особенности пространственной организации нуклеиновых кислот. Модель Уотсона-Крика.

Природа сил стабилизации структуры биополимеров. Особенности пептидной связи. Ван-дер-ваальсово взаимодействие, ориентационное и дисперсионное взаимодействия. Ион-дипольное взаимодействие, водородная связь. Гидрофобные взаимодействия, их роль в формировании биоструктур.

**Биофизика мембран**

Структура и функции биологических мембран. Мозаичная динамическая жидкокристаллическая модель биомембраны. Динамика структурных элементов биомембраны: латеральная диффузия, трансмембранные перескоки («флип-флоп» переходы).

Модельные липидные мембраны, бислойные липидные пленки и везикулы. Липосомы, их строение, перспективы применения в фармации и медицине.

**Транспорт веществ через биологические мембраны**

Пассивный и активный транспорт. Унипорт и котранспорт. Виды пассивного транспорта: простая и облегченная диффузия, осмос, фильтрация. Уравнения для пассивного транспорта: Теорелла, Нернста-Планка, Фика.

Активный транспорт. Ионные насосы, молекулярный механизм их работы.

Эндо- и экзоцитоз.

Транспорт лекарственных веществ в клетку.

## **Биоэлектрические потенциалы**

Классификация электрических потенциалов биосистем. Мембранные потенциалы возбуждения, покоя, повреждения. Механизм их формирования. Уравнения Нернста, Гольдмана, Томаса. Уравнение Ходжкина-Хаксли.

Биофизика нервного импульса. Распространение возбуждения вдоль нервного и мышечного волокна.

## **Квантовая биофизика**

Энергетические уровни молекул. Взаимодействие квантов света с веществом. Условия поглощения света хромофорами. Электронные переходы при поглощении света в биомолекулах. Качественные и количественные показатели поглощения света. Закон Бугера – Ламберта – Бера. Понятие об оптической плотности, светопропускании и светопоглощении. Применение спектрофотометрии в биологии, медицине и фармации.

Люминесценция. Флуоресценция и фосфоресценция. Хемилюминесценция, механизм генерации. Применение люминесцентного анализа в биологии и фармации.

Фотобиологические процессы. Основные стадии фотобиологического процесса. Механизмы фотофизических, фотохимических и фотобиологических реакций.

Фотомодификаторы (фотопротекторы и фотосенсибилизаторы), их применение в медицине.

Связь квантовой биофизики с медициной и фармацией.

## **Фоторецепция**

Строение зрительной клетки. Зрительные пигменты фоторецепторной мембраны. Фотохимические превращения родопсина. Механизмы генерации позднего рецепторного потенциала.

## **Биофизика сложных систем**

### **Термодинамика биологических процессов**

Классификация термодинамических систем. Значение и особенности термодинамического метода изучения биологических систем и протекающих в них процессов. I начало термодинамики. Теплообмен, виды теплообмена. Биоэнергетика. Энергетический баланс организма. Энтальпия. Закон Гесса.

II начало термодинамики. Энтропия. Приложение I и II начал термодинамики к биологическим системам.

Организм как открытая термодинамическая система. Продукция энтропии и обмен энтропией с окружающей средой. Уравнение Пригожина для открытой системы. Стационарное состояние биологических систем.

Основные этапы моделирования. Типы моделей. Фармакокинетическая модель.

## **Заключение**

Применение новейших достижений биофизики в фармации.

## Правила выполнения и оформления контрольных работ

В результате самостоятельного изучения дисциплины «Биофизика» каждый студент должен выполнить контрольную работу и представить ее на кафедру биофизики и биотехнологии. Контрольная работа должна быть представлена за 10 дней до зачета. Контрольные работы позволяют оценить степень усвоения студентом учебного материала в результате самостоятельной работы с учебной литературой и его способности к решению задач по биофизике.

*Каждый вариант содержит теоретические вопросы и задачи. В каждом варианте 10 теоретических вопросов и 4 задачи; таким образом, каждый студент должен выполнить 14 заданий. Вариант контрольной работы выбирается в соответствии с последней цифрой номера зачётной книжки, при этом цифре «0» соответствует десятый вариант работы (то есть всего 10 различных вариантов контрольной работы).*

При выполнении контрольных работ студент должен придерживаться следующих требований:

- работа должна быть выполнена в тетради, на обложке которой следует указать ФИО студента, номер варианта контрольной работы, номер зачётной книжки студента (см. Приложение);

- перед началом решения задачи необходимо написать полный текст условия задачи;

- ответы на теоретические вопросы не должны быть дословно переписаны из учебника;

- работа должна быть написана самим студентом от руки; работы, распечатанные на принтере или ксероксе, рассматриваться не будут;

- работа должна быть выполнена аккуратно, почерк не должен вызывать затруднений при чтении работы, для возможных замечаний преподавателя в тетради нужно оставить поля;

- работа должна быть структурирована и разделена на отдельные задания, решение задачи следует снабжать подробными пояснениями, расчёты по формулам должны быть приведены полностью, без сокращений;

- таблицы, рисунки и схемы должны иметь соответствующие подписи;

- в конце приведенного решения задачи необходимо указывать литературу, используемую при её решении;

- в конце работы указать дату выполнения и поставить свою подпись.

На контрольные работы преподаватель даёт краткую рецензию с указанием недочётов и обнаруженных ошибок, если они имеются. В случае неудовлетворительной оценки контрольная работа возвращается студенту для доработки, после чего повторно должна быть представлена на проверку.

Студенты, не выполнившие контрольную работу или получившие за неё неудовлетворительную оценку, не допускаются к зачету.

При возникновении вопросов по выполнению контрольных работ студенты могут обращаться за консультацией на кафедру биофизики и биотехнологии ВГУ (тел. (8-4732-) 208-586).



## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

### Теоретические задания

#### **I. Биофизика как наука. Молекулярная биофизика.**

1. Дайте определение биофизики как науки. Что является целью биофизики?
2. Назовите основные разделы биофизики, кратко их охарактеризуйте.
3. Какие основные этапы можно выделить в истории развития биофизики? Опишите историю развития биофизики.
4. Что является мономером белка? Какими связями поддерживается первичная структура белка? Охарактеризуйте пептидную связь.
5. Опишите вторичную структуру белка. Кто впервые исследовал вторичную структуру белка? Охарактеризуйте типы вторичной структуры белка. Какими связями она поддерживается?
6. Охарактеризуйте третичную структуру белка. Что представляет собой домен? Чем доменная структура отличается от четвертичной структуры?
7. Что представляет собой четвертичная структура белка? Чем агрегаты (ассоциаты) белка отличаются от четвертичной структуры?
8. Что является мономером нуклеиновой кислоты? Какими связями поддерживается первичная структура нуклеиновых кислот? Что собой представляет вторичная структура ДНК?
9. Опишите механизм возникновения водородной связи и вандерваальсовых взаимодействий. Чему равна длина и энергия этих связей?
10. Опишите механизм возникновения гидрофобных взаимодействий. В чем состоит механизм действия воды на структуру биомолекул?

#### **II. Биофизика мембран.**

*В каждом варианте этого раздела содержится по два вопроса (по одному из подразделов А и Б).*

##### **А.**

1. Что изучает биофизика мембран? Назовите основные группы методов исследования биомембран.
2. Нарисуйте и опишите современную схему строения биомембраны (жидкостно-мозаичная модель).
3. Какие функции выполняют мембранные белки? Приведите примеры.
4. На какие группы по расположению в мембране подразделяют мембранные белки? Каковы особенности их строения и выполняемые функции?
5. Какие функции выполняют липиды биомембран? В каком физическом состоянии они находятся?
6. Что собой представляет жидкокристаллическое состояние? Какие типы жидкокристаллических структур вы знаете?
7. На какие процессы в мембране повлияет изменение вязкости липидного бислоя?

8. Что понимают под фазовыми переходами липидов в мембране? Какие факторы влияют на фазовое состояние мембранных липидов?
9. Опишите динамические свойства биомембран. Что собой представляет латеральная диффузия молекул в мембране?
10. Опишите динамические свойства биомембран. Что собой представляет трансбислойный переход? («флип-флоп» переход)?

### **Б.**

1. Что такое пероксидное окисление липидов, какие факторы инициируют этот процесс, какова последовательность стадий его развития?
2. От чего зависит вязкость мембран? Как изменяется вязкость мембран при воспалительных процессах? Объясните причины.
3. Обоснуйте утверждение: «Биомембраны – непременные участники совокупности процессов возникновения и развития ряда патологических состояний организма человека»
4. Опишите роль биомембран в осуществлении передачи информации внутрь клетки. Что понимают под развитием первичного и вторичного ответа в процессе передачи информации в клетку?
5. Какие свойства рецепторов вы знаете?
6. Что собой представляют классические и обращенные мицеллы?
7. Что собой представляют липосомы? Какие виды липосом Вы знаете?
8. Опишите основные способы изготовления липосом.
9. Приведите примеры практического использования липосом.
10. Для чего при изготовлении некоторых лекарств используют липосомы?

### **III. Транспорт веществ через биологические мембраны.**

1. С какими структурными компонентами мембраны и их свойствами связана проницаемость биомембран для различных веществ?
2. Какие основные виды мембранного транспорта веществ вы знаете?
3. Опишите пассивный мембранный транспорт. Каковы движущие силы и критерии пассивного транспорта веществ и ионов через мембрану?
4. От чего зависит эффективность диффузии вещества? Напишите соответствующее уравнение.
5. Какие виды простой диффузии вы знаете? Приведите примеры. В чем состоят отличия облегченной диффузии от простой?
6. Какие виды облегченной диффузии вы знаете? Приведите примеры. В чем состоят отличия облегченной диффузии от простой?
7. Опишите особенности транспорта ионов через ионные каналы. Охарактеризуйте структурно-функциональную организацию ионных каналов.
8. Каковы механизмы функционирования каналобразователей? Опишите механизм действия антибиотика валиномицина.
9. Охарактеризуйте активный мембранный транспорт. Каковы движущие силы и критерии активного транспорта веществ через мембрану?

10. Что собой представляют ионные насосы? Какие типы ионных насосов вы знаете? Опишите схему работы кальциевой АТФ-азы. Возможен ли одновременный трансмембранный перенос ионов калия и натрия по схеме симпорта? По схеме антипорта?

#### **IV. Биоэлектрические потенциалы.**

1. Какие виды биопотенциалов вы знаете? Кратко охарактеризуйте их.
2. Объясните механизм формирования потенциала покоя. Как соотносятся проницаемости для ионов при формировании потенциала покоя? Какие ионы являются определяющими при формировании потенциала покоя?
3. Что описывают уравнение Гольдмана – Ходжкина – Каца и уравнение Томаса? В чем отличие этих уравнений?
4. Что собой представляет потенциал действия? Объясните механизм формирования потенциала действия.
5. В каких клетках формируется потенциал действия? Из каких фаз состоит? Куда направлен ток ионов натрия в I фазе (деполяризации) и во II фазе (реполяризации) потенциала действия? Ток ионов натрия в этих фазах является активным или пассивным? Как он осуществляется через мембрану?
6. Объясните механизм формирования потенциала действия. Куда направлены токи ионов в фазах деполяризации и реполяризации? Каково соотношение проницаемости мембраны для ионов в состоянии возбуждения?
7. Что собой представляет период рефрактерности (после фазы реполяризации)? Чем он обусловлен?
8. Как происходит распространение нервного импульса по нервному волокну у беспозвоночных (на примере аксона кальмара)? Почему нервный импульс может распространяться по нервному волокну только в одном направлении?
9. Как происходит распространение нервного импульса по нервному волокну? В чем особенность распространения нервного импульса у позвоночных животных?
10. Что собой представляет постоянная длины нервного волокна? От чего зависит ее величина?

#### **V. Квантовая биофизика. Взаимодействие света с веществом. Люминесценция.**

*В каждом варианте этого раздела содержится по три вопроса (по одному из каждого подраздела).*

##### **A.**

1. Что изучают квантовая биофизика и биофизика фотобиологических процессов?
2. На какие области делится оптический спектр электромагнитных излучений?
3. Назовите области практического использования идей и методов квантовой биофизики.

4. Что собой представляет система электронных энергетических уровней молекулы?

5. Какие электронные переходы возможны в молекуле? Нарисуйте и поясните схему электронных переходов (схема Яблонского).

6. Назовите условия, необходимые для того, чтобы произошло светопоглощение в биосистеме.

7. Что такое хромофор? Назовите хромофорные группы молекул белков, нуклеиновых кислот, липидов.

8. Какие характеристики используют для описания способности целого объекта поглощать свет?

9. Сформулируйте закон Бугера-Ламберта-Бэра и следствие из него. При каких условиях этот закон выполняется?

10. Что собой представляет молярный коэффициент экстинкции? Каков его физический смысл? Что такое оптическая плотность, светопропускание и светопоглощение? Что собой представляет спектр поглощения?

### **Б.**

1. Что такое люминесценция? Какие типы люминесценции в зависимости от способа возбуждения свечения вы знаете?

2. Что такое флуоресценция и фосфоресценция?

3. Сформулируйте закон Стокса. Почему максимум спектра испускания флуоресценции сдвинут в более длинноволновую область по сравнению со спектром поглощения данного вещества?

4. Сформулируйте правило Каши и закон Вавилова.

5. Что такое хемилюминесценция? Для чего регистрируют хемилюминесценцию биообъектов?

6. Что такое фотосенсибилизаторы и фотопротекторы? Какие лекарственные препараты являются фотосенсибилизаторами? Для чего их используют в медицине?

7. Что собой представляет лазерное излучение? Каковы его особенности?

8. Какие типы лазеров (по типу излучения, по мощности, по видам рабочего вещества – активной среды) вы знаете?

9. Опишите схему энергетических уровней лазера, работающего в непрерывном режиме (трех- или четырехуровневый лазер).

10. В каких целях применяют лазеры в медицине? Каковы основные механизмы терапевтического действия лазера?

### **В.**

1. Что такое фотобиологический процесс? Приведите примеры.

2. Дайте классификацию фотобиологических реакций.

3. Из каких стадий состоит фотобиологический процесс? Проанализируйте отдельные стадии фотобиологического процесса.

4. Какие биологические эффекты вызывают разные участки УФ-спектра?

5. Что понимают под спектром действия фотобиологического процесса?

6. Каков физический смысл квантового выхода фотохимической реакции?

7. Перечислите основные типы фотохимических реакций, приводящих к различным повреждениям нуклеиновых кислот и белков.

8. Опишите схему процессов, приводящих к повреждению животной клетки под действием УФ-излучения

9. Опишите строение зрительной клетки. Что собой представляет родопсин? Какие фотохимические превращения происходят в его молекуле?

10. Опишите механизм генерации позднего рецепторного потенциала в зрительной клетке.

## **VI. Термодинамика.**

1. Что изучает термодинамика биологических процессов. Дайте определения основных понятий термодинамики.

2. Сформулируйте первое начало термодинамики. Сформулируйте закон Гесса – следствие первого начала термодинамики. Напишите уравнение этого закона.

3. Как применяются калориметрические методы в термодинамике биологических процессов?

4. Что собой представляет первичная (основная) и вторичная (активная) теплопродукция? Что такое удельная теплопродукция? Объясните, как она зависит от массы животного?

5. В чем физическая сущность понятия энтропии?

6. Сформулируйте второе начало термодинамики для изолированных и открытых систем. Запишите математические уравнения, определяющие его смысл.

7. Сравните понятия «стационарное состояние» и «термодинамическое равновесие».

8. Охарактеризуйте устойчивое и неустойчивое стационарное состояние. Как может происходить переход системы из одного стационарного состояния в другое?

9. Как изменяется баланс энтропии при росте и старении организмов?

10. Объясните связь скорости изменения энтропии биологических систем ( $dS/dt$ ) с теплопродукцией.

## **Задачи**

### **I. Молекулярная биофизика. Биофизика мембран**

В 1964 г. Фишер установил, что, зная общее число аминокислотных остатков в белке и отношение числа полярных аминокислот к неполярным, можно предсказать форму белковой глобулы. Для простоты предположим, что все аминокислотные остатки имеют одинаковые объемы. Найдем

отношение числа полярных остатков к неполярным ( $b$ ) для сферической глобулы радиусом  $r_0$ , покрытой мономолекулярным слоем полярных остатков толщиной  $d$ . Фишер предполагал, что  $d \sim 0,4$  нм. Отношение числа полярных остатков к неполярным в силу сделанных допущений равно отношению объемов полярной части глобулы ( $V_e$ ) к неполярной ( $V_i$ ).

Обозначим площадь поверхности гидрофобного ядра через  $S$  ( $S = 4\pi r^2$ , где  $r$  – радиус гидрофобного ядра). Тогда объем гидрофобного ядра будет равен  $V_i = Sr/3$  (так как объем сферы  $V_s = 4/3\pi r^3$ ), а объем гидрофильной фазы приближенно равен  $V_e = Sd$ . Соответствующее отношение объемов фаз в случае сферической глобулы ( $b_s$ ) равно

$$b_s = V_e/V_i = 3d/r = 3d/(r_0 - d).$$

Для решения задач по теме «мембранный транспорт» необходимо знать следующие понятия и формулы.

*Электрoхимический потенциал*  $\mu'$  – величина, численно равная энергии Гиббса  $G$  на один моль данного вещества, помещенного в электрическое поле. Для разбавленных растворов:

$$\mu' = \mu_0 + RT \ln C + zFE \quad (1),$$

где  $F$  – число Фарадея,  $z$  – заряд иона электролита (в элементарных единицах заряда),  $E$  – потенциал электрического поля.

Плотность потока вещества  $j_m$  при пассивном транспорте подчиняется *уравнению Теорелла*:

$$j_m = -UC(d\mu'/dx) \quad (2),$$

где  $U$  – подвижность частиц,  $C$  – концентрация вещества. Знак минус показывает, что перенос вещества происходит в сторону убывания  $\mu'$ .

*Плотность потока вещества* – это величина, численно равная количеству вещества, перенесенного за единицу времени через единицу площади поверхности, перпендикулярной направлению переноса:

$$j_m = m/(S \cdot t) \text{ [моль/(м}^2 \cdot \text{с)]} \quad (3),$$

Подставив в (2) выражение для электрoхимического потенциала (1), получим для разбавленных растворов при  $\mu_0 = \text{const}$  *уравнение Нернста—Планка*:

$$j_m = -URT(dC/dx) - UCzF(dE/dx) \quad (4).$$

Согласно *соотношению Эйнштейна*, коэффициент диффузии определяется из уравнения

$$D = URT \quad (5).$$

Уравнение, описывающее простую диффузию – *закон Фика*:

$$j_m = -D(dC/dx). \quad (6).$$

Средняя величина смещения молекулы вещества ( $x^2$ ) в растворе:

$$x^2 = 2Dt \quad (7),$$

где  $D$  – коэффициент диффузии,  $t$  – время.

Характерное время установления равновесной концентрации  $t_{0,5}$ :

$$t_{0,5} = 0,693V/PS \quad (8),$$

где  $V$  – объем клетки,  $S$  – площадь поверхности клеточной мембраны,  $P$  – коэффициент проницаемости мембраны для данного вещества.

Так как плотность потока вещества  $j$  имеет размерность моль/м<sup>2</sup>·с, концентрация  $C$  – моль/м<sup>3</sup>, то размерность коэффициента проницаемости мембраны  $P$  – м/с. Коэффициент проницаемости мембраны зависит от свойств мембраны и транспортируемых веществ. Эта величина определяется из уравнения:

$$P = KD/l \quad (9),$$

где  $l$  – толщина мембраны,  $K$  – коэффициент распределения, который показывает соотношение концентрации вещества вне мембраны и внутри нее.

*Студентам для решения предлагаются следующие задачи:*

1. Какова будет форма белковой молекулы, если соотношение количества гидрофильных аминокислот к гидрофобным значительно выше, чем в сферической глобуле? Ответ поясните.
2. Какова будет форма белковой молекулы, если соотношение количества гидрофильных аминокислот к гидрофобным ниже, чем в сферической глобуле? Ответ поясните.
3. Какое расстояние на поверхности мембраны эритроцита проходит молекула фосфолипида за 1 секунду в результате латеральной диффузии? Коэффициент латеральной диффузии принять равным 10 м<sup>2</sup>/с. Сравните с окружностью эритроцита диаметром 8 мкм.
4. При понижении температуры в липидах мембраны происходит фазовый переход I рода. Как при этом изменится толщина мембраны? Ответ поясните.
5. Определите время, в течение которого устанавливается равновесная концентрация эритрола в клетке, если объем клетки 70 мкм<sup>3</sup>, коэффициент проницаемости 13 мкм/с, а площадь поверхности мембраны клетки 43 мкм<sup>2</sup>.
6. Найдите среднюю величину смещения молекулы формамида в воде и в растворе сахарозы за 1 мин, если коэффициенты диффузии этого вещества в воде и в сахарозе равны соответственно  $1,6 \cdot 10^{-5}$  и  $0,3 \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>.
7. Определите коэффициент диффузии в воде эргостерола, если среднее смещение его молекулы составляет 40 мкм/мин.
8. Найдите коэффициент диффузии через плазматическую мембрану *Mycoplasma* для формамида, если при разнице концентраций этого вещества внутри и снаружи мембраны, равной  $0,5 \cdot 10^{-4}$  моль/л, плотность потока его через мембрану равна  $8 \cdot 10^{-4}$  моль·см/с.
9. Покажите, что уравнение Фика для диффузии является частным случаем уравнения Теорелла.
10. Фермент Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>-АТФаза в плазматической мембране эритроцита совершил шесть циклов. Какое количество ионов натрия и калия при этом было активно транспортировано? Сколько энергии было при этом израсходовано, если гидролиз одного моля АТФ сопровождается освобождением 33,6 кДж? Эффективность процесса энергетического сопряжения считать 100 %.

## II. Биоэлектрические потенциалы

Уравнение Нернста для равновесного мембранного потенциала:

$$E_M^p = E_{in} - E_{out} = -(RT/zF)(\ln C_{in}/C_{out}). \quad (1)$$

Если в формуле Нернста перейти от натурального логарифма к десятичному, то для положительного одновалентного иона ( $z = +1$ ):

$$E_M^p = -2,3(RT/F)(\lg C_{in}/C_{out}), \quad (2)$$

где  $E_M^p$  – равновесный потенциал, определяемый как разность потенциалов по обе стороны мембраны;

$R$  – универсальная газовая постоянная;

$T$  – абсолютная температура (К);

$z$  – заряд иона;

$F$  – постоянная Фарадея;

$C_{in}$  и  $C_{out}$  – концентрации потенциалопределяющих ионов по обе стороны мембраны.

Для более точного вычисления величины мембранного потенциала необходимо учитывать диффузию ионов  $K^+$ ,  $Na^+$  и  $Cl^-$ . В связи с этим для определения мембранного потенциала используют уравнение Гольдмана:

$$E_M = 2,3 \frac{RT}{F} \lg \frac{P_K [K^+]_{out} + P_{Na} [Na^+]_{out} + P_{Cl} [Cl^-]_{in}}{P_K [K^+]_{in} + P_{Na} [Na^+]_{in} + P_{Cl} [Cl^-]_{out}}, \quad (3)$$

где  $P_K$ ,  $P_{Na}$ ,  $P_{Cl}$  – коэффициенты проницаемости для соответствующих ионов внутри (in) и снаружи (out) клетки.

В состоянии покоя проницаемость мембраны для ионов  $K^+$  значительно больше, чем для  $Na^+$ , и больше, чем для  $Cl^-$ :

$$P_K \gg P_{Na}, P_K > P_{Cl}.$$

Для аксона кальмара, например,  $P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,04 : 0,45$ .

Уравнения Нернста и Гольдмана не учитывают активного транспорта ионов через мембрану, наличие в мембране ионных насосов. В цитоплазматической мембране функционируют молекулы  $Na^+$ ,  $K^+$ -АТФазы, перекачивающие калий внутрь клетки, а натрий из клетки (т.е. против концентрационного градиента). С учетом работы электрогенных ионных насосов для мембранных потенциалов используют уравнение Томаса:

$$E_M = 2,3 \frac{RT}{F} \lg \frac{mP_K [K^+]_{out} + P_{Na} [Na^+]_{out}}{mP_K [K^+]_{in} + P_{Na} [Na^+]_{in}}, \quad (4)$$

где  $m$  – отношение количества ионов натрия к ионам калия, перекачиваемых ионными насосами через мембрану. Чаще всего  $Na^+$ ,  $K^+$ -АТФаза работает в режиме, когда  $m = 3/2$ .

При формировании потенциала действия проницаемость мембраны для  $Na^+$  увеличивается в 500 раз за 0,5 - 1 мс, отношение коэффициентов проницаемости мембраны аксона кальмара составляет при этом  $P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 20 : 0,45$ .

Следует помнить, что цитоплазма клетки в состоянии покоя всегда имеет отрицательный потенциал по отношению к межклеточной жидкости, в



состоянии возбуждения мембрана деполяризована, то есть знак заряда на мембране изменяется.

*Задачи для решения студентами по обсуждаемым темам:*

1. Определите равновесный мембранный потенциал на мембране при отношении концентраций натрия снаружи и внутри клетки: а) 1 : 1; б) 10 : 1; в) 100:1.

2. Потенциал покоя нерва конечности краба равен 95 мВ. Чему равна концентрация ионов калия внутри нерва, если снаружи она составляет 15 ммоль/л? Температура равна 20°C.

3. Рассчитайте величину мембранных потенциалов покоя и действия для аксона кальмара, если концентрация  $K^+$  внутри клетки – 400, а во внеклеточной среде – 10 ммоль/л, концентрация  $Na^+$  внутри – 50, а снаружи – 460 ммоль/л, а ионы хлора содержатся в клетке в концентрации 100, а вне клетки – 560 ммоль/л.

4. 50% ионов калия внутри гигантского аксона кальмара было заменено натрием. Рассчитайте величину мембранного потенциала покоя аксона кальмара при 25°C.

5. Вычислите потенциал покоя гигантского аксона кальмара, если известно, что концентрация ионов натрия снаружи равна 450 ммоль/л, а внутри его – 50 ммоль/л (температура равна 20°C).

6. Как изменится вид графика потенциала действия, если поменять химический состав внутри аксона и снаружи: аксоплазму заменить на внеклеточную жидкость, а внеклеточную жидкость – на аксоплазму?

7. Рассчитайте потенциал действия аксона кальмара, если концентрация калия и натрия внутри клетки возбудимой ткани соответственно: 125 ммоль/л и 1,5 ммоль/л, а снаружи 2,5 ммоль/л и 125 ммоль/л.

8. Возможен ли процесс на мембране возбудимой клетки, при котором одновременно навстречу текут потоки различных ионов, имеющих одинаковый знак заряда? Ответ поясните.

9. Потенциал покоя нервного волокна кальмара равен -60 мВ а потенциал действия +35 мВ. Вследствие чего происходит такое изменение мембранного потенциала?

10. Определите равновесный мембранный потенциал, создаваемый на бислоистой липидной мембране ионами калия при температуре 20°C, если концентрация калия с одной стороны мембраны равна  $10^{-3}$  моль/л, а с другой –  $10^{-5}$  моль/л.

### **III. Взаимодействие света с веществом. Люминесценция**

*Оптическая плотность* (D) – десятичный логарифм отношения интенсивности света, падающего на образец ( $I_0$ ), к интенсивности света, выходящего из образца (I):

$$D = \lg I_0/I; \quad (1)$$

как и любая логарифмическая величина, оптическая плотность не имеет размерности, измеряется в единицах оптической плотности.

*Светопропускание* ( $T$ ) – отношение интенсивности света, вышедшего из образца, к интенсивности света, падающего на образец:

$$T = I/I_0, \quad (2)$$

измеряется в долях или процентах ( $T = I/I_0 \cdot 100\%$ ).

*Доля поглощенного светового потока* ( $\alpha$ ), или просто *светопоглощение*:

$$\alpha = (I_0 - I)/I_0 = 1 - T, \quad (3)$$

так же, как и  $T$ , светопоглощение измеряется в долях или процентах.

*Формулой Бугера – Ламберта – Бера называют следующее выражение:*

$$I = I_0 \exp(-s \cdot n \cdot l) \text{ (или } I = I_0 e^{-s \cdot n \cdot l}), \quad (4)$$

где  $s$  является *поперечным сечением поглощения молекулы*, другое его название – молекулярный показатель поглощения, размерность –  $\text{см}^2/\text{молекула}$ ,  $n$  – количество молекул в  $\text{см}^3$ ,  $l$  – длина оптического пути (толщина образца).

Как правило, закон Бугера – Ламберта – Бера используют в иной форме:

$$I = I_0 e^{-\epsilon \cdot c \cdot l} \quad (5)$$

$$\text{или } I = I_0 10^{-\epsilon \cdot c \cdot l}, \quad (6)$$

где  $c$  – молярная концентрация вещества,  $\epsilon$  – *натуральный молярный коэффициент поглощения (экстинкции)*, его физический смысл – суммарное поперечное сечение поглощения всех молекул одного моля вещества,  $\epsilon$  – *молярный коэффициент поглощения*.

Размерность  $\epsilon$  и  $\epsilon$  –  $\text{л}/(\text{моль} \cdot \text{см})$ .

Важнейшим следствием из закона Бугера-Ламберта-Бера является следующее положение: *оптическая плотность прямо пропорциональна концентрации данного вещества*. В самом деле, из формулы (6) следует, что

$$I/I_0 = 10^{-\epsilon \cdot c \cdot l},$$

прологарифмировав данное выражение, получаем  $\lg I/I_0 = -\epsilon \cdot c \cdot l$ ,

т.к. по определению  $D = \lg I_0/I$ , следовательно

$$D = \epsilon c l. \quad (7)$$

Интенсивность люминесценции вещества

$$I_{\text{л}} = 2,3 I_0 \phi D, \quad (8)$$

где  $I_0$  – интенсивность возбуждающего света,  $\phi$  – квантовый выход люминесценции,  $D$  – оптическая плотность образца.

Время жизни молекулы в возбужденном состоянии  $\tau$  определяется из уравнения

$$\ln(I_{\text{ло}}/I_{\text{лт}}) = t/\tau, \quad (9)$$

где  $I_{\text{ло}}$  – интенсивность люминесценции в начальный момент времени,  $I_{\text{лт}}$  – момент времени  $t$  после начала измерения.

Согласно формуле Штерна – Фольмера:

$$I_{\phi}/I_{\phi\tau} = 1 + k\tau C_{\tau}, \quad (10)$$

где  $I_{\text{ф}}$  и  $I_{\text{фт}}$  – наблюдаемая величина интенсивности флуоресценции при отсутствии тушителя флуоресценции и вместе с ним;  $C_{\text{т}}$  – молярная концентрация тушителя;  $\tau$  – время жизни молекулы в возбужденном состоянии; константа тушения  $k = 10^9 \text{ M}^{-1} \text{ c}^{-1}$ . Если  $\tau \sim 1 \text{ нс}$ , то наблюдается синглетный механизм тушения флуоресценции, если  $\tau \sim 1 \text{ мкс}$ , то тушение флуоресценции происходит по триплетному механизму.

*Задачи для решения студентами по обсуждаемым вопросам:*

1. В данном веществе при поглощении света могут происходить  $\sigma \rightarrow \sigma^*$  и  $\pi \rightarrow \pi^*$  электронные переходы. Какому переходу соответствует более длинноволновый максимум в спектре поглощения вещества? Ответ обоснуйте.

2. Оптическая плотность раствора  $D = 0,15$ . Найдите его светопоглощение и светопропускание.

3. Коэффициент светопропускания раствора  $\tau = 0,5$ . Чему равна его оптическая плотность?

4. Интенсивность света, прошедшего через раствор, уменьшилась в 5 раз. Известно, что это вещество имеет молярный коэффициент поглощения на данной длине волны, равный 1000. Толщина кюветы с раствором – 1 см. Найдите концентрацию вещества в растворе.

5. Чему равен молярный коэффициент поглощения вещества при длине волны 400 нм, если при прохождении света через раствор с концентрацией 0,5 моль/л интенсивность света уменьшилась в 5 раз? Толщина кюветы равна 0,3 см.

6. Рассчитайте содержание адреналина гидротартрата в растворе для инъекций, если 5,0 мл препарата довели водой до 100 мл. Оптическая плотность полученного раствора составила при 530 нм 0,420. Оптическая плотность стандартного образца, содержащего 0,000091 г/мл, равна 0,432.

7. Определите квантовый выход люминесценции вещества, если его оптическая плотность равна 0,1, а интенсивность люминесценции в 15 раз меньше интенсивности возбуждающего света.

8. Как изменится интенсивность люминесценции при увеличении оптической плотности образца при длине волны возбуждающего света с 1 до 100?

9. Активность фермента уменьшилась в 10 раз при добавлении в раствор инкубации тушителя флуоресценции с конечной концентрацией  $10^{-4}$  моль/л. Определите, каким был механизм тушения флуоресценции (триплетным или синглетным), если константа тушения  $k = 10^9 \text{ M}^{-1} \text{ c}^{-1}$ .

10. Во сколько раз уменьшится интенсивность флуоресценции триптофана в сывороточном альбумине человека, если в раствор был добавлен тушитель флуоресценции в концентрации  $10^{-5}$  моль/л, а реакция тушения идет по синглетному типу.

#### IV. Термодинамика

Согласно первому началу (закону) термодинамики для закрытых систем теплота, подведенная к системе, расходуется на изменение внутренней энергии системы и на совершение работы против внешних сил:

$$\delta Q = dU + \delta A, \quad (1)$$

где  $Q$  - теплота, подведенная к системе;  $U$  - внутренняя энергия системы;  $A$  - работа;  $\delta$  обозначает, что теплота и работа не являются функциями состояния системы и не могут быть полными дифференциалами.

Обмен веществ в живых организмах также подчиняется первому закону термодинамики. Определение энергетического обмена между живыми организмами и окружающей средой осуществляется с помощью калориметрии, которая подразделяется на прямую и непрямую. Более распространенной является непрямая калориметрия. В этом случае о суммарном тепловом эффекте реакций, протекающих в организме, судят по *калорическому коэффициенту кислорода*. Он показывает, какое количество теплоты выделяется при полном окислении данного вещества до углекислого газа и воды на каждый литр поглощенного организмом кислорода. Однако в живом организме идет также синтез веществ, которые затем могут окисляться. Чтобы учесть общее количество теплоты, освобождаемое живым организмом за определенный промежуток времени, надо учитывать *дыхательный коэффициент* ( $\delta$ ), равный отношению объема углекислого газа к потребленному за то же время кислороду:

$$\delta = V_{CO_2} / V_{O_2} \quad (2)$$

Существует связь между дыхательным и калорическим коэффициентами. Это позволяет устанавливать расход энергии организма, зная количество поглощенного  $O_2$  и выделенного  $CO_2$ .

Изменение энтропии  $dS$  системы равно отношению количества теплоты ( $\delta Q$ ), сообщенного системе, к термодинамической температуре ( $T$ ):

$$dS = \delta Q / T. \quad (3)$$

В открытых системах суммарное изменение энтропии в стационарном состоянии равно нулю:

$$dS = deS + diS = 0 \text{ или} \quad (4)$$

$$dS/dt = diS/dt + deS/dt = 0, \quad (5)$$

где  $dS/dt$  - скорость изменения энтропии в организме;  $diS/dt$  - скорость производства энтропии внутри организма;  $deS/dt$  - скорость обмена энтропией между организмом и окружающей средой.

Для химических реакций величина энтропии реагирующих веществ непосредственно связана с тепловым эффектом:

$$diS/dt = -1/T \cdot dQ/dt, \quad (6)$$

где  $T$  - температура по Кельвину,  $dQ/dt$  - скорость теплопродукции реакции.

Определяя тепловые эффекты реакции в специальных микрокалориметрах, можно вычислить скорость продуцирования энтропии.

Изменение энтропии при изменении температуры вещества от  $T_1$  до  $T_2$  находят с помощью уравнения:

$$\Delta S = nC_p \ln(T_1/T_2), \quad (7)$$

где  $n$  – количество вещества (в молях),  $C_p$  – молярная теплоемкость при постоянном давлении.

Для определения скорости продуцирования энтропии в биологических системах используют метод, в основе которого лежит измерение константы равновесия  $k$ , т.е. измерения равновесных концентраций субстратов и продуктов реакции при разных температурах. В том случае, когда изменение энтропии и энтальпии системы не зависит от температуры, используют уравнение Вант-Гоффа:

$$\ln K = \Delta H/RT + \Delta S/R, \quad (7)$$

где  $K$  – константа равновесия,  $\Delta H$  – изменение энтальпии,  $\Delta S$  – изменение энтропии,  $T$  – абсолютная температура,  $R$  – универсальная газовая постоянная.

Изменение свободной энергии  $\Delta G$  вычисляют по следующему уравнению:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S. \quad (8)$$

Если известно значение константы равновесия, то  $\Delta G$  можно найти по формуле:

$$\Delta G = -RT \ln K. \quad (9)$$

Отрицательное значение  $\Delta G$  показывает, что реакция протекает самопроизвольно, положительная величина  $\Delta G$  характерна для реакций, которые осуществляются против термодинамического потенциала, т.е. не могут протекать спонтанно.

*Студентам для решения предлагаются следующие задачи:*

1. При какой температуре находилось 3 моль воды в сосуде, если при ее нагревании до  $100^\circ\text{C}$  произошло увеличение энтропии на  $10 \text{ Дж/К}$ ?  $C_p$  (молярная теплоемкость воды) равна  $\sim 1 \text{ кал/г}\cdot\text{град}$  ( $4,2 \text{ Дж/г}\cdot\text{град}$ ) при атмосферном давлении.

2. При какой температуре находилось 2 моль воды в сосуде, если при ее нагревании до  $100^\circ\text{C}$  произошло увеличение энтропии на  $23,5 \text{ Дж/К}$ ?  $C_p$  (молярная теплоемкость воды) равна  $\sim 1 \text{ кал/г}\cdot\text{град}$  ( $4,2 \text{ Дж/г}\cdot\text{град}$ ) при атмосферном давлении.

3. Образование сахарозы из глюкозы и фруктозы идет с участием АТФ: глюкоза + фруктоза + АТФ  $\rightarrow$  сахароза + АДФ + Ф. При  $298 \text{ К}$  изменение стандартной свободной энергии составляет  $\Delta G = 6285 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}$ . Найдите константу равновесия этой реакции.

4. Вычислите изменение стандартной свободной энергии следующей ферментативной реакции при  $25^\circ \text{C}$ , рН 7,0, исходя из приведенного значения константы равновесия ( $k = 6,8$ ):

глутамат + оксалоацетат  $\xrightarrow{\text{аспартатаминотрансфераза}}$  аспартат + кетоглутарат.

5. Определите дыхательный коэффициент и расход энергии человека в состоянии мышечного покоя, если за 10 мин он выдыхает 60 л воздуха, в котором содержится 15 % кислорода и 5 % углекислого газа. (При решении задачи надо учитывать, что в атмосферном воздухе содержится 21 %  $O_2$  и 0,03 %  $CO_2$ , для данного дыхательного коэффициента калорический коэффициент равен 20,26 кДж).

6. Спортсмен, пробегая дистанцию, выделяет за 1 мин 100 л воздуха, в котором содержится 12 % кислорода и 8 % углекислого газа. Каков дыхательный коэффициент и расход энергии спортсмена за 15 мин? (При решении задачи надо учитывать, что в атмосферном воздухе содержится 21 %  $O_2$  и 0,03 %  $CO_2$ , для данного дыхательного коэффициента калорический коэффициент равен 20,26 кДж).

7. При непрямой калориметрии энергетический расход человека за 10 мин составил 84 кДж. Какой объем кислорода он выдохнул, если известно, что в выдыхаемом воздухе содержалось 13 % кислорода и 7 % углекислого газа?

8. Кролик массой 1,5 кг поглотил за 1 ч 1,5 л кислорода. Определите, сколько энергии расходует кролик за сутки, если средний калорический эквивалент кислорода равен 20,52 кДж.

9. Чему равен общий баланс энтропии живого организма в стационарном состоянии?

10. Объясните связь скорости изменения энтропии биологических систем ( $dS/dt$ ) с теплопродукцией.

### Вопросы к зачету по биофизике

1. Предмет и задачи биофизики. Значение биофизики для медицины и фармации.

2. История развития биофизики. Проблемы современной биофизики.

3. Уровни структурной организации белков. Биофизика белка.

4. Особенности пространственной организации нуклеиновых кислот. Модель Уотсона-Крика.

5. Силы стабилизации структуры молекул биополимеров.

6. Роль гидрофобных взаимодействий в формировании биоструктур.

7. Структура и функции биологических мембран.

8. Современная модель биомембраны.

9. Динамика структурных элементов биомембраны.

10. Мембранные белки и липиды, их структура и функции.

11. Модельные липидные мембраны, их строение, способы приготовления, перспективы применения в фармации и медицине.

12. Виды транспорта веществ через биологические мембраны.

13. Пассивный транспорт веществ через биомембрану. Уравнения Теорелла, Нернста-Планка, Фика.

14. Простая и облегченная диффузия веществ через мембрану.
15. Ионные каналы: механизм работы, селективность.
16. Активный транспорт. Ионные насосы, молекулярный механизм их работы.
17. Классификация электрических потенциалов биосистем.
18. Механизм формирования потенциала покоя. Уравнения Нернста, Гольдмана, Томаса.
19. Механизм формирования потенциала действия (возбуждения). Уравнения Нернста, Гольдмана, Томаса.
20. Биофизика нервного импульса. Распространение возбуждения вдоль нервного волокна.
21. Квантовая биофизика. Энергетические уровни молекул.
22. Взаимодействие квантов света с веществом.
23. Электронные переходы при поглощении света в биомолекулах.
24. Качественные и количественные показатели поглощения света. Закон Бугера – Ламберта – Бера. Понятие об оптической плотности, светопропускании и светопоглощении.
25. Спектры поглощения некоторых биомолекул. Применение спектрофотометрии в биологии, медицине и фармации.
26. Люминесценция. Применение люминесцентного анализа в биологии и фармации.
27. Фотобиологические процессы. Основные стадии фотобиологического процесса.
28. Фотохимические реакции в белках, липидах и нуклеиновых кислотах.
29. Фотомодификаторы (фотопротекторы и фотосенсибилизаторы), их применение в медицине.
30. Влияние оптического излучения на биологические объекты. Применение оптического излучения в медицине.
31. Фоторецепция. Зрительные пигменты фоторецепторной мембраны. Механизмы генерации рецепторного потенциала.
32. Термодинамика биологических процессов. Классификация термодинамических систем.
33. I начало термодинамики. Приложение I начала термодинамики к биологическим системам.
34. Теплообмен, виды теплообмена.
35. Энергетический баланс организма.
36. Энтальпия. Закон Гесса.
37. II начало термодинамики. Приложение II начала термодинамики к биологическим системам.
38. Организм как открытая термодинамическая система. Уравнение Пригожина для открытой системы.
39. Множественность стационарных состояний системы, пути перехода с одного стационарного уровня к другому.
40. Применение достижений биофизики в фармации.

## Рекомендуемая литература

### Биофизика как наука.

1. Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика : учеб. для вузов / А. Н. Ремизов, А. Г. Максина, А. Я. Потапенко. – М., 2003. – С. 14-17.
2. Биофизика : учеб. для вузов / В. Ф. Антонов [и др.]. – М., 1999. – С. 5-7.
3. Артюхов В. Г. Биофизика : учеб. пособие / В. Г. Артюхов, Т. А. Ковалева, В. П. Шмелев. - Воронеж, 1994. – С. 9-29.
4. Волькенштейн М. В. Биофизика : учеб. пособие / М. В. Волькенштейн. - М., 1988. – С. 9-22.

### Молекулярная биофизика

1. Биофизика : учеб. для вузов / Ю. А. Владимиров [и др.]. – М., 1983. – С. 63-78; 85-88.
2. Волькенштейн М. В. Биофизика : учеб. пособие / М. В. Волькенштейн. – М., 1988. – С. 32-40; 87-118; 222-231.
3. Мушкамбаров Н. Н. Молекулярная биология : учеб. пособие / Н. Н. Мушкамбаров, С. Л. Кузнецов. – М., 2003. – С. 6-8; 117-125; 169-185.
4. Попов Е. М. Проблема белка : в 3 т. / Е. М. Попов. – М. : Наука, 1997. Т.3 : Структурная организация белка. – 604 с.
- 5.Финкельштейн А. В. Физика белка : курс лекций с цветными и стереоскопическими иллюстрациями и задачами / А. В. Финкельштейн, О. Б. Птицын. – М. : КДУ, 2005. – 456 с.

### Биофизика мембран

*Структура и функции биологических мембран. Динамика биомембран. Модельные липидные мембраны*

1. Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика : учеб. для вузов / А. Н. Ремизов, А. Г. Максина, А. Я. Потапенко. – М., 2003. – С. 184-190.
2. Биофизика : учеб. для вузов / В. Ф. Антонов [и др.]. – М., 1999. – С. 8-31.
3. Биофизика : учеб. для вузов / Ю. А. Владимиров [и др.]. – М., 1983. – С. 95-121.
4. Артюхов В. Г. Биологические мембраны: структурная организация, функции, модификации физико-химическими агентами : учеб. пособие / В. Г. Артюхов, М. А. Наквасина. - Воронеж, 1994. – С. 11-62; 102-114.
5. Барсуков Л. И. Липосомы / Л. И. Барсуков // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 10. – С. 2-9.



*Транспорт веществ через биологические мембраны. Биоэлектрические потенциалы*

1. Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика : учеб. для вузов / А. Н. Ремизов, А. Г. Максина, А. Я. Потапенко. – М., 2003. – С. 191-213.
2. Биофизика : учеб. для вузов / В. Ф. Антонов [и др.]. – М., 1999. – С. 32-48; 67-111.
3. Артюхов В. Г. Биофизика : учеб. пособие / В. Г. Артюхов, Т. А. Ковалева, В. П. Шмелев. – Воронеж, 1994. – С. 198-223.
4. Биофизика : учеб. для вузов / Ю. А. Владимиров [и др.]. – М., 1983. – С. 121-138; 141-143; 150-172.
5. Биофизика : практикум для студентов / В. Г. Артюхов, О. В. Башарина. – Воронеж, 2003. – С.42-48.

**Квантовая биофизика. Фотобиология**

*Взаимодействие квантов света с молекулами. Электронные переходы при поглощении света в биомолекулах. Спектральные свойства некоторых биомолекул. Люминесценция*

1. Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика : учеб. для вузов / А. Н. Ремизов, А. Г. Максина, А. Я. Потапенко. – М., 2003. – С. 439-466.
2. Артюхов В. Г. Биофизика : учеб. пособие / В. Г. Артюхов, Т. А. Ковалева, В. П. Шмелев. – Воронеж, 1994. – С. 229-259.
3. Биофизика : учеб. для вузов / Ю. А. Владимиров [и др.]. – М., 1983. – С. 30-36.
4. Биофизика : практикум для студентов / В. Г. Артюхов, О. В. Башарина. – Воронеж, 2003. – С. 7-16.
5. Владимиров Ю. А. Физико-химические основы фотобиологических процессов : учеб. пособие / Ю. А. Владимиров, А. Я. Потапенко. – М. : Высш. шк., 1989. – 199 с.
6. Пермяков Е. А. Метод собственной люминесценции белка / Е. А. Пермяков. – М. : Наука, 2003. – 189 с.

*Фотобиологические процессы и их стадии. Фотохимические превращения биополимеров и мембран.*

*Понятие об индуцированном (лазерном) излучении.*

*Фоторецепция, ее молекулярные механизмы*

1. Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика : учеб. для вузов / А. Н. Ремизов, А. Г. Максина, А. Я. Потапенко. – М., 2003. – С. 466-494.
2. Артюхов В. Г. Биофизика : учеб. пособие / В. Г. Артюхов, Т. А. Ковалева, В. П. Шмелев. – Воронеж, 1994. – С. 282-301.
3. Биофизика : учеб. для вузов / Ю. А. Владимиров [и др.]. – М., 1983. – С. 41-46; 50-63; 244-252.
4. Артюхов В. Г. Биологические мембраны: структурная организация,

функции, модификации физико-химическими агентами : учеб. пособие. / В. Г. Артюхов, М. А. Наквасина. - Воронеж, 1994. – С. 102-107; 126-142.

5. Рощупкин Д. И. Основы фотобиофизики : учеб. пособие. / Д. И. Рощупкин, В. Г. Артюхов. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1997. – 116 с.

6. Рощупкин Д. И. Биофизика органов : учеб. пособие / Д. И. Рощупкин, Е. Е. Фесенко, В. Н. Новоселов. – М. : Наука, 2000. – 255 с.

2. Гейниц А. В. Внутривенное лазерное облучение крови / А. В. Гейниц, С. В. Москвин, Г. А. Азизов. – М. : Изд-во «Триада», 2006. – 144 с.

**Биофизика сложных систем. Термодинамика биологических процессов. I и II начала термодинамики. Стационарное состояние биологических систем. Уравнение Пригожина для открытой системы**

1. Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика : учеб. для вузов / А. Н. Ремизов, А. Г. Максина, А. Я. Потапенко. – М., 2003. – С. 163-182.

2. Артюхов В. Г. Биофизика : учеб. пособие / В. Г. Артюхов, Т. А. Ковалева, В. П. Шмелев. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1994. – С. 56-79.

Воронежский государственный университет

Контрольная работа по биофизике

Вариант № \_\_\_\_

Выполнил студент 1 курса заочного  
отделения фармацевтического факультета

Группа \_\_\_\_

Фамилия, имя, отчество

Зачётная книжка № \_\_\_\_

Проверил преподаватель

Оценка

Подпись преподавателя

Дата проверки