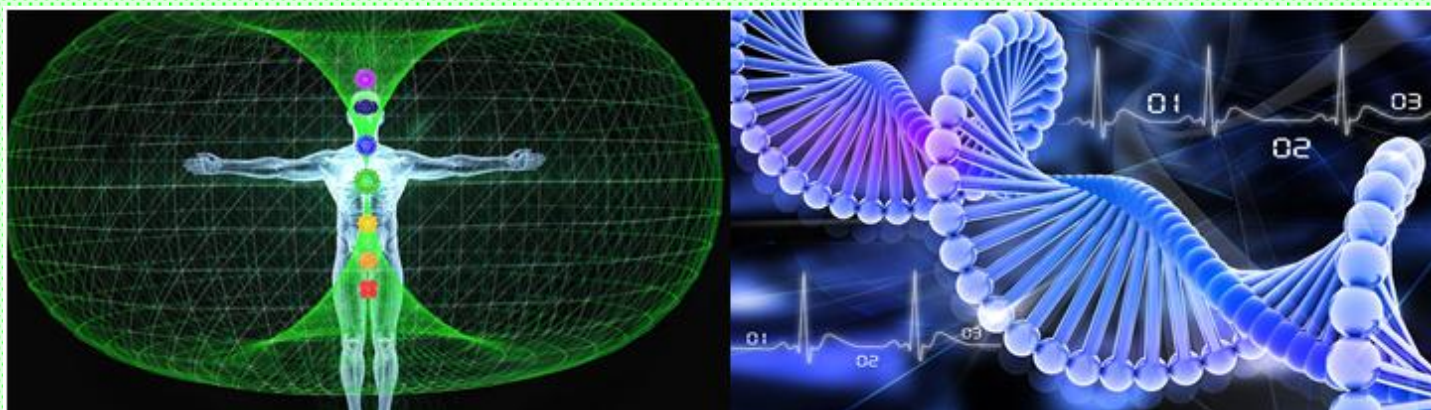


Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Иркутский государственный аграрный университет им.  
А.А. Ежевского

Бузунова М.Ю., Клибанова Ю.Ю.

# БИОФИЗИКА

## ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ



**Учебное пособие**

Молодежный 2020

УДК 577.3(075.8)

Б 904

Печатается по решению научно-методического совета Иркутского ГАУ им. А. А. Ежевского (протокол № 5 от 30 ноября 2020 года)

Рецензенты:

Зав. кафедрой физики института энергетики Иркутского национального исследовательского технического университета ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» д.т.н., профессор Н.П. Коновалов.

Зав. кафедрой технологии в охотничьем и лесном хозяйстве (институт управления природными ресурсами – факультет охотоведения им. В. Н. Скалона) ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, к.б.н., доцент Г.В. Чудновская.

Бузунова, М. Ю.

Биофизика : практикум по дисциплине : учебное пособие / М. Ю. Бузунова, Ю. Ю. Клибанова ; Иркут. гос. аграр. ун-т им. А. А. Ежевского. – Молодежный : Изд-во ИрГАУ, 2020. – 101с. – Текст : электронный.

Учебное пособие по дисциплине «Биофизика» предназначено для проведения практических занятий, закрепления изученного на лекциях теоретического материала и способствует комплексному процессу интегрирования курса биофизики в учебный процесс в аграрном вузе. В практикуме представлены темы практических занятий, вопросы для повторения изученных тем, а также контрольные задачи и тесты для изучения основных положений базового курса биофизики. Тематика и типы контрольных задач позволяют сформировать требования к глубине проработки каждого из разделов курса. В рамках самостоятельной работы студенты могут проверить свой уровень знаний, используя вопросы для самоконтроля.

Учебное пособие может быть использовано студентами высших учебных заведений для очной и заочной формы обучения при подготовке бакалавров, обучающихся по следующим направлениям подготовки: 35.03.01 «Лесное дело», 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение», 35.03.04 «Агрономия», 36.03.01 «Ветеринарно-санитарная экспертиза», 36.03.02 «Зоотехния», 36.05.01 «Ветеринария», 35.03.07 «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции», 06.03.01 «Биология».

© Бузунова М.Ю., Клибанова Ю.Ю., 2020

© Иркутский ГАУ им. А. А. Ежевского, 2020

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий практикум по дисциплине предназначен для студентов очной и заочной формы обучения базового уровня бакалавриата всех направлений подготовки Иркутского ГАУ, включает в себя контрольные задания и примеры решения задач по биофизике. Рекомендации могут быть использованы также для самостоятельной подготовки студентов очной формы обучения при подготовке к контрольным работам, тестированию, зачетам и экзаменам по биофизике.

Основная цель контрольной работы состоит в закреплении изученного теоретического материала, а рецензия преподавателя дает возможность студенту доработать и усвоить соответствующие разделы курса биофизики.

Материалы для выполнения контрольных работ составлены с учетом теоретического материала по всем основным разделам курса биофизики:

- 1) Элементы классической механики биомеханики.
- 2) Механические колебания. Акустика и биоакустика.
- 3) Гидродинамика и гемодинамика.
- 4) Упругие свойства твердых и жидких тел.
- 5) Явления переноса. Осмос.
- 6) Термодинамика.
- 7) Электростатика. Постоянный электрический ток. Биоэлектрические явления
- 8) Магнитное поле. Электромагнитная индукция. Переменный ток.
- 9) Геометрическая и волновая оптика. Тепловое излучение.
- 10) Элементы квантовой оптики.

При выполнении контрольной работы студент выбирает вариант задания в соответствии с последней цифрой шифра (номера зачетной книжки), используя данные таблицы №1 для выполнения контрольных работ. Так в случае когда последняя цифра соответствует 3, то во всех контрольных работах студент решает задачи, номера которых заканчиваются на 3, 1.3, 2.3 и так далее. Если студент изучает дисциплину в течение одного года обучения, он выполняет две контрольные работы (в соответствии с таблицей 1, 2). При изучении предмета на 1 и 2 курсе выполняется соответственно по одной контрольной работе на каждом курсе (для студентов заочной формы обучения) или в семестре (для студентов очной формы обучения).

Выполненную контрольную работу необходимо разместить в электронно-информационную образовательную среду (ЭИОС), используя свой личный логин и пароль, для проверки преподавателем. Если преподаватель при рецензировании вашей работы выставляет ряд замечаний, студент должен исправить замечания и представить контрольное задание на повторное рецензирование, устранив замечания и повторно добавить задачи, у которых решения были представлены неверно. Зачтенные контрольные работы необходимо предъявить экзаменатору и, в случае необходимости, во время экзамена уметь пояснить решения выполненных задач.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ**

Контрольные работы, выполняемые по дисциплине БИОФИЗИКА, представляют собой выполненные студентами решения биофизических задач.

Под физической задачей в учебной практике обычно понимают определенную проблему, которая может быть решена при помощи логических умозаключений и стандартных математических действий.

Решение биофизических задач требует от студента знаний основных законов физики и их следствий, умений проводить анализ исследуемой проблемы и грамотного применения своих знаний для ее решения. Процесс решения задачи помогает более глубоко и сознательно овладеть теоретическим материалом, а его знание является непременным условием умения решать биофизические задачи.

Физические и биофизические задачи очень многогранны и весьма разнообразны по содержанию. Изучив условие некоторых задач, иногда не сразу ясно, с чего необходимо начинать решение и какой физический закон необходимо применить. В данном случае следует привлечь для решения поставленной задачи опыт предыдущих решений, провести аналогию, и сделать упрощения.

Единый универсальный прием для решения любой биофизической задачи не существует. Биофизические задачи весьма разнообразны. Однако имеются некоторые общие правила или предписания алгоритмического типа, обеспечивающие основную последовательность элементарных действий при

решении задач. Последовательность этих действий такова, что она может быть успешно применена для решения обширного круга биофизических задач.

Основные правила решения задач по биофизике состоят в следующем.

1) Необходимо внимательно прочитать условие задачи и определить смысл выражений и терминов, входящих в данную задачу.

Если что-то не понятно, следует прочитать соответствующий теоретический раздел в учебнике, рассмотреть решения аналогичных задач или проконсультироваться с преподавателем.

2) Запишите краткое условие задачи, вводя для параметров, заданных в условии, а также для определяемой величины буквенные обозначения, согласно перечня основных и производных физических величин.

С помощью стандартных физических букв и символов (параметров), легче вспомнить основные формулы, связывающие соответствующие параметры, более четко видно, какие характеристики заданы и все ли они выражены в одной системе единиц.

3) Выразите все числовые величины заданных в условии параметров в единицах системы СИ.

4) Желательно сделать рисунок, чертеж или условную схему, соответствующие сущности задачи.

На рисунке необходимо указать заданные и искомые параметры в буквенном виде, определенном в условии задачи.

5) Проведите анализ задачи, позволяющей раскрыть ее физический смысл. Установите, какие физические законы и соотношения можно применить для решения данной задачи.

6) На основании физических законов составьте уравнения, связывающие физические величины, которые описывают рассматриваемое в задаче явление или процесс.

7) С помощью математических законов решите уравнения относительно искомой величины для получения ответа в общем виде.

Ответ задачи представляет собой алгебраическое выражение, в котором с левой стороны от знака равенства приводится буквенное обозначение искомого параметра, а с правой – алгебраическое выражение из буквенных обозначений величин согласно условию задачи, табличных значений и числовых коэффициентов.

8) В заключение проведите проверку правильность решения в общем виде, при помощи сравнения единиц измерения в обеих частях равенства.

Для этого в общую формулу решения подставьте единицы измерения всех величин и произведите необходимые действия.

При проверке единиц измерения необходимо учитывать, что над обозначениями единиц физических величин возможно проводить действия, так же как над арифметическими: их можно сокращать, возводить в степень т.д. Однако необходимо помнить, что любые арифметические действия можно выполнять только с обозначениями единиц одного и того же наименования. В связи с этим перед началом проверки все единицы измерения необходимо выразить через основные единицы системы СИ. Это возможно потому, что единица измерения любой величины всегда является комбинацией основных единиц системы физических величин.

В том случае если единица измерения, полученная в результате проверки, не совпадет с единицей измерения искомой величины, можно сделать вывод о том, что вы неверно решили задачу.

9) В общую формулу решения подставьте вместо буквенных обозначений числовые значения величин в единицах системы СИ и при помощи математических вычислений получите числовой ответ.

10) Решение задачи сопровождайте краткими наглядными пояснениями, необходимыми чертежами и рисунками.

При использовании вышеприведенной схем решения задачи имейте в виду, что для физической задачи важна правильность не только хода ее решения и численного значения ответа, но и качественный уровень решения.

Обучающиеся должны выполнить вариант контрольной работы, соответствующий таблице вариантов, представленных в данном учебном пособии.

При оформлении вашей контрольной работы необходимо учесть следующие важные правила.

1) Каждое контрольное задание (работа) представляется в ЭИОС отдельным файлом. Контрольная имеет титульный лист с указанием номера выполняемого варианта, наименования дисциплины (предмета), фамилии и инициалов обучающегося, направления подготовки и его шифра. Решение каждой задачи из соответствующего варианта начинайте с новой страницы.

В конце работы приведите список использованных литературных источников и поставьте свою подпись.

2) Условия задач приводите полностью, без сокращения.

3) Значения всех параметров, заданных в условии, а также взятых из справочных таблиц, записать отдельной строкой при помощи буквенного обозначения. Все численные значения параметров выразить в единицах системы СИ. Под чертой запишите буквенные обозначения физических величин, которые необходимо найти.

4) Проиллюстрируйте решения задачи рисунком, схематическим чертежом. В случае изменения состояния объекта сделайте несколько последовательных рисунков, на которых изобразите физические величины, при помощи условных графических и буквенных обозначениями, покажите физическое взаимодействие, существенное для данной задачи. Рисунки выполнять при помощи чертежных инструментов, с соблюдением всех правил технического черчения.

5) Решение задачи сопровождается краткими, но исчерпывающими пояснениями. При объяснении решения задачи указываются основные физические законы и формулы, описывающие физическую сущность задачи, и объясняются все используемые буквенные обозначения.

6) Решение задачи приводится в общем виде, в буквенных обозначениях. Представляются исходные формулы, выполняются алгебраические действия и выводится расчетная формула для искомой величины. Обязательно приводится вывод расчетной формулы, с пояснением используемых математических преобразований.

7) Произвести проверку единицы измерения искомой величины по расчетной формуле, провести анализ соответствия и тем самым убедиться в правильности решения задачи.

8) Выполнить расчет искомого физического параметра при помощи подстановки заданных числовых значений в расчетную формулу. Числа подставляйте в расчетную формулу в том же порядке как в неё записаны буквенные обозначения физических характеристик. При подстановке чисел в уравнение целесообразно представить их в виде чисел, умноженных на 10 в необходимых степенях, все вычисления проводить с соблюдением правил вычисления приближенных чисел.

Контрольные работы необходимо выполнять в соответствии с вышеприведенными правилами. Работы, не оформленные в соответствии с требованиями и выполненные не по своему номеру варианту, не будут зачтены.

Если контрольная работа преподавателем не зачтена, то необходимые дополнения и исправления выполняются в той же тетради в конце работы. Исправления в тексте задачи которая не зачтена не допускаются.

В случае повторного рецензирования обязательно представлять работу с предыдущей рецензией.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

**Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины «Биофизика»**

### **Основная литература:**

1. Белановский А. С. Основы биофизики в ветеринарии [Текст]: учеб. пособие для вузов / А. С. Белановский . - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Дрофа, 2007. - 332 с.
2. Волькенштейн М. В. Биофизика: учеб. рук. / М. В. Волькенштейн. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1988. - 591 с.: ил. ; 23 см.
3. Грабовский Р. И.. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Р. И. Грабовский, 2002. - 607 с.
4. Иванов И. В. Основы физики и биофизики [Текст]: учеб. пособие для вузов по направлениям подгот. (спец.) 111801 - "Ветеринария" (квалификация (степень) "специалист") и 111100 - "Зоотехния" (квалификация (степень) "бакалавр"): рек. УМО / И. В. Иванов. - 2-е изд., испр. и доп. - СПб. : Лань, 2012. - 208 с. : ил.
5. Плутахин Г. А. Биофизика: учеб. пособие для вузов по направлениям 111100 - "Зоотехния", 020800 - "Экология и природопользование", 110100 - "Агрохимия и агропочвоведение", 110200 - "Агрономия" и спец. 111201 "Ветеринария" / Г. А. Плутахин, А. Г. Кощаев. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: Лань, 2012. - 239 с.
6. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика: учеб. для вузов / А. Н. Ремизов, А. Г. Максина, А. Я. Потапенко. - Изд. 4-е, перераб. и доп. - М.: Дрофа, 2003. - 559 с.



### Дополнительная литература:

1. Кутимская М. А. Гидродинамика и гемодинамика учеб. пособие для студентов фак. охотоведения и фак. биотехнологии и вет. медицины ; Иркут. гос. с.-х. акад. - Иркутск: ИрГСХА, 2009. - 38 с.
2. Биофизика [Текст]: метод. указ. к лаб. работам по биофизике : для студентов фак. охотоведения и фак. биотехнологии и ветеринарной медицины / Иркут. гос. с.-х. акад.; сост. Ю. Ю. Малозёмова. - Иркутск: ИрГСХА, 2007. - 22 с
3. Физика [Электронный ресурс]: рук.к лаб. работам / Иркут. гос. с.-х. акад.; сост. Л. Н. Макридина. Ч. 2 : Электромагнитные явления. Оптика, 2011. - 1 эл. опт.диск
4. Биофизика [Электронный ресурс]. - Электрон. текстовые дан. - Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2009. - 61 с.
5. Бузунова М Ю. Вопросы и ответы по курсу физики: учеб. пособие по дисциплине "Физика" / Иркут. гос. с.-х. акад.; сост.: М. Ю. Бузунова, И. Г. Ковалевский. - Иркутск: ИрГСХА, 2011. - 159 с.
6. Вржащ Е. Э. Физика: электричество и магнетизм : учеб. пособие для студентов уровня бакалавров энерг. и инж. спец. с.-х. вузов / Е. Э. Вржащ, Ю. Ю. Клибанова. - Электрон. текстовые дан. - Saarbrücken : Lap Lambert Academic Publishing ; Иркутск : Изд-во ИрГАУ им. А. А. Ежевского, 2017. - 144 с.
7. Иванов И. В. Сборник задач по курсу основы физики и биофизики [Текст]: учеб.-метод. пособие для вузов по направлению подгот. 111100 - "Зоотехния" и спец. 111801 - "Ветеринария": допущено УМО / И. В. Иванов. - 2-е изд., испр. - СПб.: Лань, 2012. - 123 с.
8. Клибанова Ю. Ю. Физика: волновая и квантовая оптика, физика атомного ядра и элементарных частиц: учеб. пособие для направлений подгот. 35.03.06 - Агроинженерия, 13.03.01 - Теплоэнергетика и теплотехника, 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника / Ю. Ю. Клибанова, Е. Э. Вржащ; Иркут. гос. аграр. ун-т им. А. А. Ежевского. - Электрон. текстовые дан. - Иркутск: Изд-во ИрГАУ им. А. А. Ежевского, 2019. - 127 с.

9. Антонов, В.Ф. Биофизика: Учебник для студентов высших учебных заведений / В.Ф. Антонов, А.М. Черныш, В.И. Пасечник. - М.: ВЛАДОС, 2006. - 287 с.
10. Артюхов, В.Г. Биофизика / В.Г. Артюхов. - М.: Академический проект, 2009. - 294 с.
11. Архангельская, Ю.С. Модуль "Клетка". Биофизика / Ю.С. Архангельская. - М.: Человек, 2011. - 144 с.
12. Берман, Г.Н. Биофизика: Учебное пособие / Г.Н. Берман. - СПб.: Лань, 2012. - 240 с.
13. Волькенштейн, М.В. Биофизика: Учебное пособие / М.В. Волькенштейн. - СПб.: Лань, 2012. - 608 с.
14. Кудряшов, Ю.Б. Радиационная биофизика: сверхнизкочастотные электромагнитные излучения: Учебник для вузов / Ю.Б. Кудряшов, А.Б. Рубин. - М.: Физматлит, 2014. - 216 с.
15. Плутахин, Г.А. Биофизика: Учебное пособие / Г.А. Плутахин, А.Г. Кошаев. - СПб.: Лань, 2012. - 240с.
16. Рубин, А.Б. Биофизика (для бакалавров) / А.Б. Рубин. - М.: КноРус, 2018. - 63 с.
17. Рубин, А.Б. Биофизика. В 2-х томах / А.Б. Рубин. - М.: МГУ, 2004. - 917 с.
18. Самойлов, В.О. Медицинская биофизика / В.О. Самойлов. - СПб.: СпецЛит, 2013. - 591 с.
19. Сон, К.Н. Биофизика: Учебное пособие / К.Н. Сон, В.И. Родин, Э.В. Бесланеев. - СПб.: Лань П, 2016, - 608с.
20. Черныш, А.М. Физика и биофизика: Учебник / В.Ф. Антонов, А.М. Черныш, Е.К. Козлова. - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. - 472 с.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ**

В следующей таблице приведены варианты контрольной работы, выполняемой студентом в процессе обучения, в соответствии с рабочей программой.

## Контрольная работа

Вариант	Номера задач										Выбирать вариант по последней цифре зачетной книжки
0											
1	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	
2	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	
3	1.4	2.4	3.4	4.4	5.4	6.4	7.4	8.4	9.4	10.4	
4	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	
5	1.6	2.6	3.6	4.6	5.6	6.6	7.6	8.6	9.6	10.6	
6	1.7	2.7	3.7	4.7	5.7	6.7	7.7	8.7	9.7	10.7	
7	1.8	2.8	3.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.8	9.8	10.8	
8	1.9	2.9	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	
9	1.10	2.10	3.10	4.10	5.10	6.10	7.10	8.10	9.10	10.10	

В представленных в данном методическом пособии материалах можно ознакомиться с методами решения физических и биофизических задач, похожих на те, которые представлены обучающимся в вышеприведенных контрольных заданиях. В целях удобства перед тем как изучить материал каждого раздела студент имеет возможность ознакомиться с основными биофизическими законами и формулами, необходимыми при решении контрольной работы.

### Правила приближенных вычислений

При решении любой физической задачи мы используем числовые значения заданных физических параметров, которые, в основном, являются весьма приближенными. Степень приближения исходных физических величин может зависеть как от точности измерительных устройств, так и от требований, представленных в условиях решаемой задачи.

В результате эксперимента по определению величины ускорения свободного падения установлено его значение равное  $9,81 \text{ м/с}^2$ , однако при проведении эксперимента на более высокоточном оборудовании мы можем получить его более точное значение равное  $9,807 \text{ м/с}^2$ . Когда мы выполняем задания, не требующие на высокой точности расчетов, для их упрощения мы можем считать величину  $g$  равным  $10 \text{ м/с}^2$ .

Экспериментатор при проведении эксперимента должен точно понимать, что точность итоговых результатов расчетов будет коррелировать только с точностью проводимых измерений и ее нельзя увеличить путем повышения точности расчетов, взяв большее количество десятичных знаков

после запятой. Для примера давайте разберем следующую задачу по механике. Давайте вычислим время, за которое тело при его падении приобретет скорость 50 м/с?

Скорость и время свободного падения можно найти как:  $v = gt$ , а  $t = v/g$ . В процессе операции деления мы можем получить численное значение 5,0968... секунд. Проводить операцию деления дальше не имеет смысла, и достаточно записать полученный результат как число 5,09, имеющее столько же значащих цифр, сколько их имеется в значении исходной величины 9,81. Излишнее количество численных знаков при подсчетах не является актуальным и, более того, может являться весьма грубой ошибкой, свидетельствующей о том, что экспериментатор не изучил необходимую методику проведения измерений и правила расчета искомых физических характеристик необходимой точности.

Правила записи значений приближенной числовой величины говорят о том, что погрешность не должна быть больше одной единицы последней значащей цифры.

Под значащими цифрами понимают цифры в десятичном написании числа, начиная с самой первой ненулевой цифры (отсчет проводим слева направо). Рассмотрим в качестве примера число 0,0080300. Значащими в данном случае являются все цифры, кроме первых трех нулей, а все остальные не являются. При проведении расчетов следует учитывать, что последняя цифра всегда является неточной, а остальные правильными.

Очень часто нам необходимо решить физическую задачу с приближенными данными. В этом случае при ее решении в промежуточных действиях важно учитывать на один знак больше (иметь одну запасную цифру), не принимая его во внимание при подсчете значащих цифр. При подведении окончательных итогов расчетов убираем запасную цифру согласно правил округления.

Можно оптимизировать трудоемкий процесс расчетов, но при этом важно владеть основными правилами расчета приближенных чисел.

#### Основные правила приближенных вычислений.

1) Важно записать приближенные числа с учетом определенных правил. Если рассмотреть числа 10,5; 10,50; 10,500 – то это совсем разные числа. В первом примере записи верными являются только цифры у целой и десятой доли. Во втором примере верными считаются сотые, а в третьем, в том числе,

и тысячные доли и именно этот результат является самым точными из всех рассмотренных случаев.

2) В случае сложения или вычитания приближенных чисел в итоговом результате следует убрать, согласно правил округления цифр, все разряды в правой части, которые отсутствуют в каждом слагаемом. Рассмотрим пример:

$$25+5,3 = 30,3 \approx 30.$$

В данном примере были отброшены десятичные знаки, так как они отсутствуют у первого слагаемого.

3) При проведении операций умножения или деления приближенных величин в итоге нужно представить такое количество значащих цифр, которое есть в наличии в параметре с минимальным количеством значащих цифр. Все другие цифры следует заменить нулями или отбросить согласно основным правил округления чисел. Рассмотрим пример:

$$4,63:13=0,3561 \approx 0,36$$

$$173 \cdot 17 = 2941 \approx 2940$$

4) Когда мы число возводим в степень или берем корень, то необходимо оставить такое количество значащих цифр какое представлено в исходном параметре, с которым мы проводим расчет. Приведем пример:

$$3,5^2 = 12,25 \approx 12,2 \quad \sqrt{28,5} \approx 5,45$$

5) При проведении расчетов выражений повышенной степени сложности сложных выражений важно учитывать вышеизложенные правила. Приведем пример:

$$\frac{(4,7 + 11,037)\sqrt{3,95}}{1,6 \cdot 6,15} = \frac{31,3}{9,84} \cong 3,18$$

После расчетов, проводим округление ответа до двух значащих цифр, поскольку минимальное количество значимых цифр в данном примере равно двум и итог всех промежуточных расчетов мы округлили до трех знаков.

6) Если задача включает справочные данные основных физических величин (такие как число  $\pi$ ,  $\sqrt{3}$ , масса или заряд протона и т. д.) их надо представить с количеством значимых цифр, равным их в наименее точном из параметров присутствующих в условии примера.

Существует правило округления для арифметических действий: когда мы отбрасываем первую значащую цифру менее 5 мы оставляем

предыдущую цифру без изменений; если мы отбрасываем первую значащую цифру больше 5, то предыдущую увеличиваем на единицу. Когда отбрасываемая значащая цифра ровно 5, мы проводим округление таким образом, чтобы последняя цифра оставалась четной. Вышеуказанные правила приближенных расчетов необходимо применять при решении задач, представленных в данном пособии.

Следует учесть, что сегодня огромную помощь при проведении расчетов оказывает компьютерная техника и микрокалькуляторы, активно используемые не только при решении физических задач, но и в практической деятельности зоотехников, ветеринарных врачей, а также в быту. Однако современная вычислительная техника всегда дает результаты с большим количеством знаков. Поэтому значения чисел, полученных данным способом, необходимо округлять в соответствии с вышеприведенными правилами и рекомендациями.

В целях оптимизации процесса решения задач, в случае необходимости использования справочных величин рекомендуем материал в таблицах, представленных в приложении.

## I. ЭЛЕМЕНТЫ КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ И БИОМЕХАНИКИ

### Законы и формулы

Физическая величина или закон	Формула
Мгновенная скорость	$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}, v = \frac{dS}{dt}$
Мгновенное ускорение	$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$
Скорость равномерного прямолинейного движения	$v = \frac{S}{t} = const$
Путь и скорость равнопеременного прямолинейного движения	$S = v_0 t \pm \frac{at^2}{2} \quad v = v_0 \pm at$
Тангенциальное и нормальное ускорение	$a_\tau = \frac{dv}{dt}, a_n = \frac{v^2}{R}$
Сила трения	$F_T = \mu N$
Сила упругости	$\vec{F}_y = -k\vec{x}$

Закон Всемирного тяготения	$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$
Сила тяжести	$\vec{P} = m \vec{g}$
Второй закон Ньютона	$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}$
Импульс тела	$\vec{p} = m\vec{v}$
Закон изменения импульса	$\vec{F} dt = d\vec{p}$
Работа постоянной силы	$A = F S \cos\alpha$
Работа переменной силы	$A = \int_l F(r) \cos\alpha dr$
Мощность	$N = \frac{A}{t}, N = F v \cos\alpha$
Кинетическая энергия	$E_K = \frac{mv^2}{2}$
Потенциальная энергия	$E_P = mgh, E_P = \frac{kx^2}{2}$
Скорость движения тел при неупругом ударе	$\vec{u} = \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2}{m_1 + m_2}$
Скорость тел упругом центральном ударе	$\vec{v}'_1 = \frac{(m_1 + m_2)\vec{v}_1 + 2m_1 \vec{v}_2}{m_1 + m_2}$ $\vec{v}'_2 = \frac{(m_1 + m_2)\vec{v}_2 + 2m_1 \vec{v}_1}{m_1 + m_2}$
Теорема Штейнера	$J = J_0 + m d^2$
Угловая скорость $\omega$ и угловое перемещение $\varphi$	$\omega = \frac{d\varphi}{dt}; \varphi = \int \omega dt$
Угловое ускорение $\varepsilon$ и угловая скорость $\omega$	$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}; \omega = \int \varepsilon dt$
Связь между линейными и угловыми величинами для вращательного движения	$v = \omega \cdot R; a_t = \varepsilon \cdot R$
Угловая скорость при равнопеременном вращении	$\omega = \omega_0 + \varepsilon \cdot t$
Угол поворота при равнопеременном вращении	$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 \cdot t + \frac{\varepsilon \cdot t^2}{2}$
Связь между угловой скоростью $\omega$ , частотой вращения $\nu$ и периодом вращения $T$ при равномерном вращении	$\omega = 2\pi \cdot \nu = \frac{2\pi}{T}$
Связь между углом поворота $\varphi$ и числом	$\varphi = 2\pi \cdot N$

оборотов N	
Основное уравнение динамики вращательного движения ( $\varepsilon$ - угловое ускорение, M- момент силы, J- момент инерции вращающегося тела)	$\varepsilon = \frac{M}{J}$
Момент инерции тел произвольной формы:	
а) материальной точки массой m на расстоянии r от оси вращения	$J = m \cdot r^2$
б) полого цилиндра радиусом R	$J = m \cdot R^2$
в) сплошного цилиндра или диска радиусом R	$J = \frac{m \cdot R^2}{2}$
г) однородного тонкого стержня длиной L относительно оси, проходящей через его конец	$J = \frac{m \cdot L^2}{2}$
Основной закон динамики вращательного движения	$\vec{M} = J \frac{d\vec{\omega}}{dt} = J \vec{\varepsilon}$
Момент импульса L	$\vec{L} = [\vec{r} \cdot m\vec{v}], L = J \cdot \omega$
Закон сохранения момента импульса	$J_1 \cdot \omega_1 = J_2 \cdot \omega_2$
Кинетическая энергия вращающегося тела	$E_k = \frac{J \cdot \omega^2}{2}$
Закон Ома в электролитах при наличии ЭДС поляризации E	$I = \frac{U - E}{R}$
Закон электролиза Фарадея (m – масса выделенного вещества на электроде, z – валентность, A – атомная масса вещества)	$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{z} \cdot I \cdot t$
Сила порогового тока (закон Вейсса)	$I_{\pi} = \frac{a}{t} + b$
Уравнение Доннана (уравнение мембранного равновесия)	$\frac{[K^+]_{\text{H}}}{[K^+]_{\text{B}}} = \frac{[Cl^-]_{\text{B}}}{[Cl^-]_{\text{H}}}$
Величина мембранного потенциала клетки $E_m$ . $[C_1]$ и $[C_2]$ – концентрации ионов по разные стороны клеточной мембраны	$E_m = \frac{1}{z \cdot F} \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{[C_1]}{[C_2]}$
Затухание потенциала действия $E_d$ в аксоне на расстоянии L от места возбуждения	$E = E_d \cdot e^{-\frac{L}{K}}$
Константа затухания потенциала действия K в аксоне диаметром d, $\rho$ – удельное сопротивление аксоплазмы, R – поверхностное сопротивление мембраны аксона	$K = \sqrt{\frac{d \cdot R}{4 \cdot \rho}}$



## Вопросы для закрепления материала

- 1) Сформулируйте понятие скорости и ускорения в случае равномерного, равноускоренного и равнозамедленного движения. Представьте уравнения.
- 2) Сформулируйте понятие мгновенной скорости и ускорения. Представьте уравнения.
- 3) Что такое нормальное и тангенциальное ускорение, что они характеризуют.
- 4) Что такое работа и энергия. Сформулируйте понятия кинетической и потенциальной энергии, запишите основной закон сохранения механической энергии, приведите уравнения.
- 5) Каковы единицы измерения работы и мощности.
- 6) Приведите расчетные формулы для упругого и неупругого центрального удара. Сделайте вывод для неупругого удара.
- 7) Сформулируйте понятие угловой скорости  $\omega$  и ускорения  $\varepsilon$ . Представьте их уравнения. Каковы единицы их измерения.
- 8) Рассчитайте угловую скорость в случае равнопеременного движения.
- 9) Сформулируйте определение механического момента силы, в чем он измеряется.
- 10) Представьте вывод (на основе второго закона Ньютона) для момента вращающей силы, как основного закона динамики вращательного движения.
- 11) Что такое момент инерции, какова его размерность и в чем состоит физический смысл. Запишите и объясните теорему Штейнера.
- 12) Дайте определение момента импульса. Получите закон сохранения момента импульса для замкнутой системы вращающихся тел. Приведите примеры применения закона.

## Образцы решения задач раздела I.

### Задача № 1

Барaban промышленной центрифуги для взбивания молокопродуктов имеет диаметр 30 см и массу 6 кг. Барaban вращается с частотой 9000 об/мин, и останавливается при помощи тормозной колодки. Рассчитать силу трения, приложенную к поверхности барабана, при условии его остановки в течении 30 секунд. Найти количество оборотов до полной остановки барабана и работу силы трения.

**Дано:**  $D=30 \text{ см}=0,3 \text{ м}$ ;  $m=6 \text{ кг}$   
 $v_0 = 9000 \text{ об/мин} = 150 \text{ с}^{-1}$ ;  $t = 30 \text{ с}$

**Решение:** Механический момент для силы трения, действующей на

барабан:  $M=F \cdot R$

$N=? F=? A=?$

Поскольку форма барабана аналогична форме сплошного

цилиндра, его момент инерции определим по формуле:

$$J = \frac{m \cdot R^2}{2}$$

На основе основного закона динамики вращательного движения получим:  $M = \varepsilon \cdot J$ , где  $\varepsilon$  – угловое ускорение. Тогда,

$$FR = \varepsilon \cdot \frac{m \cdot R^2}{2} \quad \text{и} \quad \text{отсюда} \quad F = \frac{\varepsilon \cdot m \cdot R}{2} \quad (1)$$

Найдем угловую скорость для вращающегося барабана:  $\omega = \omega_0 + \varepsilon \cdot t$ . При остановке барабана конечная скорость равна нулю. Тогда  $0 = \omega_0 + \varepsilon \cdot t$ . Выразим отсюда угловое ускорение:

$$\varepsilon = -\frac{\omega_0}{t} = -\frac{2\pi\nu_0}{t}$$

Подставив  $\varepsilon$  в уравнение (1), получим уравнение для силы:

$$F = -\frac{\pi\nu_0 \cdot m \cdot R}{t} \quad (2)$$

(отрицательное значение силы показывает, что она заставляет барабан вращаться более медленно).

Угол поворота для равнозамедленного вращения барабана:

$$\varphi = \frac{\omega + \omega_0}{2} \cdot t$$

Так как конечная угловая скорость равна нулю:

$$\varphi = \frac{\omega_0}{2} \cdot t = \pi\nu_0 \cdot t \quad (3)$$

Учтем взаимосвязь угла поворота с полным числом оборотов барабана

$$\varphi = 2\pi \cdot N \quad (4)$$

Приравнивая правые части выражений (3) и (4), получаем:

$$2\pi \cdot N = \pi\nu_0 \cdot t$$

Тогда: 
$$N = \frac{\nu_0 \cdot t}{2} \quad (5)$$

Чтобы полностью остановить барабан силе трения нужно совершить работу, равную кинетической энергии барабана:

$$A = \frac{J \cdot \omega_0^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{m \cdot R^2}{2} \cdot (2\pi\nu_0)^2 = m \cdot R^2 \cdot \pi^2 \cdot \nu_0^2 \quad (6)$$

Проведем сравнения размерности выражений (2) и (6)

$$[F] = \frac{\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} = \text{Н}$$

$$[A] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2} = \text{Дж}$$

Убеждаемся в правильности размерности для силы и работы.

Подставим численные значения в уравнения:

$$N = \frac{150 \cdot 30}{2} = 2250 \text{ оборотов}$$

$$F = -\frac{3,14 \cdot 150 \cdot 6 \cdot 0,15}{30} = -14,1(\text{Н})$$

$$A = 6 \cdot 0,15^2 \cdot 3,14^2 \cdot 150^2 = 2,99 \cdot 10^4 (\text{Дж})$$

Ответ: число оборотов  $N = 2250$ , сила  $F = -14,1$  (Н), работа  $A = 2,99 \cdot 10^4$  (Дж)

### Задача № 2

Зависимость угла поворота барабана промышленной сенокосилки с диаметром барабана 0,6 м от времени имеет вид:

$$\varphi = A + 2B \cdot t + C \cdot t^2,$$

где  $B = 0,5$  рад/с;  $C = 0,3$  рад/с<sup>2</sup>.

Определить угловую скорость вращения барабана сенокосилки, а также линейную скорость точек на поверхности барабана. Время от начала вращения равно 10 с.

**Решение:** Представим угловую

**Дано:**  $\varphi = A + 2B \cdot t + C \cdot t^2$   $B = 0,5$  рад/с скорость через первую

$C = 0,3$  рад/с<sup>2</sup>;  $t = 10$ с;  $D = 0,6$  м производную от углового  
перемещения по времени:

$$\omega = ? \quad v = ?$$

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = 2B + 2C \cdot t.$$

Тогда:

$$\omega = 2 \cdot 0,5 \text{ с}^{-1} + 2 \cdot 0,3 \text{ с}^{-2} \cdot 10 \text{ с} = 7,2 (\text{с}^{-1}).$$

Линейная скорость на поверхности барабана:

$$v = \omega \cdot R = \omega \cdot \frac{D}{2} = 7,2 \times \frac{0,6}{2} = 2,2 (\text{м/с})$$

Ответ: угловая скорость вращения барабана  $\omega = 7,2$  (с<sup>-1</sup>), линейная скорость точек  $v = 2,2$  (м/с)

### Задача № 3

Частота вращения для горизонтальной платформа массой 100 кг вокруг вертикальной оси, которая проходит через ее центр, составляет 6 об/мин. На краю платформы стоит человек массой 50 кг. Найти числом оборотов вращения платформы в том случае, когда человек пройдет от края к центру платформы. Платформу представим как круглый однородный диск, а человека как материальную точку.

**Дано:**  $m_1 = 100$  кг;  $m_2 = 50$  кг;  
 $v_1 = 6$  об/мин  $= 0,1 \text{ с}^{-1}$

**Решение:** Запишем закон сохранения энергии :

$$v_2 = ?$$

$$J_1 \cdot \omega_1 = J_2 \cdot \omega_2,$$

где  $J_1$  – момент инерции для платформы с человеком, стоящим на краю;  $J_2$  – момент инерции платформы, когда человеком находится в ее центре.

Так как платформу -однородный диск, а человек- точечная масса:

$$J_1 = \frac{m_1 \cdot R^2}{2} + m_2 \cdot R^2$$

Учтем, что в центре вращения платформы момент инерции точки равен 0, тогда

$$J_2 = \frac{m_2 \cdot R^2}{2}$$

Поэтому, с учетом  $\omega = 2\pi\nu$

$$\left( \frac{m_1 \cdot R^2}{2} + m_2 \cdot R^2 \right) \cdot 2\pi\nu_1 = \frac{m_2 \cdot R^2}{2} \cdot 2\pi\nu_2$$

Тогда

$$\nu_2 = \frac{m_1 + 2m_2}{2m_2} \cdot \nu_1$$

Подставив численные данные из условия задачи:

$$\nu_2 = \frac{100 + 2 \cdot 50}{2 \cdot 50} \cdot 0,1 = 0,2 \text{ с}^{-1}$$

Ответ: число оборотов вращения платформы равно 0,2 ( $\text{с}^{-1}$ )

### Задачи для самостоятельного решения

1.1. Рабочая частота промышленного вентилятора в птичнике, достигается через 5 мин после того как его включили. Рассчитать число оборотов, сделанное колесом вентилятора и рабочую частоту вращения при условии его равноускоренного движения. Угловым ускорением вращения вентилятора считать равным  $1,5 \text{ рад/с}^2$ ?

1.2. Диаметр барабана промышленной установки для измельчения комбикорма равен 500 мм. Зависимость угла поворота от времени имеет следующий вид:  $\varphi = 2A \cdot t + 3B t^2$ , где  $A = 0,2 \text{ рад/с}^2$  и  $B = 10 \text{ рад/с}^2$ . Определить угловую скорость вращения барабана и линейную скорость точек на его поверхности через 5 минут после начала вращения .

1.3. На коленвал комбайна, вращающегося равноускоренно, действует момент вращающей силы 460 Н·м. Определить через какое время кинетическая энергия коленвала достигнет значения 56 МДж. Момент инерции  $J$  считать равным  $8 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ .

1.4. В птичнике установлен промышленный вентилятор. Рабочее колесо установленного в коровнике вентилятора вращается по закону:  $\nu = 2A + 2B\sqrt{t}$ , где  $A = 13 \text{ с}^{-1}$ ,  $B = 0,2 \text{ с}^{-3/2}$ . Найти число оборотов барабана вентилятора по истечении 5 минут после того как он начал вращаться?

1.5. Рассчитать момент инерции передней ноги лошади относительно плечевого сустава, если масса ноги 430 г. Длина ноги 127 см. При решении считать ногу однородным стержнем. Найти с каким ускорением нога лошади будет передвигаться из горизонтального положения в вертикальное с учетом действия силы тяжести, действующей на лошадь. Расстояние от плечевого сустава до центра масс ноги лошади равно 73 см.

1.6. Платформа в форме круглого диска радиусом 1,5 м и массой 150 кг вращается по инерции вокруг вертикальной оси с частотой  $1/12 \text{ с}^{-1}$ . В центре платформы стоит человек массой 50 кг. Рассчитать линейную скорость человека относительно пола помещения, если он перейдет на край платформы? При решении принять человека за материальную точку.

1.7. Частота вращения центрифуги сепаратора под действием постоянного тормозящего момента с моментом инерции  $80 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$  за 20 уменьшилась от 250 до 80 оборотов в минуту. Рассчитать тормозящий момент, действующий на сепаратор. , имея при этом момент инерции  $1,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ . Определить частоту вращения платформы, если человек примет лежачее положение и ось вращения пройдет через его центр человека, при этом его моменты инерции считать равным  $20 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ .

1.9. Молотилка имеет момент инерции  $40 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ . Под действием вращающего момента 110 Н·м, действующего при вращении на ее барабан, он движется равноускоренно и делает 125 оборотов. Определить время вращения барабана.

1.10 Промышленный сепаратор начинает вращение с угловым ускорением  $0,45 \text{ рад/с}^2$  и после 35с от начала движения момент импульса сепаратора будет равен  $50 \text{ кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}$ . Определить кинетическую энергию сепаратора в момент времени 35 с от начального момента вращения.

## II. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ. АКУСТИКА И БИОАКУСТИКА

### Законы и формулы

Физическая величина или закон	Формула
Уравнение гармонических колебаний	$x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$
Период колебаний математического маятника	$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$
Период колебаний пружинного маятника	$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$
Период колебаний физического маятника	$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgd}}$
Кинетическая энергия гармонических колебаний	$E_K = \frac{mv^2}{2} = \frac{mA^2\omega^2}{2} \cos^2(\omega t + \varphi_0)$
Уравнение свободных затухающих колебаний	$x = A_0 e^{-\beta t} \sin(\omega t + \varphi_0)$
Амплитуда затухающих колебаний	$A = A_0 e^{-\beta t}$
Логарифмический декремент затухания	$\lambda = \ln \frac{A_t}{A_{t+T}} = \beta T$
Длина волны – $\lambda$ . Скорость звука – $u$ . Частота звука – $\nu$	$\lambda = \frac{u}{\nu}$
Уравнение плоской волны	$y = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) = A \sin(\omega t - kx)$
Волновое число	$k = \frac{2\pi}{\lambda}$
Уравнение стоячей волны	$y = 2A \cos kx \cdot \sin \omega t,$
Скорость распространения звуковой волны в газах	$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$
Условия максимума и минимума интерференции волны	$\Delta_{\max} = \pm 2n \frac{\lambda}{2}$ $\Delta_{\min} = \pm (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$

Интенсивность звука $J$ . Акустическое давление – $p_a$ плотность вещества – $\rho$	$J = \frac{p_a^2}{2 \cdot \rho \cdot u}$
Удельное акустическое сопротивление вещества	$\rho \cdot u$
Уровень интенсивности звука в децибелах (дБ). $J_0$ – интенсивность звука на пороге слышимости	$L = 10 \cdot \lg \left( \frac{J}{J_0} \right)$
Коэффициент отражения звука $r$ на границе раздела двух сред (ф. Рэлея)	$r = \left( \frac{\rho_2 \cdot u_2 - \rho_1 \cdot u_1}{\rho_2 \cdot u_2 + \rho_1 \cdot u_1} \right)^2$
Доплеровская частота. $v$ – скорость движения объекта, $u$ – скорость звука	$v_d = 2 \cdot v_0 \cdot \frac{v}{u} \cdot \cos \varphi$

### Вопросы для закрепления материала

- 1) Дайте определение гармонического колебания, запишите уравнение.
- 2) Дайте определение физического и математического маятника. Приведите уравнения для расчета их периода колебаний.
- 3) Какие колебания называются затухающими. Напишите уравнение. Что такое диссипация энергии.
- 4) Дайте определение вынужденных колебаний. Что такое резонанс, каково его влияние на организм человека и животного.
- 5) Какие волны называются поперечными и продольными, приведите уравнения и объясните как длина волны зависит от частоты.
- 6) Что такое интенсивность волнового процесса и как она связана с амплитудой колебания.
- 7) Дайте определения звукового давления, объясните почему звуки практически не слышны под водой.
- 8) Объясните физическую сущность эффекта Доплера. Что такое доплеровская частота и чему она равна?
- 9) Что такое интенсивность звука и акустическое давление. Каковы единицы их измерения.
- 10) Приведите примеры источников звуковых колебаний? Дайте определение.
- 11) Объясните, в чем отличие устройства слухового аппарата у человека и млекопитающих.

- 12) Как изменяется скорость звука в зависимости от свойств среды (воздух, вода и т.д.).
- 13) Дайте определение для уровня громкости, в чем он измеряется.
- 14) По какому закону можно рассчитать коэффициент отражения звуковой волны на границе раздела двух разнородных сред, приведите формулу.
- 15) Каков самый малый и максимально допустимый диапазон уровня интенсивности шумового воздействия на живой организм. Какие негативные воздействия на организм оказывает высокий уровень шумов.
- 16) Рассчитать насколько децибел увеличится интенсивность звука при условии возрастания его интенсивность в 10 раз ; в 50 раз ;
- 17) Расскажите закон Вебера-Фехнера и свойство слухового аппарата, лежащее в его основе.
- 18) Каковы особенности механизма восприятия звуков ухом млекопитающего и почему теория звукового восприятия Гельмгольца получила название «резонансной»?
- 20) Сформулируйте основные характерные особенности ультразвука и инфразвука, определите соответствующий для них волновой диапазон. Поясните их воздействие на живой организм.
- 22) Каковы основные аспекты применения эффекта Доплера в медицинской практике
- 23) Приведите примеры применения ультразвуковой терапии в медицинской практике.

## Образцы решения задач раздела II.

### Задача № 1

Уровень интенсивности шумов в помещении птицефермы составляет 85 дБ. Для звукоизоляции стены птицефермы покрыли специальным материалом, поглощающим звук и уменьшающим интенсивность звуковой волны в 1500 раз. Определить насколько уменьшился уровень интенсивности шума в помещении после звукоизоляции?

**Дано:**  $L_1 = 85 \text{ дБ}; \frac{J_2}{J_1} = \frac{1}{1500}$

**Решение:** Запишем уровень интенсивности звука в децибелах :

$$L_1 - L_2 = ?$$

$$L = 10 \cdot \lg \left( \frac{J}{J_0} \right),$$

где  $J_0$  – условный нулевой уровень интенсивности звука  $J_0 = 1 \text{ (Вт/м}^2\text{)}$ .



Изменение уровня интенсивности шума определяется вариацией интенсивности звука как:

$$\begin{aligned}\Delta L &= L_2 - L_1 = 10 \cdot \lg\left(\frac{J_2}{J_0}\right) - 10 \cdot \lg\left(\frac{J_1}{J_0}\right) = 10 \cdot \left(\lg\left(\frac{J_2}{J_0}\right) - \lg\left(\frac{J_1}{J_0}\right)\right) = \\ &= 10 \cdot (\lg J_2 - \lg J_0 - \lg J_1 + \lg J_0) = 10 \cdot (\lg J_2 - \lg J_1) = 10 \cdot \lg\left(\frac{J_2}{J_1}\right)\end{aligned}$$

Получим

$$L_2 = \Delta L + L_1 = L_1 + 10 \cdot \lg\left(\frac{J_2}{J_1}\right)$$

Вставим данные из условия задачи:

$$\begin{aligned}L_2 &= 85 + 10 \cdot \lg\left(\frac{1}{1500}\right) = 85 - 10 \cdot \lg(1500) = 85 - 10 \cdot \lg(1,5 \cdot 10^3) = 85 - 10 \cdot \lg(1,5 + 3) = \\ &= 85 - 10 \cdot 3,176 = 53,24 \text{ (дБ)}.\end{aligned}$$

$$L_1 - L_2 = 85 - 53,24 = 31,76$$

Ответ: уровень интенсивности шума уменьшится на 31,76 (дБ).

## Задача № 2

Плоская звуковая волна падает на границу раздела воздух-вода. Интенсивность падающей волны 0,57 Вт/м<sup>2</sup>. Найти интенсивность звука, который проходит в воду.

**Решение:** Интенсивность звука в воде  $J_2 = J_1 \cdot \tau$ , где  $J_1$  – интенсивность звука в воздухе. Коэффициент проникновения звука  $\tau = 1 - r$ , где  $r$  – коэффициент отражения на границе раздела двух сред. Согласно ф. Рэлея:

**Дано:**  $J_1 = 0,57 \text{ Вт/м}^2$ ;  $u_1 = 331 \text{ м/с}$ ;

$u_2 = 1497 \text{ м/с}$ ;  $\rho_1 = 1,29 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho_2 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

---


$$J_2 = ?$$

$$r = \left( \frac{\rho_2 \cdot u_2 - \rho_1 \cdot u_1}{\rho_2 \cdot u_2 + \rho_1 \cdot u_1} \right)^2 = \left( \frac{1 - \frac{\rho_1 \cdot u_1}{\rho_2 \cdot u_2}}{1 + \frac{\rho_1 \cdot u_1}{\rho_2 \cdot u_2}} \right)^2,$$

где  $\rho$  и  $u$  – плотности среды и скорости звука, а  $(\rho \cdot u)$  – акустическое сопротивление среды. Тогда:

$$r = \left( \frac{1 - \frac{1,29 \cdot 331}{1000 \cdot 1497}}{1 + \frac{1,29 \cdot 331}{1000 \cdot 1497}} \right)^2 = \left( \frac{1 - 0,285 \cdot 10^{-3}}{1 + 0,285 \cdot 10^{-3}} \right)^2$$

Так как число  $x = 0,285 \cdot 10^{-3}$  мало согласно правил приближенных расчетов:

$$\frac{1}{1+x} \cong 1-x, \quad \left( \frac{1-x}{1+x} \right)^2 \cong (1-2 \cdot x)^2 \cong 1-4 \cdot x.$$

С учетом исходных данных :

$$r = 1 - 4 \cdot 0,285 \cdot 10^{-3} = 1 - 1,14 \cdot 10^{-3} = 0,9988.$$

Коэффициент проникновения

$$\tau = 1 - r = 1 - 0,99886 = 0,114 \cdot 10^{-2}$$

Интенсивность прошедшего в водную среду звука:

$$J_2 = J_1 \cdot \tau = 0,57 \cdot 0,114 \cdot 10^{-2} = 0,65 \cdot 10^{-3} \text{ (Вт/м}^2\text{)} = 0,65 \text{ (мВт/м}^2\text{)}$$

Ответ: интенсивность звука в воде  $J_2 = 0,65 \text{ (мВт/м}^2\text{)}$ .

### Задача № 3

Две точки плоской волны, распространяющейся вдоль прямой со скоростью 20 м/с, расположенные на этой прямой на расстояниях 12 м и 15 м от источника волнового фронта, совершают колебательный процесс с разностью фаз  $0,75 \pi$ . Определить длину волны, смещение вышеуказанных точек в момент времени 1,2 . Записать соответствующее волновое уравнение. Амплитуда колебаний равна 0,1 м.

**Дано:**  $v = 20 \text{ м/с}$ ;  $x_1 = 12 \text{ м}$ ;  $x_2 = 15 \text{ м}$ ;  
 $\Delta\varphi = 0,75 \pi$ ;  $t = 1,2 \text{ с}$ ;  $A = 0,1 \text{ м}$ .

**Решение:** На расстоянии длины волны  $\lambda$  точки совершают колебания колеблются с разностью фаз  $2\pi$ . На произвольном расстоянии  $\Delta x$  точки колеблются с разностью фаз, равной:

$$\Delta\varphi = \Delta x \cdot 2\pi / \lambda$$

---


$$\lambda = ? \quad y_1 = ? \quad y_2 = ?$$

Если  $\Delta x = (x_2 - x_1)$ , то

$$\Delta\varphi = (x_2 - x_1) 2\pi / \lambda.$$

Из последнего уравнения следует:

$$\lambda = 2\pi(x_2 - x_1) / \Delta\varphi$$

Уравнение плоской волны:

$$y = A \cos \omega \left( t - \frac{x}{v} \right),$$

где  $y$  – смещение любой из точек  $t$ ;  $v$  – скорость распространения волны.

В целях записи основного уравнения колебательного процесса, определим его циклическую частоту  $\omega$ . Поскольку  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , где  $T$  – период колебаний, связанный с длиной волны соотношением  $\lambda = vT$ , то

$$\omega = \frac{2\pi v}{\lambda}.$$

Уравнения для смещений точек с координатами  $x_1$  и  $x_2$  имеют вид:

$$y_1 = A \cos \omega \left( t - \frac{x_1}{v} \right); \quad y_2 = A \cos \omega \left( t - \frac{x_2}{v} \right).$$

Подставляя числовые значения, заданные в условии, и сделав вычисления, получим:

$$\lambda = \frac{2\pi(15 - 12)}{0,75\pi} \text{ м} = 8 \text{ м};$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 20}{8} \text{ рад/с} = 5\pi \text{ рад/с};$$

$$y_1 = 0,1 \cos 5\pi \left( 1,2 - \frac{12}{20} \right) \text{ м} = 0,1 \cos 3\pi, \text{ м} = -0,1 \text{ м};$$

$$y_2 = 0,1 \cos 5\pi \left( 1,2 - \frac{15}{20} \right) \text{ м} = 0,1 \cos 2,25\pi, \text{ м} = 0,07 \text{ м}.$$

Ответ: длина волны  $\lambda = 8\text{ м}$ , координаты  $y_1$  и  $y_2$  соответственно -  $0,1 \text{ м}$  и  $0,07 \text{ м}$ .

### Задачи для самостоятельного решения

2.1. Интенсивность шума от мычания быка в стойле составляет на уровне 120 дБ. Определить уровень интенсивности шума, создаваемого одновременное мычанием 5 быков в стойле.

2.2. В медицинской практике при лечения у млекопитающих мастита используют ультразвук интенсивность которого  $0,5 \text{ Вт/м}^2$ . Найти энергию ультразвука, проходящую внутри ткани в течении 15 мин. Размер излучателя  $5,1 \text{ см}^2$ , а коэффициент проникновения ультразвука в ткань 0,9.

2.3. Материальная точка массой 10 г совершает гармоническое колебательное движение частота которого 0,7 Гц. Амплитуда колебаний 5см.

Рассчитать скорость точки при смещении равном 0,5 см; величину максимальной силы, действующую на нее полную энергию колеблющейся точки.

2.4. Рассчитать скорость эритроцитов в потоке крови в артерии при условии, что доплеровская частота отражения ультразвука от них равна 1,68 кГц. Ультразвук падает под углом  $45^\circ$  к оси артерии с частотой 3 МГц, а его скорость численно равна 1,53 км/с.

2.5. Физический маятник представляет собой тонкий стержень длиной 60 см и массой 200 г. На нижнем конце стержня находится груз небольших размеров массой 0,4 кг. Рассчитать период колебаний физического маятника, если ось проходит через верхний конец стержня.

2.6. В коровнике на ферме уровень интенсивности шумов при входе составляет 90 дБ, а в противоположном углу помещения – 75дБ. Определить во сколько раз интенсивность шума на входе больше, чем в отдаленной части коровника.

2.7. Рассчитать коэффициент отражения ультразвука на границе между твердой и мягкой тканью животного. Плотность твердой и мягкой тканей соответственно равна:  $1,05 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> и  $1,05 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, а скорости ультразвука в них : 1,52 км/с и 3,66 км/с.

2.8 В целях снижения уровня интенсивности звука используют ушные протекторы, снижающие уровень интенсивности шума на 20 дБ. Найти интенсивность шума в помещении, если через барабанную перепонку человека, использующего протекторы в течении 15 мин прошла энергия 0,5 мкДж, а ее площадь составляет 68 мм<sup>2</sup>.

2.9. При использовании ультразвука для лечения воспаления сустава он способен проникать вглубь до костной ткани, проникая через кожный покров толщиной 0,8 мм и мышцу ткань толщиной 4,5 мм. Определить во сколько раз ослабевает интенсивность ультразвука , когда он достигает сустава, по сравнению с интенсивностью на поверхности кожного покрова? Поглощение ультразвука в коже и мышце соответственно равны:  $0,38$  см<sup>-1</sup> и  $0,16$  см<sup>-1</sup> при частоте 1 МГц

2.10. По санитарно-эпидемиологическим нормам, в помещении с уровнем интенсивности шума более 100 дБ человек не должен находиться более 0,5 час. Найти энергию, проходящую за это время через его барабанную перепонку человека с площадью 60 мм<sup>2</sup>.

### III. ГИДРОДИНАМИКА И ГЕМОДИНАМИКА

#### Законы и формулы

Физическая величина или закон	Формула
Гидростатическое давление	$p = \rho gh$
Давление	$p = \frac{F}{S}$
Давление жидкости на глубине $h$	$p = p_0 + \rho g h$
Закон Архимеда	$F_A = \rho g V$
Объемный расход жидкости $Q$ в потоке. $S$ – площадь сечения потока, $v$ – скорость жидкости	$Q = S \cdot v$
Формула Торричелли	$v = \sqrt{2gh}$
Сила внутреннего трения	$F = \eta \frac{\Delta v}{\Delta x} S$
Закон Пуазейля ( $V$ -объем жидкости)	$V = \frac{\pi r^4 t \Delta p}{8l\eta}$
Уравнение неразрывности потока	$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$
Уравнение Бернулли ( $\rho$ – плотность жидкости)	$p_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_1 =$ $p_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_2$
Формула Стокса	$F_c = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$
Работа перемещения объема жидкости $V$ со скоростью $v$ при разности давлений $\Delta p$	$A = \Delta p \cdot V + \frac{\rho \cdot V \cdot v^2}{2}$
Объемный расход вязкой жидкости в трубке длиной $L$ и радиусом $R$	$Q = \frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot \eta} \cdot \frac{\Delta p}{L}$
Число Рейнольдса	$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\eta}$

#### Вопросы для закрепления материала

- 1) Рассчитайте давление водного столба жидкости, действующего на глубине 15 м на электрического ската.
- 2) Каково понятие идеальной жидкости, каковы ее основные физические характеристики. Можно ли кровь рассматривать в качестве идеальной жидкости.

- 3) Каким законом выражается закон сохранения энергии для текущей вязкой жидкости.
- 4) Сформулируйте закон Архимеда. Чему равно гидростатическое давление.
- 5) Получите и проанализируйте уравнения неразрывности для потока жидкости.
- 6) Напишите уравнение Бернулли для стационарного течения идеальной несжимаемой жидкости, объясните его физический смысл.
- 7) Поясните понятие ньютоновской жидкости, относится ли к данной разновидности жидкостей кровь.
- 8) Какие приборы, действие которых основано на законе Бернулли, применяются в ветеринарии.
- 9) Сформулируйте закон Ньютона для вязкой жидкости. Дайте определение динамического коэффициента вязкости.
- 10) Объясните принцип работы системы кровообращения, какие механизмы при этом задействованы.
- 11) Каковы основные параметры закона Стокса, как с его помощью можно вычислить коэффициент внутреннего трения.
- 12) С помощью какой основной методики можно определить скорость оседания эритроцитов.
- 13) Как с физической точки зрения можно объяснить тот факт, что скорость жидкости в тонких капиллярах гораздо имеет гораздо меньшее значение, чем в артериях.
- 14) Расскажите в чем состоит сущность методики измерения артериального давления.
- 15) Получите формулу для вычисления работы и мощности сердца на основе уравнения Бернулли.

### **Образцы решения задач раздела III.**

#### **Задача № 1**

Рассчитать время протекания крови через капилляр прибора для определения динамической и кинематической вязкости, если вода проходит через него в течении 5 с. Считать объем воды и крови равными между собой. Коэффициенты вязкости воды  $1,0 \cdot 10^{-3}$  Па·с., ее плотность  $1,0 \cdot 10^3$ . Коэффициенты вязкости крови  $4,0 \cdot 10^{-3}$  Па·с, ее плотность  $1,06 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Решение: Используем закон Гагена-Пуазейля для расчета объемного расхода жидкости для условий ламинарного течения :

$$Q = \frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot \eta} \cdot \frac{\Delta p}{L}$$

где  $Q = \frac{V}{t}$  – объемный расход жидкости;  $R$  – радиус трубы;  $\Delta p$  – градиент давления;  $L$  – длина трубы;  $\eta$  – динамический коэффициент вязкости.

Отсюда объем жидкости, протекающий через сечения трубы за время  $t$ , (т.к.  $\Delta p = \rho \cdot g \cdot h$ )

$$V = \frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot \eta} \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot h}{L} \cdot t$$

При протекании разнородных жидкостей через одинаковую трубку в течении одинакового времени время их количество одинаково Так как при этом  $V = V_{\text{э}}$  (где  $V_{\text{э}}$  - объем эталонной жидкости) то:

$$\frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot \eta} \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot h}{L} \cdot t = \frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot \eta_{\text{э}}} \cdot \frac{\rho_{\text{э}} \cdot g \cdot h}{L} \cdot t_{\text{э}}$$

После упрощения выражения:

$$\frac{\rho}{\eta} \cdot t = \frac{\rho_{\text{э}}}{\eta_{\text{э}}} \cdot t_{\text{э}}$$

Найдем искомое время :

$$t = \frac{\rho_{\text{э}}}{\eta_{\text{э}}} \cdot t_{\text{э}} \cdot \frac{\eta}{\rho}$$

Подставив коэффициенты вязкости и плотность воды и крови , согласно условию задачи и произведя расчеты получим:

$$t = \frac{1,0 \cdot 10^{-3}}{1,0 \cdot 10^3} \cdot 5 \cdot \frac{4,0 \cdot 10^{-3}}{1,06 \cdot 10^3} = \frac{800}{1,06} = 6,3 \text{ (мин)}$$

Ответ: кровь будет протекать через капилляр прибора в течении  $t = 6,3$  (мин).

## Задача № 2

Для расчета коэффициента динамической вязкости (внутреннего трения) широко применяется метод Стокса, основанный на измерении времени падения шарика в вязкой жидкости. Определить динамическую вязкость масляной жидкости (касторки) , если опущенный в нее стальной шарик диаметром 1 мм, двигаясь равномерно, прошел расстояние в 10 см за 28,4с. Плотность масла равна  $960 \text{ кг/м}^3$ , а плотность шарика  $7860 \text{ кг/м}^3$ .

**Дано:**  $D=1 \text{ мм}=10^{-3} \text{ м}$ ;  $\rho_{\text{ст}}=7,86 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  **Решение:** На шарик, падающий в масле, действует несколько сил.

$\rho_{\text{м}}=0,96 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ;  $t=28,4 \text{ с}$ ;  $S=0,1 \text{ м}$   $\eta=?$  1) сила тяжести, направленная вниз

$$F_T = m \cdot g = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot g$$

2) выталкивающая (сила Архимеда), направленная вверх:

$$F_A = \rho_{\text{м}} \cdot V \cdot g = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \cdot \rho_{\text{м}} \cdot g$$

3) сила трения (закон Стокса, направленная вверх)

$$F = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R \cdot v$$

Шарик движется равномерно, поэтому сумма всех действующих на него сил, равна:  $mg - F_A - F = 0$ . Тогда

$$\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot g - \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \cdot \rho_{\text{м}} \cdot g - 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R \cdot v = 0$$

Упростим выражение:

$$\eta = \frac{2 \cdot g \cdot R^2 \cdot (\rho_{\text{ст}} - \rho_{\text{м}})}{9 \cdot v}$$

Так как скорость шарика:

$$v = \frac{S}{t}, \quad \eta = \frac{2 \cdot g \cdot R^2 \cdot (\rho_{\text{ст}} - \rho_{\text{м}}) \cdot t}{9 \cdot S}$$

С учетом проверки размерности в формуле:

$$[\eta] = \frac{\text{м/с}^2 \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг/м}^3}{\text{м}} \cdot \text{с} = \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}} = \text{Па} \cdot \text{с}$$

Делаем вывод о совпадении размерности единицей измерения коэффициента внутреннего трения и соответствия системе СИ. Сделаем расчет:

$$\eta = \frac{2 \cdot 9,8 \cdot (0,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (7,86 - 0,96)}{9 \cdot 0,1} \cdot 28,4 = 1,07 \text{ (Па} \cdot \text{с)}$$

Ответ: коэффициент внутреннего трения (вязкости) масла  $\eta = 1,06 \text{ (Па} \cdot \text{с)}$

### Задача № 3

В оросительной установке (аэраторе), применяемой для дождевания растений, вода протекает сначала по трубке диаметром 40 мм, а затем диаметр трубки сужается до 24 мм. Статистическое давление в широкой части трубки 100 кПа, а в более узкой 50 кПа. Рассчитать скорость течения воды в более узкой части трубки аэратора.

**Дано:**  $D_1=2R_1=40 \text{ мм}=0,04 \text{ м}$ ;  $\rho=10^3$  **Решение:** Согласно уравнения



кг/м<sup>3</sup> Бернулли движения жидкости в трубе аэратора с изменяющимся сечением:  
 $D_2=2R_2=24 \text{ мм}=0,024 \text{ м}; p_1 = 100 \cdot 10^3 \text{ Па}$   
 $p_2 = 50 \cdot 10^3 \text{ Па}$

$$v_2=? \quad p_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2}$$

Согласно уравнению неразрывности :  $S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$ , тогда неизвестную скорость  $v_1$  можно найти как:

$$v_1 = v_2 \cdot \frac{S_2}{S_1} = v_2 \cdot \frac{\pi \cdot R_2^2}{\pi \cdot R_1^2} = v_2 \cdot \left( \frac{R_2}{R_1} \right)^2, \text{ где } S_1 \text{ и } S_2 - \text{сечения трубки.}$$

Подставим скорость  $v_1$  в уравнение Бернулли, получим:

$$p_1 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} \cdot \left( \frac{R_2}{R_1} \right)^4 = p_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2}$$

$$\text{Тогда: } p_1 - p_2 = \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{R_2}{R_1} \right)^4 \right]$$

$$\text{Отсюда, } v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_1 - p_2)}{\rho \cdot \left[ 1 - \left( \frac{R_2}{R_1} \right)^4 \right]}}$$

Проведем проверку размерности :

$$[v] = \sqrt{\frac{\text{Па}}{\text{кг} \cdot \text{м}^3}} = \sqrt{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}} = \text{м/с}$$

Убеждаемся в совпадении размерности правой части выражения с единицей измерения скорости.

Сделаем расчет с учетом данных условия задачи:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot (100 - 50) \cdot 10^3}{10^3 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{0,012}{0,02} \right)^4 \right]}} = \sqrt{\frac{100}{[1 - 0,6^4]}} = 10,7 \text{ (м/с)}$$

Ответ: вода в узкой части трубы движется со скоростью  $v_2 = 10,7 \text{ (м/с)}$ .

### Задачи для самостоятельного решения

3.1. В шланге машины для перевозки молока, поддерживается разность давлений  $10^4 \text{ Па}$ . Рассчитать работу насоса, перекачивающего 2000 л молока через шланг при его плотности  $1029 \text{ кг/м}^3$  со скоростью 7 км/ч.

3.2. Молоко плотностью  $1030 \text{ кг/м}^3$  поступает потребителю через широкую часть горизонтальной трубы молокопровода под давлением 2,2 атм. со

скоростью 7 км/ч. Найти каково избыточное давление в узкой части молокопровода при скорости молока в трубе 18 км/ч.

3.3. Для инъекций скота в ветеринарии применяется шприц с диаметром поршня 2 см и диаметр иглы 1 мм. Рассчитать какое давление необходимо приложить к поршню, чтобы инъекция длилась 5 с. при длине хода поршня 7 см. Считать плотность лекарства равной  $105 \text{ кг/м}^3$ .

3.4. На молокоферме молоко течет по молокопроводу, имея скорость 12 км/час по трубе с внутренним диаметром бы 40 мм. Найти кинетическую энергию молока, протекающего по молокопроводу длиной 10 м и массу молока проходящего через него за 5 минут. Плотность молока считать равной  $1030 \text{ кг/м}^3$ .

3.5. Средняя скорость оседания эритроцитов (СОЭ) для здорового крупного рогатого скота составляет 8 мм/ч. При заболевании организма животного эритроциты превращаются в комочки с диаметром на 30% превышающем диаметр одного эритроцита. При этом вязкость плазмы станет меньше на 15%. Найти величину скорость оседания эритроцитов в данном случае.

3.6. Нормальная скорость оседания эритроцитов в плазме вязкостью 8,3 мПа·с для КРС при добавлении физраствора равна 0,7 мм/ч. Найти диаметр кровяных телец, принимая их форму за сферическую, с учетом возможности описать их движение формулой Стокса. Считать плотность эритроцитов равной  $1245 \text{ кг/м}^3$ , а для физраствора  $1035 \text{ кг/м}^3$ .

3.7. Примерный диаметр шариков жира в молоке 3,3 мкм. Рассчитать скорость, с которой всплывают шарики в процессе сепарации сливок при плотности жира  $900 \text{ кг/м}^3$ , обрата  $1025 \text{ кг/м}^3$ . Коэффициент вязкости обрата принять равным 1,15 мПа·с.

3.8. Найти максимальный объем крови, который можно пропустить через сосуд с внутренним диаметром 1,8 мм для обеспечения его ламинарного течения при вязкости крови 5 мПа·с. и ее плотности  $1050 \text{ кг/м}^3$ . Критическое значение числа Рейнольдса считать равным 2300..

3.9. Максимальная скорость кровяного потока в аорте животного диаметром 3,1 см составляет 55 см/с. Определить каким при этих условиях будет режим течения потока крови (ламинарный или турбулентный). Число Рейнольдса равно 2300, коэффициент вязкости крови 5 мПа·с, плотность  $1050 \text{ кг/м}^3$ .

3.10. Найти разность давлений, создаваемую на участке артерии животного, имеющей внутренний диаметр 3,5 мм, длину 12 см при объемном потоке крови через нее  $2,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ . Коэффициент вязкости крови принять равной 5 мПа·с.

#### IV. УПРУГИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ ТЕЛ

##### Законы и формулы

Физическая величина или закон	Формула
Относительная деформация тела $\varepsilon$ длиной $L$ и абсолютной деформацией $\Delta L$	$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$
Закон Гука	$F = -kx$
Коэффициент жесткости (упругости)	$k = \frac{ES}{L}$
Давление $p$ ( $F$ – деформирующая сила)	$p = \frac{F}{S};$ $p = E\varepsilon$
Закон Гука ( $E$ – модуль упругости или модуль Юнга)	$\varepsilon = \frac{1}{E} \cdot p; \frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{S}$
Объемная плотность энергии $w$ для упругой деформации	$w = \frac{\varepsilon^2 \cdot E}{2}$
Коэффициент поверхностного натяжения $\sigma$ ( $F_{\text{п}}$ – сила поверхностного натяжения, $L$ – длина контура)	$\sigma = \frac{F_{\text{п}}}{L}$
Высота $h$ поднятия жидкости в капиллярной трубке (формула Жювена). $\theta$ – угол смачивания, $\rho$ – плотность жидкости	$h = \frac{2\sigma}{g \cdot r \cdot \rho} \cdot \cos \theta$
Давление внутри сферического пузырька в жидкости (формула Лапласа)	$p_{\text{п}} = \frac{2\sigma}{r}$

##### Вопросы для закрепления материала

- 1) Каковы основные характерные особенности у твердых, жидких и газообразных тел.
- 2) Какие виды деформации вам известны, приведите примеры.
- 3) Какие биологические ткани имеют характерные свойства полимеров.
- 4) Какие виды деформации могут иметь место в живом биологическом организме.
- 5) В чем состоит основное отличие упругих и пластических деформаций.

- 6) Дайте определение закон Гука. Когда он справедлив и справедлив ли он при больших деформациях.
- 7) Получите формулу для объемной плотности энергии (для упруго деформированного тела).
- 8) Что такое модуля Юнга. Каковы единицы его измерения.
- 9) Как изменяется модуль Юнга для мышечной и костной ткани при изменении величины и направления деформации.
- 10) Расскажите в чем заключается суть явления поверхностного натяжения в жидкостях.
- 11) Дайте определение коэффициент поверхностного натяжения, какова его размерность.
- 12) Приведите вывод формулы Жюрена.
- 13) Какова роль капиллярных явлений в агрономии и биофизике живых биологических организмов.

### Образцы решения задач раздела IV

#### Задача № 1

Сыворотка крови с плотностью  $1026 \text{ кг/м}^3$  и коэффициентом поверхностного натяжения  $6 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м}$  помещена в пробирку. На расстоянии 20 см от поверхности выворотки появился пузырек воздуха диаметром 10 мкм. Считая атмосферное давление равным 760 мм рт. Столба, рассчитать давление воздуха внутри пузырька.

**Дано:**  $\rho = 1,026 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ;  $d = 2r = 20 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ ;  
 $h = 20 \text{ см} = 0,20 \text{ м}$ ;  $p_0 = 760 \text{ мм рт. ст.} =$   
 $= 760 \cdot 133 \text{ Па}$

**Решение:** Внутри пузырька рассчитаем давление воздуха как сумму трех давлений: атмосферного давления  $p_0$ , давления собственного веса жидкости на глубине  $h$ , равное:

---


$$p = ?$$

$p_1 = \rho \cdot g \cdot h$  и давления сферической поверхности жидкости( ф. Лапласа) :

$$p_2 = \frac{2 \cdot \sigma}{r}$$

где  $r$  – радиус сферы.

Тогда давление в пузырьке:

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h + \frac{2 \cdot \sigma}{r}$$

Сделаем расчет с учетом исходных данных:

$$p = 760 \cdot 133 + 1,026 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 0,20 + \frac{2 \cdot 6 \cdot 10^{-2}}{10 \cdot 10^{-6}} = 10,56 \cdot 10^4 \text{ (Н/М}^2\text{)} = 10,56 \cdot 10^4 \text{ (Па)} = \\ = \frac{10,56 \cdot 10^4}{133} = 794 \text{ (ммрт.ст.)}$$

Ответ: давление внутри пузырька с воздухом равно  $p = 105,6$  кПа или 794 мм рт.ст.

### Задача № 2

Рассчитать радиус капилляра, в котором находится спир. Плотность спирта  $0,8 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup> коэффициент поверхностного натяжения  $22 \cdot 10^{-3}$  Н/м .

**Дано:**  $h = 7$  см =  $7 \cdot 10^{-2}$  м;  $\sigma = 22 \cdot 10^{-3}$  Н/м;  
 $\rho = 0,8 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>

**Решение:** согласно уравнения для высоты поднятия смачивающейся жидкости в капилляре (ф. Жюрена):

$$R = ?$$

$$h = \frac{2 \cdot \sigma}{g \cdot R \cdot \rho} \cdot \cos \theta$$

При полном смачивании стенок капилляра краевой угол  $\theta = 0$  и  $\cos \theta = 1$  . Тогда его радиус:

$$R = \frac{2 \cdot \sigma}{g \cdot h \cdot \rho}$$

Проверим размерность уравнения:

$$[R] = \frac{\text{Н/м}}{(\text{м/с}^2) \cdot (\text{кг/м}^3) \cdot \text{м}} = \frac{\text{Н}}{(\text{м/с}^2) \cdot (\text{кг/м}^3)} = \frac{\text{Н} \cdot \text{с}^2}{\text{кг}} = \frac{(\text{кг} \cdot \text{м/с}^2) \cdot \text{с}^2}{\text{кг}} = \text{м}$$

Сделаем вычисления:

$$R = \frac{2 \cdot 22 \cdot 10^{-3}}{9,81 \cdot 7 \cdot 10^{-2} \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}} = 8 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 80 \text{ (мкм)}$$

Ответ: радиус капилляра равен  $R = 80$  (мкм).

### Задача № 3

Кость бедра млекопитающего длиной 50 см и сечением 5 см<sup>2</sup> сжимается при деформации. Найти работу при сжатии кости на 0,3 мм при ее модуле упругости кости равном 21 ГПа?

**Дано:**  $E = 21$  ГПа =  $2,1 \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>;

**Решение:** Работа при деформации

$$L = 50 \text{ см} = 0,5 \text{ м}; \Delta L = 0,3 \text{ мм} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м};$$

$$S = 5 \text{ см}^2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

кости пойдет на увеличении ее потенциальной энергии и зависит от напряжения упруго сжатого тела  $p$ , модуля упругости  $E$  и объема тела  $V$ :

---


$$A = ?$$

$$A = \frac{p^2}{2E} \cdot V$$

Работа сжатия кости:

$$A = \frac{p^2 \cdot S \cdot L}{2 \cdot E}$$

По закону Гука найдем значение напряжения:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{E} \cdot p$$

Тогда,

$$p = E \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

Вставим это уравнение в уравнение для работы:

$$A = \frac{(\Delta L)^2 \cdot S \cdot E}{2 \cdot L}$$

Сделаем проверку размерности и подставим численные значения параметров.

$$[A] = \frac{\text{Н/м}^2 \cdot \text{м}^2 \cdot \text{м}^2}{\text{м}} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}$$

$$A = \frac{(3 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{10}}{2 \cdot 0,5} = 0,9 \text{ Дж}$$

Ответ: работа по сжатию кости равна  $A = 0,9$  (Дж).

### Задачи для самостоятельного решения

4.1. У деформированной мышцы величина объемной плотности энергии равна  $1,7 \text{ кДж/м}^3$ , а ее относительное удлинение составило 6%. Найти значение упругого напряжения и модуля упругости мышечной ткани для данных условий?

4.2. Рассчитать значение упругой деформации мышцы, которое происходит при воздействии на нее груза массой 20 г. Площадь сечения мышцы  $3,1 \text{ мм}^2$ .

Найти работу, необходимую для растяжения мышцы под действием груза, если ее длина увеличилась от 20 мм до 25 мм? Модуль упругости мышцы в случае такой упругой деформации равен 0,75 МПа.

4.3. Сухожилие у животного имеет длину 80 мм и площадь поперечного сечения 84 мм<sup>2</sup>. При статической нагрузке 10,5 Н длина сухожилия возрастает на 14 мм. Рассчитать модуль упругости сухожилия и найти его объемную плотность энергии.

4.4. Длина бедренной кости лежащего животного равна 47 см, а площадь поперечного сечения составляет 104 мм<sup>2</sup>. Найти на сколько уменьшится длины кости животного в стоячем положении при его массе равной 38 кг. Модуль Юнга считать равным  $4,65 \cdot 10^{10}$  Па.

4.5. Стандартная длина портняжной мышцы ящерицы составила 26 мм. Если растянуть ее до 30 мм, модуль ее упругости будет равен 200 кПа, а при деформации до 35 мм увеличится до 1,35 МПа. Найти во сколько раз при этом возрастает объемная плотность энергии растяжения мышцы.

4.6. Рассчитать толщину стенки для лучезапястной кости, если был превышен предел упругости и произошел ее перелом при нагрузке 1150 Н. Внешний диаметр кости в месте разрыва 19 мм, а предел упругости на разрыв 17,8 МПа.

4.7. Масса 120 капель лекарственного средства, вытекающего из мелкого капилляра, равна 3,24 г. Найти коэффициент поверхностного натяжения лекарственного препарата, если при отрыве диаметр шейки у капли капли в момент отрыва соответствует 1,2 мм.

4.8. Для измерения коэффициента поверхностного натяжения жидкости трубку с небольшим диаметром, из которой вытекает жидкость по каплям. Рассчитать коэффициент поверхностного натяжения мочи, если при вытекании равного объема воды и мочи получается 140 и 156 капель соответственно. Плотности воды 1000 кг/м<sup>3</sup>, мочи 1020 кг/м<sup>3</sup>. Коэффициент поверхностного натяжения воды считать равным 73,0 мН/м.

4.9. Больному прописано употреблять по 30 капель лекарства. Сколько капель лекарственного препарата надо будет принять больному, если его температура уменьшилась, а коэффициент поверхностного натяжения увеличивается от 70,5 до 75,8 мН/м? Вариации плотности жидкости считать несущественными.

4.10. Определить коэффициент поверхностного натяжения крови плотностью 1050 кг/м<sup>3</sup> в капиллярной трубке при взятии анализа, если диаметр капиллярной трубки 0,32 мм, а кровь поднялась в ней на высоту 54 мм. Считать смачивание стенки капилляра полным. Плотность крови 1050 кг/м<sup>3</sup>.

## V. ЯВЛЕНИЕ ПЕРЕНОСА

### Законы и формулы

Физическая величина или закон	Формула
Уравнение диффузии (закон Фика)	$m = -D \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \Delta S \Delta t$
Коэффициент диффузии	$D = \frac{1}{3} \bar{v} \lambda$
Уравнение теплопроводности (закон Фурье)	$Q = -\chi \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta S \Delta t$
Коэффициент теплопроводности	$\chi = \frac{1}{3} \rho \bar{v} \lambda c_v$
Сила внутреннего трения (формула Ньютона)	$F = \eta \frac{\Delta v}{\Delta x} \Delta S$
Коэффициент вязкости	$\eta = \frac{1}{3} \rho \bar{v} \lambda$
Закон Вант Гоффа для осмоса ( $\pi$ – осмотическое давление, $i$ – изотонический коэффициент, $R$ – универсальная газовая постоянная).	$\pi \cdot V = i \cdot \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T$
Изотонический коэффициент, где $\alpha$ – степень диссоциации	$i = 1 + \alpha$
Интенсивность потока вещества $J_t$ при диффузии или теплопроводности	$J_d = \frac{\Delta m}{S \cdot \Delta t}; J_t = \frac{\Delta Q}{S \cdot \Delta t}$
Интенсивность осмотического потока	$J_{oc} = \frac{\Delta m}{S \cdot \Delta t}$
Зависимость осмотического потока от разности давлений по разные стороны от мембраны ( $A = \text{const}$ )	$J_{oc} = A \cdot (\pi_1 - \pi_2)$

### Вопросы для закрепления материала

- 1) Дайте определения основных процессов переноса: диффузии, теплопроводности и внутреннего трения.
- 2) Приведите примеры процесса диффузии в живых организмах.



- 3) При помощи какого явления происходит газообмен в листьях деревьев и растений..
- 4) Каков физический смысл коэффициента диффузии , и как происходит процесс диффузии в клеточных мембранах.
- 5) Поясните характер процесса теплопроводности, какая физическая характеристика при этом переносится.
- 6) Как на Севере животные уменьшают свою теплопроводность.
- 7) Запишите формулу для явления внутреннего трения, дайте определение коэффициента внутреннего трения (вязкости).
- 8) Объясните как происходит осмос, каковы его отличительные особенности Запишите закон Вант Гоффа и уравнение для осмотического давления.
- 9) Какую роль играет осмотический эффект в жизнедеятельности биологических организмов, растений, бактерий.
- 10) Почему биологические организмы хотят пить после приема соленой пищи.
- 11) К чему приводит падение осмотического давления в клетках, запишите формулу для расчета осмотического давления.
- 12) Какова роль осмоса в биологических процессах . Какие растворы называют изотоническими, гипертоническими, гипотоническими?

### Образцы решения задач раздела V

#### Задача №1

Кислород массой 4 кг заключен в баллоне при нормальных условиях. Определить количество кислорода в баллоне, его концентрацию, число молекул составляющих газ, массу одной молекулы и расстояние между молекулами. Чему равна внутренняя энергия кислорода, заключенного в баллоне?

**Дано:**  $m = 4$  кг;  $T = 0$  °C = 273 К;  $i = 5$ ;  
 $p = 91,01 \cdot 10^5$  Па;  $M = 32 \cdot 10^{-3}$  кг/моль;  
 $N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>;  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;  
 $R = 8,31$  Дж/(моль·К).

**Решение:** Приведем уравнение состояние газа устанавливающее связь между его давлением  $p$ , концентрацией  $n$  и температурой

$$v=? \quad n=? \quad N=? \quad m_0=? \quad d_0=? \quad U=? \quad T.$$

$$p = nkT,$$

и определим концентрацию молекул

$$n = \frac{p}{kT},$$

где  $k$  - постоянная Больцмана.

Зная массу газа  $m$  и молярную массу  $M$  вычислим количество газа в баллоне,

$$\nu = \frac{m}{M}.$$

Так как моли любых веществ имеют одно и тоже число молекул, равное числу Авогадро-  $N_A$ , то число молекул равно:

$$N = \nu N_A = \frac{m N_A}{M}$$

и масса одной молекулы

$$m_0 = \frac{M}{N_A}.$$

Считаем, что молекулы газа в среднем находятся друг от друга на одинаковом расстоянии  $d_0$ , тогда считаем, что каждая молекула занимает кубический объем  $V_0 = d_0^3$ , а все  $N$  молекул газа займут объем баллона  $V = V_0 N$ . Записав уравнение Менделеева-Клапейрона

$$pV = \nu RT,$$

с учётом соотношения между молярной газовой постоянной и постоянными Больцмана и Авогадро  $R = k N_A$ , соотношение между объёмами преобразуем к виду:

$$p d_0^3 \nu N_A = \nu N_A k T.$$

Откуда

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{kT}{p}}.$$

Внутренняя энергия кислорода, как идеального газа, определяется кинетической энергией всех его молекул. Средняя кинетическая энергия :

$$\bar{E} = \frac{i}{2} kT,$$

где  $i$  – число степеней свободы, которое для кислорода равно  $i = 5$ . Внутренняя энергия всей массы газа может быть найдена как произведение кинетической энергии одной молекулы  $\bar{E}$  на число  $N$  всех молекул:

$$U = \bar{E} N = \frac{i}{2} kT \frac{m N_A}{M},$$

или после преобразований

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT.$$

Подставляя в формулы числовые значения величин и проводя вычисления, получаем:

$$\nu = \frac{4}{32 \cdot 10^{-3}} \text{ моль} = 125 \text{ моль};$$

$$n = \frac{1,01 \cdot 10^5}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 273} \text{ м}^{-3} = 2,68 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3};$$

$$m_0 = \frac{32 \cdot 10^{-3}}{6,023 \cdot 10^{23}} \text{ кг} = 5,31 \cdot 10^{-26} \text{ кг};$$

$$U = \frac{5}{2} \cdot \frac{2}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot 8,31 \cdot 273 \text{ Дж} = 3,54 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$$

### Задача № 2

Осмотическое давление плазмы крови равно 0,75 МПа. Создаваемое белками плазмы онкотическое давление в 200 раз меньше осмотического давления, что обеспечивается присутствующими в ней солями. Степень диссоциации солей принять равной 0,75. Температуру крови принять равной 37 °С. Рассчитать концентрацию белка в плазме крови.

**Дано:**  $\pi_{\text{ос}} = 0,75 \text{ МПа} = 0,75 \cdot 10^6 \text{ Па};$

$T = 37 + 273 = 310 \text{ К}; \alpha = 0,75 \quad i = 1 + 0,75 = 1,75;$

$\pi_{\text{онк}} = 1/200 \pi_{\text{ос}}$

**Решение:** Осмотическое давление найдем по формуле Вант Гоффа:

$$[C]_6 = ?$$

$$\pi \cdot V = i \cdot \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T$$

Тогда  $\pi = i \cdot \frac{1}{\mu} \cdot \frac{m}{V} \cdot R \cdot T$ . Значение  $[C]_{\text{ос}} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{m}{V}$  - это концентрация

солей, равная осмотическому давлению в молях на  $1 \text{ м}^3$ . Поэтому  $\pi_{\text{ос}} = i \cdot [C]_{\text{ос}} \cdot R \cdot T$ . Онкотическое давление  $\pi_{\text{онк}} = i \cdot [C]_{\text{онк}} \cdot R \cdot T$  и оно создается белками плазмы, поэтому  $[C]_{\text{онк}} = [C]_6$ . Тогда:

$$[C]_6 = \frac{\pi_{\text{онк}}}{i \cdot R \cdot T}$$

Проведем проверку размерности:

$$[C]_6 = \frac{\text{Па}}{\left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}\right) \cdot \text{К}} = \frac{\text{Па} \cdot \text{моль}}{\text{Дж}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{моль}}{\text{м}^2 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}} = \text{моль}/\text{м}^3$$

Вставим значения параметров из условия задачи.

$$[C]_6 = \frac{0,75 \cdot 10^6}{200 \cdot 1,75 \cdot 8,31 \cdot 310} = 0,832 \left( \frac{\text{моль}}{\text{м}^3} \right) = 0,832 \text{ (ммоль/л)}$$

Ответ: концентрация белков в плазме крови  $[C]_6 = 0,832 \text{ (ммоль/л)}$ .

### Задача № 3

Рассчитать коэффициент теплопроводности тазовой кости КРС, при условии прохождения 70 Дж теплоты в час через кусочек данной кости размером 4×4 см и толщиной 6 мм. Разность температуры между внешней и внутренней поверхностями кости в теле КРС равна 1°C.

**Дано:**  $Q = 70$  Дж;  $\Delta x = 6$  мм = 0,006 м; **Решение:** Запишем закон  $\Delta T = 1$  ч = 3600 с;  $S = 16$  см<sup>2</sup> =  $16 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup> теплопроводности Фурье:

$$\chi = ?$$

$$Q = \chi \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \cdot S \cdot t$$

Выразим работу:

$$\chi = \frac{\Delta x \cdot Q}{\Delta T \cdot S \cdot t} \left( \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}}{\text{м}^2 \cdot \text{К} \cdot \text{с}} \right)$$

Проведем расчет, подставив данные из условия задачи:

$$\chi = \frac{6 \cdot 10^{-3} \cdot 70}{3600 \cdot 16 \cdot 10^{-4} \cdot 1} = 0,073 \left( \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right)$$

**Ответ:** коэффициент теплопроводности тазовой кости КРС равен  $\chi = 0,073$  (Вт/(м·К))

### Задачи для самостоятельного решения

5.1. Величина осмотического давления мочи для КРС находится в интервале от 1,33 до 2,73 МПа. Определить молярную концентрацию солей для этих давлений, при температуре тела КРС в среднем равной 37 °С и степени диссоциации солей 82 %.

5.2. Через сухожилие животного площадью 2 см<sup>2</sup> толщиной 4 мм за 2 часа проходит 14,6 Дж теплоты. Найти температурную разность, имеющую место между внутренней и внешней частями сухожилия при его теплопроводности сухожилия  $4,5 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К).

5.3 Концентрация сахара в крови в районе 0,25 % является предельно допустимой для живого организма. Рассчитать какому осмотическому давлению сахара это соответствует при температуре тела 37 °С и отсутствии диссоциацию сахарных молекул.

5.4. Рассчитать количество углекислого газа, диффундирующего из почвы в атмосферу за 1 час с поверхности грядки шириной 70 см и длиной 5 м,

учитывая, что видимая поверхность грядки в 1,3 раза меньше поверхности почвы при ее разрыхлении? Коэффициент диффузии газов равен  $0,04 \text{ см}^2/\text{с}$ , а градиент плотности  $4,3 \cdot 10^{-5} \text{ гр}/\text{см}^4$ .

5.5. За 24 часа с  $100 \text{ м}^2$  поверхности дерново-подзолистой почвы в результате процесса диффузии в атмосферу выделено 15,5 кг углекислого газа. Рассчитать коэффициент диффузии углекислого газа при размере его градиенте плотности в почве  $1,46 \text{ кг}/\text{м}^4$ .

5.6. Осмотическое давление крови равно  $0,765 \text{ МПа}$ . Водный раствор поваренной соли при температуре  $37^\circ\text{C}$ . должен иметь такое же давление. Рассчитать массу поваренной соли необходимую для приготовления 2 л физиологического раствора при степени диссоциации молекул соли 75 %.

5.7. В клетках в солончаковых растений осмотическое давление достигает  $10 \text{ МПа}$ . Определить молярную концентрацию клеточного сока, если температура окружающего воздуха  $28^\circ\text{C}$ . Считать молекулы в растворе недиссоциированными.

5.8. Определить за какое время через мышцу животного площадью  $1,4 \text{ дм}^2$  и толщиной 12 мм пройдет 1,8 кДж теплоты, если температура мышцы  $37^\circ\text{C}$ , а температура окружающего воздуха  $20^\circ\text{C}$ ? Коэффициент теплопроводности мышечной ткани  $5,7 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

5.9. Вода проникает из лимфы в кровь в результате разности онкотических давлений. Рассчитать как изменится интенсивность проникновения потока воды, если онкотическое давления крови и лимфы было соответственно 30 мм рт.ст., а лимфы 8 мм рт.ст., а затем оно изменилось стало равно 28 и 10 мм рт.ст..

5.10. Теплота внутренних органов собаки передается поэтапно сначала через мышечную ткань толщиной 3,5 см и жировую ткань толщиной 1,3 см. Температура наружной поверхности жировой ткани  $37,2^\circ\text{C}$ , а на границе раздела мышечной и жировой тканями  $37,6^\circ\text{C}$ . Найти температуру на внутренней поверхности мышцы без учета теплоты внутри мышцы.. Коэффициенты теплопроводности мышцы равен  $5,60 \cdot 10^{-2}$ ; жировой ткани  $2,8 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

## VI. ТЕРМОДИНАМИКА

### Законы и формулы

Физическая величина или закон	Формула
-------------------------------	---------

Количество теплоты для нагревания тела с удельной теплоемкостью $c$ от температуры $T_1$ до температуры $T_2$	$Q = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)$
Теплота парообразования ( $r$ - удельная теплота парообразования)	$Q_{\text{п}} = m \cdot r$
Первое начало термодинамики	$Q = \Delta U + A$
Количество теплоты, сообщенное системе (изохорический процесс)	$Q = \frac{m}{M} c_V \Delta T$
Работа газа (изобарический процесс)	$A = p \Delta V = \frac{m}{M} R \Delta T$
Количество теплоты, сообщенное системе (изобарический процесс)	$Q = \frac{m}{M} c_p \Delta T$
Работа газа (изотермический процесс)	$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ $A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{P_2}{P_1}$
Уравнение адиабатического процесса (Пуассона)	$pV^\gamma = \text{const}, TV^{\gamma-1} = \text{const}$ ( $\Delta Q = 0, A = -\Delta U$ )
Работа газа при адиабатическом процессе	$A = -\frac{m}{M} c_V \Delta T = \frac{m}{M} c_V (T_1 - T_2)$
Постоянная адиабаты	$\gamma = \frac{c_p}{c_V} = \frac{i+2}{i}$
Теплоемкость газа при постоянном объеме и давлении	$c_V = \frac{i}{2} R$ $c_p = c_V + R = \frac{i+2}{2} R$
КПД тепловой машины	$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}; \eta = \frac{A}{Q}$

Работа по переносу вещества при диффузии между поверхностями ( $[C]_1$ и $[C]_2$ концентрации вещества поверхностей)	$A_{\text{д}} = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{[C]_1}{[C]_2}$
Осмотическая работа ( $\pi_1$ и $\pi_2$ - осмотические давления)	$A_{\text{ос}} = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{\pi_1}{\pi_2}$

Изменение энтропии в изотерическом процессе	$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$
Изменение энтропии при равновесном переходе из состояния 1 в состояние 2	$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \int_1^2 \frac{dU + dA}{T}$

### Вопросы для закрепления материала

- 1) Что изучает термодинамика, каковы ее основные методы. Каковы отличительные особенности обратимого и необратимого процесса.
- 2) Дайте определение работы, количества теплоты, внутренней энергии, теплоемкости
- 3 Представьте уравнение для первого начала термодинамики, приведите примеры.
- 4) Приведите формулы для работы газа при изотерическом, изохорическом, изобарическом и адиабатическом процессах.
- 5) Поясните второе начало термодинамики (по Клаузиусу и по Кельвину).
- 6) Дайте определение энтропии. Приведите неравенство Клаузиуса (акон возрастания энтропии).
- 7) Приведите формулировку закона Гесса и примеры его применения в биологических процессах.
- 8) Объясните физический механизм терморегуляции живого организма? Дайте определение термодинамического потока. Какие термодинамические потоки имеют место в организме человека и животного.
- 9) От чего зависит теплопродукция животного и как варьирует удельная теплопродукция при изменении массы животного.
- 10) Что такое равновесное и стационарное состояние термодинамической системы, приведите пример.
- 11) Объясните уравнение Пригожина и его биологический смысл.
- 12) От чего зависит полное изменение энтропии для биологических систем?

### Примеры решения задач

#### Задача № 1

Медицинский эфир находится при температуре кипения. Определить сколько газа испариться, если энтропия при этом возрастает на 100 Дж/кг. Удельная теплота парообразования эфира равна  $3,55 \cdot 10^5$  Дж/кг. Температура кипения эфира  $34,8^\circ\text{C}$ .

**Дано:**  $r = 3,55 \cdot 10^5$  Дж/кг;  $\Delta S = 100$  Дж/кг; **Решение:** Возрастание энтропии  
 $t = 34,8^\circ\text{C}$ ;  $T = 273 + 34,8 = 307,8$  К равно:

$$m = ? \quad \Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

Эфир испаряется при постоянной температуре, тогда  $\Delta Q = m \cdot r$ .  
 Поэтому,

$$m = \frac{T \cdot \Delta S}{r}$$

Подставим числовые значения.

$$m = \frac{307,8 \cdot 100}{3,55 \cdot 10^5} = 0,086 \text{ (кг)}$$

Ответ: испарится 0,086 кг эфира.

### Задача №2

Потенциал действия (нервный импульс) в аксоне кальмара температурой  $10^\circ\text{C}$ , управляющий его частью водоструйной двигательной системы, обуславливается переносом 100 пг натрия из внеклеточной среды в аксоплазму. Полагая, что данный процесс происходит за счет явления диффузии, рассчитать работу сил диффузии. Концентрация ионов натрия во внеклеточной среде 450 ммоль/л, в аксоплазме 50 ммоль/л. Температура тела кальмара  $7^\circ\text{C}$ .

**Дано:**  $m = 100$  пг  $= 10^{-10}$  г;  $\mu = 23$  г/моль; **Решение:** Работу переноса  
 $T = 280$  К;  $[C_1] = 450$  ммоль/л;  $[C_2] = 50$  ммоль/л вещества при диффузии:

$$A = ? \quad A = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{[C]_1}{[C]_2}$$

Вставим исходные данные из условия задачи:

$$A = \frac{10^{-10} \text{ (г)}}{23 \text{ (г/моль)}} \cdot 8,31 \left( \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right) \cdot 280 \text{ (К)} \cdot \ln \frac{450}{50} = 222 \cdot 10^{-10} \text{ (Дж)} = 22,2 \text{ (нДж)}$$

Ответ: работа сил диффузии равна  $A = 22,2$  (нДж).

### Задача №3

1000 г воды при температуре  $20^\circ\text{C}$  нагревается и превращается в пар. Рассчитать изменение энтропии, если процесс происходит при нормальном атмосферном давлении.



**Дано:**  $m = 1000 \text{ г} = 1 \text{ кг}$ ;  $T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293 \text{ К}$ ;  $T_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C} = 373 \text{ К}$ ;  
 $c = 4,18 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $q = 2,25 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}$ .

$\Delta S = ?$ .

Решение. Общее изменение энтропии  $\Delta S$  складывается из ее изменений на разных этапах процесса превращения жидкости в пар:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 .$$

Сначала вода нагревается от начальной температуры до температуры кипения  $T_2$  :

$$\Delta S_1 = \int_1^2 \frac{dQ_1}{T} .$$

Так как  $dQ_1 = cm dT$  , где  $m$  и  $c$  – масса и удельная теплоемкость воды соответственно, то

$$\Delta S_1 = cm \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = cm \ln \frac{T_2}{T_1} .$$

На втором этапе при температуре кипения  $T_2$  происходит превращение воды в пар. Для парообразования воде необходимо передать количество теплоты

$$Q_2 = q m ,$$

где  $q$  - удельная теплота парообразования. Изменение энтропии

$$\Delta S_2 = \frac{Q_2}{T_2} = \frac{q m}{T_2} .$$

Общее изменение энтропии системы

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = m \left( c \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{q}{T_2} \right) .$$

Выполним вычисления:

$$\Delta S = 1 \left( 4,8 \cdot 10^3 \cdot \ln \frac{373}{293} + \frac{2,25 \cdot 10^6}{373} \right) \text{ Дж}/\text{К} = 7,18 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{К} .$$

Ответ: изменение энтропии системы  $\Delta S = 7,18 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{К}$

### Задачи для самостоятельного решения

6.1. Внутри мышечного волокна бесхвостных земноводных концентрация ионов натрия равна 18 мМ/л, а во внеклеточной среде она равна 148 мМ/л. Найти работу сил диффузии, при переносе через клеточные мембраны 12,7 мкг ионов хлора при температуре тела лягушки 17 °С.

6.2. Для лечение воспаления суставов у крупного рогатого скота применяют аппликации из озокерита при температуре  $66^{\circ}\text{C}$  массой 5 кг или горячей глины температурой  $60^{\circ}\text{C}$  и массой 6 кг соответственно. Удельные теплоемкости озокерита и глины соответственно 3,35 и 2,09 кДж/(кг·К). Температура тела КРС  $37,8^{\circ}\text{C}$ . Найти во сколько раз количество теплоты, переданная телу животного через аппликацию озокеритом превышает количество теплоты, переданное при аппликации глиной.

6.3. В процессе диффундирования 4,7 мкг калия из нервных окончаний кальмара при температуре  $7^{\circ}\text{C}$  во внеклеточную жидкость производится работа 1,2 мДж. Провести расчет концентрации ионов калия в нервном окончании, если во внеклеточной жидкости она равна 8 мМ/л..

6.4. В медицинской практике для анестезии используют этиловый эфир с удельной теплоемкостью 2,34 кДж/ (кг·К), удельной теплотой парообразования 355 кДж/кг и температурой кипения  $34,8^{\circ}\text{C}$ . Рассчитать количество теплоты, расходуемой телом при температуре  $36,5^{\circ}\text{C}$  на испарение эфира, если на него поместили 20 г эфира при температуре  $26^{\circ}\text{C}$ .

6.5. В медицинском кабинете температурой  $30^{\circ}\text{C}$  было пролито 2,7 г хлороформа. Рассчитать количество теплоты, потраченное на процесс испарения хлороформа при его начальной температуре  $20^{\circ}\text{C}$ , температуре кипения  $61^{\circ}\text{C}$ , удельной теплоемкости 0,98 кДж/(кг·К), удельной теплоте парообразования 2,57 МДж/кг.

6.6. Определить изменение энтропии, производимое в течении суток коровой массой 380 кг и курицей массой 2,8кг, в расчете на 1 кг тела.

6.7. Определить работу перемещения 30 г воды из лимфотической жидкости человека в кровь с температурой  $36^{\circ}\text{C}$ . Онкотическое давление крови принять равным 28 мм рт. ст., онкотическое давление лимфотической жидкости – 9,65 мм. рт. ст.

6.8. Рассчитать изменение энтропии в процессе нагревания 1500 г воды, имеющей температуру  $27^{\circ}\text{C}$  с последующим её переходом в пар. При решении считать, что процесс протекает при нормальном атмосферном давлении.

6.9. При лечении воспаления лимфотических узлов у млекопитающих на них укладывают аппликацию из теплого парафина при температуре  $60^{\circ}\text{C}$ . Удельная теплоемкость парафина 3,2 кДж/(кг·К). Рассчитать какую следует использовать массу парафина, в случае для проведения процедуры необходимо передать

лимфотическому узлу 100 кДж теплоты. Температуру животного принять равной 37,8 °С.

6.10. Определить количество теплоты, расходуемое животным на парообразование, если в течении 24 часов оно расходует 0,7кг пота? Найти полное количество теплоты, испаряемое животным массой 60 кг за 24 часа, при теплопродукции 1,8 Дж/(кг·с ) и удельной теплоте парообразования пота 2,45 МДж/кг.

## VII. ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ТОК. БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

### Законы и формулы

Физическая величина или закон	Формула
Связь между напряжением (U) и напряженностью (E) однородного электрического поля (d – расстояние)	$E = \frac{U}{d}$
Закон Кулона	$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon r^2}$
Напряженность электрического поля	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$
Напряженность поля точечного заряда	$E = \frac{q}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon r^2}$
Напряженность поля бесконечной равномерно заряженной плоскости	$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0 \varepsilon}$
Потенциал электростатического поля	$\varphi = \frac{W}{q_0}; \varphi = \frac{A_\infty}{q_0}$
Потенциал поля точечного заряда.	$\varphi = \frac{q}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon r}$
Емкость (C) конденсатора, имеющего на обкладках заряд q	$C = \frac{q}{U}$
Емкость плоского конденсатора. S – площадь пластины, d – расстояние между ними, ε – относительная диэлектрическая проницаемость	$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d}$
Емкость при параллельном и последовательном соединении конденсаторов	$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$ $\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$

Энергия (W) электрического поля внутри заряженного конденсатора	$W = \frac{C \cdot U^2}{2}$
Сила тока I	$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$
Плотность тока i	$i = \frac{I}{S}$
Электродвижущая сила	$\varepsilon = \frac{A}{q_0}$
Закон Ома для участка цепи	$I = \frac{U}{R}$
Сопротивление однородного проводника	$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{1}{\gamma} \frac{l}{S}$
Зависимость удельного сопротивления проводника от температуры	$\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$
Сопротивление проводников при параллельном и последовательном соединении	$R = \sum_{i=1}^n R_i$ $\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$
Работа тока	$A = I U t$
Мощность тока N	$N = I \cdot U = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$
Закон Джоуля-Ленца	$Q = I^2 \cdot R \cdot t$
Закон Ома в электролитах при наличии ЭДС поляризации E	$I = \frac{U - E}{R}$
Закон электролиза Фарадея (m – масса выделенного вещества на электроде, z – валентность, A – атомная масса вещества)	$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{z} \cdot I \cdot t$
Сила порогового тока (закон Вейсса)	$I_{\pi} = \frac{a}{t} + b$
Уравнение Доннана (уравнение мембранного равновесия)	$\frac{[K^+]_{\text{H}}}{[K^+]_{\text{B}}} = \frac{[Cl^-]_{\text{B}}}{[Cl^-]_{\text{H}}}$
Величина мембранного потенциала клетки E <sub>м</sub> . [C <sub>1</sub> ] и [C <sub>2</sub> ] – концентрации ионов по разные стороны клеточной мембраны	$E_{\text{м}} = \frac{1}{z \cdot F} \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{[C_1]}{[C_2]}$
Затухание потенциала действия E <sub>д</sub> в аксоне на расстоянии L от места возбуждения	$E = E_{\text{д}} \cdot e^{-\frac{L}{\lambda}}$

Константа затухания потенциала действия  $K$  в аксоне диаметром  $d$ ,  $\rho$  – удельное сопротивление аксоплазмы,  $R$  – поверхностное сопротивление мембраны аксона

$$K = \sqrt{\frac{d \cdot R}{4 \cdot \rho}}$$

### Вопросы для закрепления материала

- 1) Сформулируйте закон Кулона. Дайте определение диэлектрической постоянной и напряженности электрического поля.
- 2) В чем заключается физический смысл теоремы Остроградского-Гаусса для электростатического поля.
- 3) Выведите формулу для напряженности поля равномерно заряженной бесконечной плоскости, двух плоскостей с учетом теоремы Остроградского-Гаусса.
- 4) Что такое электрического диполя и как варьирует напряженность электрического поля при отдалении от диполя.
- 5) В чем различие проводников и диэлектриков. Как ведет себя диэлектрик при помещении в электрическое поле.
- 6) Дайте определение явления поляризации, назовите виды поляризация и соответствующие этим видам типы диэлектриков.
- 7) Дайте определение потенциала и разности потенциалов? Каковы единицы их измерения. Как связаны напряженность и потенциал.
- 8) Дайте определение емкости проводника, сделайте вывод формулы емкости плоского конденсатора. Обладают ли живые клетки емкостью и от каких факторов зависит емкость клетки.
- 9) Обладают ли клетки живой ткани емкостью. Какие факторы влияют на емкость клетки.
- 10) В чем состоит принцип распространения нервного электрического импульса в живом организме. На чем основано действие обезболивающих препаратов.
- 11) Приведите примеры использования электрического поля рыбами.
- 12) Каково действие внешнего электрического поля на живой организм.
- 13) Сформулируйте определения силы и плотности тока, сопротивления и удельного сопротивления проводника, запишите формулы.
- 14) Сформулируйте закон Ома для полной электрической цепи и рассмотрите его частные случаи (для участка цепи, для замкнутой цепи и др.). Что такое ЭДС и в чем она измеряется.

- 15) Сформулируйте закон Джоуля-Ленца. Действие каких электробытовых и медицинских приборов основано на применении этого закона.
- 16) Объясните механизм проводимости в металлах и полупроводниках.
- 17) Какова предельно допустимая сила тока для человека и крупного млекопитающего.
- 18) Приведите примеры применения постоянного электрического тока в медицинской и ветеринарной практике.
- 19) Расскажите об устройстве мембраны клетки, дайте определение электрохимического градиента, мембранной разности потенциала и потенциала действия.
- 20) Каково влияние постоянного электрического тока на живой организм
- 21) Расскажите о применении основных электрических явлений (УВЧ, электрофорез) в медицинской практике.

### Примеры решения задач

#### Задача №1

Через какое время закипит 400 г воды, если через кипятильник сопротивлением 440 Ом течёт ток силой 0,5 А. Начальная температура воды 10 °С, а её удельная теплоемкость  $4,19 \cdot 10^3$  Дж/(кг·К).

**Дано:**  $m = 400 \text{ г} = 0,4 \text{ кг}$ ;  $I = 0,5 \text{ А}$ ;  $R = 440 \text{ Ом}$ ;  $T_1 = 10 \text{ °С} = 283 \text{ К}$ ;  $T_2 = 100 \text{ °С} = 373 \text{ К}$ ;  $c = 4,19 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг·К)}$ .

$t = ?$

Решение: На основании закона Джоуля - Ленца, количество теплоты  $Q$ , в проводнике при прохождении тока силой  $I$  через кипятильник с электрическим сопротивлением  $R$ , в течение времени  $t$ , равно

$$Q = I^2 R t .$$

Это количество теплоты идет на нагревание воды массой  $m$  от начальной температуры  $T_1$  до температуры кипения  $T_2$ , то есть

$$Q = c m (T_2 - T_1),$$

где  $c$  - удельная теплоемкость воды. Тогда

$$I^2 R t = c m (T_2 - T_1).$$

Следовательно, время необходимое для закипания воды определится выражением:

$$t = \frac{c m (T_2 - T_1)}{I^2 R} .$$

Подставляя числовые значения, заданные в условии, и сделав вычисления, получим:

$$t = \frac{4,19 \cdot 10^3 \cdot 0,4 \cdot (373 - 283)}{0,5^2 \cdot 440} \text{ с} = 1371 \text{ с.}$$

Ответ: вода закипит через время  $t=1371$  с.

### Задача № 2

Медицинский аппарат для электрофореза имеет плотность тока  $1,5 \text{ А/м}^2$  и площадь электродов  $1,3 \text{ дм}^2$ . Рассчитать электрический заряд, который пройдет через тело человека при продолжительности сеанса электрофореза 15 мин. Определить сопротивление участка тела человека когда напряжение, приложенное к электродам равно  $45 \text{ В}$ ?

**Дано:**  $j=1,5 \text{ А/м}^2$ ;  $U=50 \text{ В}$ ;  $S=1,3 \text{ дм}^2 = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ ;  $t=15 \text{ мин} = 900 \text{ с}$

**Решение:** Плотность тока определяется по формуле:  $j = \frac{I}{S}$ ;

Сила тока  $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ ; Закон Ома:  $I = \frac{U}{R}$

$$\Delta q = ? \quad R = ?$$

Тогда:  $\Delta q = I \cdot \Delta t$ ;  $I = j \cdot S$  и соответственно  $\Delta q = j \cdot S \cdot \Delta t$ .

На основании закона Ома:  $R = \frac{U}{I} = \frac{U}{j \cdot S}$ .

Сделаем расчеты:

$$\Delta q = 1,5 \left( \frac{\text{А}}{\text{м}^2} \right) \cdot 1,3 \cdot 10^{-2} (\text{м}^2) \cdot 0,9 \cdot 10^3 (\text{с}) = 17,5 (\text{Кл})$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{50 (\text{В})}{1,5 \left( \frac{\text{А}}{\text{м}^2} \right) \cdot 1,3 \cdot 10^{-2} (\text{м}^2)} = 25,6 \cdot 10^2 \left( \frac{\text{В}}{\text{А}} \right) = 2,56 (\text{кОм}).$$

Ответ: через тело человека пройдет заряд  $\Delta q = 17,5$  (Кл), искомое сопротивление равно  $R = 2,56$  (кОм).

### Задача № 3

Мощность разряда электрического скака составила  $4 \text{ кВт}$ , а соответствующее напряжение составило  $100 \text{ В}$ . Время разряда  $2 \text{ мс}$ . Рассчитать емкость электрического скака, если длительность электрического разряда составила  $2 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ .

**Дано:**  $N = 4 \text{ кВт} = 4 \cdot 10^3 \text{ Вт}$ ;  $U = 100 \text{ В}$ ;  
 $t = 2 \cdot 10^{-3} \text{ с}$

**Решение:** Энергия электрического поля конденсатора

$$C = ?$$

$$W = \frac{C \cdot U^2}{2}.$$

Мощность  $N = \frac{W}{t} = \frac{C \cdot U^2}{2 \cdot t}$ . Отсюда  $C = \frac{N \cdot 2 \cdot t}{U^2}$

Проведем проверку размерности:

$$[C] = \frac{\text{Дж}}{\text{В}^2} = \frac{\text{Дж}}{\text{В} \cdot \text{В}} = \frac{\text{Дж}}{\text{В} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}} = \frac{\text{Кл}}{\text{В}} = \Phi.$$

Сделаем расчет:

$$C = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{10^4} = 16 \cdot 10^{-4} (\Phi) = 1,6 (\text{м}\Phi).$$

Ответ: электрическая емкость ската равна  $C = 1,6$  (мФ).

#### Задача № 4

Электрическое поле создано двумя бесконечно длинными параллельными плоскостями с поверхностной плотностью заряда  $2 \text{ нКл/м}^2$  и  $-4 \text{ нКл/м}^2$ .

Определить напряженность поля между плоскостями и вне плоскостей.

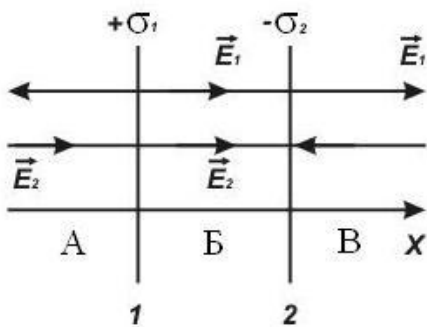
**Дано:**  $\sigma_1 = 2 \text{ нКл/м}^2 = 2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл/м}^2$ ;  $\sigma_2 = -4 \text{ нКл/м}^2 = -4 \cdot 10^{-9} \text{ Кл/м}^2$ ;

$\epsilon = 1$ ;  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ .

$E_A = ?$ ;  $E_B = ?$ ;  $E_V = ?$ .

Решение. Рассмотрим области А, Б и В поля, создаваемого двумя заряженными плоскостями ( см. рис.)

Область А. По принципу суперпозиции напряженность поля в этой области



$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2,$$

или в проекциях на ось x

$$E_A = -E_1 + E_2,$$

где  $E_1 = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0\epsilon}$  и  $E_2 = \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0\epsilon}$  -

напряженности полей, создаваемых каждой поверхностью.

Принимая во внимание эти выражения, получим:

$$E_A = \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0\epsilon} - \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0\epsilon} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{2\epsilon_0\epsilon}.$$

Аналогично находим значения напряженностей полей для двух других областей.

Область Б.  $E_B = E_1 + E_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2\epsilon_0\epsilon}.$



$$\text{Область В. } E_B = E_1 - E_2 = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2\varepsilon_0\varepsilon}.$$

Проведем расчеты:

$$E_A = \frac{6 \cdot 10^{-9} - 3 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1} \text{ В/м} = 169 \text{ В/м};$$

$$E_B = \frac{3 \cdot 10^{-9} + 6 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1} \text{ В/м} = 508 \text{ В/м};$$

$$E_B = \frac{3 \cdot 10^{-9} - 6 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1} \text{ В/м} = -169 \text{ В/м}$$

Ответ: напряженность поля между плоскостями  $E_B = 508 \text{ В/м}$ , вне плоскостей  $E_A = 169 \text{ В/м}$ ;  $E_B = -169 \text{ В/м}$ .

### Задача № 5

На середину холки лошади наложили в лечебных целях электроды и соединили с генератором прямоугольных импульсов, напряжение которого резко увеличивается до фиксированного значения, потом не меняется в течении определенного времени и затем падает до нуля. Анализ пороговых реакций лошади позволил установить, что значение хронаксии равно 0,84 мс и величина раздражающего тока для нее соответствует 20 мА. Установить зависимость (в виде уравнения), между значением порогового тока и длительностью его воздействия.

**Дано:**  $I = 20 \text{ мА} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ А}$ ;  
 $\tau = 0,84 \text{ мс} = 0,84 \cdot 10^{-3} \text{ с}$

**Решение:** Значение порогового тока по закону Вейсса:

$$I_{\text{п}}(t) = ?$$

$$I_{\text{п}} = \frac{a}{t} + b, \text{ (a- константа Вейсса, b – реобаз).}$$

Сила тока при хронаксии  $I = 2 \cdot b$ . Рассчитаем реобазу:

$$b = \frac{I}{2} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{2} = 10 \text{ (мА)}$$

Для расчета a подставим в формулу Вейсса параметры I и b:

$$20 \cdot 10^{-3} \text{ (А)} = \frac{a}{0,84 \cdot 10^{-3} \text{ (с)}} + 10 \cdot 10^{-3} \text{ (А)}$$

Тогда:  $a = 16,8 \cdot 10^{-6} \text{ (А} \cdot \text{с)}$ .

Запишем зависимость порогового значения силы тока от длительности его воздействия:

$$I_{\text{п}}(t) = \frac{16,8 \cdot 10^{-6}}{t} + 10 \cdot 10^{-3} \text{ (А)}$$

### Задачи для самостоятельного решения

7.1. При проведении процедуры электрофореза электродами площадью  $300 \text{ см}^2$  через участок тела коровы в течении 20 минут пропускают электрический заряд 100 Кл. Определить среднее значение плотности тока.

7.2. Металлические пластины плоского конденсатора с расстоянием 8 мм, опустили в масло с диэлектрической проницаемостью 2,5 при разности потенциалов 300 В. Затем пластины конденсатора сдвинули до 6 мм, удалили масло и поместили вместо него медицинский концентрированный раствора, уменьшив при этом разность потенциалов о 40 В. Рассчитать относительную диэлектрическую проницаемость концентрированного раствора.

7.3. Мембранный потенциал покоя клетки икроножной мышцы ящерицы равен 60 мВ. Найти напряженность электрического поля для мембраны толщиной 20 нм, считая емкость мембраны (на  $1 \text{ см}^2$  ее поверхности) равной 0,5 мкФ. Рассчитать относительную диэлектрическую проницаемость мембраны клетки

7.4. Поляризационная емкость клеточной мембраны равна 2,2 мкФ на  $1 \text{ см}^2$  ее поверхности. Рассчитать величину заряда на поверхности клетки, при разности потенциалов между внутренней и внешней поверхностями мембраны 100 мВ и площади ее поверхности  $48 \text{ мкм}^2$ .

7.5. При соприкосновении лошади с электрическим ограждением территории напряжением 50 В на нее воздействовал прямоугольный импульс тока в течении 4 мс. Рассчитать величину электрического заряда, проходящего через тело лошади и его мощность. Сопротивление тела лошади принять равным 1,4 кОм?

7.6. Водонагреватель на ферме потребляет мощность 10 кВт. Рассчитать время, требуемое требуется для подогревания 500 л воды от температуры  $6^\circ$  до  $24^\circ \text{C}$  и стоимость ее подогрева за месяц использования при ежегодном потребления 2 т теплой воды. Удельная теплоемкость воды  $4,19 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ . Стоимость электроэнергии 87 коп. за 1 кВт·ч.

7.7. Электрофорез ионов кальция широко применяю для лечения заболеваний крупного рогатого скота. Рассчитать время лечебной процедуры при площади электрода  $300 \text{ см}^2$ , плотности тока  $0,2 \text{ mA}/\text{см}^2$  КРС следует ввести 10 мг кальция.

7.8. При воздействии на сустав лошади при помощи длинных прямоугольных электрических импульсов животное испытывает пороговое

раздражения при силе тока 10 мА. В случае продолжительности импульса 4 мс порог раздражения соответствует 16,5 мА. Рассчитать порог раздражения при продолжительности импульса 0,8 мс?

7.9 Концентрация ионов хлора внутри моторного нейрона собаки с температурой тела 37,8 °С составляет 8 мМ/л. Концентрация ионов хлора во внеклеточной среде соответствует 120 мМ/л. Рассчитать значение мембранного потенциала нейрона.

7.10 Концентрация ионов натрия в аксоплазме моллюска класса головоногих с температурой тела 14 °С равна 48 мМ/л. Рассчитать концентрацию ионов натрия во внеклеточной среде при условии, что значение потенциала покоя аксона соответствует 58 мВ.

## VIII. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ. ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

### Законы и формулы

Физическая величина или закон	Формула
Закон Био-Савара-Лапласа	$dB = \frac{\mu_0 \mu I dl \sin \alpha}{4\pi r^2}$
Индукция магнитного поля прямолинейного проводника с током конечной длины	$B = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi r} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$
Индукция магнитного поля бесконечно длинного проводника с током	$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r}$
Индукция магнитного поля в центре кругового тока	$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R}$
Индукция магнитного поля длинного соленоида	$B = \mu_0 \mu \frac{N}{l} I$
Связь индукции и напряженности магнитного поля	$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$
Закон Ампера	$dF = I B dl \sin \alpha$
Сила Лоренца	$F_{Л} = qvB \sin \alpha$
Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле	$dA = I d\Phi$
Поток вектора магнитной индукции	$d\Phi = \vec{B} d\vec{S}$

Закон Фарадея	$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi_m}{dt}$
ЭДС индукции, возникающая в рамке площадью $S$	$\varepsilon_i = BS\omega \sin\omega t$
ЭДС самоиндукции в контуре индуктивностью $L$	$\varepsilon_c = -L \frac{dI}{dt}$
Индуктивность длинного соленоида или тороида	$L = \mu_0 \mu n^2 l S$
ЭДС взаимной индукции	$\varepsilon = -L_{12} \frac{dI}{dt}$
Энергия магнитного поля	$W = \frac{LI^2}{2}$
Емкостное сопротивление в цепи переменного тока	$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C}$
Индуктивное сопротивление в цепи переменного тока	$X_L = \omega \cdot L$
Полное сопротивление $Z$ последовательной цепи переменного тока. $R$ – активное сопротивление	$Z = \sqrt{R^2 + (\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C})^2}$
Тангенс угла сдвига фаз между током и напряжением при последовательном соединении элементов цепи переменного тока,	$\operatorname{tg}\varphi = \frac{X_c}{R} = \frac{1}{\omega \cdot C \cdot R}$
Количество теплоты, выделяющейся в единице объёма ткани в единицу времени при диатермии	$q_d = I^2 \cdot \rho$
Количество теплоты, выделяющейся в единице объёма ткани в единицу времени при УВЧ-терапии	$q_y = \frac{E^2}{\rho}$
Количество теплоты, выделяющейся в единице объёма ткани при индуктотермии	$q_b = K \cdot \frac{\omega^2 \cdot B_M^2}{\rho}$

### Вопросы для закрепления материала

- 1) Объясните как появляется магнитное поле. Дайте определение силовой характеристики магнитного поля. Каковы единицы ее измерения. Сформулируйте правило буравчика.
- 2) Какова траектория движения частиц в магнитном поле.
- 3) Напишите закон Ампера. Сформулируйте правило левой руки.

- 4) Сформулируйте закон Био-Савара- Лапласа, получите формулу для расчета магнитной индукции в центре кругового тока.
- 5) Как рассчитать энергию магнитного поля. Какое воздействие оказывает магнитное поле на живой организм.
- 6) Сформулируйте основной закон электромагнитной индукции. Каковы единицы ее измерения. Поясните правило Ленца.
- 7) Дайте определения явления самоиндукции и взаимной индукции. Приведите пример. На каком явлении основан принцип действия трансформатора.
- 8) Объясните принцип прохождения электрического переменного тока через емкость и индуктивность. Запишите уравнение для емкостного и индуктивного сопротивлений.
- 9) Сформулируйте обобщенный закон Ома для цепи переменного тока.
- 10) Каковы отличительные черты при прохождении переменного электрического тока в живом биологическом организме ( в сравнении с постоянным ).
- 11) Как влияет на человеческий организм низкочастотный и высокочастотный переменный ток.
- 12) Какая величина электрического тока соответствует предельно допустимому значению для человека и животного.
- 13) Обладает ли живая ткань индуктивным и емкостным сопротивлением. Чем определяется емкостное сопротивление живой клетки?
- 14) Объясните почему живые биологические ткани подвержены нагреву в высокочастотном электромагнитном поле.
- 15) Как применяется переменный ток в медицине и ветеринарии. Объясните процесс диатермии, индуктотермии и УВЧ-терапии, чем они отличаются между собой.
- 16) Поясните в чем заключается явление электрической активности сердца и мозга.
- 17) Объясните какое воздействие оказывают электромагнитные волны на живой организм.

### **Примеры решения задач**

#### **Задача №1**

Электрон влетает в однородное магнитное поле с индукцией 3 Тл, имея скорость 300 км/с. Магнитное поле перпендикулярно направлению его движения. Чему равен радиус кривизны траектории движения этого электрона в магнитном поле? С каким периодом обращения будет двигаться электрон?

Дано:  $B = 3$  Тл;  $v = 300$  км/с =  $3 \cdot 10^5$  м/с;  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл;  $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг;  $\alpha = 90^\circ$ .

$R = ?$ ;  $T = ?$ .

Решение: На электрон движущийся в магнитном поле со скоростью  $\vec{v}$ , действует сила Лоренца

$$F_L = qvB \sin \alpha,$$

где  $\alpha$  угол между векторами индукции  $\vec{B}$  и скорости  $\vec{v}$ . Под действием центростремительной силы Лоренца которой электрон начинает двигаться по круговой траектории. Уравнение движения электрона в имеет вид:

$$F_L = ma_n,$$

где  $m$  – масса электрона;  $a_n = \frac{v^2}{R}$  – нормальное ускорение электрона.

Тогда уравнение движения будет иметь вид:

$$qvB \sin \alpha = m \frac{v^2}{R}.$$

Выразим радиус кривизны траектории:

$$R = \frac{mv}{qB \sin \alpha}$$

Период обращения  $T$  найдем из формулы линейной скорости движения электрона по круговой траектории

$$v = \frac{2\pi R}{T},$$

откуда

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi mv}{vqB \sin \alpha}$$

или

$$T = \frac{2\pi m}{qB \sin \alpha}.$$

Подставим числовые значения из условия задачи в уравнение и сделаем расчет:

$$R = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^5}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3 \cdot \sin 90^\circ} \text{ м} = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м};$$

$$T = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3 \cdot \sin 90^\circ} \text{ с} = 12 \cdot 10^{-12} \text{ с}.$$

Ответ: Радиус кривизны траектории  $R = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ ; Период обращения электрона  $T = 12 \cdot 10^{-12} \text{ с}$ .

### Задача №2

По катушке протекает постоянный ток, создающий магнитное поле. Энергия этого поля равна 0,5 Дж, а магнитный поток через катушку равен 0,2 Вб. Найти величину этого тока. Какова индуктивность катушки? Чему равна средняя ЭДС самоиндукции при равномерном убывании тока до нуля за 0,1 с?

Дано:  $W = 1 \text{ Дж}$ ;  $\Phi = 0,1 \text{ Вб}$ ;  $\Delta t = 0,1 \text{ с}$ .

$I_0 = ?$ ;  $L = ?$ ;  $\varepsilon_i = ?$ .

Решение: При неизменной форме контура, т.е. катушки, магнитный поток, связанный с контуром:

$$\Phi = L I_0,$$

где  $L$  - индуктивность контура;  $I_0$  - сила тока в контуре.

Энергию магнитного контура с током силой  $I_0$  определяют выражением

$$W = \frac{L I_0^2}{2}.$$

Решая записанные уравнения совместно, получим

$$I_0 = \frac{2W}{\Phi}.$$

Исключая из выше записанного первого уравнения силу тока  $I_0$ , найдем индуктивность катушки

$$L = \frac{\Phi^2}{2W}.$$

ЭДС самоиндукции в контуре при вариации силы тока от величины  $I_0$  до  $I = 0$ , равна

$$\varepsilon_i = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -L \frac{I - I_0}{\Delta t} = \frac{L I_0}{\Delta t}.$$

Подставляя числовые значения, заданные в условии, и сделав вычисления, получим:

$$I_0 = \frac{2 \cdot 1}{0,1} \text{ А} = 20 \text{ А}; \quad L = \frac{0,2^2}{2 \cdot 1} \text{ Гн} = 0,02 \text{ Гн}; \quad \varepsilon_i = \frac{0,02 \cdot 20}{0,1} \text{ В} = 4 \text{ В}.$$

Ответ: сила тока  $I = 20 \text{ А}$ , индуктивность  $L = 0,02 \text{ Гн}$ , средняя ЭДС самоиндукции  $\varepsilon_i = 4 \text{ в}$ .

### Задача №3

На металлический сердечник длиной 0,3 м и площадью сечения  $2 \text{ см}^2$  накручен в провод из расчета 2000 витков на каждый метр длины. Рассчитать величину энергии магнитного поля в металлическом сердечнике, при силе тока в обмотке 0,5 А и индукция магнитного поля равной 1,3 Тл.

**Дано:**  $l = 0,3 \text{ м}$ ;  $S = 2 \text{ см}^2 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ;  $n = 2000 \text{ м}^{-1}$ ;  $I = 0,5 \text{ А}$ ;  $B = 1,3 \text{ Тл}$ ;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ .

$W = ?$

Решение: Энергия магнитного поля катушки соленоида :

$$W = \frac{LI^2}{2}.$$

Индуктивность катушки определяется числом витков на единицу его длины  $n$ , объемом сердечника  $V$  и магнитной проницаемостью  $\mu$  сердечника:

$$L = \mu_0 \mu n^2 V,$$

Магнитная проницаемость

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H},$$

Напряжённость магнитного поля в соленоиде можно найти как:

$$H = nI.$$

Выразим объём сердечника через его длину  $l$  и сечение  $S$  и, подставим в формулу для энергии полученные соотношения:

$$W = \frac{BnI S l}{2}.$$

Подставим числовые значения из условия задачи и сделаем расчеты:

$$W = \frac{1,3 \cdot 2000 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 0,3}{2} \text{ Дж} = 3,9 \cdot 10^{-2} \text{ Дж}.$$

Ответ: энергия магнитного поля  $W = 3,9 \cdot 10^{-2} \text{ Дж}$ .

### Задача № 4

Рассчитать значение электрического тока в цепи, создаваемого рыбой в аквариуме, при сопротивлении воды 1 кОм, емкости конденсатора измерительного прибора 0,05 мкФ и частоте импульса 3 кГц. Максимальное напряжение между головой и хвостом рыбы составляет 3В, его колебания при решении задачи считать гармоническими. Сопротивление тела рыбы считать пренебрежимо малым.



**Дано:**  $U = 3 \text{ В}; C = 0,05 \text{ мкФ} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ Ф};$   
 $R = 1 \text{ кОм} = 10^3 \text{ Ом}; \nu = 3 \text{ кГц} = 3 \cdot 10^3 \text{ Гц}$

**Решение:** Обобщенный закон Ома для переменного тока при последовательном соединении активного и емкостного сопротивления:

---

$$I = ?$$

$$I = \frac{U}{Z},$$

где  $Z$  – полное сопротивление цепи :

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2},$$

С учетом  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot \nu$ , то

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot C}\right)^2}$$

Сделаем вычисления:

$$Z = \sqrt{(1 \cdot 10^3)^2 + \left(\frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-8}}\right)^2} = \sqrt{10^6 + 1,12 \cdot 10^6} = 1,46 \cdot 10^3 \text{ (Ом)}$$

$$I = \frac{3}{1,46 \cdot 10^3} = 2,05 \cdot 10^{-3} \text{ (А)} = 2,05 \text{ (мА)}$$

Ответ: сила тока  $I = 2,05 \text{ (мА)}$ .

### Задача № 5

Методика определения сопротивления мышечной ткани живого организма заключается в проведении измерений при прохождении через образец ткани поочередно постоянного и переменного тока. При какой частоте переменного тока считая полное сопротивление ткани превышающим величину ее активного и омического сопротивления, равного 800 Ом, в два раза, определить соответствующую частоту переменного тока. Емкость мышечной ткани считать равной 0,01 мкФ.

**Дано:**  $C = 0,01 \text{ мкФ} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ Ф};$   
 $R = 800 \text{ Ом}; Z = 2 \cdot R$

**Решение:** При последовательном соединении омического и емкостного сопротивлений ткани, ее полное сопротивление:

---

$$\nu = ?$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$$

поскольку  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot \nu$ , а по условию задачи  $Z = 2 \cdot R$ , то справедливо тождество

$$2 \cdot R = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot C}\right)^2},$$

тогда

$$4 \cdot R^2 = R^2 + \left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot C}\right)^2 \Rightarrow \nu^2 = \frac{1}{12 \cdot \pi^2 \cdot R^2 \cdot C^2}$$

Получим

$$\nu = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

Сделаем проверку размерности:

$$[\nu] = \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{Ф}} = \frac{1}{\frac{\text{В} \cdot \text{Кл}}{\text{А}} \cdot \frac{\text{Кл}}{\text{В}}} = \frac{\text{А}}{\text{Кл}} = \frac{\text{А}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \text{с}^{-1} (\text{Гц})$$

Вставим данные из условия задачи:

$$\nu = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 3,14 \cdot 800 \cdot 1 \cdot 10^{-8}} = 1,15 \cdot 10^5 (\text{Гц}) = 11,5 (\text{кГц})$$

Ответ: частота переменного тока  $\nu = 11,5$  (кГц).

### Задачи для самостоятельного решения

9.1. Размер головки аппарата для УВЧ-терапии КРС с площадью  $10 \text{ см}^2$  имеет толщину  $2,5 \text{ см}$ . Рассчитать активное сопротивление аппарата и полное сопротивление участка ткани животного с удельным сопротивлением  $32 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  и емкостью  $80 \text{ пФ}$ , подверженного СВЧ воздействию, при частоте воздействия  $4,7 \text{ МГц}$ .

9.2. Найти частоту переменного тока, при которой проходили измерения отношения индуктивного сопротивления тела коровы к емкостному, равного  $0,5$  при величине индуктивности тела коровы  $3 \text{ мГн}$  и емкости  $25 \text{ мкФ}$ .

9.3. В случае воспалительных явлений в живом организме изменениям подвержена структура клеточных мембран и их электрическая емкость. Определить как изменилась электрическая емкость в случае воспаления, если измерения емкостного сопротивления здоровой и воспаленной ткани проходили при частоте  $1,2 \text{ кГц}$  и  $6 \text{ кГц}$  соответственно, а значение

емкостного сопротивления воспаленной ткани в 3,2 раза меньше, чем в здоровой.

9.4. Рассчитать отношение полного сопротивления образца биологической ткани при определении в цепях переменного тока с частотой 10 кГц к его значению при частоте 80 кГц. Активное сопротивление биологического образца принять равным 70 Ом, а электрическую емкость 0,4 мкФ.

9.5. При проведении электротерапии с глубоким прогреванием воспаленного участка ткани животного высокочастотным током один электрод площадью 200 см<sup>2</sup> накладывают впереди больного участка тела а второй напротив него позади. Сила тока между электродами 1А. Процедуру проводят 15 мин. Какое количество теплоты получит воспаленный участок ткани при толщине 4 см, удельном сопротивлении 10 Ом·м., силе электрического тока между электродами установки 1А и длительности процедуры 20 минут.

9.6. Прибор для индуктотерапии, работающий при переменном напряжении с частотой 13,5 МГц и превращающий энергию вихревых индуктивных током превращается в теплоту. Во сколько раз уменьшится количество переданной теплоты, если катушку индуктивности присоединить к аппарату для электротерапии с глубоким прогреванием токами ВЧ, если частота работы лечебной установки составит 1560 кГц?

9.7 Напряженность электрического поля в УВЧ аппарате, применяемом для лечения воспалительных заболеваний КРС, между электродами составляет 300 В/м. Какая теплота выделяется при лечении сустава округлой формы с удельным сопротивлением 20 кОм/м, объемом 275 дм<sup>3</sup> и длительности процедуры 20 минут.

9.8. Разность фаз между током и напряжением морской бурой водоросли с активным сопротивлением 780 ом равна 75°. Частота переменного тока составляет 1 кГц. Определить электрическую при условии последовательного соединения активного и емкостного сопротивлений.

9.9. Определить разность фаз для тока и напряжения у кожного покрова рептилии с величиной активного сопротивления 2,4 кОм, частотой переменного тока 2 кГц, величине активного сопротивления 2,4 кОм и электрической емкости 0,02 мкФ. Принять соединение активного и емкостного сопротивления цепи за последовательное.

9.10. Медицинский прибор для проведения процедуры электрофореза состоит из катушки с индуктивностью 60 Гн и электроконденсатора с емкостью 18 мкФ. Рассчитать сопротивление катушки и конденсатора для переменного тока при стандартной частоте 50 Гц. Какой ток пройдет через конденсатор, При напряжении на обкладках конденсатора 150 В, определить проходящий через него электрический ток. Активным сопротивлением катушки пренебречь.

## IX. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ И ВОЛНОВАЯ ОПТИКА. ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

### Законы и формулы

Физическая величина или закон	Формула
Закон преломления света	$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21}$
Абсолютный показатель преломления	$n = c/v$
Относительный показатель преломления	$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$
Световой поток от точечного источника света в люменах	$\Phi = 4 \cdot \pi \cdot J$
Сила света J	$J = \frac{\Phi}{\omega}$
Освещенность в люксах	$E = \frac{\Phi}{S_{\text{обл}}}$
Освещенность точечного источника света	$E = \frac{J}{R^2} \cdot \cos(i)$
Светимость	$M = \frac{\Phi}{S_{\text{изл}}}$
Соотношение между светимостью M и яркостью L	$M = \pi \cdot L$
Поток излучения $\Phi$ для ультрафиолетовой области спектра	$\Phi = 4\pi \cdot J$
Сила излучения (эр/ср или бакт/ср)	$J = \frac{\Phi}{\omega}$
Облученность (эр/м <sup>2</sup> или бакт/м <sup>2</sup> )	$E = \frac{\Phi}{S_{\text{обл}}}$
Облученность от точечного источника	$E = \frac{J}{R^2} \cdot \cos(i)$
Угловое увеличение микроскопа	$\Gamma = \frac{a \cdot L}{F_1 \cdot F_2}$

Предел разрешения микроскопа $z$	$z = \frac{0,61 \cdot \lambda}{n \cdot \sin(\theta)}$
Предельный угол $\alpha_n$ при полном внутреннем отражении	$\sin \alpha_n = \frac{1}{n}$
Угол максимальной поляризации света при отражении $\varphi_6$ (закон Брюстера)	$\operatorname{tg} \varphi_6 = n$
Угол поворота плоскости поляризации света	$\Psi = [\alpha] \cdot C \cdot L$
Энергетическая светимость тела (закон Стефана-Больцмана)	$R_e = \sigma T^4,$
Длина волны $\lambda_m$ , на которую приходится максимум теплового излучения (закон Вина)	$\lambda_m = \frac{b}{T}$

### Вопросы для закрепления материала

- 1) Сформулируйте законы отражения и преломления света. Что такое показатель преломления.
- 2) Приведите формулу взаимосвязи абсолютного и относительного показателя преломления (на границе раздела).
- 3) Расскажите о применении в ветеринарной практике световодов, поясните принцип их действия.
- 4) Сформулируйте суть явления полного внутреннего отражения, приведите примеры его применения в оптических приборах.
- 5) Запишите уравнение линзы и ее оптической силы. Приведите самые главные фотометрические характеристики для УФ и видимой области спектра.
- 6) Дайте определения основных энергетических фотометрических величин. Каковы единицы измерения основных фотометрических величин.
- 7) Сделайте вывод выражения для освещенности точечного источника света.
- 8) Дайте определения фотометрических величин в видимой части спектра. Каковы единицы их измерения?
- 9) Как влияет солнечный свет на растения и жизнедеятельность живого биологического организма в целом. Как используют УФ излучение в ветеринарной практике.
- 10) Каковы основы квантовой теории излучения, запишите формулу для энергии кванта.
- 11) Запишите основное уравнение фотоэффекта, дайте определение работы выхода электрона из вещества.

- 12) Расскажите законы Столетова, описывающие явление фотоэффекта.
- 13) Каково биологическое воздействие инфракрасного и УФ излучения, что такое биохемилюминисценция.
- 14) Расскажите о принципе работы ОКГ (лазера) и его применении в медицинской практике.

### Примеры решения задач

#### Задача №1

Определить скорость света в стекле, если луч света, падающий на поверхность стекла из воздуха под углом  $45^\circ$ , преломляется под углом равным  $30^\circ$ .

Дано:  $\alpha = 45^\circ$ ;  $\beta = 30^\circ$ ;  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с.

$v = ?$ .

Решение: Согласно закону преломления света, показатель преломления стекла  $n$  через углы падения  $\alpha$  и преломления  $\beta$  света можно найти как

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta},$$

а также через деление скорости света в вакууме на скорость света в стекле:

$$n = \frac{c}{v}.$$

Тогда:

$$v = \frac{c \sin \beta}{\sin \alpha}.$$

Вставим данные из условия задачи и сделаем расчет:

$$v = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot \sin 30^\circ}{\sin 45^\circ} \text{ м/с} = 2,12 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

#### Задача № 2

Для компенсации недостаточности естественного УФ излучения на ферме используют бактерицидную лампу для КРС имеющую световой поток 120 лм и эритемный поток 750 эр при мощности 40 Вт. Рассчитать силу света и эритемного излучения УФ лампы, освещенность на расстоянии 2 м от лампы в случае нормального падения светового излучения? Рассматривать лампу как точечный световой источник.

**Дано**  $\Phi = 110$  лм;  $\Phi_э = 0,75$  эр; **Решение:** Светоотдачу рассчитаем через  $\Phi_э = 0,125$  бакт;  $R = 2$  м;  $N = 20$  Вт деление светового потока на мощность.

$K = ?$   $J = ?$   $E = ?$  Также найдем:

$$K = \frac{\Phi}{N} = \frac{110(\text{лм})}{20(\text{Вт})} = 5,5(\text{лм/Вт}).$$

$$K_э = \frac{\Phi_э}{N} = \frac{0,75(\text{эр})}{20(\text{Вт})} = 3,75 \cdot 10^{-2}(\text{эр/Вт}).$$

Взаимосвязь светового потока и силы света имеет вид:

$$\Phi = 4\pi \cdot J$$

Тогда

$$J = \frac{\Phi}{4\pi} = \frac{110}{4\pi} = 8,76(\text{кд})$$

$$J_э = \frac{\Phi_э}{4\pi} = \frac{0,75}{4\pi} = 5,97 \cdot 10^{-2}(\text{эр/ср}).$$

Освещенность ( для точечного источника):

$$E = \frac{J}{R^2} = \frac{8,76}{2^2} = 2,19(\text{лк}).$$

Аналогично

$$E_э = \frac{J_э}{R^2} = \frac{5,97 \cdot 10^{-2}}{2^2} = 14,92 \cdot 10^{-3}(\text{эр/м}^2) = 14,92(\text{мэр/м}^2).$$

### ЗАДАЧА № 3

Рептилии содержатся в помещении с площадью окна  $6 \text{ м}^2$  и днем на окно поступает поток света  $0,1 \cdot 10^6$  лм . Считая коэффициент отражения света от каждой поверхности оконного стекла по 5 %, Рассчитать освещенность окна снаружи , найти яркость и светимость окна в помещении вивария. Поглощение световой волны в стекле считать пренебрежимо малым.

**Дано:**  $S = 6 \text{ м}^2$ ;  $\rho = 5\% = 0,05$

$\Phi = 0,1 \cdot 10^6$  лм

**Решение:** Освещенность найдем по формуле:

$E = ?$   $M = ?$   $L = ?$

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{0,1 \cdot 10^6}{6} = 1,67 \cdot 10^4(\text{лк}).$$

Поток света, прошедший в стекло, равен

$$\Phi_1 = \Phi - \rho \cdot \Phi = (1 - \rho) \cdot \Phi.$$

Поток после отражения :

$$\Phi_2 = (1-\rho) \cdot \Phi_1 = (1-\rho)^2 \cdot \Phi.$$

Светимость внутри помещения:

$$M = \frac{\Phi_2}{S} = \frac{(1-\rho)^2 \cdot \Phi}{S} = (1-\rho)^2 \cdot E.$$

Сделаем вычисления:

$$M = (1-0,05)^2 \cdot 1,67 \cdot 10^4 = 1,51 \cdot 10^4 \text{ (лк)}.$$

Взаимосвязь светимости и яркости имеет вид:

$$M = \pi \cdot L, \text{ то } L = \frac{M}{\pi}.$$

Рассчитаем яркость:

$$L = \frac{1,51 \cdot 10^4}{3,14} = 4,81 \cdot 10^3 \left( \frac{\text{кд}}{\text{м}^2} \right).$$

Ответ: освещенность  $E = 1,67 \cdot 10^4$  (лк), яркость  $L = 4,81 \cdot 10^3$  (кд/м<sup>2</sup>), светимость  $M = 1,51 \cdot 10^4$  (лк)

#### Задача №4

Рассчитать мощность, нужную для поддержки постоянной температуры платины в расплавленном состоянии при ее площади поверхности равной 2,0 см<sup>2</sup>. Считать платину абсолютно чёрным телом и потери энергии на теплопроводность не учитывать. Температура плавления платины 1773 °С. Чему равна длины волны в спектре излучения платины, на которую приходится максимальная энергия?

Дано:  $T = 1773 \text{ °С} = 2046 \text{ К}$ ;  $S = 2 \text{ см}^2 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ;  $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ ;  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{К}^4)$ .

Найти:  $P$ ;  $\lambda_{\text{max}}$ .

Решение: Найдём мощность  $P$  из соотношения:

$$E = Pt,$$

где  $E$  – энергия, уходящая в виде излучения с поверхности платины площадью  $S$  за время  $t$ , то есть

$$E = R_e St.$$

Так как платину можно считать чёрным телом, ее энергетическая светимость по закону Стефана-Больцмана определится как:

$$R_e = \sigma T^4.$$

Здесь  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана,  $T$  – абсолютная температура излучающего тела. Тогда мощность, необходимую для того, чтобы поддержать температура платины неизменной, равна

$$P = R_e S$$



или

$$P = \sigma T^4 S.$$

Длину волны  $\lambda_{\max}$ , на которую в спектре излучения приходится максимум энергии можно найти из закона Вина:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T},$$

где  $b$  – постоянная Вина.

Подставляя числовые параметры, заданные в условии, и сделав расчет, получим:

$$P = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 2046^4 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ Вт} = 198,6 \text{ Вт};$$

$$\lambda_{\max} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{2046} \text{ м} = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

### ЗАДАЧА № 5

Медицинский раствор, имеющий концентрацию  $0,4 \text{ г/см}^3$ , помещен в стеклянную трубу с длиной  $10 \text{ см}$ . При этом происходит поворот плоскости поляризации световой волны на  $30^\circ \text{C}$ . Рассчитать удельное вращение медицинского раствора.

**Дано:**  $C = 0,4 \text{ г/см}^3$ ;  $L = 10 \text{ см} = 1 \text{ дм}$ ;  
 $\Psi = 30^\circ$

**Решение:** Согласно закону Био, угол поворота плоскости поляризации в оптически активных веществах

---

$$\alpha = ?$$

$$\Psi = [\alpha] \cdot C \cdot L$$

$$[\alpha] = \frac{\Psi}{C \cdot L} = \frac{30^\circ}{0,4(\text{г/см}^3) \cdot 1,0(\text{дм})} = 75,0 \left( \frac{\text{град} \cdot \text{см}^3}{\text{г} \cdot \text{дм}} \right).$$

Ответ: удельное вращение глюкозы  $[\alpha] = 75(\text{град} \cdot \text{см}^3 / (\text{г} \cdot \text{дм}))$ .

### ЗАДАЧА № 6

В стойле с температурой помещения  $10^\circ \text{C}$  находится конь, температура которого  $37^\circ \text{C}$ , а коэффициент излучения кожного покрова составляет  $4,9 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ . Определить количество тепла, выделяемой единицей поверхности животного в течении часа.

**Дано:**  $\delta = 4,9 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ;  $S = 1 \text{ м}^2$ ;  
 $t = 3600 \text{ с}$ ;  $T_1 = 273 + 37 = 310 \text{ К}$ ;  
 $T_2 = 273 + 10 = 283 \text{ К}$

**Решение:** Согласно закону Стефана-Больцмана, энергетическая светимость тела:  $R_e = \sigma T^4$ .

---

$$\Phi_{\text{и}} = ?$$

При теплообмене от тела 1 к телу 2 передается тепловой поток:

$$\Phi_{и} = \Phi_1 - \Phi_2 = \delta \cdot S \cdot (T_1^4 - T_2^4),$$

где  $\delta$  – коэффициент излучения.

Сделаем проверку размерности:

$$[\Phi_{и}] = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{К}^4 = \text{Вт} \cdot \text{с} = \text{Дж}.$$

Проведем расчет:

$$\Phi_{и} = 4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot (310^4 - 283^4) = 138,22 \text{ Дж}$$

Ответ: поверхность тела лошади за час излучает 138,22 Дж.

### Задачи для самостоятельного решения

10.1. На границе атмосферы земли Солнце энергетическая освещенность Солнца имеет значение  $1,37 \text{ кВт/м}^2$ . Найти мощность солнечного излучения, при среднем расстоянии от поверхности Солнца до поверхности Земли 150 млн км.

10.2 В помещении для разведения сельскохозяйственной птицы освещение обеспечивает стеклянная шаровидная лампа диаметром 20 см и силой света 60 кд. Найти поток света, светимость и яркость лампы.

10.3. Микроскоп имеет расстояние между фокусами объектива и окуляра 120 мм. при фокусном расстоянии самого объектива 4 мм Экспериментатору необходимо получить двухсоткратное увеличение. Определить какое для этого необходимо иметь фокусное расстояние окуляра и оптическую силу линз.

10.4. Освещенность производственного помещения для содержания КРС должна составлять не менее 30 лк. Рассчитать какую силу света и световой светильника на высоте 3 м от поверхности пола и мощность лампы при ее светоотдаче 10,2 лм/Вт?

10.5. Для обеззараживания производственного помещения на ферме используют светильник с облученностью  $150 \text{ мбакт/м}^2$ . Бактерии в сосуде Петри располагают под ультрафиолетовым источником с потоком излучения 5 бакт. Определить на каком расстоянии от сосуда надо разместить поместить облучатель, как точеный источник.

10.6. Рассада в теплице размещена 2 м от инфракрасного источника света, состоящего из двух ламп. Один источник света перегорел. Рассчитать

расстояние, на которое нужно переместить первую лампу ближе к рассаде, чтобы облученность осталась прежней.

10.7. Предельный угол полного внутреннего отражения для глазной роговицы имеет значение  $45^\circ$ . Найти угол Брюстера, соответствующий условию полной поляризации света, для глазной роговицы.

10.8 Рассчитать удельное вращение для масляного раствора с плотностью  $800 \text{ кг/м}^3$  при условии что угол поворота плоскости поляризации в трубке поляризатора составил  $30^\circ$ .

10.9 В микроскопе для исследования клеточной структуры вещества используют длину волны лучей  $0,2 \text{ мкм}$ . Возможно ли применить этот микроскоп для исследования рибосомы диаметром  $25 \text{ нм}$  в составе клетки при апертурном угле объектива устройства, составляющем  $45^\circ$ .

10.10 Угол, соответствующий случаю полной поляризации для кровяной сыворотки здоровой лошади равен  $56,5^\circ$ . Определить угол для случая полного внутреннего отражения для исследуемого биологического раствора.

## X. ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ ОПТИКИ

### Законы и формулы

Физическая величина или закон	Формула
Энергия кванта (фотона), $c$ – скорость света	$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$
Уравнение фотоэффекта (Эйнштейна)	$h\nu = A + E_{\max}$ ,
Красная граница фотоэффекта	$\nu_0 = \frac{A}{h}, \lambda_0 = \frac{hc}{A}$
Соотношение между массой и энергией	$E = \Delta(m \cdot c^2)$
Связь между энергией $\varepsilon$ , массой $m_\nu$ и импульсом $p_\nu$	$\varepsilon = m_\nu c^2, m_\nu = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}, p_\nu = \frac{h\nu}{c}$
Давление света	$p = \frac{E_e}{c} (1 + \rho)$
Длина волны рентгеновского излучения при комптоновском рассеянии (ф. Комптона)	$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{2h}{mc} \sin^2 \frac{\theta}{2}$

<p>Закон поглощения света. <math>J_0</math> и <math>J</math> – интенсивности света до и после поглощения слоем вещества толщиной <math>L</math>. (<math>\chi</math> – показатель поглощения).</p>	$J = J_0 \cdot e^{-\chi L}$
---	-----------------------------

### Вопросы для закрепления материала

- 1) Сформулируйте основы квантовой теории излучения, приведите формулу Планка.
- 2) Объясните основное уравнение фотоэффекта (Эйнштейна) и запишите его.
- 3) Расскажите три основных закона Столетова, дайте определение красной границы фотоэффекта.
- 4) Расскажите о корпускулярно-волновом дуализме свойств для микрочастиц.
- 5) Представьте формулу связи между массой и энергией.
- 6) Получите закон поглощения световой волны Бугера.
- 7) Каковы основные фотохимические процессы, имеющие значение для живого организма.
- 8) Дайте определение люминесценции, как она применяется в ветеринарно-санитарной практике.
- 10) Каковы источники и свойства ультрафиолетового излучения?
- 11) Расскажите о биологическом действии ультрафиолетового излучения.
- 12) Каковы характерные черты инфракрасного излучения?
- 13) Каково основное свойство ОКГ (лазера), каково его применение в медицинской практике.
- 14) Что такое биолюминесценция, и как данное явление применяется на практике в ветеринарии и зоотехнии.

### Примеры решения задач

#### Задача №1

Рассчитать энергию фотона, с соответствующей ему длиной волны 550 нм.

Дано:  $\lambda = 550 \text{ нм} = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ ;  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ ;  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ .  
 $\varepsilon = ?$ .

Решение: Энергия кванта определяется формулой Планка:  $\varepsilon = h\nu$ ,  
где  $\nu$  – частота света;  $h$  – постоянная Планка.

Связь между частотой и длиной волны  $\lambda$  имеет вид:  $\nu = \frac{c}{\lambda}$ ,

где  $c$  - скорость света в вакууме. Поэтому  $\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}$ .

Подстановка числовых значений даёт:

$$\varepsilon = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5,5 \cdot 10^{-7}} \text{ Дж} = 3,62 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Ответ: энергия фотона  $\varepsilon = 3,62 \cdot 10^{-19}$  Дж.

## ЗАДАЧА № 2

Ультрафиолетовое излучение с длиной волны 200 нм оказывает сильное бактерицидное действие на бактериальную микрофлору. Рассчитать энергию, необходимую достижения бактерицидного эффекта, способствующего изменению белковой структуры вещества. Бактериальная микрофлора помещена в чашку Петри диаметром 100 мм при интенсивность облучения  $0,5 \text{ мВт/см}^2$ . Рассчитать количество фотонов излучения, достигающих поверхности бактерий за 10 мин.

**Дано:**  $t = 10 \text{ мин} = 600 \text{ с}$ ;  $\lambda = 200 \text{ нм} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ м}$

$J = 0,5 \text{ мВт/см}^2 = 5 \text{ Вт/м}^2$ ;  $d = 100 \text{ мм} = 0,1 \text{ м}$

**Решение:** Энергия кванта

равна,

$$W = ? \quad n = ?$$

$$W = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Отсюда

$$W = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}) \cdot 3 \cdot 10^8 (\text{м/с})}{2 \cdot 10^{-7} (\text{м})} = 9,95 \cdot 10^{-19} (\text{Дж}).$$

Так как  $1(\text{эВ}) = 1,6 \cdot 10^{-19} (\text{Дж})$ :

$$W = \frac{9,95 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 6,22 (\text{эВ}).$$

Интенсивность взаимосвязана с энергией, а энергия потока определяется как  $n \cdot W$ .

Тогда,

$$J = \frac{n \cdot W}{S \cdot t}$$
$$n = \frac{J \cdot S \cdot t}{W}$$

Площадь чашки Петри

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Тогда,

$$n = \frac{J \cdot \pi \cdot d^2 \cdot t}{4 \cdot W}$$

Сделаем расчет:

$$n = \frac{5(\text{Вт/м}^2) \cdot 3,14 \cdot (0,1\text{м})^2 \cdot 600}{4 \cdot 9,95 \cdot 10^{-19}(\text{Дж})} = 2,37 \cdot 10^{19}.$$

Ответ: энергия одного фотона  $W=6,22$  (эВ); число фотонов  $n= 2,37 \cdot 10^{19}$ .

### Задача № 3

При пропускании через колбу с окрашенной жидкостью лекарственного раствора интенсивность света упала на 18%. Определить показатель поглощения жидкости. Рассчитать как изменится интенсивность света при возрастании концентрации лекарственного раствора в 5 раз при толщине слоя раствора в колбе 0,08 м;

**Дано:**  $d=0,08$  м;

$$\frac{J_0 - J_1}{J_0}, \frac{C_2}{C_1}.$$

**Решение:** По закону Бугера, интенсивность света, прошедшего через слой вещества:

$$\chi = ? \quad \frac{J_2}{J_1} = ?$$

$$\begin{aligned} J_1 &= J_0 \cdot e^{-\chi \cdot d} \\ \frac{J_0}{J_1} &= e^{\chi \cdot d} \end{aligned}$$

Возьмем логарифм от данного выражения:

$$\lg\left(\frac{J_0}{J_1}\right) = \chi \cdot d \cdot \lg(e) = \chi \cdot d \cdot 0,43$$

Выразим  $\chi$ :

$$\chi = \frac{\lg\left(\frac{J_0}{J_1}\right)}{d \cdot 0,43}.$$

Согласно исходным данным:

$$\frac{J_0 - J_1}{J_0} = 0,18$$

Упростим выражение, тогда:

$$1 - \frac{J_1}{J_0} = 0,18; \Rightarrow \frac{J_1}{J_0} = 1 - 0,18 = 0,82; \Rightarrow \frac{J_0}{J_1} = \frac{1}{0,82} = 1,22$$

Коэффициент поглощения вещества  $\chi$ :

$$\chi = \frac{\lg(1,22)}{0,08 \cdot 0,43} = 2,51(\text{м}^{-1}).$$

Поглощение монохроматического света с окрашенными растворами описано законом Бера:  $\chi = \alpha \cdot C$ , где  $\alpha$  – показатель поглощения для раствора единичной концентрации.

Тогда для растворов двух концентраций по закону Бугера-Бера:

$$J_1 = J_0 \cdot e^{-\chi \cdot d} = J_0 \cdot e^{-\alpha \cdot C_1 \cdot d}, \quad J_2 = J_0 \cdot e^{-\chi \cdot d} = J_0 \cdot e^{-\alpha \cdot C_2 \cdot d} \quad \text{или}$$

$$\frac{J_0}{J_1} = e^{\alpha \cdot C_1 \cdot d}, \quad \frac{J_0}{J_2} = e^{\alpha \cdot C_2 \cdot d},$$

Возьмем логарифм:

$$\lg\left(\frac{J_0}{J_1}\right) = C_1 \cdot d \cdot \lg(e) = C_1 \cdot d \cdot 0,43, \quad \lg\left(\frac{J_0}{J_2}\right) = C_2 \cdot d \cdot \lg(e) = C_2 \cdot d \cdot 0,43$$

Найдем отношение:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\lg\left(\frac{J_0}{J_1}\right)}{\lg\left(\frac{J_0}{J_2}\right)} \Rightarrow \lg\left(\frac{J_0}{J_2}\right) = \frac{C_2}{C_1} \cdot \lg\left(\frac{J_0}{J_1}\right) = 5 \cdot \lg\left(\frac{5}{0,82}\right) = 5 \cdot \lg(1,22) = 0,431$$

По таблицам логарифмов найдем:

$$\frac{J_0}{J_2} = 2,698$$

Тогда:

$$J_2 = \frac{J_0}{2,698}$$

Так как  $J_1 = 0,82 \cdot J_0$ , получим

$$J_0 = \frac{J_1}{0,82} = 1,22 \cdot J_1$$

$$J_2 = \frac{J_0}{2,698} = \frac{1,22 \cdot J_1}{2,698} = 0,451 \cdot J_1$$

Ответ: интенсивность света уменьшилась в 0,451 раз.

### Задачи для самостоятельного решения

12.1. Стимулирование посевного материала при помощи лазера мощностью 25 мВт. происходит в течении 30 секунд при длине излучения ОКГ 600 нм. Сколько фотонов достигнет на поверхности посевного материала за указанный период времени.

12.2. Мощность излучения Солнца составляет  $3,84 \cdot 10^{26}$  Вт. Определить массу, теряемую Солнцем за время десять секунд. Через сколько лет масса Солнца уменьшится в 1,5 раза?

12.3. Рассчитать энергию фотонов, испускаемых ОКГ, при длине волны излучения 633 нм. Сколько фотонов испускается лазером в секунду при мощности 100 мВт?

12.4. Поток солнечного излучения – стимулятор роста растений, способствующий выработке хлорофилла. Вычислить коэффициент поглощения светового потока в стеблях растений с учетом его ослабления в 18 раз на пути 10м.

12.5. Лазерный луч мощностью 2 мВт, действующий в течении 2 с., вызывает серьезный ожог сетчатки глаза площадью поражения 1 мм<sup>2</sup>. Определить интенсивность лазерного потока и количество фотонов попадающих на глазную сетчатку при длине волны лазера 630 нм.

12.6. При фотосинтезе появлению молекулы O<sub>2</sub> соответствует затрата 8 фотонов. Рассчитать количество световой энергии, необходимой для образования при фотосинтезе 2 молей кислорода при длине световой волны 555 нм, с учетом коэффициент использования световой энергии равного 0,3.

12.7. Для оздоровления КРС применяют УФ светильники с длиной волны 400 нм. и интенсивность облучения 15 мкВт/см<sup>2</sup>. Рассчитать число фотонов достигающих поверхности тела КРС площадью 1,8м<sup>2</sup> в течении 20-минутного промежутка времени.

12.8. При прохождении света через ткань толщиной 3 мм интенсивность света уменьшилась на 85 %. Рассчитать показатель поглощения света жировой прослойкой.

12.9. Интенсивность падающего света на 10 % больше интенсивности света, прошедшего через столбик сыворотки крови в пробирке и на 3 % больше интенсивности света , проходящего через такой же слой воды с коэффициентом поглощения  $2 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ . Найти показатель поглощения сыворотки крови.

12.10. Пороговое максимально чувствительное ощущения человеческого глаза при длине световой волны 555 нм равно  $3 \cdot 10^{-17} \text{ Вт}$ . Рассчитать число о фотонов ,попадающих в глаз в течении 30 секунд. .



## Тесты для проверки остаточных знаний по биофизике

### Вариант 1

#### 1. Биофизика - это?

- А) Наука, изучающая биологические процессы и явления
- Б) наука, изучающая наиболее общие и фундаментальные закономерности, определяющие структуру и эволюцию материального мира
- В) Наука, изучающая физические явления в биологических объектах
- Г) Фундаментальная наука, изучающая общие формы существования материи

2. Тазобедренная кость животного имеет длину 25 см и площадь поперечного сечения 3 см<sup>2</sup>. Определить работа по сжатию кости на 0,5 мм, при модуле упругости 20 Гпа?

- А) 2 Дж
- Б) 0,3 Дж
- В) 3,3 Дж
- Г) 3 Дж

#### 3. На основе какого закона лежит явление центрифугирование?

- А) Закон Ньютона.
- Б) Закон вращательного движения.
- В) Закон Авогадро
- Г) Закона Фарадея

4. Как изменится артериальное давление, если мускулатура стенок артериол сократится, а ширина их просвета уменьшится:

- А) не изменится
- Б) уменьшится
- В) увеличится
- Г) упадет к нулю

5. Какое из приведенных значений более всего соответствует продолжительности потенциала действия нервного волокна:

- А) 10 микросекунд
- Б) 100 микросекунд
- В) 1 миллисекунда
- Г) 10 секунд

#### 6. Осмос – это:

А) явление перехода молекул чистого растворителя через полупроницаемую перегородку в область, занятую раствором

Б) явление взаимного перемешивания различных слоев жидкости или газа

В) процесс обмена энергией

Г) явление перехода молекул раствора вещества через полупроницаемую перегородку в область, занятую молекулами чистого растворителя

**7. Диапазон длин ультразвуковых волн, активно используемых в медицине составляет:**

А) до 20 Гц

Б) от 20 кГц

В) от 20 Гц до 250 Гц

Г) от 20 Гц до 20 кГц

**8. Характерная особенность всех жидких сред?**

А) Течение (движение)

Б) Питание организма

В) Защита организма

Г) Вязкость

**9. Как может быть использован шум при турбулентном течении крови?**

А) Измерение артериального давления.

Б) Для диагностирования болезни.

В) Определение объёма крови.

Г) Диагностика состава крови

**10. Укажите определение, соответствующее закону Паскаля.**

А) Давление в жидкости на глубине  $h$  равно  $\rho gh$ , где  $\rho$  – плотность жидкости,  $g$  – ускорение свободного падения.

Б) Тело, погруженное в жидкость, выталкивает объем жидкости равный собственному объему.

В) Жидкость и газ передают производимое на них давление во всех направлениях одинаково

Г) На тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу жидкости в объеме данного тела.

**11. В каких термодинамических системах может поддерживаться стационарное состояние:**

А) в изолированных

Б) в реальных системе

В) в идеальных

Г) в открытых

**12. Каково распределение ионов натрия между цитоплазмой и межклеточной жидкостью:**

А) внутри клетки его концентрация больше, чем извне

Б) внутри клетки его концентрация меньше, чем извне

В) внутри и извне концентрация ионов одинакова

Г) внутри клетки ион отсутствует, а снаружи его концентрация большая

**13. Оцените на основе закона Пуазейля, какие величины определяют гидродинамический напор:**

А) длина и радиус трубки, вязкость жидкости

Б) давление, вязкость жидкости, длина трубки

В) скорость, вязкость жидкости, длина трубки

Г) скорость жидкости, длина и радиус трубки

**14. Биореология изучает:**

А) деформацию костей, мышц и кровеносных сосудов

Б) энергию упругих деформаций в живых тканях

В) энергию деформации в процессах движения

Г) механические свойства биологических тканей

**15. Проанализируйте, в каких сосудах линейная скорость течения крови наименьшая:**

А) артерии

Б) артериолы

В) капилляры

Г) вены

**16. Силовой характеристикой электростатического поля является:**

А) Разность потенциалов

Б) Емкость

В) Напряженность

Г) Электрический заряд

**17. Электрический ток в металлах – это:**

А) направленное движение ионов

Б) направленное движение электронов

В) направленное движение протонов

Г) беспорядочное движение электронов

**18. Если расстояние между обкладками плоского воздушного конденсатора отключенного от источника тока, уменьшить в 2 раза, то заряд конденсатора:**

- А) уменьшится в 4 раза.
- Б) уменьшится в 2 раза.
- В) не изменится.
- Г) увеличится в 2 раза.

**19. Напряженность электрического поля между пластинами плоского конденсатора в вакууме 5 В/м. Какова разность потенциалов между пластинами при расстоянии между ними 2 см.**

- А) 20 В
- Б) 10 В
- В) 500 В
- Г) 0,2 В

**20. Определите, что такое импеданс:**

- А) силовая характеристика магнитного поля
- Б) плотность переменного тока
- В) проводимость для переменного тока
- Г) полное сопротивление в цепи переменного тока

**21. Виды биоэлектрических потенциалов**

А) электрический потенциал, измерительный потенциал  
Б) потенциал покоя, постсинаптический потенциал, потенциал действия, генераторные потенциалы

В) потенциал покоя, бездейственный потенциал, генераторные потенциалы

Г) измерительный потенциал, постсинаптический потенциал, потенциал действия

**22. Какого порядка потенциал покоя:**

- А) 10 В
- Б) 70 мВ
- В) 1000 мВ
- Г) 10 мВ

**23. Потенциал покоя – это:**

А) разность электрических потенциалов между внутренней и наружной сторонами мембраны, когда клетка находится в состоянии физиологического покоя

Б) мембранная разность потенциалов между внутри и внеклеточным пространством

В) Разность потенциалов между цитоплазмой возбужденной клетки и пресинаптической мембраной

Г) Разность потенциалов между цитоплазмой невозбужденной клетки и нейронами

**24. Потенциал действия развивается, если:**

А) Амплитуда деполяризирующего потенциала больше порогового

Б) Амплитуда деполяризирующего потенциала меньше порогового

В) Амплитуда деполяризирующего потенциала равна пороговому

Г) Амплитуда деполяризирующего потенциала равна нулю

**25. Проанализируйте, что представляют собой рентгеновские лучи:**

А) поток ионов

Б) поток электронов

В) поток альфа-частиц

Г) поток электромагнитных волн

**26. Как изменится вязкость при увеличении скорости течения крови:**

А) не изменится

Б) увеличится

В) уменьшится

Г) исчезнет

**27. Энцефалография - это:**

А) метод исследования электрической активности головного мозга

Б) метод исследования работы сердечной мышцы

В) метод электротерапии с применением слабого импульсного тока

Г) возбуждение вихревых токов в организме

**28. Явление электромагнитной индукции было открыто**

А) Ньютоном

Б) Фарадеем

В) Ленцем

Г) Гуком

**29. Диапазон длин волн видимого света составляет:**

А)  $400 \div 760$  нм

Б)  $2 \div 760$  нм

В)  $400 \div 10$  нм

Г)  $200 \div 400$  нм

**30. Наименьший объект, который можно обнаружить с помощью микроскопа имеет размеры?**

А)  $0,4 \lambda$

- Б)  $0,8 \lambda$
- В)  $2,5 \lambda$
- Г)  $3,0 \lambda$

Вариант 2

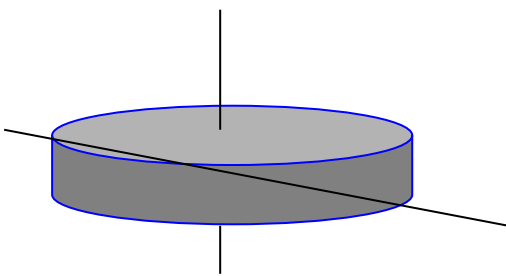
**1. За счет концентрации каких ионов осуществляется пассивная фаза биоэлектrogenеза клетки?**

- А)  $Na^+$
- Б)  $Cl^-$
- В)  $K^+$
- Г)  $Na^+$  и  $K^+$

**2. Биофизика – это?**

- А) Наука, изучающая биологические процессы и явления
- Б) наука, изучающая наиболее общие и фундаментальные закономерности, определяющие структуру и эволюцию материального мира
- В) Фундаментальная наука, изучающая общие формы существования материи
- Г) Наука, изучающая физические явления в биологических объектах

**3. Барабан ультрацентрифуги, применяющийся для разделения высокомолекулярных соединений, вращается вокруг вертикальной оси против часовой стрелки. Укажите направление вектора углового ускорения.**



- А) 1
- Б) 3
- В) 2
- Г) 4

**4. На основе какого закона лежит явление центрифугирование?**

- А) Закон Ньютона.
- Б) Закон вращательного движения.
- В) Закон Авогадро
- Г) Закона Фарадея

**5. Какая из формул Бернулли соответствует работе сердца?**

А)  $A = \rho \frac{V^2}{2} V + PV$

Б)  $A = \rho \frac{v^2}{2} + \rho gh + P$

В)  $A = PV$

Г)  $A = \rho \frac{v^2}{2} + P$

**6. Осмос – это:**

А) явление перехода молекул чистого растворителя через полупроницаемую перегородку в область, занятую раствором

Б) явление взаимного перемешивания различных слоев жидкости или газа

В) процесс обмена энергией

Г) явление перехода молекул раствора вещества через полупроницаемую перегородку в область, занятую молекулами чистого растворителя

**7. Диапазон длин ультразвуковых волн, активно используемых в медицине составляет:**

А) до 20 Гц

Б) от 20 кГц

В) от 20 Гц до 250 Гц

Г) от 20 Гц до 20 кГц

**8. Характерная особенность всех жидких сред?**

А) Течение (движение)

Б) Питание организма

В) Защита организма

Г) Вязкость

**9. Какая из формул соответствует методу СОЭ?**

А)  $\eta = \frac{2gR^2(\rho_1 - \rho_2)}{9V}$

Б)  $\eta = \frac{F}{6\pi rV}$

В)  $\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{V_2}{V_1}$

Г)  $\eta = 6Vh$

**10. Выберите правильное утверждение**

А) При необратимых процессах величина энтропии понижается

Б) Обратимые процессы идут с повышением энтропии

В) Все необратимые процессы идут с повышением энтропии

Г) При термодинамическом равновесии энтропия системы принимает минимальное значение

**11. Определите, что такое альфа-лучи:**

- А) потоки ядер водорода
- Б) потоки ядер гелия
- В) потоки электронов
- Г) потоки электромагнитных волн

**12. К сухожилию сечением  $2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  подвесили груз 60 н. Определить модуль Юнга сухожилия, если величина обратная относительно удлинению  $\frac{\ell}{\Delta \ell} = 0,5 \cdot 10^2 \text{ м}^2$  ?**

- А)  $5 \cdot 10^8 \text{ н/м}^2$
- Б)  $10 \cdot 10^8 \text{ н/м}^2$
- В)  $15 \cdot 10^8 \text{ н/м}^2$
- Г)  $25 \cdot 10^8 \text{ н/м}^2$

**13. Биореология изучает:**

- А) деформацию костей, мышц и кровеносных сосудов
- Б) энергию упругих деформаций в живых тканях
- В) энергию деформации в процессах движения
- Г) механические свойства биологических тканей

**14. Для описания адиабатического процесса в уравнении Пуассона  $PV = \text{const}$  показатель  $\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{i+2}{i}$ . Если газ трехатомный, чему равен  $\gamma$  ?**

- А)  $\frac{5}{3}$
- Б)  $\frac{7}{5}$
- В)  $\frac{4}{3}$
- Г)  $\frac{5}{3}$

**15. Силовой характеристикой электростатического поля является:**

- А) Разность потенциалов
- Б) Емкость
- В) Напряженность
- Г) Электрический заряд



16. Аппарат для гальванизации АГН-5 создает ток  $1,8 \cdot 10^{-2}$  А. Определить сопротивление участка человеческого тела при напряжении между электродами 45 В

- А)  $25 \cdot 10^2$  Ом
- Б)  $2 \cdot 10^4$  Ом
- В) 1000 Ом
- Г) 250 Ом

17. Если расстояние между обкладками плоского воздушного конденсатора отключенного от источника тока, увеличить в 2 раза, то заряд конденсатора:

- А) уменьшится в 4 раза.
- Б) упадет в 2 раза.
- В) останется постоянным.
- Г) возрастет в 2 раза.

18. какова единица измерения дозы радиоактивного излучения

- А) беккерель
- Б) зиверт
- В) грей
- Г) кюри

19. Определите электрическое сопротивление участка цепи при силе тока в цепи 4 А, а напряжение на этом участке 12 В.

- А) 3 Ом
- Б) 0,5 Ом
- В) 12 Ом
- Г) 6 Ом

20. Утверждение: «В любой точке пространства изменяющееся магнитное поле возбуждает вихревое электрическое поле» раскрывает физический смысл уравнения:

А)  $\text{rot } H = j + \frac{\partial D}{\partial t}$

Б)  $\text{rot } E = -\frac{\partial B}{\partial t}$

В)  $\text{div } D = \rho_q$

Г)  $\text{div } B = 0$

21. Какого порядка потенциал покоя:

- А) 10 В
- Б) 10 мВ
- В) 1000 мВ

Г) 70 мВ.

**22. Потенциал покоя – это:**

А) разность электрических потенциалов между внутренней и наружной сторонами мембраны, когда клетка находится в состоянии физиологического покоя

Б) мембранная разность потенциалов между внутри и внеклеточным пространством

В) Разность потенциалов между цитоплазмой возбужденной клетки и пресинаптической мембраной

Г) Разность потенциалов между цитоплазмой невозбужденной клетки и нейронами

**23. Какой вид радиоактивного излучения имеет наименьшую проникающую способность:**

А) альфа-излучение

Б) электронное излучение

В) позитронное излучение

Г) гамма-излучение

**24. Что такое электрофорез:**

А) перемещение частиц дисперсной фазы в среде под действием электрического поля

Б) воздействие токами высокой частоты

В) разогревание ткани при помощи электрического тока.

Г) ультразвуковое воздействие на пораженную ткань

**25. Электроэнцефалография – это:**

А) метод исследования работы сердечной мышцы

Б) метод исследования электрической активности головного мозга

В) метод электротерапии с применением слабого импульсного тока

Г) возбуждение вихревых токов в организме

**26. Явление электромагнитной индукции было открыто:**

А) Ньютоном

Б) Фарадеем

В) Ленцем

Г) Гуком

**27. Диапазон длин волн видимого света составляет:**

А) 400÷760 нм

Б) 2÷760 нм

В) 400÷10 нм

Г) 200÷400 нм

**28. Наименьший объект, который можно обнаружить с помощью микроскопа имеет размеры?**

- А)  $0,4\lambda$
- Б)  $0,8\lambda$
- В)  $2,5\lambda$
- Г)  $3,0\lambda$

**29. Электронный парамагнитный резонанс (эффект Завойского), с помощью которого определяется концентрация свободных радикалов в живых организмах, при  $h\nu$  – электромагнитном СВЧ излучении, соответствует следующей резонансной формуле:**

А)  $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$

Б)  $h\omega = g\beta H$

В)  $h\omega = mc^2$

Г)  $h\omega = mc^2 / 2$

**30. Основные свойства лазерного излучения :**

- А) высокая монохроматичность и малая мощность излучения
- Б) высокая монохроматичность и очень малое угловое расхождение в пучке и большая мощность излучения
- В) высокая монохроматичность и большое угловое расхождение в пучке
- Г) малая мощность излучения и угловое расхождение в пучке

### Вариант 3

**1. Какое свойство характерное только для гармонических колебаний:**

- А) они имеют постоянную частоту
- Б) они имеют постоянную амплитуду
- В) их графиком является синусоида
- Г) они являются периодическими

**2. Как изменяется амплитуда затухающих колебаний с течением времени:**

- А) экспоненциально растет
- Б) линейно растет
- В) линейно уменьшается
- Д) экспоненциально уменьшается

**3. Определите, какую единицу измерения имеет интенсивность волны:**

- А) Джоуль
- Б) Ватт
- В) Ватт/м<sup>2</sup>
- Г) Джоуль/м

**4. Определите характеристику, которая может быть выражена в Герцах:**

- А) частота
- Б) интенсивность
- В) высота
- Г) тембр
- Д) фаза

**5. Определите частоту колебаний, если тело за 10 секунд осуществило 20 колебаний:**

- А) 2 Гц
- Б) 10 Гц
- В) 20 Гц
- Г) 0,5 Гц

**6. Какие колебания считаются вынужденными:**

- А) которые осуществляются за счет собственного источника энергии
- Б) которые осуществляются под воздействием постоянной внешней силы
- В) которые происходят за счет сил, действующих в самой системе
- Г) которые вызывает периодическая внешняя сила

**7. Проанализируйте, в какой среде не может распространяться механическая волна:**

- А) воздух
- Б) жидкость
- В) дерево
- Г) вакуум

**8. Проанализируйте, что может быть причиной механического резонанса:**

- А) совпадение частоты внешней силы с собственной частотой колебаний
- Б) увеличение частоты колебаний выше определенного значения

В) значительное уменьшение длительности периода колебаний

Г) внезапное прекращение колебательного движения

**9. Определите специфическое свойство продольной волны:**

А) частицы среды распространяются вдоль направления волны

Б) частицы среды колеблются вдоль направления волны

В) волна распространяется от источника только в продольном направлении

Г) волна имеет в продольном направлении большую амплитуду, чем в поперечном

**10. Проанализируйте, что такое длина волны:**

А) расстояние, на которую она распространяется за четверть периода

Б) расстояние, на которую она распространяется за пол периода

В) расстояние, на которую она распространяется за один период

Г) расстояние, на которую она распространяется за одну секунду

**11. Проанализируйте, что может быть причиной эффекта Доплера:**

А) источник волн находится на дальнем расстоянии от приемника

Б) источник волн расположен слишком близко к приемника

В) источник волн перемещается относительно приемника

Г) частота источника и приемника волн совпадают

**12. Проанализируйте физическую природу звука:**

А) поперечная механическая волна

Б) продольная механическая волна

В) поток частиц, распространяющихся от его источники

Г) электромагнитная продольная волна

**13. Проанализируйте, чем шум отличается от тона:**

А) не периодичностью колебаний

Б) периодичностью колебаний

В) большей частотой колебаний

Г) меньшей частотой колебаний

**14. Проанализируйте, звук является сложным тоном:**

А) звук камертона

Б) аплодирование

В) гласные звуки

Г) звук сердца

**15. Оцените, какой диапазон звуков входит в область слышимости человека:**

- А) 20 кГц ÷ 16 МГц
- Б) 16 Гц ÷ 20 кГц
- В) 16 кГц ÷ 20 МГц
- Г) 16 Гц ÷ 20 МГц

**16. Определите минимальную частоту звука, который может услышать человек:**

- А) 160 Гц
- Б) 20000 Гц
- В) 16 Гц
- Г) 6 Гц

**17. Проанализируйте, от чего зависит значение коэффициента пропорциональности в законе Вебера-Фехнера:**

- А) от частоты звука
- Б) есть постоянной величиной
- В) от звукового давления
- Г) от интенсивности волны

**18. Определите явление, с помощью которого получают ультразвук для использования в медицинских целях:**

- А) эффект Доплера
- Б) эффект отражения
- В) прямой пьезоэффект
- Г) эффект преломления

**19. Определите, какое явление используется при ультразвуковом исследовании внутренних органов:**

- А) отражения ультразвуковых волн от границы двух сред
- Б) преломления ультразвуковых волн на границе двух сред
- В) дифракция ультразвуковых волн от мелких частиц
- Г) кавитация биологических жидкостей при прохождении ультразвука

**20. Определите, какой из методов применяется для измерения скорости течения крови в сосудах:**

- А) эхолокация
- Б) спидометрия

- В) ангиография
- Г) эхо доплерография
- Д) С-режим

**21. Проанализируйте, зачем при проведении ультразвуковой эхографии врач смазывает кожу пациента специальным гелем:**

- А) для уменьшения отражения ультразвука от кожи
- Б) чтобы не вызвать ожогов кожи ультразвуком
- В) для сохранения ультразвукового излучателя
- Г) для улучшения перемещения излучателя на поверхности кожи

**22. Определите, для чего служит эхо доплерография:**

- А) для прогревания биологических тканей
- Б) для обнаружения инородных тел в тканях
- В) для измерения скорости крови в сосудах
- Г) для измерения скорости ультразвука

**23. Определите, что такое объемная скорость течения жидкости ?:**

- А) объем жидкости, перемещается на любую расстояние
- Б) объем жидкости, перемещаемое в единицу расстояния
- В) объем жидкости, пересекающей поперечное сечение трубки за 1 секунду
- Г) скорость перемещение в пространстве единицы объема жидкости

**24. Проанализируйте, как изменится объемная скорость течения жидкости в трубке, которая имеет место сужение:**

- А) увеличится в месте сужения
- Б) уменьшится в месте сужения
- В) увеличится после места сужения
- Г) увеличится перед местом сужения

**25. Проанализируйте, исходя из уравнения Ньютона для силы трения, от чего она зависит:**

- А) от градиента скорости течения жидкости
- Б) от величины давления жидкости
- В) от направления течения жидкости
- Г) от плотности жидкости

**26. Проанализируйте, какая жидкость является неньютоновской:**

- А) вода
- Б) водка
- В) сироп

Г) эфир

**27. Проанализируйте, какая из жидкостей является ньютоновской:**

- А) кровь
- Б) яичный белок
- В) плазма крови
- Г) водка

**28. Дополните, течение жидкости называется турбулентной, если:**

- А) линейная скорость постоянна во всех точках потока
- Б) объемная скорость одинакова во всех сечениях трубки
- В) скорость потока постепенно падает до нуля
- Г) слои жидкости текут, перемешиваясь друг с вторым

**29. Проанализируйте, как при измерении артериального давления акустическим методом определяют систолическое давление:**

- А) за максимальной громкости тонов Короткова
- Б) за возникновением пульсовых волн
- В) по возникновением тонов Коротков
- Г) за исчезновением тонов Короткова

**30. Определите, какая из приведенных ниже цифр в большей степени соответствует величине мембранного потенциала покоя клетки:**

- А) +45 микровольт
- Б) -70 милливольт
- В) +70 микровольт
- Г) -120 милливольт



## XII ПРИЛОЖЕНИЕ ТАБЛИЦЫ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ

Таблица 1

### Основные физические постоянные в системе СИ

Название	Символ	Значение
Гравитационная постоянная	$\gamma$	$6,670 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
Скорость света в вакууме	$c$	$2,99793 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$
Постоянная Авогадро	$N_A$	$6,02252 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Универсальная газовая постоянная	$R$	$8,31510 \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k$	$1,38054 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$
Постоянная Фарадея	$F$	$9,6487 \cdot 10^4 \text{ Кл} \cdot \text{К}^{-1}$
Постоянная Планка	$h$	$6,62491 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma$	$5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{К}^{-4}$
Постоянная Вина	$b$	$2,8979 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Заряд электрона	$e$	$1,6021 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса покоя электрона	$m_e$	$9,10911 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Масса покоя протона	$m_p$	$1,67261 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

*Примечание.* При решении задач числа необходимо округлять до количества знаков, требуемых условиями задачи.

Таблица 2

### Приставки для обозначения десятичных кратных и дольных единиц

КРАТНЫЕ			ДОЛЬНЫЕ		
приставка	обозначение	множитель	приставка	обозначение	множитель
экса	Э	$10^{18}$	атто	а	$10^{-18}$
пета	П	$10^{15}$	фемто	ф	$10^{-15}$
тера	Т	$10^{12}$	пико	п	$10^{-12}$
гига	Г	$10^9$	нано	н	$10^{-9}$
мега	М	$10^6$	микро	мк	$10^{-6}$
кило	к	$10^3$	милли	м	$10^{-3}$

гекто	г	$10^2$	санти	с	$10^{-2}$
дека	да	$10^1$	деци	д	$10^{-1}$

Таблица 3

**Корни и натуральные логарифмы чисел от 1 до 10**

N	$\sqrt{N}$	$\text{Ln } N$	N	$\sqrt{N}$	$\text{Ln } N$
1	1,000	0,000	6	2,449	1,792
2	1,414	0,693	7	2,626	1,946
3	1,732	1,099	8	2,828	2,079
4	2,000	1,386	9	3,000	2,197
5	2,236	1,609	10	3,162	2,303

Таблица 4

**Некоторые часто встречающиеся числа и их логарифмы**

Число	N	$\text{Lg } N$	Число	N	$\text{Lg } N$
$\pi$	3,14	0,497	$\sqrt{\pi}$	1,772	0,248
$2\pi$	6,28	0,798	$\pi^2$	9,870	0,994
$4\pi$	12,57	1,099	g	9,81	0,992
$4/3\pi$	4,19	0,622	e	2,718	0,434
$\pi/2$	1,571	0,196	1/e	0,368	1,793

Таблица 5

**Внесистемные единицы**

Физическая величина	Единица		
	Наименование	Обозначение	Размер единицы в СИ
Время	минута	мин	60 с
	час	ч	3600 с
	сутки	сут	86400 с
Давление	атмосфера физическая	атм	$1,01 \cdot 10^5 \text{ Па} =$ $= 760 \text{ мм рт. ст.}$
	миллиметр ртутного столба	мм рт.ст.	133,322 Па
Масса	грамм	г	$10^{-3} \text{ кг}$

	тонна	т	$10^3$ кг
Мощность	лошадиная сила	л.с.	735,32 Вт
Объем	литр	л	$10^{-3}$ м <sup>3</sup>
Плоский угол	градус	...°	$1,745329 \cdot 10^{-2}$ рад
	минута	...'	$2,908882 \cdot 10^{-4}$ рад
	секунда	...''	$4,848137 \cdot 10^{-6}$ рад
Площадь	гектар	га	$10^4$ м <sup>2</sup>
Температура	градус Цельсия	°С	определяется выражением $t = T - T_0$ , где $T$ – температура Кельвина, $T_0 = 273,15$ К

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бузунова М.Ю. Сборник задач по физике : учеб. пособие для вузов. Ч.1: Механика. Механические колебания и волны. Молекулярная физика и термодинамика. Иркутск: Иркутский ГАУ, 2018. - 176 с.
2. Трофимова Т.И. Курс физики.: учеб. пособие для вузов. - М.: Академия, 2010. – 557 с.
3. Фирганг Е.В. Руководство к решению задач по курсу общей физике. – СПб.: Лань, 2008. – 352 с.
4. Ковалевский И.Г. Справочное пособие по курсу физики. – Иркутск: ИрГСХА, 2014.
5. Иванов И.В. Основы физики и биофизики: учеб. пособие. - 2-изд., испр. и доп. - СПб.: Лань, 2012. - 208 с.
6. Бузунова М.Ю. Сборник задач по физике : учеб. пособие для вузов. Ч.2: Электричество и магнетизм. Оптика. Основы физики атома и атомного ядра. Иркутск: Иркутский ГАУ, 2018. - 182 с.
7. Методические указания и контрольные задания для студентов заочного факультета, обучающихся по специальности «Ветеринария» и направлениям «Зоотехния» и «ТППСХП» / составитель И.Г. Пospelова. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2013. - 66 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
Методические указания к выполнению контрольных работ.....	4
Библиографический список.....	8
Методические указания и контрольные задания.....	10
I. Элементы классической механики и биомеханики.....	14
II. Механические колебания. Акустика и биоакустика.....	22
III. Гидродинамика и гемодинамика.....	28
IV. Упругие свойства твердых и жидких тел.....	35
V. Явление переноса. Осмос.....	40
VI. Термодинамика.....	45
VII. Электростатика. Постоянный электрический ток. Биоэлектрические явления.....	51
VIII. Магнитное поле. Электромагнитная индукция. Переменный ток	59
IX. Геометрическая и волновая оптика. Тепловое излучение.....	68
X. Элементы квантовой оптики .....	75
XI. Тесты для проверки остаточных знаний по биофизике.....	81
XII. Приложение .....	97
Литература .....	99

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ  
**Бузунова Марина Юрьевна**  
**Клибанов Юлия Юрьевна**

**БИОФИЗИКА**  
**ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Учебное пособие

Научный редактор – М.Ю. Бузунова  
Ответственный за выпуск – М.Ю. Бузунова  
Компьютерная верстка – М.Ю. Бузунова

Лицензия на издательскую деятельность  
ЛР № 070444 от 11.03.98 г.

Тираж

Издательство Иркутский государственный  
аграрный университет им. А.А.Ежевского  
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н,  
пос. Молодежный