

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

ОСНОВЫ ФИЗИКИ И БИОФИЗИКИ

Учебно-методическое пособие

УДК 531 (075)

ББК 22.3, Я 73

Р411

Кафедра теоретической и прикладной физики

Составители: доц. С.Г.Штейн;
доц. И.М. Дзю;
профессор, докт.техн.наук С.В. Викулов;

Рецензент: канд. физ.-мат. наук, д(НГАВТ)

Основы физики и биофизики: метод. указания по изучению дисциплины и задания для контрольных работ. / Новосиб. гос. аграр. ун-т; сост.: И.М. Дзю, С.В. Викулов, Л.А. Митина – Новосибирск, 2020. – 83 с.

Предназначены для студентов заочной формы обучения факультетов биолого-технологического и ветеринарной медицины.

Утверждено и рекомендовано к изданию методическим советом Инженерного института (протокол № 20 от 21 июня 2015 г.)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Физика - одна из фундаментальных наук, которая изучает: свойства различных форм существования материи, законы, связанные с любыми её изменениями и превращениями в пространстве и времени. Материя – объективная реальность, воздействующая на органы чувств, фотографируется, отображается нашими ощущениями и существует независимо от них. Формы существования материального мира очень разнообразны.

Животные и растения представляют собой самоуправляющиеся биологические системы, в которых протекают разнообразные физические процессы - механические, тепловые, электрические, оптические, а также сложнейшие биохимические реакции. Поэтому на стыке биологии, физики и химии возникла новая наука - биофизика, изучающая физические и физико-химические процессы в биологических системах на всех уровнях их организации, а также влияние различных физических факторов на живые организмы. Биофизика тесно связана с электрофизиологией, фармакологией, зоогигиеной и т.д. В зооветеринарной практике широко используются электронные и оптические методы анализа. В терапии, диагностике и в хирургии применяется современная электрическая и оптическая аппаратура, рентгеноскопия, ультразвук и т.д. Использование современных физических методов в клинической ветеринарии и зоотехнии позволяет усовершенствовать диагностику, профилактику и лечение животных и птицы и тем самым способствовать повышению их продуктивности.

"Физика с основами биофизики" является базовой дисциплиной по отношению ко многим специальным дисциплинам, таким как "Физиология сельскохозяйственных животных", "Радиобиология" и др.

Целью настоящего методического пособия является оказание помощи студентам заочных факультетов в изучении основных положений современной физики, в физической интерпретации ряда биологических явлений, а также описании некоторых физических методов и приборов, широко используемых на практике и в научных исследованиях.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Изучение курса физики студентами-заочниками делится на два этапа:

1. Самостоятельное изучение физики по учебникам и учебным пособиям, выполнение контрольных работ.
2. Участие в лабораторно-экзаменационной сессии, выполнение лабораторных работ, сдача зачетов и экзаменов.

Основная работа по изучению курса должна быть проделана студентами до лабораторно-экзаменационной сессии. Изучая курс "Физика с основами биофизики", необходимо руководствоваться программой. Нельзя ограничиваться изучением лишь тех вопросов теории, которые непосредственно связаны с выполнением контрольных работ.

При самостоятельной работе над учебником необходимо:

- 1) понять суть законов и формул; 2) выработать чёткое представление о всех единицах измерения величин, входящих в формулы; 3) знать, как единицы измерения величин выбраны и их размерность. Изученный материал законспектировать.

Для закрепления материала необходимо ответить на вопросы и решить задачи с подробным объяснением. Все измерения физических величин производится в международной системе единиц.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА «ФИЗИКА С ОСНОВАМИ БИОФИЗИКИ»

ВВЕДЕНИЕ

Физика как наука, её предмет и методы исследования. Значение физики для современной биологии и ветеринарии. Обработка результатов физических измерений. Погрешности измерений (систематические, случайные, приборные). Абсолютная и относительная погрешности.

I. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

Кинематика и динамика материальной точки. Траектория, перемещение, путь. Скорость и ускорение. Законы Ньютона. Невесомость и перегрузки, их влияние на организм животных.

Вращательное движение твердого тела. Понятие об абсолютно твердом теле. Вращение твёрдого тела вокруг неподвижной оси. Угловая скорость и угловое ускорение, их связь с линейными скоростями и ускорениями точек вращающегося тела. Центрифуги и их применение в ветеринарно-биологических исследованиях и в сельском хозяйстве.

Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела. Момент силы. Момент инерции тела относительно неподвижной оси вращения. Момент инерции некоторых тел правильной геометрической формы.

Законы сохранения. Понятие об изолированной системе в механике. Закон сохранения импульса. Момент импульса. Закон сохранения момента импульса.

Работа переменной силы. Кинетическая и потенциальная энергия. Кинетическая энергия вращающегося тела. Закон сохранения и превращения энергии в механике.

Физические основы акустики. Природа звука. Физические характеристики звука: звуковое давление, акустическое сопротивление, интенсивность, акустический спектр (тон, обертоны), громкость, тембр и шум. Коэффициент отражения. Формула Рэлея. Источники и приемники звука. Эффект Доплера. Акустические методы исследования в ветеринарии. Ультразвук. Действие ультразвука на биологические объекты. Инфразвук.

Гидродинамика. Течение идеальной несжимаемой жидкости. Уравнение неразрывности струи. Уравнение Бернулли и следствия из него (ингалятор, водоструйный насос).

Течение вязкой жидкости. Закон Стокса, вязкость крови и плазмы. Ламинарное и турбулентное течения. Измерение артериального давления.

Свойства упругих тел. Кристаллические и аморфные тела. Жидкие кристаллы. Деформации твердых тел. Закон Гука. Упругие свойства костей, коллагена и некоторых других тканей животных организмов.

II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Основы молекулярно-кинетической теории. Идеальный газ. Газовые законы. Уравнение состояния идеального газа. Температурные шкалы.

Явления переноса в газах: диффузия, теплопроводность, внутреннее трение. Законы Фика, Фурье и Ньютона. Виды теплообмена в живых организмах. Физическая терморегуляция организма. Тепловые методы лечения в ветеринарии.

Реальные газы. Критическое состояние вещества. Сжижение газов. Применение сжиженных газов в ветеринарии.

Молекулярные явления в жидкостях. Характеристика жидкого состояния вещества. Поверхностное натяжение. Капиллярные явления. Смачивание. Краевой угол. Формула Лапласа. Высота поднятия жидкости в капиллярах (формула Жюрена). Диффузия. Осмос. Закон Вант-Гоффа.

Физические основы термодинамики. Термодинамические параметры. Работа и теплота газа. Внутренняя энергия. Теплоемкость газа. Первое начало термодинамики. Работа газа при изотермическом и изобарическом процессах. Обратимые и необратимые процессы. Второе

начало термодинамики. Принцип действия тепловой машины. Цикл Карно. Понятие энтропии.

Термодинамика биологических систем, открытые и закрытые термодинамические системы. Живой организм как открытая термодинамическая система. Энергетический баланс живого организма. Формула Пригожина.

III. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Электростатика. Электростатическое поле. Закон Кулона. Напряженность поля. Теорема Остроградского-Гаусса. Работа перемещения заряда в электростатическом поле. Потенциал. Напряженность поля как градиент потенциала.

Проводники в электростатическом поле. Электростатическая защита. Диэлектрики в электростатическом поле. Поляризация диэлектрика. Диэлектрическая проницаемость. Диэлектрические свойства тканей организма.

Емкость проводника. Конденсаторы. Емкость клеток и тканей.

Законы постоянного тока. Электрический ток в металлах. Закон Ома. Электродвижущая сила источника. Работа и мощность постоянного тока. Тепловое действие тока. Закон Джоуля-Ленца.

Электромагнетизм. Магнитные явления. Магнитное поле. Напряженность. Магнитные свойства вещества.

Электромагнитная индукция. Основной закон электромагнитной индукции, индуктивность.

Переменный ток. Получение переменного тока. Действующие значения переменного тока и напряжения. Цепи переменного тока с активным, индуктивным и емкостным сопротивлениями. Полное сопротивление цепи переменного тока при последовательном соединении элементов цепи. Обобщенный закон Ома. Мощность в цепи переменного тока.

Электрические явления в биологических системах. Электрический ток в электролитах. Законы Фарадея. Электролитическая поляризация. Порог раздражения в тканях. Закон Вейса. Прохождение постоянного тока через живые ткани. Гальванизация и электрофорез лекарственных веществ.

Понятие о клеточных мембранах. Транспорт веществ через биомембраны: пассивный (диффузия, электродиффузия, осмос, электроосмос) и активный. Уравнение Нернста. Ионные градиенты и возникновение биоэлектрических потенциалов. Уравнение Доннана. Биопотенциалы покоя и биопотенциалы действия. Измерение биопотенциалов.

Прохождение переменного тока через живые ткани. Эквивалентные схемы биологических объектов. Полное сопротивление живых клеток и тканей переменному току. Дисперсия полного сопротивления биологических тканей и ее значение для определения жизнеспособности

тканей.

Применение электромагнитных полей в ветеринарии (диатермия, дарсонвализация, УВЧ-терапия, СВЧ-терапия).

IV. ОПТИКА

Геометрическая оптика. Отражение и преломление света. Полное отражение света на границе двух сред и использование этого явления в оптических приборах. Световоды и применения волоконной оптики. Эндоскопия. Рефрактометры и их применения в ветеринарной практике.

Тонкие линзы. Формула линзы. Микроскоп. Оптическая схема микроскопа. Увеличение и разрешающая способность микроскопа.

Основы фотометрии. Световой поток, сила света, освещенность, светимость, яркость. Фотометрия в животноводстве и ветеринарии.

Дисперсия света, спектры и их типы. Спектрометры и спектрографы. Спектральный анализ. Поглощение света. Спектры поглощения. Закон Бугера.

Ультрафиолетовое и инфракрасное излучения, их свойства и методы их наблюдения. Бактерицидные и эритемные лампы. Применение ультрафиолетового и инфракрасного излучения в ветеринарии.

Волновая оптика. Принцип Гюйгенса. Интерференция волн. Способы наблюдения интерференции света (опыт Юнга, кольца Ньютона, интерференция в тонких пленках).

Дифракция света. Дифракционная решетка. Рентгеноструктурный анализ.

Поляризация света. Поляризованный и естественный свет. Поляризация при отражении и преломлении света. Законы Малюса и Брюстера. Вращение плоскости поляризации. Оптическая активность веществ. Поляриметры и сахариметры. Поляризационный микроскоп и его применение.

Квантово-оптические явления. Тепловое излучение. Лучеиспускательная и лучепоглощательная способности тел. Абсолютно черное тело. Закон Кирхгофа. Распределение энергии в спектре излучения абсолютно черного тела. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Квантовый характер излучения. Тепловое излучение тела животного. Понятие о термографии.

Фотоэлектрический эффект. Законы фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна. Фотоны. Физические явления, сопровождающие поглощение света веществом. Фотохимические и фотобиологические реакции.

V. СТРОЕНИЕ АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА

Строение атома. Планетарная модель атома. Постулаты Бора. Объяснение спектральных закономерностей. Спин электрона. Квантовые числа. Принцип Паули.

Рентгеновское излучение. Получение, свойства. Рентгенодиагностика и рентгенотерапия. Биологическое действие рентгеновского излучения.

Люминесценция. Виды люминесценции. Правило Стокса. Люминесцентный анализ в ветсанэкспертизе.

Оптические квантовые генераторы (лазеры). Лазерное излучение в биологии и ветеринарии.

Строение атомного ядра. Основные сведения о строении атомного ядра: масса ядра, массовое число, заряд, спин, магнитный момент. Протон, нейтрон. Изотопы. Ядерные силы. Дефект массы

Радиоактивный распад атомных ядер. Основной закон радиоактивного распада. Период полураспада. Действие ионизирующих излучений на живой организм. Метод «меченых» атомов в сельском хозяйстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белановский А.С. Основы биофизики в ветеринарии. – М.: ВО Агропромиздат, 1989.
2. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика. – М.: Высш. шк., любой год издания.
3. Грабовский Р.И. Курс физики. – М.: Высш.шк., 2002.

УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Каждый студент выполняет одну контрольную работу, в которой должен решить 6 задач. Номер варианта определяется по двум последним цифрам шифра. Номер задач определяется по таблице вариантов. Они указаны в строке, соответствующей последней цифре шифра в одной из двух колонок в зависимости от того чётная или нечётная последняя цифра в шифре студента. Пусть, например, шифр студента 58531. Он должен выполнять первый нечётный вариант. В соответствии с таблицей вариантов для контрольной работы ему следует решать задачи 5, 31, 41, 74, 89, 115, определяющие содержание его контрольной работы (см. таблицу вариантов).

Таблица вариантов (образец)

Последняя цифра шифра	Предпоследняя цифра шифра											
	нечётная						чётная					
0												
1	5	31	41	74	89	115						
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												

2. Работа, присланная на рецензию, должна быть выполнена в отдельной ученической тетради, на обложке которой нужно указать фамилию, инициалы, полный шифр, номер контрольной работы, дату её отправки в институт и адрес студента.

3. Задачи контрольной должны иметь те номера, под которыми они стоят в методических указаниях. Условия задач необходимо переписать полностью и каждую задачу начинать с новой страницы. Для замечаний рецензента следует оставлять поля шириной 4-5см.

4. Условия задачи решаются в общем виде, т.е. в виде буквенных выражений без вычисления промежуточных величин. Числовые значения подставляются только в окончательную (расчетную) формулу.

5. Получив ответ в виде алгебраической формулы, следует проверить его на основании правил размерности, т.е. убедиться, что размерности правой и левой частей равенства совпадают.

6. Проверив совпадение размеренностей, следуя произвести анализ полученного ответа и выяснить, удовлетворяет ли он условиям задачи. Так, при решении квадратного уравнения получаются два ответа, один из которых может не удовлетворять данным задачи, и его следует отбросить.

7. Произведя проверку, можно подставить в полученную формулу числовые значения величин, приведенных в условиях задачи. При арифметических подсчётах следует использовать правила приближённых вычислений и производить расчёты лишь с тем количеством значащих цифр, которое определяется условиями задач или до трёх значащих цифр. Для удобства контроля за правильностью вычислений необходимо предварительно ещё раз переписать выражение, полученное после подстановки числовых значений величин, нормализовав эти значения, т.е. превратив каждое число в число, близкое к единице, умноженное на соответствующую степень 10. Например, $8780 = 0,878 \cdot 10^4$. В этом случае вычисляется также значащая часть результата.

8. При решении следует пользоваться таблицами, которые приводятся в приложениях к контрольным заданиям.

9. В конце работы необходимо указать год и место издания методических указаний, перечислить использованную литературу, обязательно указывая авторов учебников и год их издания.

10. Получив проверенную (как допущенную, так и не допущенную к собеседованию), студент обязан тщательно изучить все замечания рецензента, уяснить свои ошибки и внести исправления. Повторно оформленная работа высылается на рецензию обязательно вместе с тетрадью, в которой была выполнена не допущенная к собеседованию работа и с рецензией на неё. Замечания и рекомендации, сделанные преподавателем, следует рассматривать как руководство для подготовки к беседе по решению задач. Тетрадь с контрольной работой нужно сохранять до получения зачёта по ней.

АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

Лекции по курсу «Основы физики и биофизики» носят обзорный характер, и в них излагается только часть материала, наиболее трудная для самостоятельного изучения. Количество лекций определяется деканатами соответствующих факультетов, а их тематика кафедрами.

Лабораторно-практические занятия. Цель этих занятий – углубление и закрепление теоретических знаний, полученных студентами при самостоятельном изучении учебного материала, ознакомление с наиболее распространёнными в биологических и ветеринарных исследованиях и в клинической практике физическими приборами и методами измерений. В ходе этих занятий студенты выполняют ряд лабораторных работ, оформляют по ним письменные отчёты, которые представляют преподавателю при сдаче зачёта. Тематика лабораторных работ определяется кафедрой физики в соответствии с

учебной программой и материальными возможностями кафедры.

Зачет. После выполнения лабораторно-практических занятий студенты сдают зачет. Для сдачи зачета необходимо четкое знание студентами следующих основных вопросов:

1. Точное определение измерявшихся физических величин, их определяющие формулы и их единицы измерений.
2. Схемы лабораторных установок (электрические схемы, ход лучей в оптических приборах и т. п.).
3. Точность применявшихся измерительных приборов и точность окончательного результата измерений физических величин. Знание методов обработки результатов измерений физических величин.

Экзамен. По всем разделам курса установлен один экзамен. На экзамене от студента требуется твердое знание теоретического курса, предусмотренного программой, имеющихся в нем математических выводов физических законов, ясное понимание их физической сущности, умение иллюстрировать эти законы примерами из биологии и ветеринарной лабораторной и клинической практики.

При подготовке к экзамену следует обратить внимание на вопросы для самоконтроля, приводимые в конце каждого раздела в настоящих методических указаниях. Эти вопросы ориентируют студента на наиболее важные разделы программы и могут быть заданы ему как дополнительные на экзамене.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАЗДЕЛАМ ПРОГРАММЫ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

В приведенных ниже методических указаниях рассмотрены методы решения некоторых задач, аналогичных тем, которые предлагаются студентам в контрольных заданиях. Перед каждым разделом приведены основные законы и формулы, с которыми необходимо ознакомиться, прежде чем приступить к решению контрольной работы.

ПРАВИЛА ПРИБЛИЖЁННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Числовые значения физических величин, с которыми приходится иметь дело при решении задач, в большинстве случаев являются приближенными причём степень приближения зависит как от точности приборов, которыми измерялась данная физическая величина, так и от тех требований, которые выдвигаются условиями задачи.

Так, например, ускорение силы тяжести обычно принимается равным $9,81 \text{ м/с}^2$. Однако более точные измерения этой величины могут дать значение $9,80665 \text{ м/с}^2$. При решении же некоторых задач в целях упрощения расчетов можно принять значение этой величины равным

$$10 \frac{м}{с^2} \cdot$$

Необходимо помнить, что точность конечного результата вычислений зависит только от точности измерений и ее невозможно повысить за счет точности вычислений, высчитывая много десятичных знаков после запятой. Рассмотрим это на примере следующей задачи.

За сколько времени падающее тело достигнет скорости $50 \frac{м}{с}$?

В соответствии с законами свободного падения $v = gt$, а $t = \frac{v}{g} = \frac{50}{9,81}$.

Производя деление, можно получить, например, число 5,09684.... секунд. Можно производить деление и дальше, но смысла это иметь не будет. Вполне достаточно остановиться на числе 5,09, имеющем столько же значащих цифр, сколько их имеет исходное данное — 9,81. Излишнее количество знаков при вычислениях не только не приносит пользы, но является грубой ошибкой, так как говорит о том, что вычислитель не имеет представления о точности своих измерений и вычислений и бесполезно затрачивает свой труд и время.

Чтобы избежать вычисления ненужных знаков, необходимо соблюдать правила действия над приближенными числами:

1. Следует правильно записывать приближенные числа. Так, например, числа 5,6; 5,60; 5,600 – отнюдь не одно и то же число. В первой записи указано, что верны лишь цифры целых и десятых долей. Во втором числе верны сотые доли, а в третьем — также и тысячные, и, следовательно, измерения, в которых получено это число, оказались наиболее точными из всех трех измерений.

2. При сложении и вычитании приближенных чисел в результате надо отбрасывать по правилам округления цифры тех разрядов справа, которых нет хотя бы в одном из слагаемых. Так, например: $28 + 3,2 = 31,2 \approx 31$.

Десятые доли отброшены, так как десятичные знаки первого слагаемого неизвестны.

3. При умножении и делении приближенных чисел в результате необходимо оставлять столько значащих цифр, сколько их имеется в числе с наименьшим количеством значащих цифр. Прочие цифры заменяются нулями или отбрасываются по правилам округления. Например:

$$253 \cdot 13 = 3289 \approx 3300,$$

$$2,79 : 13 = 0,2146 \approx 0,21.$$

4. При возведении в степень или извлечении корня в результате надо оставлять столько значащих цифр, сколько их в исходном числе, с которым производится действие. Например:

$$2,5^2 = 6,25 \approx 6,2 \quad \sqrt{26,5} \approx 5,15.$$

5. При вычислении сложных выражений следует применять указанные правила в соответствии с видом производимых действий.

Например,

$$\frac{(5,3+12,036) \cdot \sqrt{4,8}}{2,7 \cdot 3,025}.$$

Числа 5,3 и 2,7 имеют наименьшее количество значащих цифр, а именно две. Поэтому результаты всех промежуточных вычислений должны округляться до трех знаков, оставляя, кроме двух достоверных, один сомнительный знак. Тогда предыдущее выражение можно будет записать так:

$$\frac{17,3 \cdot 2,21}{2,7 \cdot 3,02} = \frac{38,2}{8,15} \cong 4,69.$$

Произведя эти вычисления, округляем ответ до двух значащих цифр, т. е. до 4,7.

6. Табличные величины (число π , $\sqrt{2}$, заряд электрона и т. п.) следует брать с таким количеством значащих цифр, которое равно количеству значащих цифр в наименее точном из данных по условиям задачи.

7. В ряде случаев результаты измерений или табличные данные выражаются числами, близкими к единице, но заведомо не равными единице. При точных вычислениях такие числа округлять нельзя. Так, например, магнитная проницаемость платины равна, 1,000360, показатель преломления воздуха равен 1,00029, и т. п. Вычисления с ними довольно громоздки. Поэтому при работе с такими числами следует пользоваться специальными правилами.

Пусть число может быть выражено в виде, $1 \pm x$, где x – малое число. Тогда

$$(1 \pm x)^n = 1 \pm nx.$$

$$\sqrt[n]{1 \pm x} = 1 \pm \frac{1}{n}x,$$

$$\frac{1}{1 \pm x} = 1 \mp x.$$

Рассмотрим применение этих правил на примерах:

$$\frac{1}{1,00029} = 1 - 0,00029 = 0,99971.$$

$$1,00029^2 = 1 + 2 \cdot 0,00029 = 1,00058.$$

$$\sqrt{26} = \sqrt{25+1} = 5\sqrt{1+\frac{1}{25}} = 5\sqrt{1+0,04} = 5(1+0,5 \cdot 0,04) = 5+0,1 = 5,1.$$

Этими правилами следует широко пользоваться в приближенных вычислениях и при решении задач. При вычислениях в ряде случаев удобно пользоваться таблицами 3 и 4, помещенными в конце указаний.

I. ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Основные законы и формулы

Наименование величины или физический закон	Формула
Связь между линейным (v и α_t) и угловыми (ω и ε) величинам при вращательном движении	$v = \omega \cdot R; \quad \alpha_t = \varepsilon \cdot R$
Угловая скорость при равнопеременном вращении	$\omega = \omega_0 + \varepsilon \cdot t$
Угол поворота при равнопеременном вращении	$\varphi = \phi_0 + \omega_0 \cdot t + \frac{\varepsilon \cdot t^2}{2}$
Связь между угловой скоростью ω , частотой вращения ν и периодом вращения T при равнопеременном вращении	$\omega = 2\pi \cdot \nu = \frac{2\pi}{T}$
Связь между углом поворота и числом оборотов N	$\varphi = 2\pi \cdot N$
Основное уравнение динамики вращательного движения (связь между угловым ускорением, моментом силы M и моментом инерции J вращающегося тела)	$\varepsilon = \frac{M}{J}$
Моменты инерции некоторых тел	$J = m \cdot r^2$
а) материальной точки массой m на расстоянии r от оси вращения	$J = m \cdot R^2$
б) полого цилиндра радиусом R	$J = \frac{m \cdot R^2}{2}$
в) сплошного цилиндра или диска радиусом R	$J = \frac{m \cdot a^2}{3}$
г) однородного тонкого стержня длиной a относительно оси, проходящей через его конец	$L = J \cdot \omega$
Момент импульса L	$J_1 \omega_1 = J_2 \omega_2$
Закон сохранения момента импульса	$E_k = \frac{J \cdot \omega^2}{2}$
Кинетическая энергия вращающегося тела	

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение угловой скорости, углового ускорения. Напишите соответствующие формулы. В каких единицах измеряются эти величины?
2. Выведите формулу для вычисления угловой скорости при равно - переменном вращении.
3. Выведите формулу для вычисления угла поворота при равнопеременном вращении.
4. Дайте определение момента силы. В каких единицах измеряется момент силы?
5. Выведите основной закон динамики вращательного движения твердого тела.
6. Дайте определение момента инерции. В каких единицах измеряется эта величина? Каков ее физический смысл?
7. Дайте определение момента импульса.
8. Выведите формулу кинетической энергии вращающегося тела.

Примеры решения задач

ЗАДАЧА № 1

Цилиндрический барабан ультрацентрифуги, применяющийся для разделения высокомолекулярных соединений, имеет диаметр 20 см и массу 5 кг. Для остановки барабана, вращающегося с частотой $9000 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$, к нему, после выключения электродвигателя, прижали тормозную колодку. Какую силу трения нужно приложить к боковой поверхности барабана, чтобы остановить его за 20 сек? Сколько оборотов он сделает до полной остановки? Какова будет работа силы трения.

Решение

$$2R = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$$m = 5 \text{ кг}$$

$$\nu_0 = 9000 \frac{\text{об}}{\text{мин}} = 150 \text{ с}^{-1}$$

$$t = 20 \text{ с}$$

$$N = ? F = ? A = ?$$

Момент силы трения, приложенной к поверхности барабана $M = FR$. Считая барабан сплошным цилиндром, можно написать, что его момент инерции равен

$$J = \frac{mR^2}{2}.$$

Из основного уравнения динамики вращательного движения следует, что $M = \varepsilon J$, где ε – угловое ускорение. Следовательно,

$$FR = \varepsilon \frac{m \cdot R^2}{2} \text{ и } F = \frac{\varepsilon \cdot m \cdot R}{2}.$$

1

Угловая скорость тела, вращающегося с угловым ускорением ε и с начальной скоростью ω_0 , по прошествии времени t от начала движения будет: $\omega = \omega_0 + \varepsilon \cdot t$. Так как барабан по условию задачи останавливается, то $\omega = 0$. Поэтому $0 = \omega_0 + \varepsilon \cdot t$. Отсюда

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

Подставляя это выражение в формулу 1, получим:

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

(знак минус означает, что сила замедляет вращение барабана).

Так как вращение барабана равнозамедленное, величина угла поворота будет

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

Но так как $\omega = 0$, то

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

С другой стороны, угол поворота связан с полным числом оборотов барабана соотношением

$$\varphi = 2\pi \cdot N. \quad 4$$

Приравнивая правые части выражений 3 и 4, получаем:

$$2\pi \cdot N = \pi \cdot \nu_0 \cdot t. \text{ Откуда } N = \frac{\nu_0 \cdot t}{2}. \quad 5$$

Работа силы трения, необходимая для полной остановки барабана, будет равна его кинетической энергии, т. е.

$$A = \frac{J \cdot \omega_0^2}{2} = \frac{m \cdot R^2}{2} \cdot \frac{4\pi^2}{2} = \pi^2 \cdot m \cdot R^2 \cdot \nu_0^2; \quad A = \pi^2 \cdot m \cdot R^2 \cdot \nu_0^2. \quad 6$$

Проверим размерности формул 2 и 6:

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

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

Таким образом, полученные формулы дают правильные размерности силы и работы.

Сделаем подстановку числовых значений заданных величин:

$$N = \frac{150 \cdot 20}{20} = 1500 \text{ об.}$$

$$F = -\frac{3,14 \cdot 5 \cdot 150 \cdot 0,1}{20} = -11,8 \text{ Н.}$$

$$A = 3,14^2 \cdot 5 \cdot 0,1^2 \cdot 150^2 = 1,11 \cdot 10^4 \text{ Дж.}$$

ЗАДАЧА № 2

Горизонтальная платформа массой 150 кг вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через центр платформы, делая $60\text{ об}/\text{мин}$. Человек массой 60 кг стоит при этом на краю платформы. С каким числом оборотов будет вращаться платформа, если человек перейдет от края платформы к ее центру? Считать платформу круглым однородным диском, а человека – точечной массой.

Решение

$$m_1 = 150\text{ кг}$$

$$m_2 = 60\text{ кг}$$

$$v_1 = 60\text{ об}/\text{мин} = 0,1\text{ с}^{-1}$$

$$v_2 = ?$$

На основании закона сохранения момента импульса можно записать:

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

где J_1 – момент инерции платформы с человеком, стоящим на её крае,

а J_1 – момент инерции платформы с человеком, стоящим на ее крае, а J_2 – момент инерции платформы с человеком в ее центре.

Считая платформу однородным диском и человека точечной массой, можно написать:

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

Так как момент инерции точечной массы, находящейся в центре вращения платформы, равен 0, то

$$J_2 = \frac{m_1 \cdot R^2}{2},$$

Таким образом, так как $\omega = 2\pi \cdot \nu$,

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

Отсюда

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

Подставим числовые значения:

$$\nu_2 = 0,1 = \frac{150 + 120}{60} = 0,45\text{ с}^{-1}.$$

Итак, число оборотов платформы возрастет и станет $0,45\text{ с}^{-1}$.

ЗАДАЧА № 3

Косилка-измельчитель предназначена для скашивания травы и одновременного измельчения кормов для скота. Зависимость угла поворота барабана косилки КС-1 от времени дается уравнением:

$$\varphi = A + Bt + Ct^2, \text{ где } B = 0,6 \text{ рад/с} \text{ и } C = 0,25 \text{ рад/с}^2.$$

Найти угловую скорость вращения барабана и линейную скорость точек на его поверхности через 10с от начала вращения. Диаметр барабана 0,5м.

Решение

$$\varphi = A + Bt + Ct^2$$

$$B = 0,6 \text{ с}^{-1}$$

$$C = 0,25 \text{ с}^{-2}$$

$$t = 10 \text{ с}$$

$$D = 0,5 \text{ м}$$

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

Угловая скорость есть производная углового перемещения по времени:

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

Подставляя числовые данные, получим:

$$\omega = 0,6 \text{ с}^{-1} + 2 \cdot 0,25 \text{ с}^{-2} \cdot 10 \text{ с} = 0,6 \text{ с}^{-1} + 5 \text{ с}^{-1} = 5,6 \text{ с}^{-1}$$

$$\text{Линейная скорость } v = \omega \cdot R = \omega \frac{D}{2};$$

$$v = 5,6 \text{ с}^{-1} \cdot 0,25 \text{ м} = 1,4 \text{ м/с}$$

Ответ: Угловая скорость равна $5,6 \text{ рад/с}$, и линейная скорость равна $1,4 \text{ м/с}$.

Контрольные задачи

1. Сколько оборотов в секунду необходимо делать барабану центрифуги диаметра 0,2м, чтобы давление жидкости на дно пробирки увеличилось в 20раз по сравнению с давлением покоя.

2. Сосуд с водой, привязанный к нити длиной 0,5м, вращается в вертикальной плоскости. Рассчитайте угловую скорость ω_1 , при которой в верхней точке траектории вода не будет выливаться и ω_2 когда в нижней части траектории её вес в пять раз больше веса покоя.

3. Цилиндрический барабан ультрацентрифуги, применяющейся для разделения высокомолекулярных соединений, имеет диаметр 20см делает 9000 об/мин . Рассчитайте нормальное ускорение точек обода барабана и

выразите его в единицах ускорения свободного падения $\frac{an}{g}$.

4. Автомобиль массой 1,8 т движется со скоростью $V = 60 \text{ км/ч}$ по выпуклому мосту. Радиус кривизны моста, 10 м. С какой силой давит на мост автомобиль в верхней точке.

5. На краю диска диаметра 1 м лежит брусок массой 5 кг. При какой частоте вращения диска брусок придёт в движение. Коэффициент трения о диск 0,2.

6. Приборы центрифуги вращаются равномерно, делая 600 оборотов в минуту. Определить: а) угловую скорость, б) линейную скорость и нормальное ускорение частички, взвешенной в жидкости пробирки, удалённой от центра вращения на 10 см.

7. Линейная скорость вентилятора на его периферии должна быть 7 м/с . Эта скорость создаётся при 200 об/мин . Вычислить: а) угловую скорость, б) период вращения, в) диаметр.

8. Самолёт описывает окружность, в горизонтальной плоскости диаметром 2 км, имея, скорость 600 км/ч . Ноги обращены, от центра описываемой окружности. Найти ускорение, с которым частицы тела лётчика смещаются в направлении ног. Сколько процентов составляет это ускорение от ускорения равного $4g$?

9. В сельском хозяйстве применяются дисковые центробежные разбрасыватели удобрений. Какой должна быть наименьшая скорость вращения диска в оборотах в минуту, чтобы удобрение, поступающее на диск 10 см, от оси вращения диска, разбрасывалось по полю? Коэффициент трения удобрения о диск 0,9.

10. Во сколько раз сильнее отбрасывается к периферии слой обраты толщиной 1 см по сравнению со слоем сливок толщиной 1 см, которые отстоят от оси вращения барабана сепаратора на расстоянии 0,1 м. Плотность обраты $1,041 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, плотность сливок $0,93 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Барабан вращается с частотой 8000 об/мин ?

11. Принимая человека за цилиндр радиусом 20 см, высотой 1,8 м и массой 70 кг. Определить момент инерции человека в положении стоя и лёжа относительно вертикальной оси проходящей через центр цилиндра.

12. Туловище вертикально стоящего человека (без учёта рук) имеет относительно оси вращения проходящей через его центр масс, момент инерции $0,86 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$: Вычислить полный момент инерции тела человека относительно этой же оси, считая, что плечевой сустав находится от неё на расстоянии 20 см и масса каждой руки 4,2 кг.

13. Фигурист вращается, делая 6 об/с . Как изменится момент инерции, если он прижмёт руки к груди, при этом частота вращения станет 18 об/с .

14. Масса руки равна $4,2\text{ кг}$, длина 83 см , её центр, массы расположен на расстоянии 34 см от плечевого сустава. Момент инерции руки относительно этого сустава $0,3\text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Рука падает свободно из горизонтального положения в вертикальное. Найти кинетическую энергию руки и линейную скорость нижнего конца кисти в конце падения.

15. Для выделения макромолекул белка из раствора, его (раствор) помещают в центрифугу, которая начинает вращаться с угловым ускорением $0,8\text{ рад/с}^2$. Вычислить тангенциальное, нормальное и полное ускорение макромолекулы белка, находящейся на дне пробирки на расстоянии 15 см от оси вращения через 15 с от начала вращения.

16. Для изучения воздействия на организм животных, кролик массой 3 кг был посажен на центр горизонтального диска, массой 10 кг . Диск привели во вращение так, что он делает 25 об/мин . Какова будет частота вращения диска, если кролик перейдёт от центра диска к его краю.

17. При тренировке на перегрузки тренажёр с космонавтом должен вращаться, делая 30 об/с . Считая, что момент инерции тренажёра с человеком равен $8000\text{ кг} \cdot \text{м}^2$, определить мощность мотора двигателя, который может разогнать систему до нужного числа оборотов за 20 с .

18. Для изучения упругих напряжений, возникающих при перегрузках в костной ткани, кость прикрепляется к центрифуге перпендикулярно её оси и приводится во вращательное движение. Считая кость однородным стержнем массой 250 г и длиной 20 см , определить кинетическую энергию кости, если она вращается с частотой 6 об/с .

19. Какую среднюю мощность развивает человек при ходьбе, если продолжительность шага $0,5\text{ с}$? Считать что работа затрачивается на ускорение и замедление ног. Момент инерции нижней конечности $1,7\text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Движение ног рассматривать как равнопеременное вращательное. Угловое перемещение ног около 30° .

20. Колесо вентилятора начинает вращаться с угловым ускорением $0,33\text{ рад/с}^2$ и через 17 с после начала вращения имеет момент импульса $40\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}$. Вычислить кинетическую энергию вращательного движения колеса через 25 с после начала движения.

II. АКУСТИКА

Основные законы и формулы

Наименование величины или физических законов	Формула
Длина волны – λ . Скорость звука – u . Частота звука – ν .	$\lambda = \frac{u}{\nu}$
Интенсивность звука J : Акустическое давление – P_a , плотность вещества – ρ .	$J = \frac{Pa^2}{2\rho \cdot u}$
Уровень интенсивности звука в децибелах (дБ). J_0 – интенсивность звука на пороге слышимости	$L = 10 \lg \left(\frac{J}{J_0} \right)$
Коэффициент отражения звука r на границе раздела двух сред (формула Релея)	$r = \left(\frac{\rho_1 \cdot u_1 - \rho_2 \cdot u_2}{\rho_1 \cdot u_1 + \rho_2 \cdot u_2} \right)^2$
Доплеровская частота при отражении звука от объекта, движущегося со скоростью ν . Скорость звука – u	$\nu_{\text{д}} = 2\nu_0 \frac{\nu}{u} \cos \varphi$
Изменение акустического давления при переходе в другую среду K . Акустическое давление в первой среде P_{a_1} а во второй среде P_{a_2}	$K = \frac{Pa_2}{Pa_1} = \sqrt{\frac{J_2 \cdot c_2 \cdot \rho_2}{J_1 \cdot c_1 \cdot \rho_1}}$
Интенсивность звука J : J_0 – начальная интенсивность, δ – коэффициент затухания, ℓ – толщина ткани	$J = J_0 \cdot e^{-\delta \ell}$

Вопросы для самоконтроля

1. Каковы источники звуковых колебаний? Приведите примеры.
2. От чего зависит скорость звука в различных средах?
3. Дайте определение интенсивности звука, акустического давления и удельного акустического сопротивления вещества. В каких единицах измеряют эти величины?
4. От чего зависит коэффициент отражения звука на границе раздела между двумя средами? Что надо сделать, чтобы добиться максимального проникновения звука из одной среды в другую?
5. Объясните сущность эффекта Доплера. Что называют доплеровской частотой и чему она равна?
6. На сколько децибел возрастет уровень интенсивности звука, если его интенсивность возрастет в 100 раз? в 1000 раз?

7. Что называют акустическим шумом? К каким физиологическим нарушениям приводит действие шума на животных?
8. Каков механизм взаимодействия ультразвука с веществом? Что представляет собой явление кавитации?
9. Расскажите о применении ультразвука в ветеринарной терапевтической и хирургической практике.

Примеры решения задач

ЗАДАЧА № 1

В лабораторном помещении, находящемся в здании птичника, уровень интенсивности шума достигал 80 дБ. С целью уменьшения шума было решено обить стены лаборатории звукопоглощающим материалом, уменьшающим интенсивность звука в 1500 раз. Какой уровень интенсивности шума станет после этого в лаборатории?

Решение

$$L_1 = 80 \text{ дБ}$$

$$\frac{J_2}{J_1} = \frac{1}{1500}$$

$$L_2 = ?$$

Уровень интенсивности звука в децибелах определяется соотношением

$$L = 10 \cdot \lg \frac{J}{J_0},$$

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

При изменении интенсивности звука изменение уровня интенсивности звука будет равно:

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

Отсюда $L_2 = L_1 + 10 \lg \frac{J_2}{J_1}.$

Подставляя числовые значения, получим:

$$J_2 = 80 + 10 \lg \frac{1}{1500} = 80 - 10 \lg \cdot 1500 = 80 - 10 (\lg 1,5 + 3) = 80 - 10 \cdot 3,176 = 48,24 \text{ дБ}.$$

Ответ: уровень интенсивности шума 48,24 дБ.

ЗАДАЧА № 2

На границу раздела между водой и воздухом падает плоская звуковая волна с интенсивностью $0,5 \text{ Вт/м}^2$. Какова будет интенсивность звука, прошедшего в воду?

Решение

$$J_1 = 0,5 \frac{Bm}{M^2}$$

$$u_1 = 331 \frac{M}{c}$$

$$u_2 = 1497 \frac{M}{c}$$

$$\rho_1 = 1,29 \frac{Kz}{M^3}$$

$$\rho_2 = 1 \cdot 10^3 \frac{Kz}{M^3}$$

Интенсивность звука в воде будет равна интенсивности звука в воздухе, умноженной на коэффициент проникновения звука τ из воздуха в воду, который равен $\tau = 1 - r$, где r – коэффициент отражения на границе раздела двух сред, "вычисляемый по формуле Рэлея:

$$J_2 = ?$$

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

где ρ и u – соответственно плотности среды и скорости звука в этой среде, а произведение $\rho \cdot u$ есть акустическое сопротивление среды. Значения ρ и u для воздуха и воды приведены в условиях задачи.

Подставим числовые значения:

$$r = \left(\frac{1 - \frac{1,29 \cdot 331}{1497 \cdot 10^2}}{1 + \frac{1,29 \cdot 331}{1497 \cdot 10^3}} \right)^2 = \left(\frac{1 - 0,285 \cdot 10^{-3}}{1 + 0,285 \cdot 10^{-3}} \right)^2 = 0,9988$$

Коэффициент проникновения

$$\tau = 1 - r = 1,14 \cdot 10^{-3}.$$

Интенсивность звука, прошедшего в воду, равна:

$$J_2 = J_1 \cdot \tau = 0,5 \cdot 1,14 \cdot 10^{-3} = 0,57 \cdot 10^{-3} \left(\frac{Bm}{M^2} \right) = 0,57 \left(\frac{mBm}{M^2} \right)$$

Ответ: интенсивность звука в воде $0,57 \frac{mBm}{M^2}$.

Контрольные задачи

21. Интенсивность шума в помещении от вентилятора 30дБ. На сколько возрастёт интенсивность шума, если одновременно включены два вентилятора.

22. Интенсивность звука в производственном помещении комплекса вблизи доильной установки составляет, $J = 3 \cdot 10^{-4} \frac{Bm}{M^2}$, а в другом конце $2 \cdot 10^{-6} \frac{Bm}{M^2}$. На сколько дБ интенсивности шума отличаются в разных концах помещения?

23. Во сколько раз различаются акустические сопротивления кости черепа и мозга, если скорости распространения звука в кости $U_k = 3660 \frac{M}{c}$, а $U_m = 1520 \frac{M}{c}$, плотности кости $\rho_k = 1,7 \cdot 10^3 \frac{Kz}{M^3}$ и

$$\rho_m = 1,05 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

24. Найдите акустическое давление на барабанную перепонку при интенсивности звука 130 дБ при нормальных условиях, когда $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ и $U = 331 \text{ м/с}$.

25. Рассчитайте коэффициент отражения ультразвука от печени при условии, что ультразвук проходит через мышцы живота, где скорость его распространения, $U_1 = 1560 \text{ м/с}$, а в печени $U_2 = 1565 \text{ м/с}$. Плотность мышечной ткани $\rho_1 = 994 \text{ кг/м}^3$, а печени $\rho_2 = 1083 \text{ кг/м}^3$.

26. Во сколько раз избыточное акустическое давление Pa_2 под водой будет отличаться от Pa_1 в воздухе, если интенсивность звуковой волны в воде составила $J_2 = 0,12 J_1$ от интенсивности звука в воздухе. Скорость звука в воде $U_2 = 1500 \text{ м/с}$, плотность $\rho_2 = 1000 \text{ кг/м}^3$, а в воздухе $U_1 = 334 \text{ м/с}$, $\rho_1 = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

27. При узи головного мозга сигнал проходит через черепную кость, при этом часть энергии поглощается и до поверхности мозга доходит ослабленный сигнал. На поверхности мозга часть сигнала отражается, а другая часть переходит в ткань мозга. Отражённый сигнал вернётся к приёмнику после прохождения костной ткани. Во сколько раз интенсивность отражённого от мозга сигнала будет слабее интенсивности посланного? Коэффициент затухания сигнала в кости $\delta = 71 \text{ м}^{-1}$, толщина кости $\ell = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, скорость в кости.

28. Для лечения воспалительного процесса использовали ультразвук. Какая энергия выделилась на пути к очагу воспалительного процесса, если площадь головки излучателя 5 см^2 , интенсивность $J = 0,5 \text{ Вт/м}^2$, толщина кожи 1 мм , толщина мышечного покрова $0,5 \text{ см}$, коэффициенты поглощения кожи $\delta_1 = 0,4 \text{ м}^{-1}$ и мышечной ткани $\delta_2 = 0,16 \text{ м}^{-1}$, сеанс лечения длился 10 мин.

29. При интенсивности звука 135 дБ возникает болевое ощущение в ушах. Каково акустическое давление на барабанную перепонку? Какая энергия каждую секунду попадает через слуховой проход площадью $0,6 \text{ мм}^2$.

30. Любители громкой музыки включили колонки проигрывателя на максимальную громкость 110 дБ. По санитарным нормам звук интенсивностью 100 дБ человек не должен воспринимать более 30 мин. При длительном воздействии шума такой интенсивности понижается острота слуха. Какая энергия за это время прошла через барабанную перепонку площадью 70 мм^2 ? Какая энергия за это же время попадает в ухо любителя громкой музыки.

31. Согласно санитарным нормам, нахождение человека в помещении с уровнем интенсивности шума 100 дБ не должно превышать 30 мин. Какая энергия проходит за это время через барабанную перепонку человека, площадь которой 70 мм^2 ?

32. Кудактанье курицы создает уровень интенсивности шума 90 дБ . Какой уровень интенсивности шума создает одновременное кудактанье 20 куриц в птичнике?

33. Определить скорость эритроцитов, движущихся с потоком крови в сонной артерии, если доплеровская частота при отражении ультразвука от эритроцитов оказалась $1,7 \text{ кГц}$. Частота ультразвука, падающего под углом 60° к оси артерии, равна 3 МГц , а скорость его в крови принять равной $1,5 \text{ км/с}$.

34. Интенсивность звука, создаваемого мычанием быка, равна 10^{-4} Вт/м^2 . Вычислить величину акустического давления, создаваемого этим звуком в воздухе.

35. При ультразвуковой терапии синовита сустава ультразвук доходит до костной ткани, проходя через кожу толщиной 1 мм и мышечную ткань толщиной 5 мм : Во сколько раз интенсивность ультразвука, дошедшего до сустава, меньше его интенсивности на поверхности кожи? Показатели поглощения ультразвука с частотой 1 МГц в коже и в мышечной ткани соответственно равны: $0,4 \text{ см}^{-1}$ и $0,15 \text{ см}^{-1}$.

36. При стойловом содержании коров уровень интенсивности шума вблизи входа в помещение производственного комплекса недалеко от электродойки составляет 95 дБ , а в дальнем ряду – 70 дБ . Во сколько раз различаются интенсивности шума в этих местах коровника?

37. Для уменьшения отражения ультразвука при переходе его от излучателя в облучаемый орган между ними помещают контактное вещество. Каково должно быть акустическое сопротивление такого вещества, чтобы коэффициент отражения на границе между ним и кварцевым излучателем был $0,05$? Плотность кварца $2,65 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, скорость ультразвука в нем $5,97 \text{ км/с}$.

38. Для лечения мастита вымени применяют ультразвук с интенсивностью $0,6 \text{ Вт/м}^2$. Какая энергия ультразвука пройдет внутрь ткани, если время процедуры 10 мин и площадь головки излучателя $4,5 \text{ см}^2$? Коэффициент проникновения ультразвука внутрь ткани $0,9$.

39. Ушные протекторы беруши снижают уровень интенсивности шума на 20 дБ . Какова интенсивность шума в помещении, если через барабанную перепонку человека, надевшего беруши, за 10 мин прошла энергия $0,4 \text{ мкДж}$? Площадь барабанной перепонки 66 мм^2 .

40. Вычислить коэффициент отражения ультразвука на границе между костью черепа и мозгом. Плотности мозга и кости черепа соответственно равны $1,05 \cdot 10^3$ и $1,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Скорости ультразвука в этих тканях соответственно $1,52$ и $3,66 \text{ км/с}$.

III. ГИДРОДИНАМИКА

Основы законы и формулы

Наименование величины или физический закон	Формулы
Объёмный расход жидкости в потоке. S – площадь сечения потока, V – скорость жидкости	$Q = Sv$
Уравнение неразрывности потока	$v_1 S_1 = v_2 S$
Уравнение Бернулли (ρ – плотность жидкости)	$p_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} + \rho \cdot gh_1 = p_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} + \rho \cdot gh_2$
Закон Стокса	$F_e = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$
Работа перемещения объёма жидкости V со скоростью v под действием разности давлений Δp	$A = \Delta p \cdot V + \frac{\rho \cdot v^2 \cdot V}{2}$
Объёмный расход вязкой жидкости в трубе длиной L и радиусом R	$Q = \frac{\pi \cdot R^4}{8\eta} \cdot \frac{\Delta p}{L}$
Число Рейнольдса	$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\eta}$

Вопросы для самоконтроля

1. Какую жидкость называют идеальной? Приведите примеры. Можно ли считать кровь идеальной жидкостью?
2. Что называют объёмным расходом жидкости? В каких единицах он измеряется?
3. Выведите уравнение неразрывности потока жидкости.
4. Запишите уравнение Бернулли. Каков физический смысл этого уравнения? Каждого члена этого уравнения?
5. Объясните принцип действия приборов, применяемых в ветеринарии и основанных на законе Бернулли.
6. Сформулируйте закон Ньютона для вязкой жидкости. Дайте определение динамического коэффициента вязкости.
7. Сформулируйте закон Стокса. Как определяют коэффициент вязкости на основе закона Стокса?
8. От чего зависит скорость оседания эритроцитов? Каким методом ее определяют?
9. Объясните, почему скорость жидкости в капиллярах меньше, чем в артериях.
10. Выведите формулу для вычисления работы сердца на основе уравнения Бернулли. Почему этот расчёт носит приближённый характер?

Примеры решения задач

ЗАДАЧА №1

В дождевальном устройстве вода подаётся сначала по трубе диаметром 40 мм, а затем по трубе диаметром 24 мм. Статические давления в широкой и узкой частях трубы равны соответственно 150 кПа и 60 кПа. Определить скорость течения воды в узкой части трубы.

Решение

$$2R_1 = 40 \text{ мм} = 0,04 \text{ м}$$

$$2R_2 = 24 \text{ мм} = 0,024 \text{ м}$$

$$p_1 = 150 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$p_2 = 60 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$\rho = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Скорость движения жидкости в горизонтальной трубе переменного сечения (если не принимать во внимание трения) изменяется в соответствии с уравнением Бернулли:

$$v_2 = ?$$

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

Как следует из уравнения неразрывности потока жидкости, $S_1 v_1 = S_2 v_2$, где S_1 и S_2 – сечения трубы. Таким образом, неизвестная скорость v_1 может быть выражена через искомую скорость v_2 , т.е.

$$v_1 = v_2 \frac{S_2}{S_1} = v_2 \frac{\pi R_2^2}{\pi R_1^2} = v_2 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2.$$

Подставим это значение v_1 в уравнение Бернулли:

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

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

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

Проверим размерность полученного выражения.

Член, стоящий в квадратных скобках безразмерный, поэтому

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

Размерность правой части, полученного выражения, совпадает с размерностью скорости.

Подставим числовые значения заданных величин:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(150-60) \cdot 10^3}{10^3 \left[1 - \left(\frac{12 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-3}} \right)^4 \right]}} = \sqrt{\frac{180}{1-0,64}} = 14,4 \text{ м/с}.$$

Ответ: скорость течения в узкой части трубы равна $14,4 \text{ м/с}$.

ЗАДАЧА № 2

В касторовое масло опустили стальной шарик диаметром 1 мм и определили, что расстояние в 5 см он прошёл за $14,2 \text{ с}$. Считая движение шарика равномерным, определить вязкость касторового масла, если его плотность равна 960 кг/м^3 , а плотность стали 7860 кг/м^3 .

Решение

$$2R = 1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}$$

$$\rho_{cm} = 7,86 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_m = 0,96 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$t = 14,2 \text{ с}$$

$$S = 0,05 \text{ м}$$

$$\eta = ?$$

На шарик, движущийся в вязкой жидкости, действуют три силы:

1) сила тяжести (вниз)

$$mg = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_{cm} g;$$

2) выталкивающая, архимедова, сила (вверх)

$$F_A = \rho_m V g = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_m g;$$

3) сила трения, определяемая по закону Стокса (вверх)

$$F = 6\pi\eta Rv.$$

При равномерном движении шарика алгебраическая сумма этих сил должна равняться нулю, т.е.

$$mg - F_A - F_c = 0, \text{ или}$$

$$\frac{4}{3} \pi R^3 \rho_{cm} g - \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_m g - 6\pi\eta Rv = 0.$$

После несложных преобразований получаем:

$$\eta = \frac{2gR^2(\rho_{cm} - \rho_m)}{9v}.$$

Поскольку скорость равномерного движения шарика

$$v = \frac{S}{t}, \text{ то}$$

$$\eta = \frac{2gR^2(\rho_{cm} - \rho_m)}{9S} t.$$

Проверим размерность полученного выражения:

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

Таким образом, размерность правой части полученного выражения совпадает с размерностью коэффициента внутреннего трения.

Подставляем числовые значения:

$$\eta = \frac{2 \cdot 9,8 \cdot (0,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 14,2(7,86 - 0,96) \cdot 10^3}{9 \cdot 0,05} = 1,07 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Ответ: коэффициент вязкости касторового масла равен $1,07 \text{ Па} \cdot \text{с}$.

ЗАДАЧА № 3

Определить время протекания крови через капилляр вискозиметра, если вода протекает через него за 10с.

Объёмы воды и крови одинаковы.

Решение

Эта задача решается применением закона Гагена-Пуазейля, согласно которому объёмный расход жидкости при ламинарном течении в трубе пропорционален четвертой степени радиуса трубы и градиенту давления и обратно пропорционален коэффициенту вязкости:

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \eta L},$$

Где $Q = \frac{V}{t}$ – объёмный расход жидкости, т.е. объём жидкости, протекающей через сечение трубы в единицу времени, r – радиус трубы, Δp – градиент давления, L – длина трубы, η – динамический коэффициент вязкости.

Из этой формулы следует, что объём жидкости, протекающей через сечение трубы за время t , равен (с учётом $\Delta p = \rho gh$, где ρ – плотность жидкости).

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

Пусть через одну и ту же трубу за одно и тоже время протекает одинаковое количество жидкостей, одна из которых – исследуемая, а другая – эталонная, т.е. обладающая известным коэффициентом вязкости. Так как при этом $V = V_0$, то, очевидно, можно написать:

$$\frac{\pi r^4 \rho g h t}{8 \eta L} = \frac{\pi r^4 \rho_0 g h t_0}{8 \eta_0 L}.$$

После сокращения на одинаковые множители получим:

$$\frac{\rho t}{\eta} = \frac{\rho_0 t_0}{\eta_0}.$$

Отсюда время протекания исследуемой жидкости будет равно:

$$t = \frac{t_0 \rho_0 \eta}{\rho \eta_0}$$

(в этих формулах мы обозначили индексом «0» величины, относящиеся к эталонной жидкости).

Коэффициенты вязкости воды и крови соответственно равны: $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ и $4,0 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$, плотности воды и крови соответственно равны: $1,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ и $1,06 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Произведём вычисления:

$$t = \frac{20 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{1,06 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3}} = \frac{800}{1,06} = 755 \text{ с} = 12,6 \text{ мин.}$$

Ответ: кровь будет протекать через капилляр вискозиметра 12,6 мин.

Контрольные задачи

41. Средняя скорость крови в аорте составляет около 40 см , а в капилляре $0,5 \text{ см}$. На основании этих данных определить, во сколько раз сумма поперечных сечений всех функциональных капилляров больше сечения аорты.

42. Определите максимальное количество крови, которое может пройти через аорту в 1 с чтобы течение сохранялось ламинарным, если диаметр аорты 2 см , а вязкость крови $5 \text{ мПа} \cdot \text{с}$.

43. Определите время протекания крови через капилляр вискозиметра если вода протекает через него за 20 с . _____

44. Определить плотность эритроцитов, если скорость оседания их в крови (СОЭ) равна 10 мм/ч . Считать, что эритроциты имеют форму шариков диаметром 5 мкм (в действительности их форма более сложная)

45. Какой объем крови протекает через кровеносный сосуд длиной 50 мм . и диаметром 3 мм за 1 мин. , если на его концах разность давления в 2 мм. рт. ст. ?

46. При каждом биении человеческого сердца левый желудочек, сокращаясь, выталкивает в аорту 70 г крови под давлением 200 мм. рт. ст. За минуту происходит примерно 75 сокращений. Определите работу сокращаемого сердца в течении часа и мощность сердца.

47. Максимальное давление крови в аорте человека равно 120 мм рт. ст. , а минимальное давление в венах равно 6 мм, рт. ст. Количество крови в организме человека равно 5 л . Какую работу совершает сердце за 1 мин. , если время одного круга кровообращения крови 20 с ?

48. Определение скорости оседания эритроцитов (СОЭ) имеет большое диагностическое значение. Так при воспалительных процессах в организме животных СОЭ обусловлена слипанием эритроцитов в комочки большого диаметра. Считая их сферическими, определить диаметр

комочков в крови лошади, если СОЭ равно $64 \frac{\text{мм}}{\text{ч}}$.

49. В восходящей части аорты диаметром $3,2 \text{ см}$ максимальная скорость крови достигает значения, 60 см будет ли при этих условиях течение крови ламинарным или турбулентным? Критическое значение числа Рейнольдса при движении в гладкой цилиндрической трубе принять равным 2300. Коэффициент вязкости крови $5 \text{ мПа} \cdot \text{с}$, плотность крови $1050 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

50. Какой максимальный объём крови может протекать через артерию с внутренним диаметром 4 мм , чтобы течение было ламинарным? Коэффициент вязкости крови $5 \text{ мПа} \cdot \text{с}$, критическое значение числа Рейнольдса для гладких цилиндрических труб 2300, плотность крови $1050 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. При какой максимальной скорости крови в артерии стало бы турбулентным? Достижима ли такая скорость?

51. Скорость оседания эритроцитов (СОЭ) для свиньи в норме равна $8 \frac{\text{мм}}{\text{ч}}$. При воспалительном процессе эритроциты слипаются в комочки, средний диаметр которых на 30% больше диаметра одного эритроцита, а вязкость плазмы уменьшается на 15%. Какова будет в этом случае величина СОЭ?

52. Скорость оседания эритроцитов (СОЭ) в плазме крови с добавлением антикоагулянта для крупного рогатого скота в норме составляет $0,7 \frac{\text{мм}}{\text{ч}}$. Определить диаметр эритроцитов, считая их сферическими (в действительности их форма более сложная) и что к их движению можно применить закон Стокса. Плотность эритроцитов $1250 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. плотность жидкости $1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Коэффициент вязкости плазмы с антикоагулянтом $8,5 \text{ мПа} \cdot \text{с}$.

53. Какая разность давлений поддерживается на участке артерии с внутренним диаметром 3 мм и длиной 10 см , если объемный поток крови через артерию составляет $2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$? Коэффициент вязкости крови $5 \text{ мПа} \cdot \text{с}$.

54. Какой максимальный объем крови может протекать через артерию с внутренним диаметром 4 мм , чтобы течение было ламинарным? Коэффициент вязкости крови $5 \text{ мПа} \cdot \text{с}$. Критическое значение числа Рейнольдса для гладких цилиндрических труб 2300. Плотность крови $1050 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. При какой максимальной скорости крови течение в артерии стало бы турбулентным? Достижима ли такая скорость?

55. В восходящей части аорты диаметром $3,2 \text{ см}$ максимальная скорость крови достигает значения $60 \frac{\text{см}}{\text{с}}$. Будет ли при этих условиях течение крови ламинарным или турбулентным? Критическое значение числа Рейнольдса при движении жидкости в гладкой цилиндрической трубе принять равным 2300. Коэффициент вязкости крови $5 \text{ мПа} \cdot \text{с}$, плотность

крови $1050 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

56. На универсальной доильной станции УДС-3 молоко течет по молокопроводу с внутренним диаметром 38 мм со скоростью $10 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Какова будет кинетическая энергия молока, содержащегося в молокопроводе длиной 12 м , и какая масса молока протекает через сечение молокопровода за 1 минуту? Плотность молока $1029 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

57. Диаметр поршня шприца ветеринарного ШВВ равен 20 мм . Внутренний диаметр иглы 1 мм . Какое давление ветврач должен прикладывать к поршню, чтобы время инъекции составляло 10 с ? Длина хода поршня 8 см . Плотность вводимого лекарственного раствора принять равной плотности воды, т. е. $10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

58. В широкой части горизонтальной трубы молокопровода ДКО-8 молоко движется под давлением 2 атм со скоростью $8,5 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Определить величину избыточного давления в узкой части трубы, если скорость молока в ней $20 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Плотность молока $1,029 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

59. В трубе, соединенной с емкостью для транспортировки молока, поддерживается разность давлений 10^4 Па . Какую работу совершит насос, перекачивающий через трубу 30 т молока со скоростью $8 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$? Плотность молока $1029 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

60. Средний диаметр жировых шариков в свежем молоке 3 мкм . Определить скорость всплытия этих шариков при образовании сливок, если плотность жира $900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, плотность обрат $1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ и динамический коэффициент вязкости обрат $1,1 \text{ мПа} \cdot \text{с}$.

IV. СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ ТЕЛ

Основные законы и формулы

Наименование величины или физический закон	Формулы
Относительная деформация тела ε длиной L (ΔL – абсолютная деформация)	$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$
Упругое напряжение p (F – деформирующая сила)	$p = \frac{F}{S}$
Закон Гука (E – модуль упругости)	$\varepsilon = \frac{1}{E} \cdot p; \quad \frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{S}$
Объёмная плотность энергии w при упругой деформации	$w = \frac{\varepsilon^2 E}{2}$
Коэффициент поверхностного натяжения σ (F_n – сила поверхностного натяжения)	$\sigma = \frac{F_n}{L}$
Высота h поднятия жидкости в капилляре (формула Жюрена), θ – угол смачивания, ρ – плотность жидкости	$h = \frac{2\sigma}{gr\rho} \cos \theta$
Давление внутри сферического пузырька в жидкости (формула Лапласа)	$p_n = \frac{2\sigma}{r}$

Вопросы для самоконтроля

1. Каковы основные отличия твердых тел от жидких и газообразных?
2. Каковы свойства полимеров? Приведите примеры использования полимеров в ветеринарии.
3. Какие биологические ткани относятся к типу полимеров?
4. Перечислите виды деформаций. Приведите примеры деформаций в живом организме.
5. В чем различие между упругими и пластическими деформациями?
6. Сформулируйте закон Гука. При каких условиях выполняется этот закон?
7. Что называется напряжением? Каков физический смысл этой величины? В каких единицах она измеряется?
8. Дайте определение модуля Юнга. В каких единицах он измеряется?
9. Выведите формулу объёмной плотности энергии упругодеформированного тела.

10. Объясните причины возникновения поверхностного натяжения в жидкостях.
11. Дайте определение коэффициента поверхностного натяжения (КПН). В каких единицах он измеряется?
12. Каковы причины смачивания и не смачивания жидкостями поверхностей твердых тел?
13. Что называют краевым углом? Каковы величины краевых углов при смачивании и не смачивании?
14. Объясните поведение смачивающей и не смачивающей жидкости в капиллярах.
15. Какую роль играют капиллярные явления в сельском хозяйстве и в биофизике живого организма?

Примеры решения задач

ЗАДАЧА № 1

Бедренная кость собаки имеет длину 25см , сечение 3см^2 . Какая работа совершается при сжатии кости на $0,5\text{мм}$, если модуль упругости кости 20 ГПа ?

Решение

$$E = 20\text{ ГПа} = 2 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$$

$$L = 25\text{см} = 0,25\text{м}$$

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

$$A = ?$$

Работа сжатия кости расходуется на увеличение ее потенциальной энергии, которая может быть вычислена по формуле:

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

где p – напряжение упруго сжатого тела; E – модуль упругости и $V = SL$ – объём тела.

По этой же формуле может быть вычислена и работа сжатия кости.

Следовательно,

$$A = \frac{p^2 SL}{2E}.$$

Величина напряжения может быть вычислена по закону Гука:

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

Следовательно,

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

Подставляя это выражение в формулу работы, получим:

$$A = \frac{ES(\Delta L)^2}{2L}.$$

Проверим размерность полученной формулы.

$$[A] = \frac{\left(\frac{H}{\text{м}^2}\right) \cdot \text{м}^2 \cdot \text{м}^2}{\text{м}} = H \cdot \text{м} = \text{Дж}.$$

Подставим числовые данные:

$$A = \frac{2 \cdot 10^{10} \cdot 3 \cdot 10^{-4} \cdot 25 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 0,25} = 3 \text{ Дж}.$$

Ответ: работа сжатия кости равна 3 Дж.

ЗАДАЧА № 2

Определить радиус капилляра, в котором спирт поднимается на высоту 8 см. Плотность и КПН спирта приведена в таблицах.

Решение

$$h = 8 \text{ см} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$\sigma = 22 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$\rho = 0,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Высота поднятия жидкости (смачивающей) в капилляре определяется по формуле Жюрена:

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

$$R = ?$$

Считая, что имеет место полное смачивание стенок капилляра спиртом, можно написать, что величина краевого угла $\Theta = 0$ и $\cos\Theta = 1$. Отсюда радиус капилляра

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

Проверим размерность полученной формулы:

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

Произведём вычисления:

$$R = \frac{2 \cdot 22 \cdot 10^{-3}}{9,81 \cdot 0,8 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 10^{-2}} = 7 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 70 \text{ мкм}.$$

Ответ: радиус капилляра равен 70 мкм.

ЗАДАЧА № 3

В сосуде находится сыворотка крови, плотность которой $1026 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ и КПН которой равен $6 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. На глубине 25 см от поверхности жидкости образовался пузырек воздуха диаметром 10 мкм. Определить давление воздуха в пузырьке, если атмосферное давление равно 750 мм рт. столба.

Решение

$$\rho = 1,026 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\sigma = 6 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$h = 25 \text{ см} = 0,25 \text{ м}$$

$$2r = 20 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$p_0 = 750 \text{ мм}$$

$$\text{рт. ст.} = 750 \cdot 133 \text{ Па}$$

Давление воздуха внутри пузырька равно сумме трех давлений:

1 Атмосферное давление p_0 .

2. Давление собственного веса жидкости на глубине h ,
равное $p_1 = \rho gh$.

$$p = ?$$

3. Давление, создаваемое изогнутой поверхностью жидкости, которая в случае сферической поверхности определяется по формуле (формула Лапласа):

$$p_{\pi} = \frac{2\sigma}{r},$$

где r – радиус сферической поверхности.

Таким образом, давление внутри пузырька равно:

$$p = p_0 + \rho gh + \frac{2\sigma}{r}.$$

Подставим в полученное выражение числовые данные:

$$p = 750 \cdot 133 + 1026 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 0,25 + \frac{6 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{10^{-5}} = 11,4 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2 = 11,4 \cdot 10^4 \text{ Па};$$

$$\frac{11,4 \cdot 10^4}{133} = 857 \text{ мм.рт.ст.}$$

Ответ: давление воздуха в пузырьке равно 114кПа (857мм.рт.ст.).

Контрольные задачи

61. Объемная плотность энергии растянутой мышцы $1,2 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$, при относительном удлинении 5%. Какова величина упругого напряжения в мышце? Какова величина модуля упругости мышцы при этих условиях?

62. Нормальная длина портняжной мышцы лягушки 25мм. При растяжении до 32мм модуль упругости мышцы равен 220кПа, а при растяжении до 36мм модуль упругости возрастает до 1,58МПа. Во сколько раз объемная плотность энергии растяжения мышцы во втором случае больше, чем в первом?

63. Вычислить величину упругого напряжения, возникающего при подвешивании к портняжной мышце лягушки грузика массой 10г. Площадь сечения мышцы $2,7 \text{ мм}^2$. Какова будет работа, необходимая для растяжения мышцы под действием веса грузика, если ее длина возросла от 25мм до 34мм? Модуль упругости мышцы при этом растяжении равен 0,95МПа.

64. Сухожилие длиной 75мм и площадью поперечного сечения 80 мм^2 при нагрузке 9,5Н удлиняется на 15мм. Определить модуль упругости для этого сухожилия и вычислить для него объемную плотность энергии.

65. Длина большеберцовой кости у лежащей собаки равна 36см, и площадь поперечного сечения ее в среднем равна 85 мм^2 . Определить уменьшение длины кости у собаки, когда она стоит, если масса собаки 24кг. Модуль Юнга $4,5 \cdot 10^{10} \text{ Па}$.

66. Определить толщину стенки локтевой кости, если ее разрыв произошел при осевой нагрузке 1295Н. Внешний диаметр кости в месте разрыва 13мм, предел прочности на разрыв 16,2МПа.

67. Врач прописал больному принимать по 50 капель лекарства. Сколько

капель лекарства придется принимать больному, если температура жидкости понизилась и КПН при этом возрастает от 71,9 до 74,3 $\frac{мН}{м}$?

Изменением плотности жидкости пренебречь

68. Для измерения КПН жидкости сравнительным методом используют сталагмометр, представляющий собой трубку малого диаметра, из которой каплями вытекает жидкость фиксированного объема. Определить КПН мочи, если при вытекании одного и того же объема дистиллированной воды и мочи образуется соответственно 150 и 158 капель. Плотности воды и мочи соответственно 1000 и 1020 $\frac{кг}{м^3}$. КПН дистиллированной воды 72,7 $\frac{мН}{м}$.

69. При взятии крови на анализ на коже делают надрез, к которому подводят кончик капиллярной трубки. Определить коэффициент поверхностного натяжения крови, если диаметр капилляра 0,3мм и кровь поднялась в нем на высоту 76мм. Считать смачивание стенки капилляра полным. Плотность крови 1060 $\frac{кг}{м^3}$.

70. Масса 100 капель физиологического раствора, вытекающего из капилляра, равна 2,21г. Определить КПН физиологического раствора, если диаметр шейки капли в момент отрыва равен 1мм.

71. Рассчитайте необходимую работу (энергию) для разрушения большеберцовой кости при сжатии, если разрушение наступает при её деформации $\varepsilon = 0,01$. Длина кости, $\ell = 35см$, а площадь сечения костной ткани $S = 3,5см^2$, модуль Юнга $E = 1,02 \cdot 10^5 Па$.

72. В растениях вода поднимается по капиллярам. Рассчитайте, на какую высоту поднимется вода за счёт капиллярности, если диаметр трубки $d = 0,0015мм$, $\delta = 73 \cdot 10^{-3} \frac{Н}{м}$.

73. Найдите коэффициент поверхностного натяжения если из бюретки вытекло 10мл жидкости плотности $\rho = 1,001 \cdot 10^3 \frac{кг}{м^3}$. При этом насчитали 45капель. В момент отрыва шейки капли имела диаметр $d = 1мм$.

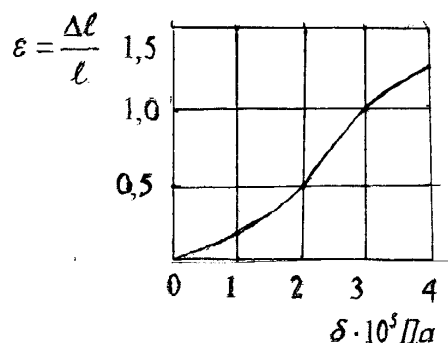
74. При испытаниях на сжатие, кость, ноги человека чаще всего ломается в голени. В самом узком месте, где голень имеет поперечное сечение 3см². Какова максимальная сила сжатия, которую могут выдержать кости двух ног, чтобы они не сломались? Прочность на сжатие $1,24 \cdot 10^6 Па$.

75. Было установлено, что череп может быть пробит движущимся предметом, если давление при ударе равно $5 \cdot 10^7 Па$. Предположим, что сосулька диаметром 2,5см и массой 15кг упала с высоты 8м, удар продолжался 1мс. Разрушит ли она черепную кость?

76. В воде на глубине 8м образовался пузырёк воздуха, диаметром 0,2мм. Пузырёк поднялся к поверхности воды. Каким стал диаметр пузырька, если атмосферное давление $0,95 \cdot 10^5 Па$, температура воды $t^\circ = 20^\circ C$, поверхностное натяжение $\sigma = 72 \frac{мН}{м}$.

77.

Оцените изменение модуля Юнга мышечного волокна, по графику, для $\delta_1 = 1,2 \cdot 10^5 Па$ и $\delta_2 = 3,5 \cdot 10^5 Па$.



78. В уплотнённом грунте за счёт его пористости (капиллярности) вода поднялась на высоту $h = 40\text{ см}$. Считая, что поры имеют форму цилиндрических капилляров, а вода полностью смачивает почву, определить диаметр почвенных капилляров.
79. Рассчитайте работу против сил поверхностного натяжения при выдувании мыльного пузыря диаметром 5 см ? (Поверхностное натяжение мыльного раствора $\delta = 43 \frac{\text{мН}}{\text{м}}$).
80. Найти, на какой глубине под водой находится пузырёк воздуха, если известно, что плотность воздуха в нём равна $2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Диаметр пузырька $0,015\text{ мм}$ температура 20° C и атмосферное давление 10^5 Па .

V. ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА

Основные законы и формулы

Наименование величины или физический закон	Формулы
Уравнение диффузии (закон Фика)	$\Delta m = DS \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \Delta t$
Уравнение теплопроводности (закон Фурье)	$\Delta Q = \Delta S \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta t$
Закон Вант Гоффа - для осмоса (π – осмотическое давление, i – изотонический коэффициент, R – универсальная газовая постоянная). Изотонический коэффициент $i = 1 + \alpha$, где α – степень диссоциации	$\pi V = i \frac{m}{\mu} RT$
Интенсивность потока вещества J_d или количества теплоты J_T при диффузии или теплопроводности.	$J_d = \frac{\Delta m}{S \Delta t}; \quad J_T = \frac{\Delta Q}{S \Delta t}$
Интенсивность осмотического потока	$J_{oc} = \frac{\Delta m}{S \Delta t}$
Зависимость осмотического потока от разности давлений по разные стороны от мембраны. (A – постоянный коэффициент)	$J_{oc} = A(\pi_1 - \pi_2)$

Вопросы для самоконтроля

- Какие явления относятся к явлениям переноса? Какие физические величины переносятся в этих явлениях?
- Расскажите о явлении диффузии. Приведите примеры диффузии в

- живых организмах.
3. Каков физический смысл коэффициента диффузии? Какова его размерность?
 4. Как происходит «облегчённая диффузия» в клеточных мембранах?
 5. Какой физический смысл имеет коэффициент теплопроводности? Какова его размерность?
 6. Какова теплопроводность различных тканей живого организма? Каково биологическое значение различия теплопроводностей у разных тканей?
 7. Что представляет собой явление осмоса? Сформулируйте закон Вант Гоффа.
 8. Какова роль осмоса в биологических явлениях? Какие растворы называют изотоническими, гипертоническими, гипотоническими?

Примеры решения задач

ЗАДАЧА № 1

Осмотическое давление плазмы крови равно $0,73 \text{ МПа}$. Вычислить концентрацию белков в плазме, если известно, что создаваемое ими онкотическое давление в 220 раз меньше осмотического давления от растворенных в плазме солей. Степень диссоциации солей принять равной 0,75. Температура крови 37°C . (Об онкотическом давлении см. Л.2, гл. IV).

Решение

$$\pi_{oc} = 0,73 \text{ МПа} = 0,73 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\alpha = 0,75. \quad i = 1 + 0,75 = 1,75$$

$$T = 310 \text{ K}$$

$$\pi_{онк} = \frac{1}{220} \pi_{осм}$$

$$[C]_{\delta} = ?$$

Осмотическое давление вычисляют по закону Вант Гоффа:

$$\pi V = i \frac{m}{\mu} RT,$$

Отсюда

$$\pi = i \frac{1}{\mu} \cdot \frac{m}{V} RT.$$

Величина $\frac{m}{\mu V}$ есть концентрация солей $[C]_{oc}$, определяющая осмотическое давление в молях на 1 м^3 . Следовательно, $\pi_{oc} = i[C]_{oc} RT$. По этой же формуле можно вычислить и онкотическое давление, т. е. $\pi_{онк} = i[C]_{онк} RT$. Так как онкотическое давление создаётся находящимися в плазме белками, то $[C]_{онк} = [C]_{\delta}$. Таким образом,

$$[C]_{\delta} = \frac{\pi_{онк}}{iRT}.$$

Проверим размерность полученного выражения.

$$[C]_{\delta} = \frac{\frac{\text{Па}}{\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}}}{\frac{\text{Па} \cdot \text{моль}}{\text{Дж}}} = \frac{\frac{\text{Н} \cdot \text{моль}}{\text{м}^2 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}}}{\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}}} = \frac{\text{моль}}{\text{м}^3}.$$

Подставим числовые значения.

$$[C]_s = \frac{0,73 \cdot 10^6}{220 \cdot 1,75 \cdot 8,31 \cdot 310} = 0,736 \frac{\text{мол}}{\text{м}^3} = 0,736 \frac{\text{ммоль}}{\text{л}}.$$

ЗАДАЧА № 2

Определить коэффициент теплопроводности тазовой кости лошади, если через площадку этой кости размером $3 \times 3 \text{ см}$ и толщиной 5 мм за час проходит 68 Дж теплоты. Разность температур между внешней и внутренней поверхностями кости в теле лошади составляет 1° .

Решение

$$Q = 68 \text{ Дж}$$

$$\Delta x = 5 \text{ мм} = 0,005 \text{ м}$$

$$\Delta T = 1 \text{ К}$$

$$t = 1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$$

$$S = 9 \text{ см}^2 = 9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$\Lambda = ?$$

Считая (что не совсем точно), что для данного случая можно применить закон теплопроводности Фурье, напомним:

$$Q = \Lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} \cdot S t. \text{ Отсюда}$$

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

Подставим числовые значения

$$\Lambda = \frac{68 \cdot 0,005}{9 \cdot 10^{-4} \cdot 3600} = 0,105 \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}.$$

Контрольные задачи

81. За какое время через мышцу животного площадью 1 дм^2 и толщиной 10 мм пройдет 10 мм пройдет 2 кДж теплоты, если температура мышцы 38°С , а температура окружающего воздуха 15°С ? Коэффициент теплопроводности мышцы $5,7 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$.

82. Через сухожилие площадью 3 см^2 за 2 часа проходит $12,6 \text{ Дж}$ теплоты. Толщина сухожилия 5 мм . Определить разность температур между внутренней и внешней частями сухожилия. Коэффициент теплопроводности сухожилия $4,60 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$.

83. Теплота из внутренних органов свиньи проходит сначала через мышечную ткань толщиной $4,5 \text{ см}$, а затем через жировую ткань толщиной $2,2 \text{ см}$. Температура на внешней поверхности жировой ткани 37°С , на границе между мышечной и жировой тканями $37,5^\circ \text{С}$. Какова температура на внутренней поверхности мышцы? Вычисление провести, не учитывая теплоты, выделяющейся в самой мышце. Коэффициенты теплопроводности мышцы и жировой ткани соответственно равны $5,70 \cdot 10^{-2}$ и $2,78 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$.

84. Какое количество углекислого газа продиффундирует из почвы в атмосферу за 1 час с поверхности грядки шириной 50 см и длиной 18 м , если видимая поверхность грядки в 1,5 раза меньше поверхности почвы, полученной при её рыхлении? Коэффициент диффузии газов принять в среднем $0,05 \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$, а градиент плотности газа $4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{г}}{\text{см}^4}$.

85. За сутки с 50 м^2 поверхности дерновоподзолистой почвы продиффундировало $7,25\text{ кг}$ углекислого газа. Вычислить коэффициент диффузии углекислого газа, если градиент его плотности в почве равен $1,42\text{ кг}/\text{м}^4$.

86. Осмотическое давление крови $0,763\text{ МПа}$. Такое же давление должен иметь физиологический раствор, т.е. водный раствор поваренной соли при 37°C . Какую массу поваренной соли необходимо взять для приготовления 2 л физиологического раствора, если степень диссоциации молекул соли 75% ?

87. В клетках солончаковых растений осмотическое давление достигает 10 МПа . Определить молярную концентрацию клеточного сока, если температура окружающего воздуха 27°C . Считать, что молекулы в растворе не диссоциированы.

88. Осмотическое давление вторичной мочи для высших животных лежит в пределах от $1,35$ до $2,77\text{ МПа}$. Каковы молярные концентрации солей, соответствующие этим давлениям, если считать температуру тела животных 37°C ? Среднюю степень диссоциации солей принять равной 80% .

89. Вода поступает из лимфы в кровь под действием разности онкотических давлений (онкотическое давление – часть осмотического давления, обусловленная белковыми составляющими). Во сколько раз изменится интенсивность потока воды, если сначала онкотические давления крови и лимфы были соответственно 32 и 9 мм рт. ст. , а затем стали 29 и 11 мм рт. ст. ?

90. При заболевании диабетом летальный исход наступает, когда концентрация сахара в крови достигает $0,25\%$. Каково будет при этом осмотическое давление сахара? Считать температуру тела 37°C . Диссоциация молекул сахара ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) отсутствует.

91. Определить коэффициент теплопроводности сухожилия, если при разности температур $0,125\text{ К}$ между его слоями отстоящими друг от друга на 4 мм , через поверхность площадью $S = 2\text{ см}^2$ проходит за $1,5$ часа энергия $1,84\text{ Дж}$.

92. Какое количество энергии за сутки пройдет через мышцу животного площадью 300 см^2 и толщиной, $1,5\text{ мм}$, если температура мышцы 38°C , а температура окружающего воздуха 10°C . Коэффициент теплопроводности мышцы $5,7 \cdot 10^{-2}\text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

93. Какая температура на границе между мышечной и жировой тканями у свиней, если на внешней поверхности жировой ткани, 37°C , а внутренних органов 38°C . Толщина мышечной ткани 4 см , а жировой 3 см . Теплота из внутренних органов свиньи проходит сначала через мышечную ткань, а затем через жировую. Коэффициенты теплопроводности жировой ткани $5,7 \cdot 10^{-2}\text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ и мышечной $2,78 \cdot 10^{-2}\text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Выработкой теплоты в мышечной и жировой тканях пренебречь.

94. С какой площади за 5 часов продиффундирует в воздух $1,5\text{ кг}$ углекислого газа, если градиент плотности его в почве $1,3\text{ кг}/\text{м}^4$, а коэффициент диффузии $0,12 \cdot 10^{-4}\text{ м}^2/\text{с}$.

95. За 5 часов из почвы с площади 100 м^2 продиффундировало 2 кг углекислого газа. Рассчитайте градиент плотности углекислого газа, если средний коэффициент

диффузии равен $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

96. Физиологический раствор должен иметь осмотическое давление $0,763 \text{ МПа}$. Какую молярную концентрацию поваренной соли должен иметь физиологический раствор при температуре 37°C при диссоциации $1,7\%$, чтобы создать такое осмотическое давление.

97. Чему равно осмотическое давление вторичной мочи у высших животных, если молярная концентрация солей в моче $0,45 \text{ моль}/\text{л}$. температура тела животных 37°C . Средняя степень диссоциации солей 75% .

98. В клетках некоторых растений молярная концентрация солей может достигать $2 \text{ моль}/\text{л}$ при температуре 20°C . При этом соли в клетках недиссоциированы. Рассчитайте осмотическое давление в клетках.

99. Осмотическое давление сахара в крови больных диабетом $19,45 \text{ кПа}$ приводит к летальному исходу. Рассчитайте концентрацию сахара в крови при 37°C для этого осмотического давления. Диссоциация молекул сахара ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) отсутствует.

100. Вода из лимфы в кровь поступает за счёт разности онкотических давлений (онкотическое давление – часть осмотического давления, обусловленная белковыми составляющими). На сколько кПа изменились онкотические давления крови и лимфы, если интенсивность потока воды изменилась в $1,3$ раза. Начальные онкотические давления были $\pi = 4,3 \text{ кПа}$ и $\pi = 1,2 \text{ кПа}$.

VI. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА.

Основные законы и формулы

Наименование величины или физический закон	Формулы
Уравнение Менделеева - Клапейрона	$PV = \frac{m}{\mu} RT$
Средняя кинетическая энергия движения молекул идеального газа $\langle w \rangle$: i – число степени свободы молекулы; k – постоянная Больцмана	$\langle w \rangle = \frac{i}{2} k \cdot T$
Средняя квадратичная скорость молекулы газа	$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$
Внутренняя энергия газа	$U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{\mu} RT$

Молярная теплоёмкость при постоянном объёме C_v , постоянном давлении C_p	$C_v = \frac{i}{2} R; C_p = \frac{i+2}{2} R$
Количество теплоты, необходимой для нагревания тела с удельной теплоёмкостью c от температуры T_1 до температуры T_2	$Q = mc(T_2 - T_1)$
Теплота парообразования (r – удельная теплота парообразования)	$Q_u = mr$
Работа по переносу вещества при диффузии между поверхностями с концентрациями вещества $[C]_1$ и $[C]_2$	$A_d = \frac{m}{\mu} RT \cdot \ln \frac{[C]_1}{[C]_2}$
Осмотическая работа (π_1 и π_2 – осмотические давления)	$A_{oc} = \frac{m}{\mu} RT \cdot \ln \frac{\pi_1}{\pi_2}$
Изменение энтропии в изотермическом процессе	$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$

Вопросы для самоконтроля

1. Какие физические процессы изучают в разделе «Термодинамика»? В чём отличие термодинамического метода исследования тепловых процессов от метода исследования молекулярной физики?
2. Что называют термодинамическим процессом? Какие процессы, называют обратимыми и какие необратимыми?
3. Дайте определения работы, количества теплоты, внутренней энергии.
4. Сформулируйте первое начало термодинамики. Приведите иллюстрирующие его примеры.
5. Чему равна работа, совершаемая газом при изохорическом, изобарическом и изотермическом процессах?
6. В чём сущность второго начала термодинамики?
7. Дайте определение энтропии. В каких процессах энтропия остается постоянной и в каких она возрастает?
8. Какие превращения энергии происходят в живом организме?
9. Сформулируйте закон Гесса и приведите примеры его применения в биологии.
10. От чего зависит теплопродукция живого организма? Как изменяется удельная теплопродукция с изменением массы животных?
11. Каковы физические механизмы терморегуляции животного организма?
12. Что называют термодинамическим потоком? С какими термодинамическими потоками приходится встречаться в живом организме?
13. Какое состояние термодинамической системы называют стационарным.
14. Почему живые организмы называют открытыми термодинамическими системами? Из чего складывается полное изменение энтропии в биологических системах?
15. Запишите уравнение Пригожина и объясните его биологический смысл.

Примеры решения задач

ЗАДАЧА № 1

Какое количество эфира, находящегося при температуре кипения, должно испариться, чтобы энтропия увеличилась на $200 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$? Температура кипения эфира $34,8^\circ \text{C}$, удельная теплота парообразования эфира равна $3,55 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Решение

$$r = 3,55 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

$$\Delta S = 200 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}.$$

$$t = 34,8^\circ \text{C}; T = 307,8 \text{K}.$$

Изменение энтропия определяется по формуле:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}.$$

$$m = ?$$

$\Delta Q = mr$. Следовательно,

происходит испарение при постоянной температура, то

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

$$m = \frac{307,8 \cdot 200}{3,55 \cdot 10^5} = 0,173 \text{кг}.$$

Ответ: масса испарившегося эфира $0,173 \text{г}$.

ЗАДАЧА № 2

Потенциал действия в гигантском аксоне кальмара обусловлен переносом 100нг натрия из внеклеточной среды в аксоплазму. Считая что этот процесс происходит за счёт простой диффузии, вычислить работу диффузионных сил. Концентрации ионов натрия во внеклеточной среде и в аксоплазме соответственно равны $440 \frac{\text{ммоль}}{\text{л}}$ и $50 \frac{\text{ммоль}}{\text{л}}$. Температура тела кальмара 10°C .

Решение

$$m = 100 \text{нг} = 10^{-10} \text{г}$$

$$\mu = 23 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

$$T = 283 \text{K}$$

$$[C_1] = 440 \frac{\text{ммоль}}{\text{л}}$$

$$[C_2] = 50 \frac{\text{ммоль}}{\text{л}}$$

Работу диффузионных сил вычислим по формуле:

$$A_d = \frac{m}{\mu} RT \cdot \ln \frac{[C_1]}{[C_2]}$$

Подставим числовые значения:

$$A_d = \frac{10^{-10} \text{г}}{23 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 283 \cdot \text{К} \cdot \ln \frac{440}{50} =$$

$$222 \cdot 10^{-10} \text{Дж} = 22,2 \text{нДж}.$$

$$A_d = ?$$

Ответ: работа диффузионных сил равна $22,2 \text{нДж}$.

Контрольные задачи

101. В боксе с температурой 61°C было пролито $2,5 \text{г}$ хлороформа. Какое количество теплоты потрачено на испарение хлороформа, если его начальная температура была 18°C ? Удельная теплоемкость хлороформа $0,98 \frac{\text{кДж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})}$,

удельная теплота парообразования $2,57 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$. Температура кипения хлороформа 61°C .

102. Онкотическое давление крови человека равно 28 мм рт. ст. , а лимфы – $9,5 \text{ мм рт. ст.}$. Под действием разности онотических давлений вода поступает из лимфы в кровь. Вычислить работу перемещения 25г воды при температуре 37°C .

103. Лечение хронического синовита у одной коровы проводили и путем наложения озокеритовой аппликации массой 5кг , а у другой - аппликации из горячей глины массой $6,5\text{кг}$. Температура озокерита и глины соответственно 68° и 60°C . Удельные теплоемкости озокерита и глины соответственно $3,35$ и $2,09 \frac{\text{кДж}}{(\text{кг} \cdot \text{K})}$. Температура тела коров 38°C . Во сколько раз теплота, переданная телу коровы озокеритом, больше, чем глиной?

104. Вычислите изменение энтропии, создаваемое в сутки лошадью и курицей. Сравните эти величины. Какая из них больше, во сколько раз? Вычислите изменение энтропии в сутки, приходящееся на 1кг тела животного. Какая из этих величин окажется больше? Масса курицы и лошади соответственно 2кг и 450кг .

105. В хирургии для местного обезболивания небольших участков тела применяют этиловый эфир. Какое количество теплоты расходует тело на испарение эфира, если на него налито 20г эфира при 20°C ? Удельная теплоемкость эфира $2,34 \frac{\text{кДж}}{(\text{кг} \cdot \text{K})}$, удельная теплота парообразования $355 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$, температура кипения эфира $34,8^\circ\text{C}$. температура тела $36,6^\circ\text{C}$.

106. Концентрация ионов хлора внутри мышечного волокна лягушки равна $3 \frac{\text{мм}}{\text{л}}$, а во внеклеточной среде она равна $120 \frac{\text{мм}}{\text{л}}$. Какая работа совершается силами диффузии при переносе через клеточные мембраны 1мкг ионов хлора? Температура тела лягушки 20°C .

107. При диффузии 5мкг калия из аксонов кальмара во внеклеточную среду совершается работа $1,16\text{мДж}$. Определить концентрацию ионов калия в аксоне, если во внешней среде она равна $8 \frac{\text{мм}}{\text{л}}$. Температура тела кальмара 10°C .

108. В почках из крови в мочу переходит 50мл воды при температуре 38°C . Вычислить, во сколько раз осмотическое давление вторичной мочи больше, чем в плазме крови, если осмотическая работа, совершаемая почками, равна $0,67\text{Дж}$.

109. Какое количество теплоты затрачивает человек на парообразование, если за сутки он выделяет $0,5\text{кг}$ пота? Каково полное количество теплоты, выделяемое человеком за сутки, если его масса 70кг и теплопродукция взрослого человека $1,6 \frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{с})}$? Удельная теплота парообразования пота $2,45 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$.

110. Для лечения мастита на вымя накладывают парафиновую аппликацию при температуре 70°C . Удельная теплоемкость парафина $3,23 \frac{\text{кДж}}{(\text{кг} \cdot \text{K})}$. Вычислить необходимую массу парафина, если для проведения процедуры необходимо передать вымени 185кДж теплоты. Температура вымени 38°C .

111. Определить массу воздуха поступающего в лёгкие теленка при одном вдохе, если объем забрасываемого при этом в легкие воздуха $0,3\text{л}$., давление

атмосферы 740мм. рт. ст. и температура лёгких теленка 36,7°С, молекулярная масса воздуха $29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

112. Масса выдыхаемого углекислого газа коровы за 1 час составляет в среднем 0,235кг. Найти его объем при атмосферном давлении 760мм. рт. ст. и температуре легких коровы 37°С.

113. Найти среднюю квадратичную скорость молекулы углекислого газа вдыхаемого коровой. Температуру тела коровы принять равной 37°С.

114. В сосуде объемом 2л находится 10г кислорода под давлением 680мм. рт. ст. Найти:

- 1.Среднюю квадратичную скорость молекулы газа.
- 2. Число молекул, находящихся в сосуде.
- 3. Плотность газа.

115. Температура крови у лошади в норме 37°С. При заболевании средняя квадратичная скорость молекул, входящих в состав крови, увеличилась на 0,5 % . Какова стала температура крови у лошади?

116.В баллоне с поршнем находится 50кг кислорода. Определить:

- 1.Какое количество теплоты получит кислород?
- 2.Как изменится его внутренняя энергия?
- 3.Какую работу совершит газ, если он нагревается при постоянном давлении от 15°С до 25°С?

117.При вдохе в легкие овцы попадает 0,5л воздуха. На сколько изменится внутренняя энергия воздуха, если его температура была 10°С, а температура внутри легких 37°С? Атмосферное давление 780мм рт. ст., молекулярная масса воздуха $29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

118.Какое количество теплоты затрачивается на нагревание воздуха поступающего в легкие коровы за 1час, если за вдох в легкие поступает 6л. воздуха при 0°С? Молекулярная масса воздуха $29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

119.Вычислить работу. совершаемую коровой за один вдох, считая плевроальное давление за время вдоха постоянным и равным 30мм рт. ст. Жизненный объем легких у коровы 6,5л. Какова мощность дыхательного процесса, если частота дыхания 20раз в минуту? Молекулярная масса воздуха $29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

120.Какое количество теплоты затрачивает человек на испарение пота, если за сутки он выделяет 0,5л. пота? Какое полное количество теплоты выделяется за сутки человеком, если масса его тела, 70кг, а удельная теплопродукция тела $1,6 \text{ Дж/кг}$?

VII. ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ТОК
Основные законы и формулы

Наименование величины или физический закон	Формула
-----------------------------------------------	---------

Связь между напряжением (U) и напряжённостью (E) однородного электрического поля (d – расстояние между двумя точками поля)	$E = \frac{U}{d}$
Емкость (C) конденсатора, имеющего на обкладках заряд q	$C = \frac{q}{U}$
Емкость плоского конденсатора. S – площадь пластины конденсатора, d – расстояние между пластинами, ε – относительная диэлектрическая проницаемость	$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d}$
Емкость при параллельном соединении конденсаторов	$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$
Энергия (W) электрического поля внутри заряженного конденсатора	$W = \frac{CU^2}{2}$
Сила тока J	$J = \frac{\Delta q}{\Delta t}$
Плотность тока j	$j = \frac{J}{S}$
Закон Ома для участка цепи	$J = \frac{U}{R}$
Мощность тока N	$N = JU = J^2 R = \frac{U^2}{R}$
Закон Джоуля-Ленца	$Q = J^2 \cdot Rt$
Закон Фарадея	$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{Z} \cdot Jt$
Плотность тока в электролите j :	$j = q \cdot n \cdot (\varrho^+ + \varrho^-) \cdot E = \ell \cdot n \cdot Z(\varrho^+ + \varrho^-) \cdot E$

Вопросы для самоконтроля

1. Напишите закон Кулона. Дайте определение электрической постоянной. Выведите ее размерность.
2. Дайте определение напряженности электрического поля. В каких единицах она измеряется?
3. Сформулируйте и докажите теорему Гаусса-Остроградского.
4. Пользуясь теоремой Гаусса-Остроградского, получите выражение для напряженности поля одной равномерно заряженной бесконечной плоскости
5. Получите выражение для напряжённости поля между двумя заряженными плоскостями.
6. Какие явления происходят при внесении диэлектрика в электрическое поле? Дайте определение относительной диэлектрической проницаемости.
7. Перечислите известные вам виды поляризации диэлектриков. Каким примерно временем релаксации характеризуется каждый из перечисленных вами видов поляризации?
8. От чего зависит работа перемещения заряда в электрическом поле? Зависит ли работа от формы траектории, по которой перемещают заряд?

9. Каков физический смысл потенциала? Разности потенциалов? В каких единицах они измеряются?
10. Какая связь между напряжённостью и разностью потенциалов?
11. Каков физический смысл электроёмкости проводника? От чего она зависит?
12. Почему клетки живых тканей обладают электроёмкостью? Какие причины могут влиять на электроёмкость клетки?
13. Какие условия необходимы для существования электрического тока?
14. Дайте определения силы тока, плотности тока, сопротивления и удельного сопротивления. Каковы единицы измерения этих величин?
15. Сформулируйте законы Ома для участка цепи и для замкнутой цепи. Дайте определение электродвижущей силы источника тока.
16. Как вычисляется работа тока на участке цепи? Как вычисляется мощность тока?
17. Сформулируйте закон Джоуля-Ленца. Как используют тепловые действия тока в терапевтических целях и в сельскохозяйственном производстве?

Примеры решения задач

ЗАДАЧА № 1

Аппарат для гальванизации АГН-5 создаёт плотность тока $0,12 \frac{mA}{cm^2}$. Какое количество электричества проходит через тело коровы, если наложенные на поверхность кожи электроды имеют площадь $1,5 dm^2$ и процедура гальванизации длится $20 мин$? Каково сопротивление участка тела коровы, если к электродам приложено напряжение $45 B$?

Решение

$$j = 0,12 \frac{mA}{cm^2} = 1,2 \frac{A}{m^2}$$

$$S = 1,5 dm^2 = 1,5 \cdot 10^{-2} m^2$$

$$t = 20 мин = 1200 c$$

$$U = 45 B$$

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

$$\text{Плотность тока } j = \frac{J}{S}$$

$$\text{Сила тока } J = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

$$\text{Закон Ома } J = \frac{U}{R}$$

$$\text{Отсюда находим: } \Delta q = J \Delta t; J = j S .$$

$$\text{Следовательно, } \Delta q = j S \Delta t$$

$$\text{Из закона Ома } R = \frac{U}{J} = \frac{U}{j S} .$$

Произведём вычисления:

$$\Delta q = 1,2 \frac{A}{m^2} \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} m^2 \cdot 1,2 \cdot 10^3 c = 21,6 Кл .$$

$$R = \frac{45 B}{1,2 \frac{A}{m^2} \cdot 1,5 \cdot 10^{-2} m^2} = 25 \cdot 10^2 \frac{B}{A} = 2,5 k \Omega .$$

ЗАДАЧА № 2

Средняя мощность разряда электрического сома примерно $8 Bt$ при

напряжении $360B$. Время разряда $0,13мс$. Определить электроёмкость электрических органов сома.

Решение

$$N = 8Bm$$

$$U = 360B$$

$$t = 1,3 \cdot 10^{-4} c$$

$$C = ?$$

Энергия электрического поля конденсатора

$$W = \frac{CU^2}{2}. \text{ Мощность } N = \frac{W}{t} = \frac{CU^2}{2 \cdot t}.$$

$$\text{Отсюда } C = \frac{2Nt}{U^2}.$$

Проверим размерность:

$$C = \frac{\frac{Дж}{B^2} \cdot \frac{Дж}{B \cdot B}}{\frac{Дж}{B \cdot \frac{Дж}{Кл}}} = \frac{Кл}{B} = \Phi.$$

Произведём вычисления:

$$C = \frac{2 \cdot 8 \cdot 1,3 \cdot 10^{-4}}{360^2} = 1,6 \cdot 10^{-8} \cdot \Phi = 0,016_{мк\Phi}$$

Ответ: электроёмкость электрических органов сома $0,016_{мк\Phi}$.

Контрольные задачи

121. Разность потенциалов между внутренней и внешней поверхностями мембраны митохондрии внутри клетки печени крысы составляет $200мВ$. Толщина мембраны $8нм$. Какова напряжённость электрического поля в мембране? Вычислите электроёмкость внешней мембраны митохондрии.

122. Величина поляризационной ёмкости клеточной мембраны достигает $2_{мк\Phi}$ на каждый $см^2$ ее поверхности. Определить величину заряда, сосредоточенного на поверхности клетки, если разность потенциалов между внутренней и внешней поверхностями мембраны $90мВ$. Площадь поверхности мембраны $50_{мкм^2}$. Сколько ионов находится на поверхности клетки, если все ионы одновалентные?

123. При гальванизации через участок тела лошади за время лечебной процедуры (20 мин) проходит электрический заряд $90Кл$. Определить среднюю плотность тока, если площадь электродов $350см^2$.

124. При контакте с проводом электроизгороди на корову действует прямоугольный импульс тока длительностью $5мс$ при напряжении $60В$. Какой заряд проходит при этом через тело коровы, если сопротивление тела $1,5кОм$? Какова мощность электрического разряда?

125. Величина мембранного потенциала покоя для клетки икроножной мышцы лягушки равна $65мВ$. какова напряжённость электрического поля в мембране толщиной $10нм$? Электроёмкость мембраны в расчёте на $1см^2$ её поверхности равна $0,48_{мк\Phi}$. Определить относительную диэлектрическую проницаемость мембраны.

126. При лечении невралгии на плечевой сустав лошади наложили электроды, соединенные с аппаратом для гальванизации «Поиск-1». Плотность тока должна быть $0,4mA$ на $1см^2$ площади активного электрода, и суммарный ток не должен превышать $200mA$. Какова должна быть площадь активного электрода? Какой заряд пройдет через тело лошади при времени процедуры 25 мин?

127. Напряжение на плоском воздушном конденсаторе $24В$. Человек, стоя на изолирующей подставке, касается руками противоположных обкладок конденсатора и при этом их общее напряжение становится $21,4В$.

Определять емкость человека, если площадь пластин конденсатора 1130см^2 и расстояние между ними 10мм .

128. Две параллельные металлические пластины, расстояние между которыми 10мм , поместили в масло и сообщили им разность потенциалов 350В . Затем расстояние между пластинами уменьшили до 5мм и, удалив масло, залили яичный белок. При этом разность потенциалов уменьшилась до 42В . Определить относительную диэлектрическую проницаемость белка, если для масла она равна 2.3.

129. Какой емкостью обладает миелиновая оболочка участка цилиндрического нервного волокна длиной 5мм , если его диаметр 16мкм и толщина миелинового слоя $1,5\text{мкм}$? Относительная диэлектрическая проницаемость миелина равна 45. Расчет, провести по формуле емкости плоскости плоского конденсатора.

130. Для подогрева используемой при поении сельскохозяйственных животных в зимний период воды применяют водонагреватель ВЭП-500, потребляющий мощность 10кВт . Сколько времени требуется для нагревания 600л воды от 4° до 22°C ? Определить стоимость подогрева воды в месяц, если в хозяйстве ежедневно потребляют $1,8\text{т}$ подогретой воды. Удельная теплоемкость воды $4,19\frac{\text{кДж}}{(\text{кг} \cdot \text{K})}$. Стоимость электроэнергии $1,5\text{руб}$ за $1\text{кВт} \cdot \text{ч}$.

131. Разность потенциалов между внутренней и внешней поверхностями мембраны митохондрии внутри клетки печени составляет 200мВ , толщина мембраны 8нм . Какова напряженность электрического поля в мембране? Вычислите емкость внешней мембраны митохондрии, если площадь ее поверхности 13мкм^2 считая, что относительная диэлектрическая проницаемость мембраны равна 5.

132. Величина мембранного потенциала покоя для клетки икроножной мышцы лягушки равна 65мВ . Какова напряженность электрического поля в мембране толщиной 10нм ? Емкость мембраны в расчете на 1см^2 ее поверхности равна $0,48\text{мкФ}$. Определить относительную диэлектрическую проницаемость мембраны.

133. Отношения концентрации ионов калия внутри клетки к концентрации их во внеклеточной среде для гигантского аксона каракатицы равно $340/10,4$, а для мышечного волокна лягушки оно равно $140/2,5$ (концентрации даны в $\frac{\text{мм}}{\text{л}}$). Во сколько раз мембранный потенциал лягушки больше чем у каракатицы при одинаковой температуре внешней среды?

134. Концентрация ионов хлора внутри моторного нейрона кошки равна $9\frac{\text{мм}}{\text{л}}$, а концентрация тех же ионов во внеклеточной среде равна $125\frac{\text{мм}}{\text{л}}$. Определить величину мембранного потенциала нейрона, если температура тела кошки равна 38°C .

135. Найти концентрацию ионов калия внутри гигантского аксона кальмара при температуре 20°C , если потенциал покоя аксона равен 90мВ . Концентрацию ионов калия снаружи аксона принять равной 10мм .

136. При какой температуре окружающей среды потенциал покоя моторного нейрона кошки равен 90мВ ? Концентрацию ионов калия внутри и снаружи клетки принять равной 150мм и $5,5\text{мм}$ соответственно.

137. Аппарат для гальванизации создает плотность тока $0,5\frac{\text{ма}}{\text{см}^2}$. Какое количество электричества проходит через тело коровы, если наложенные электроды имеют площадь $0,01\text{дм}^2$ и процесс гальванизации

продолжается 20 мин. Какое сопротивление участка тела коровы, если электродом приложено напряжение 25 В?

138. Больному животному необходимо ввести путем ионотопализации 5,5 мг кальция и 25 мг йода. В течение, какого времени надо пропускать ток плотностью $0,1 \frac{мА}{см^2}$ через тело животного если площадь наложенных электродов равна $100 см^2$?

139. Сколько миллиграммов кальция и йода было введено в организм больного животного в процессе ионотопализации, если в течение 20 мин в нем поддерживался ток силой 15 мА. Прокладка под положительным электродом была, смочена раствором хлористого кальция, а под отрицательным электродом-раствором йодистого калия.

140. Найти плотность тока в электролите если концентрация ионов в нём $A = 10^5 см^{-3}$, их подвижность $v_+ = 45 \cdot 10^{-2} \frac{см^2}{В \cdot с}$, $v_- = 6,5 \cdot 10^{-2} \frac{см^2}{В \cdot с}$ и напряженность электрического поля $E = 10 \frac{В}{см}$, считая плотность тока всюду одинаковой. Найти силу тока, если площадь каждого электрода равна $1 дм^2$. Принять заряд иона равным заряду электрона $1,6 \cdot 10^{-19} Кл$.

VIII. БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ Основные законы и формулы

Наименование величины или физический закон	Формулы
Закон Ома в электролитах при наличии ЭДС поляризации E_u	$J = \frac{U - E_n}{R}$
Закон Фарадея (закон электролиза) (m – масса выделенного вещества на электроде, z – валентность, A – атомная масса вещества)	$m = \frac{l}{F} \cdot \frac{A}{z} \cdot Jt$
Сила порогового тока (закон Вейсса)	$J_n = \frac{a}{t} + b$
Величина мембранного потенциала клетки E_m . $[C_1]$ и $[C_2]$ – концентрации ионов по разные стороны клеточной мембраны	$E_m = \frac{BE}{zF} \cdot \ln \cdot \frac{[C_1]}{[C_2]}$
Уравнение Доннана	$\frac{[K^+]_H}{[K^+]_B} = \frac{[Cl^-]_H}{[Cl^-]_B}$
Затухание потенциала действия E_d в аксоне на расстоянии L от места возбуждения	$E = E_d e^{-\frac{L}{K}}$
Константа затухания потенциала действия K в аксоне диаметром d . ρ – удельное сопротивление аксоплазмы, R – поверхностное сопротивление мембраны аксона	$K = \sqrt{\frac{dR}{4\rho}}$

Вопросы для самоконтроля

- Какова структура и функции клеточных мембран?
- Что называют электрохимическим градиентом клетки?

3. Выведите формулу для вычисления работы в поле электрохимического градиента.
4. Объясните, как возникает мембранная разность потенциалов. Выведите формулу для величины мембранного потенциала.
5. Что представляет собой равновесие Доннана? Запишите уравнение Доннана.
6. Во сколько раз изменится мембранный потенциал, если концентрация ионов калия вне клетки увеличится в 2 раза?
7. Объясните механизм образования потенциала действия.
8. Как распространяется потенциал действия по нервному волокну? Можно ли считать аксон подобным электрическому кабелю?
9. Расскажите об электрических явлениях, происходящих на границе между твердым телом и электролитом. Запишите уравнение Нернста.
10. Что представляет собой явление электрофореза? Для каких целей он применяется в ветеринарии?
11. Какое физиологическое действие производит постоянный электрический ток? От чего зависит величина порогового электрического тока?
12. Запишите закон Вейсса. Что называю реобазой и хронаксией?
13. Расскажите о применении электрических явлений в терапевтических целях (гальванизация, электрофорез).
14. Какова природа электрического тока в электролитах? Сформулируйте закон Фарадея.

Примеры решения задач

ЗАДАЧА № 1

Вычислить величины потенциалов покоя клеток гигантского аксона кальмара в верхних слоях океана, где температура 25°C , и в глубине, где температура 6°C . Концентрация ионов калия в аксоне $410\text{ мг} \cdot \text{ион} / \text{кг}$, а концентрация ионов калия вне аксона $28\text{ мг} \cdot \text{ион} / \text{кг}$.

Решение

$$[K]_H = 28\text{ мг} \cdot \text{ион} / \text{кг}$$

$$[K]_B = 410\text{ мг} \cdot \text{ион} / \text{кг}$$

$$t_1 = 25^{\circ}\text{C}, T_1 = 298\text{K}$$

$$t_2 = 6^{\circ}\text{C}, T_2 = 279\text{K}$$

$$\Delta\varphi_1 = ? \Delta\varphi_2 = ?$$

где $[K]_B$ и $[K]_H$ – соответственно концентрации калия внутри и снаружи клетки, R – универсальная газовая постоянная, F – число Фарадея.

Поскольку натуральный и десятичный логарифмы связаны

соотношением: $\ln x = 2,3 \lg x$, то

$$\Delta\varphi = 2,3 \frac{RT}{F} \cdot \lg \frac{[K]_e}{[K]_n} = \frac{2,3 \cdot 8,31 \cdot 10^3 \cdot 298}{9,65 \cdot 10^7} \cdot \lg \frac{410}{28} = 6,9 \cdot 10^{-2} B = 69 мВ.$$

Аналогично можно вычислить, что $\Delta\varphi_2 = 64,5 мВ$.

Ответ: величина потенциала покоя в аксоне кальмара верхних слоях океана, 19 мВ, а в глубине 64,5 мВ.

ЗАДАЧА № 2

Электроды, наложенные на середину холки коровы, соединены с генератором прямоугольных импульсов (это означает, что создаваемое генератором напряжение резко возрастает до определённого значения, затем остаётся постоянным заданное время, по прошествии которого снова падает до нуля). Исследование пороговых реакций коровы показало, что величина хронаксии равна 0,82 мс и соответствующее ей значение раздражающего тока равна 21 мА. На основе этих данных написать выражение, дающее связь между величиной порогового тока и временем его действия.

Решение

$$J_x = 21 мА = 21 \cdot 10^{-3} A$$

$$\tau = 0,82 мс = 0,82 \cdot 10^{-3} c$$

Зависимость величины порогового тока от времени его действия даётся законом Вейсса:

$$J(t) = ?$$

$$J_{II} = \frac{a}{t} + b,$$

где b – реобаз, т. е. минимальная сила порогового тока при длительном его действии. Время τ , необходимое для раздражения при силе тока, равной двум реобазам, называется хронаксией. Отсюда следует, что сила тока при хронаксии $J_x = 2b$. Это даёт возможность вычислить значение константы b ;
 $b = J_x / 2 = 21 / 2 = 10,5 мА$.

Для нахождения константы Вейсса a подставим в уравнение Вейсса значения J_x и b :

$$21 \cdot 10^{-3} A = \frac{a}{0,82 \cdot 10^{-3} c} + 10,5 \cdot 10^{-3} A.$$

Отсюда $a = 8,61 \cdot 10^{-6} A \cdot c$.

Таким образом, зависимость порогового тока от времени его действия будет выражена уравнением:

$$J_{II} = \frac{8,61 \cdot 10^{-6}}{t} + 10,5 \cdot 10^{-3} (ампер).$$

Контрольные задачи

141. При раздражении плечевого сустава коровы длительными прямоугольными импульсами электрического тока порог раздражения наступает при 12 мА (реобаз). При длительности импульса 3 мс порог раздражения при длительности импульса 14,5 мА. Каков будет порог раздражения при длительности импульса 0,5 мс?

142. Величина потенциала действия, создаваемого в аксоне кальмара, равна 75 мВ. Какова будет величина этого потенциала после прохождения его по немиелинизированному аксону на расстояние 10 мм? Диаметр аксона 0,12 мм, удельное сопротивление аксоплазмы 0,85 Ом · м, поверхностное

сопротивление мембраны $0,09 \text{ Ом}$ на 1 м^2 .

143. Из тупа свиньи вырезан образец, представляющий собой столбик одинакового поперечного сечения 8 см^2 , в котором последовательно соединены мышечная и жировая ткани. Длина каждого из участков тканей одинакова и равна 3 см . Зная, что удельное сопротивление жировой ткани $33 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, вычислить удельное сопротивление мышечной ткани, если к торцам образца приложено напряжение 25 В . ЭДС поляризации была 16 В и сила тока в образце 9 мА .

144. Какова должна быть длительность прямоугольных импульсов электрического тока, если при наложении электродов на основание хвоста коровы порог раздражения наступает при токе 12 мА . Величина реобазы $4,2 \text{ мА}$. Константа Вейсса $a = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ А} \cdot \text{с}$. Вычислить сопротивление этого участка хвоста коровы, если напряжение на электродах 20 В .

145. При некоторых заболеваниях крупного рогатого скота применяют электрофорез ионов кальция. Сколько времени должна продолжаться процедура лечебного электрофореза, если через активный электрод площадью 350 см^2 необходимо ввести 7 мг кальция при плотности тока $0,2 \frac{\text{мА}}{\text{см}^2}$?

146. На каком расстоянии от места раздражения немиелинизированного аксона кальмара потенциал действия уменьшится в 1000 раз, если константа затухания сигнала в аксоне $1,68 \text{ мм}$? Вычислить удельное сопротивление аксоплазмы, если диаметр аксона $0,1 \text{ мм}$ и поверхностное сопротивление мембраны $0,1 \text{ Ом}$ на 1 м^2 .

147. Концентрация ионов натрия в аксоплазме каракатицы равна $49 \frac{\text{мм}}{\text{л}}$. Какова концентрация ионов натрия во внеклеточной среде, если величина потенциала покоя аксона равна 57 мВ ? Температура тела каракатицы 15°С .

148. Концентрация ионов хлора внутри моторного нейрона кошки равна $9 \frac{\text{мм}}{\text{л}}$, а концентрация этих же ионов во внеклеточной среде равна $125 \frac{\text{мм}}{\text{л}}$. Определить величину мембранного потенциала нейрона, если температура тела кошки 38°С .

149. Концентрация ионов калия в крови кальмара равна $16 \frac{\text{мм}}{\text{л}}$. Какова концентрация этих же ионов в аксоплазме гигантского аксона кальмара, если температура морской воды 8°С и величина потенциала покоя аксона 79 мВ ?

150. Отношение концентраций ионов калия внутри клетки к концентрации их во внеклеточной среде для гигантского аксона каракатицы равна $340/10,4$, а для мышечного волокна лягушки оно равно $140/2,5$ (концентрации даны в $\frac{\text{мм}}{\text{л}}$). Во сколько раз мембранный потенциал лягушки больше, чем у каракатицы, при одинаковой температуре внешней среды?

151. В процессе лечебной процедуры в течение 10 мин. с помощью электрофореза вводили ионы кальция через активный электрод площадью 300 см^2 при плотности тока $0,2 \frac{\text{мА}}{\text{см}^2}$. Сколько кальция было введено?

152. Образец представляет собой столбик из мышечной и жировой ткани одинакового сечения 3 см^2 , в котором жировая и мышечная ткани соединены последовательно. Длина каждого участка равна 5 см . Удельные сопротивления $33 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ для жировой ткани и $11,1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ для мышечной ткани. Какое напряжение приложено к торцам столбика, если оно создаёт ток 2 мА при ЭДС поляризации 16 В .

153. Во сколько раз уменьшится потенциал действия на расстоянии 12 мм от места раздражения немиелинизированного аксона кальмара, если удельное сопротивление аксоплазмы $1,8 \cdot 10^{-2} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, поверхностное сопротивление

мембраны $0,1 \text{ Ом}$ на 1 м^2 диаметр аксона $0,11 \text{ мм}$.

154. На расстоянии 11 мм от места возбуждения величина потенциала 12 мВ . Какова величина потенциала действия, если диаметр аксона $0,12 \text{ мм}$, удельное сопротивление аксоплазмы $0,85 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, поверхностное сопротивление мембраны $0,1 \text{ Ом}$ на 1 м^2 .

155. Какова величина потенциала покоя аксона, если концентрация ионов калия в крови кальмара равна 14 ммоль/л , а концентрация этих же ионов в аксоплазме $0,61 \text{ ммоль/л}$ при температуре морской воды 9°C .

156. Концентрация ионов хлора во внеклеточной среде 130 ммоль/л , а мембранный потенциал нейрона $0,8 \text{ мВ}$ при температуре тела кошки 38°C . Определить концентрацию ионов хлора внутри моторного нейрона.

157. В аксоплазме каракатицы концентрация ионов натрия 50 мМ/л , а концентрация ионов натрия во внеклеточной среде $49,5 \text{ мМ/л}$. Чему равна величина потенциала покоя аксона при температуре 17°C ?

158. Длительность прямоугольных импульсов электрического тока при наложении электродов к ноге лошади составлял $0,2 \cdot \text{мс}$. Определить порог тока раздражения и напряжение необходимое для этого. Сопротивление участка между электродами 2 кОм . Величина реобазы $6,3 \text{ мА}$, константа Вейсса $6,5 \cdot 10^{-6} \text{ А} \cdot \text{с}$

159. Концентрация ионов натрия в аксоплазме каракатицы равна 270 мМ/л , а во внеклеточной среде 9 мМ/л . У лягушки у мышечного волокна внутри клетки концентрация ионов натрия 130 мМ/л . Найдите концентрацию ионов натрия вне клетки, если отношение мембранных потенциалов лягушки и каракатицы $1,2$ при одинаковой температуре внешней среды.

160. Внутри моторного нейрона собаки концентрация ионов хлора равна 10 мМ/л . Чему равна концентрация этих же ионов во внеклеточной среде при температуре тела 38°C , если величина мембранного потенциала 80 мкВ .

Наименование величины или физический закон	Формулы
Ёмкостное сопротивление в цепи переменного тока	$X_c = \frac{1}{\omega C}$
Индуктивное сопротивление в цепи переменного тока	$X_L = \omega L$
Полное сопротивление Z последовательной цепи переменного тока. R – активное сопротивление	$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$
Тангенс угла сдвига фаз между током и напряжением при последовательном соединении элементов цепи переменного тока, состоящей из электроёмкости и активного сопротивления	$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_c}{R} = \frac{1}{\omega CR}$
Количество теплоты q_d , выделяющейся в единице объёма ткани в единицу времени при диатермии (ρ – удельное сопротивление)	$q_d = j^2 \rho$
Количество теплоты q_y , выделяющейся в единице объёма ткани в единицу времени при УВЧ терапии (E – напряжённость электрического поля)	$q_y = \frac{E^2}{\rho}$
Количество теплоты q_b , выделяющейся в единице объёма ткани при индуктотермии (B_m – амплитудное значение индукции магнитного поля, K – постоянная)	$q_b = K \frac{\omega^2 B_m^2}{\rho}$

Вопросы для самоконтроля

1. Расскажите о прохождении переменного тока через электроёмкость и индуктивность. Напишите формулы емкостного и индуктивного сопротивлений.
2. Напишите формулу полного сопротивления при последовательном соединении элементов цепи переменного тока.
3. Напишите обобщённый закон Ома для переменного тока.
4. Нарисуйте векторную диаграмму последовательной цепи переменного тока.
5. Как определить сдвиг фаз между током и напряжением в последовательной цепи переменного тока?
6. Каковы особенности прохождения переменного тока в живых тканях по сравнению с постоянным током?
7. Объясните явление дисперсии полного сопротивления биологических тканей. От чего зависит величина дисперсии? Какое практическое применение находит это явление?
8. Существует ли индуктивное и ёмкостное сопротивления для живых тканей? Какие причины определяют ёмкостное сопротивление живой клетки?
9. Каковы физические причины нагревания живых тканей в высокочастотных электромагнитных полях?

10. В чём сущность диатермии, индуктотермии и УВЧ-терапии? Чем они отличаются друг от друга?
11. Напишите формулы для вычисления теплового эффекта при диатермии, индуктотермии и УВЧ-терапии.
12. Каковы преимущества измерения электросопротивления живых тканей на переменном токе по сравнению с постоянным током?

Примеры решения задач

ЗАДАЧА № 1

Для регистрации переменных импульсных сигналов, создаваемых некоторыми рыбами, измерительный прибор соединяют через ёмкость с водой аквариума, в котором находится рыба. Ток, создаваемый рыбой, проходит через активное сопротивление воды и последовательно соединённые с ней конденсатор и измерительный прибор.

Определить величину тока в цепи, создаваемого рыбой африканский слоник (*Gnathonemuss petersii*), если напряжение между головой и хвостом рыбы достигает максимального значения 4В, сопротивления воды 1кОм, ёмкость конденсатора 0,05мкФ. Частота импульса 3кГц. Колебания напряжения, создаваемого рыбой, условно считать гармоническими. Сопротивлением тела рыбы пренебречь.

Решение

$$U = 4В;$$

$$R = 1кОм = 10^3 Ом;$$

$$C = 0,05мкФ = 5 \cdot 10^{-8} Ф;$$

$$\nu = 3кГц = 3 \cdot 10^3 Гц;$$

$$J = ?$$

Поскольку активное и ёмкостное сопротивления в цепи соединены последовательно, то обобщённый закон Ома для цепи переменного тока может быть записан в виде, $J = \frac{U}{Z}$, где Z – полное сопротивление цепи, равное

$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}, \text{ т.к.}$$

$$\omega = 2\pi\nu, \text{ то } J = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{4\pi^2 \nu^2 C^2}}}.$$

Произведём вычисления:

$$4\pi^2 \nu^2 C^2 = 4 \cdot 3,14^2 \cdot 9 \cdot 10^6 \cdot 25 \cdot 10^{-16} = 8,9 \cdot 10^{-7};$$

$$1/4\pi^2 \nu^2 C^2 = 1/8,9 \cdot 10^{-7} = 1,12 \cdot 10^6;$$

$$\sqrt{R^2 + 1/4\pi^2 \nu^2 C^2} = \sqrt{10^6 + 1,12 \cdot 10^6} = 1,46 \cdot 10^3 Ом;$$

$$J = \frac{4}{1,46 \cdot 10^3} = 2,74 \cdot 10^{-3} А = 2,74мА.$$

Ответ: сила тока равна 2,74мА.

ЗАДАЧА № 2

Сопротивление образца мышечной ткани животного измеряется при

пропускании через него сначала постоянного, а затем переменного тока. При какой частоте переменного тока полное сопротивление ткани будет в 3 раза больше величины её активного, омического сопротивления, равного 850Ом ? Ёмкость ткани равна $0,01\text{мкФ}$.

Решение

$$R = 850\text{Ом}$$

$$C = 0,01\text{мкФ} = 10^{-8}\text{Ф}$$

$$Z = 3R$$

Считая, что омическое и ёмкостное сопротивления ткани соединены последовательно, можно записать, что полное сопротивление ткани равно:

$$\nu = ?$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$$

Так как $\omega = 2\pi\nu$, а по условию $Z = 3R$, то

$$\sqrt{R^2 + \frac{1}{4\pi^2\nu^2 C^2}} = 3R, \text{ или } R^2 + \frac{1}{4\pi^2\nu^2 C^2} = 9R^2.$$

Отсюда

$$\frac{1}{4^2\nu^2 C} = R^2 \text{ и } \nu^2 = \frac{1}{32\pi^2 R^2 C^2}.$$

Следовательно,

$$\nu = \frac{1}{4\pi RC\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{8\pi RC}.$$

Проверим размерность полученного выражения:

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

Подставим числовые данные:

$$\nu = \frac{1,41}{8 \cdot 3,14 \cdot 850 \cdot 10^{-8}} = 6,60 \cdot 10^5 \text{ Гц} = 660\text{кГц}.$$

Ответ: частота переменного тока равна 660кГц .

Контрольные задачи

161. В фильтре аппарата для гальванизации имеются дроссель с индуктивностью 65Гц и электрический конденсатор ёмкостью 20мкФ . Определить сопротивления дросселя и конденсатора переменному току, частотой 50Гц . Какой ток пройдёт через конденсатор, если напряжение на его обкладках 170В ? Активное сопротивление дросселя не учитывать.

162. Рассчитайте индуктивное и ёмкостное сопротивления тела животного при частоте измерения 2кГц , если измерения показали, что индуктивность 5мГн , а электроёмкость 25мкФ .

163. Аппарат для индуктотермии ДКВ-1 генерирует переменное напряжение частотой $13,56\text{МГц}$. Во сколько раз снизится тепловой эффект, если индуктотермическую катушку подсоединить к аппарату для диатермии, работающему на частоте 1625кГц ?

164. У аппарата ДКВ-1 для индуктотермии, который генерирует переменное напряжение частотой 4МГц заменили индуктотермическую катушку. После замены катушки тепловой эффект снизился в 25 раз. На какой частоте работает аппарат после замены катушки.

165. Отношение индуктивного сопротивления тела животного, к его ёмкостному сопротивлению оказалось равным 0,4. При какой частоте переменного тока проводились измерения, если индуктивность животного 4мГн , а его электроёмкость 30мкФ ?

166. Индуктивное сопротивление дросселя в фильтре аппарата для гальванизации должно быть 20кОм переменному току частоты 50Гц , а ёмкостное $0,16\text{мОм}$. Определить индуктивность дросселя и ёмкость конденсатора.

167. При воспалительных процессах в тканях структура клеточных мембран изменяется и соответственно меняется их электроёмкость. Измерения ёмкостного сопротивления ткани в норме проводились, при частоте переменного тока $1,3\text{кГц}$. Измерения ёмкостного сопротивления той же ткани при воспалении проводились при тех же условиях, но частота переменного тока была $6,2\text{кГц}$. Величина ёмкостного сопротивления во втором случае, оказалась в 3,5 раза меньше, чем в первом. Во сколько раз уменьшилась электроёмкость ткани при воспалении?.

168. В цепь переменного тока с частотой 5кГц последовательно включили мышечную ткань с активным сопротивлением 50Ом и ёмкостью $0,4\text{мкФ}$. При изменении частоты переменного тока в цепи полное сопротивление ткани уменьшилось в 1,05 раза. Рассчитайте новую частоту переменного тока.

169. Какое количество теплоты выделится за 10 мин в $0,5\text{дм}^3$ вымени при УВЧ-терапии мастита, если эффективная напряжённость электрического поля между электродами 350В/м ? Удельное сопротивление вымени принять равным $80\text{Ом}\cdot\text{м}$.

170. За сеанс диатермии печени крупного рогатого скота в её объёме выделилось 6кДж теплоты. Сколько времени длилась процедура при плотности тока $4,5\frac{\text{мА}}{\text{см}}$. Размеры электродов $12\times 20\text{см}^2$, удельное сопротивление печени $100\text{Ом}\cdot\text{м}$, толщина печёни 5см .

171. Во сколько раз изменится полное сопротивление образца мышечной ткани при измерении его в цепях переменного тока с частотой 10кГц и 100кГц . Активное сопротивление ткани 80Ом , её электроёмкость $0,5\text{мкФ}$.

172. При воспалительных, процессах в тканях структура клеточных мембран изменяется и соответственно меняется их электроёмкость. Измерения ёмкостного сопротивления здоровой ткани и при воспалении проводили на частоте $1,5\text{кГц}$. В результате измерений получили отношение ёмкостей $c_1/c_2=1,5$. Рассчитайте ёмкостное сопротивление здоровой и воспалённой тканей, если ёмкость здоровой ткани была $0,5\text{мкФ}$.

173. При диатермии печени крупного рогатого скота один электрод размером $12\times 20\text{см}^2$ накладывают спереди на область печени, а второй сзади напротив первого электрода. Сила тока, между электродами $1,1\text{А}$. Процедуру проводят 15 мин. Какое количество теплоты выделится в объёме печени толщиной 5см ? Удельное сопротивление печени принять равным $100\text{Ом}\cdot\text{м}$.

174. Процедура УВЧ-терапии мастита вымени длится 10 мин. За время процедуры в объёме между электродами $0,5\text{дм}^3$ вымени выделилось $4,6\text{кДж}$ теплоты. Какова была напряжённость электрического поля между электродами, если удельное сопротивление вымени $80\text{Ом}\cdot\text{м}$.

175. Объём жировой ткани, подвергающейся УВЧ-терапии, имеет площадь 8см^2 и толщину 3см . Каково его активное сопротивление? Вычислить полное сопротивление этого участка ткани, если его электроёмкость 85нФ и частота электрического поля, генерируемого аппаратом УВЧ-терапии, равна $4,68\text{МГц}$. Удельное сопротивление жировой

- ткани, принять равным $350\text{Ом}\cdot\text{м}$.
176. Рассчитайте активное ёмкостное и полное сопротивление жировой ткани площадью 15см^2 и толщиной 5см при УВЧ терапии. Частота, генерируемая аппаратом, $4,8\text{МГц}$, а удельное сопротивление жировой ткани равна $350\text{Ом}\cdot\text{м}$.
177. Вычислить угол сдвига фаз между током и напряжением для кожи лягушки при частоте переменного тока, 2кГц , если её активное сопротивление $2,5\text{кОм}$ и электроёмкость $0,022\text{мкФ}$. считать активное сопротивление и электроёмкость соединёнными последовательно.
178. Сдвиг фаз между напряжением и переменным током в коже лягушки составляет 48° , активное сопротивление 2кОм , электроёмкость $0,03\text{мкФ}$. Вычислить частоту переменного тока. Сопротивление и электроёмкость считать соединены последовательно.
179. Угол сдвига фаз между током и напряжением для ламинарии равен 78° при частоте переменного тока 1кГц . Какова электроёмкость ламинарии, если её активное сопротивление 850Ом ? Считать активное сопротивление и электроёмкость соединённым последовательно.
180. При подключении ламинарии к источнику переменного напряжения с частотой $1,5\text{кГц}$, получим сдвиг фаз между напряжением и током 50° , электроёмкость ламинарии оказалась равной $0,08\text{мкФ}$. Чему равно активное сопротивление ламинарии?

X. ФОТОМЕТРИЯ. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

Основные законы и формулы

Наименование величины или физический закон	Формулы
Световые фотометрические величины	
Полный световой поток от точечного источника света в люменах. J – сила света в канделах	$\Phi = 4\pi J$
Сила света J . Φ – световой поток, ω – телесный угол в стерadianах	$J = \frac{\Phi}{\omega}$
Освещённость в люксах, S_{obl} – площадь облучаемой поверхности	$E = \frac{\Phi}{S_{obl}}$
Освещённость, создаваемая точечным источником света на расстоянии R от него. i – угол падения световых лучей	$E = \frac{J}{R^2} \cos i$
Светимость M . $S_{изл}$ – излучающая поверхность	$M = \frac{\Phi}{S_{изл}}$
Соотношение между светимостью M и яркостью L для источников, удовлетворяющих закону Ламберта	$M = \pi L$

Эффективные фотометрические величины для ультрафиолетовой части спектра	
Поток излучения Φ (эр или бакт)	$\Phi = 4\pi J$
Сила излучения (эр/ср или бак/ср)	$J = \frac{\Phi}{\omega}$
Облучённость (эр/ср или бак/м ²)	$E = \frac{\Phi}{S_{обл}}$
Облучённость от точечного источника	$E = \frac{J}{R^2} \cos i$
Угловое увеличение микроскопа Γ , а – расстояние наилучшего зрения (25см), L – расстояние между фокусами объектива и окуляра. F_1 и F_2 – фокусные расстояния объектива и окуляра	$\Gamma = \frac{aL}{F_1 F_2}$

Вопросы для самоконтроля

1. Сформулируйте законы отражения и преломления света. Дайте определение показателя преломления.
2. Покажите, как связаны между собой абсолютный и относительный показатели преломления на границе раздела двух сред.
3. В чём заключается явление полного внутреннего отражения? Как применяется явление в оптических приборах (например, в рефрактометре)?
4. Каков принцип действия световодов? Расскажите об их применении в ветеринарной практике.
5. Какие типы линз вам известны? Что называют оптической силой линзы, и в каких единицах она измеряется?
6. Нарисуйте оптическую схему микроскопа. Чему равно увеличение микроскопа?
7. Что называют апертурным углом? Что называют числовой апертурой?
8. Дайте определения энергетических фотометрических величин и единиц их измерения.
9. Дайте определения эффективных фотометрических величин в эритёмной и бактерицидной областях ультрафиолетовой части спектра.
10. Какова значимость фотометрических измерений в ветеринарии и зоотехнике? Какое влияние оказывает видимый свет на сельскохозяйственных животных и птиц?
11. С какой целью применяют ультрафиолетовое излучение в ветеринарии и зоотехнии?

Примеры решения задач

ЗАДАЧА № 1

Ультрафиолетовая лампа ЛЭ-30, применяемая в животноводстве и ветеринарии, создаёт световой поток 110лм, эритёмный поток 750эр и бактерицидный поток 125бакт. Определить световую, эритёмную и

бактерицидную отдачу лампы, если её мощность 30Вт . Вычислить силу света и силу эритемного и бактерицидного излучений лампы. Какие облучённости и освещённость создаёт эта лампа на расстоянии 3м от неё при нормальном падении света? Считать лампу точечным источником.

Решение

$$\Phi = 110_{\text{лм}}$$

$$\Phi_{\text{э}} = 0,75_{\text{эр}}$$

$$\Phi_{\text{б}} = 0,125_{\text{бакт}}$$

$$N = 30\text{Вт}$$

$$R = 3\text{м}$$

Светоотдача определяется как отношение светового потока к мощности источника света. Аналогично определяются и остальные отдачи.

$$K = ? J = ? E = ?$$

$$K = \frac{\Phi}{N} = \frac{110_{\text{лм}}}{30\text{Вт}} = 3,67 \frac{\text{лм}}{\text{Вт}}.$$

$$K_{\text{э}} = \frac{0,75_{\text{эр}}}{30\text{Вт}} = 2,5 \cdot 10^{-2} \frac{\text{эр}}{\text{Вт}}.$$

$$K_{\text{б}} = \frac{0,125_{\text{бакт}}}{30\text{Вт}} = 4,17 \cdot 10^{-3} \frac{\text{бакт}}{\text{Вт}}.$$

Световой поток и сила точечного источника связаны соотношением:

$$\Phi = 4\pi J$$

Отсюда

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

Аналогично

$$J_{\text{э}} = \frac{0,75}{4\pi} 5,97 \cdot 10^{-2} \frac{\text{эр}}{\text{ср}}.$$

$$J_{\text{б}} = \frac{0,125}{4\pi} 9,95 \cdot 10^{-3} \frac{\text{бакт}}{\text{ср}}.$$

Освещённость, создаваемая точечным источником света:

$$E = \frac{J}{R^2} = \frac{8,76}{9} = 0,973_{\text{лк}}.$$

Аналогично

$$E_{\text{э}} = \frac{5,97 \cdot 10^{-2}}{9} = 6,63 \cdot 10^{-3} \frac{\text{эр}}{\text{м}^2} = 6,63 \frac{\text{мэр}}{\text{м}^2}.$$

$$E_{\text{б}} = \frac{9,95 \cdot 10^{-3}}{9} = 1,10 \cdot 10^{-3} \frac{\text{бакт}}{\text{м}^2} = 1,10 \frac{\text{мбакт}}{\text{м}^2}.$$

ЗАДАЧА № 2

Окно в виварии имеет размеры $2,5 \times 3,5\text{м}$, и на него в полдень падает световой поток $0,11\text{Млм}$. Считая коэффициент отражения света от каждой поверхности оконного стекла по 4%, определить освещённость окна с наружной его стороны, а также яркость и светимость окна внутри вивария. Поглощением света внутри стекла пренебречь.

Решение

$$S = 2,5 \times 3,5 = 8,75\text{м}^2$$

$$\Phi = 0,11\text{Млм} = 0,11 \cdot 10^6_{\text{лм}}$$

$$\rho = 4\% = 0,04$$

Вычислим освещённость окна:

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{0,11 \cdot 10^6}{8,75} = 1,26 \cdot 10^4_{\text{лк}}.$$

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

Часть светового потока, отражённая от внешней поверхности стекла, равна $\rho\Phi$. Поэтому световой поток, прошедший в стекло, равен $\Phi_1 = \Phi - \rho\Phi = (1 - \rho)\Phi$. точно также можно написать, что световой поток, вышедший из стекла после отражения на внутренней поверхности, $\Phi_2 = (1 - \rho)\Phi_1 = (1 - \rho)^2\Phi$.

Таким образом, светимость стекла внутри вивария создаётся тем световым потоком, который прошёл через стекло, т.е.

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

Поскольку яркость и светимость связаны между собой соотношением

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

Произведём вычисления:

$$M = (1 - 0,04)^2 \cdot 1,26 \cdot 10^4 = 1,16 \cdot 10^4 \text{ лк.}$$

$$L = 1,16 \cdot 10^4 / 3,14 = 3,68 \cdot 10^3 \text{ кд/м}^2.$$

Контрольные задачи

181. Определить увеличение микроскопа, фокусные расстояния объектива и окуляра у которого соответственно равны 15мм и 50мм, а расстояние между задним фокусом объектива и передним фокусом окуляра 19см.

182. Определите величину изображения среза мышечного волокна диаметром 8,5мкм, рассматриваемого под микроскопом с фокусными расстояниями окуляра и объектива соответственно равными 14 см и 0,2см. Расстояние между фокусами объектива и окуляром $L = 16\text{см}$, иммерсионная жидкости – глицерин. Апертурный угол 65° .

183. Определить оптическую силу окуляра микроскопа, если фокусное расстояние объектива 1,5мм. Расстояние между объективом и окуляром 21см. Микроскоп обладает 64-кратным увеличением.

184. Энергетическая освещённость, создаваемая Солнцем на границе земной атмосферы, равна $1,37 \text{ кВт/м}^2$ (солнечная постоянная). Вычислить мощность излучения Солнца, если среднее расстояние от него до Земли равно 150млн.км.

185. Будет ли видно под микроскопом волокно диаметром 0,2мкм, если его рассматривать в зелёном свете (длина волны 555нм), в объектив с числовой апертурой 60° и с монобромнафталином в качестве иммерсионной жидкости?

186. В коровнике повешен светильник из молочного стекла, имеющий форму шара диаметром 20см. Сила света светильника 80кд. Определить световой поток, светимость и яркость светильника.

187. Над операционным столом повешен светильник из молочного стекла, имеющий форму шара диаметром 40см. Сила света, создаваемая светильником, равна 250Кд. Определить световой поток, светимость и яркость светильника.

188. Для обезвреживания бактериального токсина необходимо создать бактериальную облучённость 156 мбакт/м^2 . Токсин в чашке Петри помещают под УФ-источником БУВ-30, создающим поток 4,5бакт. На каком расстоянии от чашки следует поместить облучатель, считая его точечным источником?

189. Светоотдачей называется число, показывающее величину светового потока, приходящегося на 1Вт мощности, затрачиваемой источником света. Светоотдача лампы мощностью 150Вт равна $12,7 \text{ лм/Вт}$. На поверхность

стола площадью $2,8\text{ м}^2$ направлено 25% светового потока лампы. Вычислить среднюю освещённость стола.

190. Солнечный свет создаёт на поверхности кожи человека освещённость $5 \cdot 10^4 \text{ лк}$. Какова светимость и яркость освещённого участка кожи, если коэффициент отражения кожи 0,35?

191. Фокусное расстояние объектива микроскопа 5мм, окуляра 28мм. Расстояние от объектива до окуляра 18см. Какое увеличение даёт микроскоп? Определить оптические силы линз микроскопа.

192. Вертикальная поверхность клетки с животным находится на расстоянии 4м от УФ – источника, состоящего из трёх ламп ПРК – 4. Одна из ламп вышла из строя. На сколько нужно передвинуть источник к клетке, чтобы её облучённость не изменилась?

193. На рабочих столах пункта ветеринарного обслуживания животных по санитарным нормам полагается освещённость 30лк. Какую минимальную силу света должна иметь лампа, повешенная на высоте 2м от поверхности рабочего стола? Какой световой поток будет давать эта лампа? Какова должна быть мощность лампы, если её светоотдача $12,6 \frac{\text{лм}}{\text{Вт}}$?

194. Расстояние между фокусами объектива и окуляра внутри микроскопа 150мм. Фокусное расстояние объектива 6мм. С каким фокусным расстоянием следует взять окуляр, чтобы получить увеличение в 850раз. Определить оптические силы линз микроскопа.

195. Толщина стекла в теплице 3мм. Коэффициент поглощения света стеклом (для инфракрасной части спектра, вызывающий парниковый эффект) равна $0,62\text{ см}^{-1}$. Какая доля от падающей на стекло интенсивности света достигает растений?

196. На стекло в теплице падает свет, коэффициент поглощения которого в данном стекле равен $0,65\text{ см}^{-1}$. Какой толщины стекло надо взять, чтобы внутрь теплицы попало не менее 0,8 световой энергии, падающей на поверхность стекла?

197. Ультрафиолетовая лампа ДРТ- 400 создаёт на расстоянии 3,5 м от неё при нормальном падении лучей эритемную облучённость в $30 \frac{\text{мЭр}}{\text{м}^2}$. Вычислить величину эритемного потока, создаваемого лампой, и эритемную отдачу лампы, если она потребляет мощность 400Вт. Считать лампу точечным источником.

198. На лист белой бумаги размером $20 \times 20\text{ см}^2$ нормально к поверхности падает световой поток в 20мм. Найти освещённость бумажного листа, если коэффициент рассеивания $\rho = 0,75$.

199. Над центром круглой клетки диаметром 2,5м на высоте 3м от пола подвешена лампа ЭУВ-30, создающая силу эритемного облучения $19,9 \frac{\text{мЭр}}{\text{ср}}$. Определить эритемную облучённость в центре пола клетки и на краю клетки на полу.

200. Вертикальная поверхность клетки с животным находится на расстоянии 8м от ультрафиолетового источника света, состоящего из трёх ламп ЛЭ-15. Одна из ламп вышла из строя. На сколько нужно передвинуть источник к клетке, чтобы облучённость её не изменилась?

XI. ВОЛНОВАЯ ОПТИКА. ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Основные законы и формулы

Наименование величины или физический закон	Формулы
Предел разрешения микроскопа z λ – длина волны света, θ – апертурный угол, n – показатель преломления среды между предметным стеклом и объективом	$z = \frac{0,61\lambda}{n \sin \Theta}$
Предельный угол α_n при полном внутреннем отражении	$\sin \alpha_n = \frac{1}{n}$
Угол максимальной поляризации света при отражении φ_o (закон Брюстера)	$\operatorname{tg} \varphi_o = n$
Угол поворота плоскости поляризации света. C – концентрация раствора, L – длина пути света в растворе (закон Био) $[\alpha]$ – удельное вращение	$\psi = [\alpha]CL$
Энергетическая светимость тела (закон Стефана-Больцмана)	$M = \sigma T^4$
Длина волны λ_m , на которую приходится максимум теплового излучения (закон Вина)	$\lambda_m = \frac{B}{T}$

Вопросы для самоконтроля

1. Что представляет собой явление интерференции волн? Каковы условия, при которых возникает явление интерференции?
2. Каковы методы наблюдения интерференции света? Почему не наблюдается интерференция при одновременном включении двух лампочек?
3. Что представляет собой явление дифракции? При каких условиях наблюдается дифракция?
4. Что называют разрешающей способностью оптического прибора? Какими причинами она вызывается? Дайте определение предела разрешения.
5. Каковы свойства ультрафиолетового и инфракрасного излучений? Каковы методы наблюдения этих излучений?
6. Как применяют ультрафиолетовое излучение в ветеринарии и зоотехнии? Расскажите о бактерицидном и эритемном действии ультрафиолетового излучения?
7. Расскажите о явлении поляризации света. Каковы методы наблюдения поляризации света?
8. Сформулируйте законы Малюса и Брюстера.
9. Расскажите о явлении двойного лучепреломления и о применении этого явления при исследовании микроструктур в поляризованном свете.
10. Расскажите о явлении вращения плоскости поляризации оптически активными веществами.
11. Расскажите об устройстве поляриметров и сахариметров. Каково их применение в ветеринарии?
12. Что называют лучеиспускательной и лучепоглощательной способностью тела?

13. Что называют абсолютно чёрным телом? Каковы модели абсолютно чёрного тела?
14. Сформулируйте законы Стефана-Больцмана, Кирхгофа и Вина.

Примеры решения задач

ЗАДАЧА № 1

Раствор глюкозы с концентрацией $0,28 \text{ г/см}^3$, налитый в стеклянную трубку длиной 15 см , поворачивает плоскость поляризации света на 32°С . Определить, удельное вращение глюкозы.

Решение

$$C = 0,28 \text{ г/см}^3$$

$$L = 15 \text{ см} = 1,5 \text{ дм}$$

$$\psi = 32^\circ$$

Согласно закону Био, угол поворота плоскости поляризации в оптически активных веществах $\psi = [\alpha]CL$.

Отсюда

$$[\alpha] = ?$$

$$[\alpha] = \frac{\psi}{CL} = \frac{32^\circ}{0,28 \text{ г/см}^3 \cdot 1,5 \text{ дм}} = 76,2 \text{ град} \cdot \text{см}^3 / (\text{г} \cdot \text{дм}).$$

ЗАДАЧА № 2

Какое количество теплоты излучает 1 м^2 поверхности тела лошади за час, если температура воздуха в конюшне, 15°С , а температура кожи лошади принять в среднем 37°С . Приведённый коэффициент излучения кожи равен $4,9 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$

Решение

$$\delta = 4,9 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$$

$$S = 1 \text{ м}^2$$

$$t = 3600 \text{ с}$$

$$T_1 = 273 + 37 = 310 \text{ К}$$

$$T_2 = 273 + 15 = 288 \text{ К}$$

Согласно закону Стефана-Больцмана тепловой поток, излучаемый нагретым телом, пропорционален четвёртой степени абсолютной температуры этого тела, а также площади поверхности и времени излучения. Теплообмен между двумя телами с разными температурами

$$\Phi_{II} = ?$$

температурами (например, между телом животного и окружающим воздухом), заключается в том, что тело с более высокой температурой (тело 1) излучает сильнее и передаёт телу с более низкой температурой (телу 2) больше энергии в единицу времени, чем само оно получает от тела 2. Таким образом, от тела 1 к телу 2 передаётся тепловой поток:

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

где δ – приведённый коэффициент излучения, зависящий от природы тела, от его температуры и в значительной степени от состояния его поверхности. Проверим размерность.

$$[\Phi_{II}] = \frac{Вт}{м^2 K^4} \cdot м^2 \cdot с \cdot K^4 = В \cdot т \cdot с = Дж.$$

Подставим в это выражение числовые значения заданных величин

$$\Phi_{II} = 4,9 \cdot 10^{-8} \cdot 1,36 \cdot 10^3 (310^4 - 288^4) = 4,15 \cdot 10^5 Дж.$$

Контрольные задачи

201. Можно ли рассмотреть эритроцит диаметром $5 мкм$ в микроскопе с апертурным углом 70° с красным светофильтром, пропускающим свет с длиной волны $655 нм$?

202. В ультрафиолетовом микроскопе используют лучи с длиной волны $0,2 мкм$. Можно ли обнаружить этим микроскопом рибосомы внутри клетки, если их диаметр $30 нм$? Апертурный угол объектива микроскопа 65° .

203. Объект наблюдают в микроскоп с красным светофильтром, пропускающим длину волны $645 нм$, а затем с зелёным светофильтром при длине волны $490 нм$. Во втором случае была использована иммерсионная жидкость – монобромнафталин с показателем преломления $1,66$. Апертурный угол объектива микроскопа 65° . Вычислить в обоих случаях предел разрешения микроскопа.

204. Предельный угол полного внутреннего отражения для роговицы глаз равен 46° . Вычислить для роговицы угол полной поляризации (угол Брюстера).

205. Угол полной поляризации (угол Брюстера) для сыворотки крови здорового человека равен $53,3^\circ$. Вычислить для сыворотки предельный угол полного внутреннего отражения.

206. Определить концентрацию сахара в моче человека, больного диабетом, если в трубке сахариметра длиной $20 см$ плоскость поляризации света повернулась на 40° . удельное вращение сахара равно $66,5 \frac{град \cdot см^3}{г \cdot дм}$.

207. Определить удельное вращение мятного масла, плотность которого $905 \frac{кг}{м^3}$. В трубке поляриметра длиной $20 см$ угол поворота плоскости поляризации оказался равным 44° .

208. Считая Солнце абсолютно чёрным телом, определить температуру его поверхности. Радиус Солнца $6,95 \cdot 10^8 м$, расстояние от Земли до Солнца $150 млн. км$. Солнечная постоянная (энергетическая освещённость, создаваемая Солнцем на границе земной атмосферы) равна $1,37 \frac{кВт}{м^2}$.

209. Во сколько раз теплоотдача (т.е. количество теплоты, излучаемой с $1 м^2$ поверхности тела в секунду) лошади меньше, чем теплоотдача тела птицы при температуре окружающего воздуха $20^\circ C$? Средние температуры кожи лошади и птицы соответственно принять равными $25^\circ C$ и $33^\circ C$. На какие длины волн приходятся максимумы излучения тел лошади и птицы?

210. Во сколько раз изменится теплоотдача с поверхности тела коровы при понижении температуры воздуха в коровнике от $23^\circ C$ до $12^\circ C$? Среднюю температуру кожи коровы принять равной $27^\circ C$. На какую длину волн приходится максимум излучения тело коровы?

211. Инфракрасные лучи длинноволнового диапазона вызывают ощущение резкой боли при падении на кожу при интенсивности $6 \frac{Дж}{см^2 \cdot мин}$. На каком расстоянии создаёт ощущение резкой боли лампа

мощностью 1500Вт , если её световой $\kappa\text{нд}$ составляет 3% , а остальная часть энергии расходуется на создание ИК – излучения?

212. Вычислить угол максимальной поляризации при отражении света от роговицы глаза. Под каким углом свет при этом проходит в глаз? ($n = 1,036$)

213. Вычислить угол максимальной поляризации при отражении света от сыворотки крови. Под каким углом свет при этом проходит в сыворотку? ($n = 1,34$)

214. Вычислить угол поворота плоскости поляризации раффинозы, если концентрация её $5,14\text{ }^{\circ}/\text{мл}$, длина трубки поляриметра 25см и удельное вращение раффинозы $1,04\text{ }^{\circ}\text{рад}/(\text{г} \cdot \text{дм})$.

215. Раствор глюкозы с концентрацией $0,28\text{ }^{\circ}/\text{см}^3$, налитый в стеклянную трубку длиной 15см , поворачивает плоскость поляризации света на 32° . Определить удельное вращение глюкозы.

216. При прохождении света через трубку длиной 20см сахарным раствором плоскость поляризации света поворачивается на угол 5° . Удельное вращение сахара $0,6\text{ }^{\circ}\text{рад}/(\text{дм} \cdot \text{проц})$. Определить концентрацию сахара в процентах.

217. Определить концентрацию раствора глюкозы, если при прохождении света через трубку длиной 20см плоскость поляризации поворачивается на угол $35,5^{\circ}$. Удельное вращение глюкозы $76^{\circ}\text{см}^3/\text{г} \cdot \text{дм}$.

218. При прохождении света через слой десяти процентного сахарного раствора толщиной 15см плоскость поляризации поворачивается на угол 13° . В другом растворе в слое толщиной 12см плоскость поляризации повернулась на $7,2^{\circ}$. Найти концентрацию второго раствора сахара.

219. Определить энергетическую светимость тела лошади при температуре тела 37°C , считая, что оно излучает как серое тело с коэффициентом $0,85$. На какую длину волны приходится максимум излучения тела лошади.

220. Опыт показывает, что облучение куриных яиц в инкубаторе наиболее эффективно при длине волны $4,1\text{мкм}$. К какой области спектра относится эта длина волны? Какая должна быть температура проволочной спирали нагревательной лампы? Какое количество энергии излучает в секунду спираль лампы, если её поверхность равна 20мм^2 ?

ХII. КВАНТОВАЯ ОПТИКА. ФОТОБИОЛОГИЯ.
Основные законы и формулы

Наименование величины или физический закон	Формулы
Энергия кванта (фотона). c – скорость света	$W = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$
Соотношение между массой и энергией (формула Эйнштейна)	$\Delta W = \Delta mc^2$
Закон поглощения света. J_0 и J – интенсивности света до и после поглощения слоем вещества толщиной L . (\aleph – показатель поглощения)	$J = J_0 e^{-\aleph L}$

Вопросы для самоконтроля

1. В чём сущность квантовой теории излучения? Напишите формулу Планка.
2. Сформулируйте закон фотоэффекта. Почему эти законы нельзя объяснить на основе классической волновой теории света?
3. Напишите уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.
4. Напишите уравнение Эйнштейна, дающее связь между массой и энергией.
5. Какие физические явления определяют взаимодействие света с веществом?
6. Закон поглощения света (закон Бугера).
7. Перечислите типы фотохимических реакций, протекающих в биологических системах.
8. Дайте определение люминесценции. Сформулируйте правило Стокса.
9. Расскажите о применении люминесцентного анализа в ветеринарии и ветеринарно-санитарной экспертизе.
10. Каковы источники и свойства ультрафиолетового излучения?
11. Расскажите о биологическом действии ультрафиолетового излучения.
12. Каковы источники и свойства инфракрасного излучения?
13. Опишите свойства лазерного излучения. Расскажите о применении лазеров в биологии и ветеринарии.

Примеры решения задач

ЗАДАЧА № 1

Коротковолновое УФ-излучение с длиной волны $200_{нм}$ оказывает наиболее выраженное бактерицидное действие, обусловленное изменением структуры белков, входящих в состав бактерий. Вычислить энергию, необходимую для изменения структуры этих белков. Ответ выразить в электронвольтах. Культура бактерий находится в чашке Петри диаметром $100_{мм}$. Какое количество фотонов УФ-излучения попадает на поверхность культуры бактерий за $10_{мин}$, если интенсивность облучения $0,3 \frac{Вт}{см^2}$?

Решение

Энергия кванта равна

$$W = \frac{hc}{\lambda}$$

$$t = 10_{мин} = 600с$$

$$\lambda = 200_{нм} = 2 \cdot 10^{-7} м$$

$$J = 0,3 \frac{Вт}{см^2} = 3 \frac{Вт}{м^2}$$

$$d = 100_{мм} = 0,1м$$

$$W = ? n = ?$$

Отсюда

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

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Поэтому

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

Интенсивность потока излучения равна энергии, падающей на единицу площади поверхности за единицу времени. Энергия потока равна произведению энергии одного фотона на число фотонов, т.е. nW .

Таким образом, $J = \frac{nW}{St}$. Отсюда $n = \frac{JS \cdot t}{W}$.

Площадь круглой чашки Петри $S = \frac{\pi d^2}{4}$. Следовательно, $n = \frac{J \pi d^2 \cdot t}{4W}$.

Подставим числовые значения:

$$n = \frac{3 \text{ Вт/м}^2 \cdot 0,01 \text{ м}^2 \cdot 600 \text{ с}}{4 \cdot 9,95 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}} = 1,42 \cdot 10^{19}.$$

Ответ: энергия одного фотона 6,66 эВ; на поверхность чашки Петри за 10 мин попадает $1,42 \cdot 10^{19}$ фотонов.

ЗАДАЧА № 2

При прохождении через кювету с окрашенным раствором лекарственного вещества интенсивность света уменьшилась на 18%. Определить показатель поглощения раствора. Во сколько раз уменьшится интенсивность света по сравнению с первым раствором, если концентрацию раствора увеличить в 5 раз? Толщина слоя раствора в кювете 8 см.

Решение

$$d = 8 \text{ см} = 0,08 \text{ м}$$

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

$$\frac{C_2}{C_1} = 5$$

$$\aleph = ? \frac{J_2}{J_1} = ?$$

В соответствии с законом Бугера интенсивность света, прошедшего через слой вещества толщиной d , уменьшается по экспоненциальному закону: $J_1 = J_0 e^{-\aleph d}$, где \aleph – показатель поглощения вещества.

Отсюда $\frac{J_0}{J} = e^{\aleph d}$. Логарифмируя, получим:

$$\lg \frac{J_0}{J} = \aleph d \lg e = 0,43 \aleph d. \text{ Отсюда } \aleph = \frac{\lg \frac{J_0}{J}}{0,43 d}.$$

По условиям задачи $\frac{J_0 - J_1}{J_0} = 0,18$. Преобразуя, получим:

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

$$\aleph = \frac{\lg 1,22}{0,43 \cdot 0,08} = \frac{\lg 1,22}{0,0344} = 2,51 (\text{м}^{-1}).$$

Поглощение монохроматического света окрашенными растворами подчиняется закону Бера, согласно которому показатель поглощения прямопропорционален концентрации вещества в растворе, т. е. $\aleph = \alpha C$, где

α – показатель поглощения для раствора единичной концентрации. Поэтому для растворов двух концентраций можно написать закон Бугера-Бера:

$$J_1 = J_0 e^{-\alpha C_1 d}; \quad J_2 = J_0 e^{-\alpha C_2 d}.$$

Логарифмируя, получим:

$$\lg \frac{J_0}{J_1} = \alpha C_1 d \lg e; \quad \lg \frac{J_0}{J_2} = \alpha C_2 d \lg e.$$

Отсюда
$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\lg \frac{J_0}{J_1}}{\lg \frac{J_0}{J_2}}; \quad \lg \frac{J_0}{J_2} = \frac{C_2}{C_4} \lg \frac{J_0}{J_1} = 5 \lg \frac{1}{0,82} = 5 \lg 1,22 = 0,431.$$

По таблицам логарифмов или с помощью микрокалькулятора находим, что $\frac{J_0}{J_2} = 2,698$.

Таким образом, $J_2 = \frac{J_0}{2,698}$, а по условиям задачи $J_1 = 0,82 J_0$.

Поэтому
$$\frac{J_2}{J_1} = \frac{1}{2,698 \cdot 0,82} = 0,452.$$

Ответ: интенсивность света во втором растворе уменьшится и будет равна $J_2 = 0,452 J_1$.

Контрольные задачи

221. Для определения показателя поглощения сыворотки крови ее наливают в кювету и с помощью фотометра определяют, что интенсивность света, прошедшего через столбик сыворотки, уменьшается на 14% по сравнению с интенсивностью падающего света. При прохождении через такую же толщу воды интенсивность света уменьшается на 3%. Вычислить показатель поглощения сыворотки если известно, что показатель поглощения воды равен $2 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$.

222. Лазерное излучение мощностью 2 мВт может вызвать ожог сетчатки глаза за время 2 с при площади пятна $1,2 \text{ мм}^2$. Вычислить интенсивность потока лазерного облучения. Какое количество фотонов падает за это время на сетчатку, если длина волны излучения $632,8 \text{ нм}$?

223. Вычислить энергию фотонов, излучаемых гелий-неоновым лазером, если длина волны этого излучения $632,8 \text{ нм}$. Ответ выразить в джоулях и электрон-вольтах. Сколько фотонов излучает лазер в секунду, если его мощность 50 мВт ?

224. Фотоактивирование семян производят излучением гелий-неонового лазера мощностью 25 мВт . Какое количество фотонов падает на поверхность семян в минуту? Длина волны излучений 630 нм .

225. Порог зрительного ощущения глаза человека в области его максимальной чувствительности при длине световой волны 555 нм составляет $3 \cdot 10^{-17} \text{ Вт}$. Какое количество фотонов падает при этом в глаз за одну минуту?

226. Мощность излучения Солнца составляет $3,84 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$. Вычислить, какую массу теряет Солнце на излучение в одну секунду. Через сколько лет масса Солнца ($1,99 \cdot 10^{27} \text{ т}$) уменьшится вдвое?

227. Определить энергию, массу и импульс фотона, соответствующего: а) видимому свету (длина волны $0,55 \text{ мкм}$), б) рентгеновскому излучению (длина волны $0,1 \text{ нм}$) и гамма-излучению (длина волны $0,001 \text{ нм}$).

228. Показатель поглощения подкрашенного раствора $0,735$. Какая толщина слоя этого раствора уменьшает интенсивность падающего света в 2

раза?

229. «Накачка» рубинового лазера, используемого в хирургии сетчатки, осуществляется в течении 1 мин газоразрядной лампой мощностью 15 Вт , световой к.п.д. которой составляет 25% . Продолжительность вспышки лазера $0,1\text{ мс}$. Какова мощность вспышки, если к.п.д. лазера $1,5\%$?

230. Вычислить показатель поглощения света жировой тканью, если при прохождении света через ткань толщиной 3 мм интенсивность света уменьшилась на 94% .

231. В лечебно-профилактических целях производят ультрафиолетовое облучение молодняка сельскохозяйственных животных лампами ЛЭ–15, дающими излучение с длиной волны 315 нм . Интенсивность облучения $15\text{ мкВт} / \text{см}^2$. Какое количество фотонов попадает при 10 – минутном облучении на поверхность тела животного площадью $1,7\text{ м}^2$?

232. Известно, что солнечный свет регулирует развитие растений, действуя на фитохром в узле кушения. Определить коэффициент поглощения света в стеблях растений, если на пути 8 см свет ослабляется в 20 раз.

233. Некоторые фотобиологические реакции связаны с диссоциацией молекул воды под действием света. Для диссоциации молекул воды необходима энергия $12,6\text{ эВ}$. Какова длина волны света, вызывающего эту реакцию? Коротковолновое же УФ-излучение с длиной волны 200 нм оказывает наиболее выраженное бактерицидное действие, обусловленное изменением структуры белков, входящих в состав бактерий. Вычислить энергию, необходимую для изменения этих белков.

234. При прохождении света через раствор крови в кювете высотой 6 см интенсивность света уменьшилась на 12% . Определить концентрацию раствора, если известно, что для него удельный показатель поглощения в законе Бера равен $0,325\text{ л} / (\text{см} \cdot \text{моль})$.

235. В реакции фотосинтеза на образование одной молекулы O_2 расходуется 8 фотонов. Какое количество световой энергии необходимо для образования при фотосинтезе 1 моля кислорода? Длину световой волны принять равной 555 нм . Коэффициент использования световой энергии $0,34$.

236. В офтальмологии лазерный луч применяется для спайки отслоившейся сетчатки с поверхностью сосудистой оболочки. Энергия, необходимая для этой операции, равна 50 мДж . Какова интенсивность лазерного луча, если он облучает поверхность сетчатки площадью $0,05\text{ мм}^2$ и длительность импульса 5 мс ?

237. Для разрушения раковой опухоли в полости рта животного необходима энергия светового пучка в 10^5 Дж . Опухоль облучали, лазерным пучком с интенсивностью $10^8\text{ Вт} / \text{м}^2$. Опухоль круглой формы диаметром 5 мм поглощает 20% падающего на нее излучения рубинового лазера. Сколькими импульсами необходимо облучать опухоль, если длительность каждого импульса 20 мс ?

238. Человеческий глаз наиболее чувствителен к зеленому свету (длина волны $0,55\text{ мкм}$), для которого порог чувствительности глаза соответствует 80 фотонам, падающим на сетчатку за 1 с . Какой мощности света соответствует этот порог?

239. Какой изотоп образуется из ${}_{92}\text{U}^{238}$ после 3α – распадов и 2β – распадов?

240. Какой изотоп образуется из радиоактивного ${}_3\text{Li}^8$ после одного β – распада и одного α – распада?

ТАБЛИЦЫ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ

Таблица 1

Основные физические константы в СИ

Название	Символ	
Гравитационная постоянная	G	$6,670 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
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	$8,31441 \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	k	$1,38054 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$
Постоянная Фарадея	F	$9,6487 \cdot 10^4 \text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$
Постоянная Планка	h	$6,62491 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{К}^{-4}$
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	$9,1091 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
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

Название приставки	Обозначение	Коэффициент умножения, соответствующий приставке	Пример
Тера	Т	10^{12}	Тераджоуль (ТДж)
Гига	Г	10^9	Гигаом (ГОм)
Мега	М	10^6	Мегаом (Мом)
Кило	к	10^3	километр (км)
Гекто	г	10^2	гектоватт (гВт)
Дека	да	10	декалитр (дал)
Деци	д	10^{-1}	дециметр (дм)
Санتي	с	10^{-2}	сантиметр (см)
Милли	м	10^{-3}	миллиампер (мА)

Микро	мк	10^{-6}	микровольт (мкВ)
Нано	н	10^{-9}	нанометр (нм)
Пико	п	10^{-12}	пикофарада (пФ)

Примечание. При произношении ударение не должно приходиться на приставку.

Таблица 3

Корни и натуральные логарифмы чисел от 1 до 10

N	\sqrt{N}	In N	N	\sqrt{N}	In 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	In N	Число	N	In N
π	3,14	0,497	$\sqrt{\pi}$	1,772	0,248
2π	6,28	0,798	π^2	9,870	0,994
4π	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

Греческий алфавит

Обозначения букв	Название букв	Обозначение букв	Название букв
A,α	альфа	N,ν	ню
B,β	бета	Ξ,ξ	кси
Γ,γ	гамма	Ο,ο	омикрон
Δ,δ	дельта	Π,π	пи
E,ε	эпсилон	Ρ,ρ	ро
Z,ξ	дзета	Σ,σ	сигма
H,η	эта	Τ,τ	тау
Θ,θ	тэта	Υ,υ	ипсилон
I,ι	йота	Φ,φ	фи
K,κ	каппа	Χ,χ	хи
Λ,λ	ламбда	Ψ, ψ	пси
M,μ	мю	Ω, ω	омега

Содержание

Введение.....	2
Общие методические указания.....	3
Рабочая программа курса «Физика с основами биофизики».....	3
Литература.....	7
Указания к выполнению контрольной работы.....	8
Методические указания к разделам программы и контрольные.....	10
Правила приближённых вычислений.....	10
I. Вращательное движение твёрдого тела.....	13
II. Акустика.....	20
III. Гидродинамика.....	25
IV. Свойства твёрдых и жидких тел.....	32
V. Явления переноса.....	38
VI. Термодинамика.....	43
VII. Электростатика. Постоянный ток.....	48
VIII. Биоэлектрические явления.....	53
IX. Переменный ток.....	59
X. Фотометрия.....	64
XI. Волновая оптика. Тепловое излучение.....	70
XII. Квантовая оптика. Фотобиология.....	74
Таблицы справочных данных.....	80

Составители:

Штейн Сергей Георгиевич,
Викулов Станислав Викторович,
Дзю Искра Михайловна.

ОСНОВЫ ФИЗИКИ И БИОФИЗИКИ

Методические указания

Редактор Н.К.Крупина

Компьютерная вёрстка В.Н. Зенина

Подписано в печать 24 августа 2015. Формат 84×108×32

Объём 4,2 уч.-изд.л., 5,2 усл.печ. л. Тираж 100 экз.

Изд.№45. Заказ1545

Отпечатано в издательском центре НГАУ «Золотой колос»

630039, Новосибирск, ул . Добролюбова, 160, каб. 106.

Тел.(383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru

