

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКАЯ ОРДЕНА «ЗНАК ПОЧЕТА» ГОСУДАРСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЫ»

Н. П. Ковалёнок, Е. В. Толкач

**БИОФИЗИКА.
СБОРНИК ЗАДАЧ ПО БИОФИЗИКЕ**

Учебно-методическое пособие

для студентов 1 курса ФВМ по специальности
«Ветеринарная медицина»

Витебск
ВГАВМ
2023

УДК 573.3
ББК 28.071
К56

Рекомендовано к изданию методической комиссией
факультета ветеринарной медицины УО «Витебская ордена
«Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины»
от 19 мая 2023 г. (протокол № 4)

Авторы:

старший преподаватель *Н. П. Ковалёнок*;
старший преподаватель *Е. В. Толкач*

Рецензенты:

кандидат биологических наук, доцент *В. П. Баран*;
кандидат ветеринарных наук, доцент *В. М. Мироненко*

Ковалёнок, Н. П.

К56 Биофизика. Сборник задач по биофизике : учеб.-метод. пособие для
студентов 1 курса ФВМ по специальности «Ветеринарная медицина» / Н.
П. Ковалёнок, Е. В. Толкач. – Витебск : ВГАВМ, 2023. – 40 с.

Учебно-методическое пособие разработано в соответствии с учебной программой для специальности 7-07-0841-01 «Ветеринарная медицина». Пособие предназначено для проведения практических занятий, закрепления изученного теоретического материала и способствует комплексному процессу интегрирования курса биофизики в учебный процесс. В пособие включены задачи разного уровня сложности. Задачи сгруппированы по разделам и темам. Каждая тема содержит информацию об основных законах и формулах. В конце содержится справочный материал, который используется в учебном процессе.

УДК 573.3
ББК 28.071

© УО «Витебская ордена «Знак Почета»
государственная академия ветеринарной
медицины», 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ | 4 |
| I. БИОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ | 5 |
| 1. Биомеханика | 5 |
| 1.1. Основные законы и формулы | 5 |
| 1.2. Задачи | 6 |
| 2. Биоакустика | 7 |
| 2.1. Основные законы и формулы | 7 |
| 2.2. Задачи | 9 |
| 3. Гемодинамика | 10 |
| 3.1. Основные законы и формулы | 10 |
| 3.2. Задачи | 11 |
| II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА | 12 |
| 4. Молекулярная физика | 12 |
| 4.1. Основные законы и формулы | 12 |
| 4.2. Задачи | 13 |
| 5. Термодинамика биологических систем | 15 |
| 5.1. Основные законы и формулы | 15 |
| 5.2. Задачи | 16 |
| III. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ | 17 |
| 6. Электрические явления в биологических системах | 17 |
| 6.1. Основные законы и формулы | 17 |
| 6.2. Задачи | 18 |
| 7. Биологическое действие постоянного тока | 20 |
| 7.1. Основные законы и формулы | 20 |
| 7.2. Задачи | 21 |
| 8. Биологическое действие переменного тока | 22 |
| 8.1. Основные законы и формулы | 22 |
| 8.2. Задачи | 23 |
| 9. Магнитные явления в живых организмах | 24 |
| 9.1. Основные законы и формулы | 24 |
| 9.2. Задачи | 25 |
| IV. ОПТИЧЕСКИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ | 27 |
| 10. Оптика | 27 |
| 10.1. Основные законы и формулы | 27 |
| 10.2. Задачи | 28 |
| 11. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом | 29 |
| 11.1. Основные законы и формулы | 29 |
| 11.2. Задачи | 30 |
| 12. Биофизика атомов и молекул | 32 |
| 12.1. Основные законы и формулы | 32 |
| 12.2. Задачи | 33 |
| СПРАВОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ | 35 |
| ЛИТЕРАТУРА | 38 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебно-методическое пособие предназначено для использования в практическом цикле при изучении биофизики студентами факультета ветеринарной медицины.

Биофизика представляет собой пограничную науку, основанную на идеях и представлениях биологии, физики, физической химии с активным использованием математического аппарата. Это сочетание представляет определенные трудности в усвоении основного материала курса «Биофизика», требующего достаточных знаний смежных наук. Традиционно решению этой проблемы служит проведение практических занятий, на которых разъясняются основные теоретические положения биофизики. Многолетняя практика преподавания курса биофизики показывает, что такой подход необходимо дополнять решением задач по соответствующим разделам, что необходимо для успешного усвоения курса.

Курс «Биофизика» составляет основу теоретической подготовки врачей ветеринарной медицины и должен дать студентам глубокие знания в области тех физических явлений, которые необходимы для изучения физиологии, радиобиологии, гигиены, хирургии и других направлений теоретической и клинической медицины. Биофизика успешно объясняет многие биологические явления. Сегодня эта наука тесно связана с электрофизиологией, офтальмологией, фармакологией, зоогигиеной и пр. Успешно разрабатываются физико-математические модели биологических процессов.

Цель данного методического пособия – теснее связать с ветеринарной медициной все основные разделы биофизики, обеспечить усвоение курса студентами на близком для них материале, оказать помощь в изучении данной дисциплины.

Настоящее пособие включает задачи по традиционным разделам биофизики. Разделы задачника содержат теоретическое введение по каждой теме. По своему содержанию более 80% задач, включенных в пособие, приближено к реальным биофизическим ситуациям, которые могут встретиться в ветеринарной практике и биологических исследованиях. Материал подбирался так, чтобы как можно полнее показать связь организма животных со средой и различными физическими факторами, влияющими на его жизнеспособность, приблизить студентов к разрешению проблемных вопросов их будущей практической деятельности, тем самым вызвать у них интерес к изучению курса биофизики.

Сборник будет полезен при проведении практических занятий по курсу биофизики, так как умение решать задачи определяет уровень усвоения материала и необходим для развития биофизического мышления.

I. БИОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

1. Биомеханика

1.1. Основные законы и формулы

1. Средняя угловая скорость ω (греч. «омега»):

$$\omega_{\text{ср.}} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}, \quad (1.1)$$

где $\Delta\varphi$ – изменение угла поворота;
 Δt – промежуток времени.

2. Среднее угловое ускорение β (греч. «бета»):

$$\beta_{\text{ср.}} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1}, \quad (1.2)$$

где $\Delta\omega$ – изменение угловой скорости;
 ω_2 – конечная угловая скорость;
 ω_1 – начальная угловая скорость.

3. Частота вращения:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{N}{t}, \quad (1.3)$$

где T – период вращения;
 N – число оборотов за промежуток времени.

4. Момент силы:

$$M = F \cdot R, \quad (1.4)$$

где F – сила, действующая на тело;
 R – плечо силы.

5. Момент инерции материальной точки:

$$J = m \cdot R^2, \quad (1.5)$$

где m – масса материальной точки;
 R – расстояние от точки до оси вращения.

6. Момент инерции сплошного цилиндра или диска:

$$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot R^2, \quad (1.6)$$

где R – радиус.

7. Основное уравнение динамики вращательного движения:

$$M = J \cdot \beta, \quad (1.7)$$

где M – момент силы, действующей на тело;
 J – момент инерции тела;
 β – угловое ускорение.

8. Кинетическая энергия вращающегося тела:

$$E_k = J \cdot \frac{\omega^2}{2}, \quad (1.8)$$

9. Результирующая сила, действующая на частицу в жидкости при центрифугировании:

$$F_p = V \cdot \omega^2 \cdot R \cdot (\rho_T - \rho_{ж}), \quad (1.9)$$

где R – расстояние частицы от оси вращения.

10. Условие равновесия рычага:

$$F_M \cdot a = F_T \cdot b, \quad (1.10)$$

где F_M – сила действия (сила мышц);

a – плечо силы действия;

F_T – сила сопротивления (сила тяжести);

b – плечо силы сопротивления.

1.2. Задачи

1. Маховик сепаратора в виде сплошного диска массой 80 кг и радиусом 0,5 м начал вращаться равноускоренно под действием вращающего момента 20 Н·м. Определить угловое ускорение и кинетическую энергию, приобретаемую маховиком за 10 с от начала вращения.
2. Барабан молотилки, момент инерции которого $30 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, делает 1200 об/мин. После выключения мотора барабан останавливается через 5 мин. Определить величину тормозящего момента.
3. Найдите силу, действующую при центрифугировании на ядра клеток печени, диаметр которых $8 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ (принять ядра за правильные сферические частицы), плотность ядра – 1300 кг/м^3 , радиус ротора центрифуги – 0,04 м, частота вращения ротора – 2000 об/с.
4. Масса бревна – 150 кг. Какую силу нужно приложить, чтобы поднять его за один конец?
5. Длина меньшего плеча рычага равновесия – 5 см, большего – 30 см. На меньшее плечо действует сила, равная 12 Н. Какую силу надо приложить к большему плечу, чтобы уравновесить рычаг?
6. Двуглавая мышца прикреплена к лучевой кости на расстоянии 0,03 м от локтевого сустава. Груз массой 5 кг находится на ладони руки на расстоянии 0,33 м от локтевого сустава. Определить силу, развиваемую двуглавой мышцей при условии, чтобы лучевая кость оставалась в горизонтальном положении.
7. С какой силой натянута мышца бицепса при подъеме ядра весом 80 Н, если расстояние от центра ядра до локтевого сустава – 0,32 м, а от сустава до места закрепления мышцы – 0,04 м?
8. С каким грузом, человек массой 80 кг приподнимется на полупальцы, если мышечное усилие одной ноги составляет 1500 Н, расстояние от точки опоры до линии действия силы тяжести – 0,18 м, а расстояние от точки опоры до точки крепления ахиллова сухожилия – 0,22 м.
9. С какой силой будет растянуто ахиллово сухожилие человека массой 70 кг, если он приподнимается на полупальцы. Расстояние от точки опоры до линии действия силы тяжести равно 18 см, а расстояние от линии действия силы тяжести до крепления ахиллова сухожилия равно 4 см.

2. Биоакустика

2.1. Основные законы и формулы

1. Уравнение смещения гармонического колебания:

$$x = x_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0), \quad (2.1)$$

где x – смещение колеблющейся точки от положения равновесия;

x_0 – амплитуда смещения;

ω – круговая или циклическая частота;

t – время;

φ_0 – начальная фаза колебаний;

$\omega \cdot t + \varphi_0$ – фаза колебаний в момент времени t .

2. Максимальное значение скорости (амплитуда скорости) при колебательном движении:

$$v_0 = x_0 \cdot \omega \quad (2.2)$$

3. Максимальное значение ускорения (амплитуда ускорения):

$$a_0 = -x_0 \cdot \omega^2 \quad (2.3)$$

4. Длина волны:

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu}, \quad (2.4)$$

где v – скорость распространения волны;

T – период;

ν – частота.

5. Скорость распространения продольных волн в упругой среде:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (2.5)$$

где E – модуль продольной упругости;

ρ – плотность среды.

6. Скорость распространения поперечных волн в упругой среде:

$$v = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \quad (2.6)$$

где G – модуль поперечной упругости.

7. Плотность энергии:

$$\varepsilon = \frac{\rho \cdot x_0^2 \cdot \omega^2}{2} \quad (2.7)$$

8. Интенсивность звука:

$$I = \frac{E}{S \cdot t} = \frac{P_a^2}{2 \cdot \rho \cdot v}, \quad (2.8)$$

где P_a – амплитудное значение акустического давления;

ρ – плотность среды;

v – скорость звука в среде.

9. Удельное волновое, или акустическое, сопротивление вещества, которое характеризует рассеяние энергии волны в акустическом поле:

$$z = \rho \cdot v \quad (2.9)$$

10. Уровень интенсивности звука в децибелах (дБ):

$$L_{\text{дБ}} = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0} = 20 \cdot \lg \frac{P}{P_0}, \quad (2.10)$$

где $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² – интенсивность звука на пороге слышимости;
 $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па – акустическое давление на пороге слышимости.

11. Уровень интенсивности звука в Белах (Б):

$$L_{\text{Б}} = \lg \frac{I}{I_0} \quad (2.11)$$

12. Уровень громкости звука в фонах (закон Вебера - Фехнера):

$$E_{\text{Ф}} = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0} = 20 \cdot \lg \frac{P}{P_0} \quad (2.12)$$

13. Уровень громкости в Белах:

$$E_{\text{Б}} = k \cdot \ln \frac{I}{I_0}, \quad (2.13)$$

k – коэффициент пропорциональности.

14. Закон Бугера:

$$I = I_0 \cdot e^{-k \cdot d}, \quad (2.14)$$

где I – интенсивность волны на расстоянии d от источника;
 I_0 – начальная интенсивность;
 k – коэффициент поглощения вещества.

15. Коэффициент отражения звука (формула Рэлея):

$$r = \left(\frac{\rho_2 \cdot v_2 - \rho_1 \cdot v_1}{\rho_2 \cdot v_2 + \rho_1 \cdot v_1} \right)^2 = \left(\frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} \right)^2, \quad (2.15)$$

где ρ_2 и ρ_1 – плотности граничащих сред;
 v_2 и v_1 – скорости звука в этих средах;
 z_2 и z_1 – удельное акустическое сопротивление сред.

16. Если источник и приемник движутся вдоль одной прямой, то частота, воспринимаемая приемником, определяется формулой (частота Доплера):

$$v_{\text{пр}} = \frac{v_{\text{в}} \pm v_{\text{пр}}}{v_{\text{в}} \mp v_{\text{ист}}} \cdot v_{\text{ист}}, \quad (2.16)$$

где $v_{\text{в}}$ – скорость волны в среде;
 $v_{\text{пр}}$ – скорость движения приемника;
 $v_{\text{ист}}$ – частота источника звука;
 верхние знаки, т.е. «+» в числителе и «-» в знаменателе, соответствуют сближению источника и приемника, а нижние – их удалению.

17. Эффект Доплера:

$$v_{\text{пр}} = \frac{v_{\text{ист}}}{1 \mp \frac{v_{\text{ист}}}{v_{\text{зв}}}} \quad (2.17)$$

где $v_{\text{ист}}$ – частота источника звука;
 $v_{\text{ист}}$ – скорость движения источника звука;
 $v_{\text{зв}}$ – скорость излучаемого звука;
 знак «минус» для приближения, «плюс» для удаления.

18. Частота Доплера при отражении от движущегося объекта:

$$v_{\text{пр}} = 2 \cdot v_{\text{ист}} \cdot \frac{v_{\text{ист}}}{v_{\text{пр}}} \cdot \cos \varphi, \quad (2.18)$$

где φ – угол падения звука на движущуюся поверхность.

2.2. Задачи

10. Уравнение колебания точки имеет вид $x = 2 \cdot \sin 5t$ см. Определить максимальные значения скорости и ускорения точки.
11. Определить длину звуковой волны человеческого голоса с частотой 64 Гц при температуре воздуха 15°C . Скорость звука – 340 м/с.
12. Волновое сопротивление мышечной ткани человека равно $1,63 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot \text{с}/\text{м}$. Определить скорость распространения ультразвука в мышечной ткани, если ее плотность – $1060 \text{ кг}/\text{м}^3$.
13. Определить удельное акустическое сопротивление кости черепа, если скорость ультразвука – 3,66 км/с, плотность кости – $1,7 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$.
14. Определить амплитудное значение давления в ткани организма на глубине 2 см при облучении ультразвуком интенсивностью $2 \text{ Вт}/\text{см}^2$. Коэффициент поглощения ткани считать равным $0,19 \text{ см}^{-1}$, а ее плотность – $1060 \text{ кг}/\text{м}^3$.
15. Интенсивность сердечных тонов, воспринимаемых через стетоскоп, равна $10^{-9} \text{ мкВт}/\text{см}^2$. Определить уровень интенсивности тонов сердца.
16. Определить интенсивность шума в птичнике, если уровень шума измерений шумомером составил 90 дБ.
17. Участок тела больного подвергается действию ультразвука интенсивностью $1,5 \cdot 10^4 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Определить интенсивность ультразвука на глубине $1,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, если коэффициент поглощения ткани – 58 м^{-1} .
18. Для лечения мастита вымени применяют ультразвук с интенсивностью $0,6 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Какая энергия ультразвука пройдет внутрь ткани вымени, если время процедуры – 10 минут, а площадь головки излучателя – $4,5 \text{ см}^2$. Коэффициент проникновения ультразвука внутрь ткани вымени – 0,9.
19. Найти коэффициент отражения ультразвука на границе между костной и мышечной тканью, если удельное акустическое сопротивление кости $6,22 \cdot 10^6 \text{ кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$, а мышцы – $1,54 \cdot 10^6 \text{ кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$.
20. Вычислить коэффициент отражения ультразвука на границе между костью черепа и мозгом. Плотность мозга – $1,05 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$, плотность кости $1,7 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$. Скорость ультразвука в ткани мозга – 1,52 км/с, а скорость ультразвука в кости – 3,66 км/с.
21. Найти скорость эритроцитов, движущихся с потоком крови в сонной артерии, если частота Доплера при отражении ультразвука от эритроцитов равна 1,7 кГц. Частота ультразвука, падающего под углом 60° к оси сонной артерии, равна 3 МГц, а скорость ультразвука в крови – 1,5 км/с.
22. При УЗИ между излучателем и поверхностью тела помещают контактное вещество (глицерин). Найти удельное акустическое сопротивление этого вещества, если коэффициент отражения между ним и кварцевым излучателем составляет 0,05. Плотность кварца – $2,65 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$, скорость ультразвука в кварце – 5,97 км/с.

3. Гемодинамика

3.1. Основные законы и формулы

1. Уравнение неразрывности потока жидкости:

$$S \cdot v = \text{const}, \quad (3.1)$$

где S - площадь поперечного сечения трубки тока;
 v - скорость течения жидкости.

2. Критическая скорость течения жидкости:

$$v_{\text{кр}} = \frac{Re \cdot \eta}{\rho \cdot D}, \quad (3.2)$$

где Re – число Рейнольдса;
 η – коэффициент вязкости жидкости;
 ρ – плотность жидкости;
 D – диаметр сосуда.

3. Средняя скорость при ламинарном течении жидкости по трубе:

$$v_{\text{ср.}} = \frac{\Delta p}{\Delta x} \cdot \frac{R^2}{8 \cdot \eta}, \quad (3.3)$$

где $\frac{\Delta p}{\Delta x}$ – градиент давления.

4. Формула Пуазейля (объем жидкости, протекающей по трубе за время):

$$V = \frac{\Delta p}{\Delta x} \cdot \frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot \eta} \cdot t \quad (3.4)$$

5. Методы измерения коэффициента вязкости жидкостей:

а) метод капиллярного вискозиметра (вискозиметр Оствальда):

$$\eta_x = \eta_0 \cdot \frac{\rho_x \cdot t_x}{\rho_0 \cdot t_0}, \quad (3.5)$$

где η_0 – коэффициент вязкости эталонной жидкости;
 ρ_x и ρ_0 – плотности исследуемой и эталонной жидкостей;
 t_x и t_0 – время протекания через капилляр исследуемой и эталонной жидкостей.

б) вискозиметр Гесса:

$$\eta_x = \eta_0 \cdot \frac{L_0}{L_x}, \quad (3.6)$$

где L_0 – расстояние, пройденное эталонной жидкостью;
 L_x – расстояние, пройденное исследуемой жидкостью.

в) метод Стокса:

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \cdot g \cdot (\rho_T - \rho_{\text{ж}})}{v}, \quad (3.8)$$

где r – радиус шарика;
 ρ_T – плотность шарика;
 $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости.

6. Работа, выполняемая сердцем:

$$A_c = 1,2 \cdot \left(p + \frac{\rho \cdot v_a^2}{2} \right) \cdot V_{\text{сис}}, \quad (3.9)$$

где v_a – скорость крови в аорте;
 $V_{\text{сис}}$ – систолический объем крови.

3.2. Задачи

23. Вычислить давление крови на расстоянии 5 см от начала сосуда, если в его начале давление составляет 104 Па, радиус сосуда равен 1 мм, вязкость крови – 0,005 Па·с, линейная скорость движения крови равна 20 см/с.
24. Определить массу крови, которая проходит за 1 с через поперечное сечение аорты, если течение ламинарное. Вязкость крови – $5 \cdot 10^{-3}$ Па·с, диаметр сечения аорты – 2 см, число Рейнольдса – 2300.
25. Какой объем крови проходит через капилляр диаметром $8 \cdot 10^{-6}$ м и длиной $30 \cdot 10^{-3}$ м в течение часа, если давление на артериальном конце капилляра – 30 мм рт. ст., а на венозном – 10 мм рт. ст.?
26. Какая разность давлений существует на участке артерий с внутренним диаметром 3 мм и длиной 10 см, если объемный поток крови через артерию – $2 \cdot 10^{-5}$ м³/с.
27. В восходящей части аорты диаметром 3,2 см максимальная скорость течения крови – 60 см/с. Будет ли при этих условиях течение крови ламинарным или турбулентным? Критическое число Рейнольдса – 2300. Коэффициент динамической вязкости крови – 3 мПа·с, плотность крови – 1050 кг/м³.
28. Определить время протекания крови через капилляр вискозиметра, если вода протекает через него за 60 с. Измерения проводились при температуре 20 °С.
29. При проведении анализа крови вискозиметром кровь и дистиллированная вода дошли соответственно до меток 0,75 и 9,6. Определить вязкость крови, если анализ проводился при температуре 20 °С.
30. Найти время и скорость полного оседания сферических частиц радиусом 2 мкм в слое толщиной 3 см, если плотность вещества частиц – $2,5 \cdot 10^{-3}$ кг/м³, плотность воды равна 1000 кг/м³.
31. Скорость оседания эритроцитов для свиньи в норме равна 8 мм/час. Определить диаметр эритроцитов, считая их сферическими, если к их движению можно применить закон Стокса.
32. Вычислить работу сердца, производимую сердечной мышцей человека и крупного рогатого скота за одно сокращение в состоянии покоя. Среднее давление крови для человека – 100 мм рт. ст., систолический объем – 60 мл, скорость движения крови – 0,5 м/с. Для крупного рогатого скота среднее давление – 85 мм рт. ст., систолический объем – 580 мл, скорость движения крови – 0,5 м/с.
33. Найти работу сердечной мышцы коровы за одно сокращение. Систолическое давление – 100 мм рт. ст., диастолическое давление – 70 мм рт. ст. Средняя скорость крови – 0,5 м/с. Объем крови, выбрасываемый за одно сердечное сокращение, – 0,58 л.

II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

4. Молекулярная физика

4.1. Основные законы и формулы

1. Уравнение состояния идеальных газов (уравнение Клапейрона – Менделеева):

$$P \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T, \quad (4.1)$$

где m – масса газа;

M – молярная масса;

$R = 8,31$ Дж / (моль·К) – молярная газовая постоянная;

T – термодинамическая температура.

2. Явления переноса:

а) уравнение диффузии (закон Фика):

$$m = -D \cdot \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \cdot S \cdot t, \quad (4.2)$$

где m – масса газа, перенесенная в результате диффузии через поверхность;

D – коэффициент диффузии;

$\Delta \rho / \Delta x$ – градиент плотности;

S – площадь поверхности.

б) уравнение теплопроводности (закон Фурье):

$$Q = -H \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \cdot S \cdot t, \quad (4.3)$$

где Q – количество теплоты, прошедшее посредством теплопроводности через поверхность;

H – коэффициент теплопроводности;

$\Delta T / \Delta x$ – градиент температуры;

S – площадь поверхности.

в) уравнение внутреннего трения (закон Ньютона):

$$F = -\eta \cdot \frac{\Delta v}{\Delta x} \cdot S, \quad (4.4)$$

где F – сила внутреннего трения, возникающая на границе между двумя смежными слоями движущейся жидкости;

η – коэффициент вязкости;

$\Delta v / \Delta x$ – градиент скорости;

S – площадь соприкасающихся слоев.

3. Абсолютная влажность

а) плотность водяного пара:

$$f_a = \frac{m}{V}, \quad (4.5)$$

где m – масса водяного пара в воздухе;

V – объем воздуха.

б) давление паров воды в воздухе:

$$f_a = \frac{m \cdot R \cdot T}{M \cdot V} \quad (4.6)$$

4. Относительная влажность:

$$B = \frac{f_a}{f_n} \cdot 100\%, \quad (4.7)$$

где f_a – абсолютная влажность;

f_n – насыщающая влажность.

5. Дополнительное давление ΔP , вызванное кривизной поверхности жидкости (формула Лапласа):

$$\Delta p = \pm \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (4.8)$$

где R_1 и R_2 – радиусы кривизны двух взаимно перпендикулярных сечений поверхности жидкости.

6. Дополнительное давление ΔP для сферической поверхности ($R = R_1 = R_2$):

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R}, \quad (4.9)$$

7. Высота поднятия (опускания) жидкости в капилляре определяется формулой Жюрена-Борелли:

$$h = \pm \frac{2 \cdot \sigma}{\rho \cdot g \cdot R} \cdot \cos \theta, \quad (4.10)$$

где ρ – плотность жидкости;

g – ускорение свободного падения;

R – радиус капилляра;

θ – краевой угол.

4.2. Задачи

34. Взрослая корова выделяет при дыхании 0,235 кг воздуха в час при давлении 10^5 Па. Температура легких коровы – 37°C . Определить объем выдыхаемого ею воздуха за час.
35. Масса воздуха, поступающего в легкие теленка при одном вдохе, – $3,5 \cdot 10^{-4}$ кг, объем вдыхаемого воздуха – 0,3 л, температура легких – $36,7^\circ\text{C}$. Каково давление в легких теленка?
36. Определить время, в течение которого через поверхность площадью 1 м^2 продиффундирует воздух массой 720 мг из почвы в атмосферу, если принять коэффициент диффузии воздуха $0,04 \text{ см}^2/\text{с}$, градиент плотности – равным $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ г}/\text{см}^4$.
37. За сутки в газообмене взрослого человека участвует 185 г кислорода, из которых 20% приходится на кожное дыхание. Вычислить градиент плотности кислорода в коже, если площадь поверхности тела принять равной $1,9 \text{ м}^2$, а коэффициент диффузии кислорода – $1,38 \text{ см}^2/\text{с}$.
38. За какое время через мышцу животного площадью $0,01 \text{ м}^2$ и толщиной 10 мм пройдет 2 кДж теплоты, если температура тела животного – 38°C , а

температура внешней среды – 17°C ? Коэффициент теплопроводности мышцы – $5,7 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

39. Через сухожилие с поверхностью 3 см^2 за час проходит $6,3 \text{ Дж}$ теплоты. Толщина сухожилия – 5 мм . Определить разность температур между внутренней и внешней частью сухожилия. Коэффициент теплопроводности сухожилия – $4,6 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.
40. Определить коэффициент теплопроводности жировой ткани свиньи, если через ее жировой слой толщиной 25 мм за 1 минуту проходит $10,9 \text{ Дж}$ теплоты. Температура на внутренней поверхности слоя – 37°C , а температура окружающей среды – 12°C . Площадь исследуемой поверхности – 144 см^2 .
41. Определить количество теплоты, прошедшее через бетонные стены родильного отделения КРС площадью 50 м^2 за 1 минуту, если в помещении температура – 15°C , а снаружи – 10°C . Толщина стен – 25 см . Коэффициент теплопроводности – $0,817 \text{ Дж}/(\text{м} \cdot \text{К})$.
42. При лечении мастита применяют аппликации озокерита. Какое количество теплоты пройдет через кожу животного толщиной 1 см за время 5 минут , если площадь аппликации – 2 дм^2 . Температура озокерита – 80°C . Температура воспаленного участка – 40°C . Коэффициент теплопроводности озокерита – $0,15 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.
43. Температура воздуха в помещении животноводческого комплекса зимой – 14°C , относительная влажность воздуха – 80% . Определите плотность и массу паров воды, находящихся в помещении. Объем помещения комплекса – 600 м^3 . Плотность насыщающих водяных паров при 14°C равна $12,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/\text{м}^3$.
44. Средний теленок в возрасте до одного месяца выделяет в час 65 г паров воды. Рассчитать, какой объем займут эти пары при температуре 20°C , если они будут насыщать его, давление насыщающего водяного пара при данной температуре – $17,54 \text{ мм рт. ст.}$
45. Подсчитать, под каким давлением находится кровь в капельке диаметром 1 мм . Атмосферное давление нормальное. Коэффициент поверхностного натяжения крови – $61 \cdot 10^{-3} \text{ Н}/\text{м}$.
46. В кровеносном сосуде собаки образовался пузырек воздуха диаметром 20 мкм . Найти давление воздуха в этом пузырьке, считая давление крови в кровеносном сосуде 120 мм рт. ст.
47. В кровеносном сосуде образовался пузырек воздуха. В результате течения крови пузырек деформировался, образовав поверхности с радиусами кривизны $0,2$ и $0,5 \text{ мм}$. Определить дополнительное давление в сосуде, возникающее в результате деформации пузырька воздуха.
48. Определите коэффициент поверхностного натяжения крови, если в капилляре диаметром 1 мм она поднимается на высоту $2,25 \text{ см}$. Смачивание считать полным.

5. Термодинамика биологических систем

5.1. Основные законы и формулы

1. Внутренняя энергия вещества:

$$U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot T, \quad (5.1)$$

где i – число степеней свободы;

m – масса газа;

M – молярная масса;

$R = 8,31$ Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная;

T – термодинамическая температура.

2. Удельная теплоемкость:

$$c_{уд} = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}, \quad (5.2)$$

где ΔT – изменение температуры тела.

3. Связь молярной теплоемкости и удельной теплоемкости:

$$C_M = c_{уд} \cdot M, \quad (5.3)$$

где C_M – молярная теплоемкость.

4. Коэффициент полезного действия цикла в общем случае:

$$\eta = \frac{A_{п}}{A_з} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\%, \quad (5.4)$$

где $A_{п}$ – полезная работа;

$A_з$ – затраченная работа;

Q_1 – количество теплоты, полученной рабочим телом (газом) от нагревателя;

Q_2 – количество теплоты, переданное рабочим телом охладителю.

5. Коэффициент полезного действия цикла Карно (идеальной тепловой машины):

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%, \quad (5.5)$$

где T_1 – температура нагревателя;

T_2 – температура охладителя.

6. Изменение энтропии:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad (5.6)$$

7. Удельная теплопродукция:

$$q = \frac{Q}{m \cdot t}, \quad (5.7)$$

где Q – количество теплоты, выделяемое телом;

m – масса тела;

t – время.

8. Теплота парообразования:

$$Q = L \cdot m, \quad (5.8)$$

где L – удельная теплота парообразования.

5.2. Задачи

49. Какое количество теплоты выделяется кровью человека, средний объем которой составляет 5 л, при понижении температуры тела с 38 до $36,5^{\circ}\text{C}$? Удельная теплоемкость крови – $3,9 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$.
50. Для лечения мастита на вымя коровы накладывают парафиновую аппликацию при температуре 70°C . Удельная теплоемкость парафина – $3,23 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$. Вычислить необходимую массу парафина, если для проведения процедуры необходимо передать вымени 185 кДж теплоты. Температура вымени – 38°C .
51. Для прогревания крестцово-поясничной области собаки при ревматизме необходимо сообщить ей 650 кДж теплоты. Для этой цели накладывают торфяную аппликацию при температуре 70°C . Определить необходимую массу торфа, считая, что благодаря наружной теплоизоляции к телу коровы направлено 80% теплового потока от аппликации. Удельная теплоемкость торфа – $3,35 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$. Температуру поверхности тела коровы принять равной 37°C .
52. Определить КПД мышцы, считая ее идеальной тепловой машиной. Температура окружающей среды – 17°C , температура мышцы – 37°C .
53. Предположим, что мышца работает как идеальная тепловая машина с КПД, равным 35%, и при температуре окружающей среды 17°C . Какова была бы при этих условиях температура мышцы? Дает ли решение задачи основание считать мышцу идеальной тепловой машиной?
54. Нагреватель тепловой машины, работающий по обратимому циклу Карно, имеет температуру 200°C . Определить температуру охладителя, если при получении от нагревателя количества теплоты 1 Дж машина совершает работу 0,4 Дж.
55. Удельная теплопродукция взрослого человека – $1,6 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{с})$. Сколько теплоты в год выделит человек при средней мышечной нагрузке? Масса человека – 75 кг?
56. Средний расход энергии на 1 кг массы человека во время сна равен 3,9 кДж, а во время бега по ровной дороге – 25,2 кДж. Вычислить изменение энтропии в этих случаях за 1 час человеком, масса которого 70 кг. Температуру принять равной $36,5^{\circ}\text{C}$.
57. Определить увеличение энтропии, обусловленное выделением тепла лошастью за один час, если удельная теплопродукция тела лошади равна $0,547 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{с})$. Масса лошади – 450 кг, температура тела – 37°C .
58. Вычислить увеличение энтропии в результате потоотделения человека, если за 1 час человек в среднем выделяет 20 г пота. Температура тела – 37°C , удельная теплота парообразования – $3,55 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{кг}$.

III. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

6. Электрические явления в биологических системах

6.1. Основные законы и формулы

1. Напряженность электрического поля:

$$E = \frac{F}{q}, \quad (6.1)$$

где F – сила, действующая на положительный заряд q , помещенный в данную точку поля.

2. Потенциал электрического поля:

$$\varphi = \frac{W_{\text{пот}}}{q}, \quad (6.2)$$

где $W_{\text{пот}}$ – потенциальная энергия заряда в поле.

3. Разность потенциалов (напряжение) электростатического поля:

$$\Delta\varphi = U = \frac{A}{q}, \quad (6.3)$$

где A – работа, совершаемая электрическим полем при перемещении точечного заряда из одной точки поля в другую.

4. Электроемкость конденсатора, имеющего на обкладках заряд q :

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} \quad (6.4)$$

5. Электроемкость плоского конденсатора:

$$C = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{S}{d}, \quad (6.5)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость среды;

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная;

S – площадь пластины конденсатора;

d – расстояние между пластинами.

6. Работа диффузионных сил:

$$A_d = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{[C_1]}{[C_2]}, \quad (6.6)$$

где m – масса переносимого вещества;

M – молярная масса;

$R = 8,31$ Дж / (моль·К) – универсальная газовая постоянная;

T – термодинамическая температура;

$[C_1]$ и $[C_2]$ – концентрация ионов по разные стороны клетки.

7. Мембранный биопотенциал покоя клеток (уравнение Нернста):

$$\Delta\varphi_{[\text{пк}]} = -\frac{R \cdot T}{Z \cdot F} \cdot \ln \frac{[K_B^+]}{[K_H^+]} \quad \text{или} \quad \Delta\varphi_{[\text{пкл}]} = -\frac{R \cdot T}{Z \cdot F} \cdot \ln \frac{[Cl_H^-]}{[Cl_B^-]}, \quad (6.7)$$

где Z – валентность ионов;

$F = 96500$ Кл / моль – число Фарадея;

8. Равенство Доннана:

$$[K_B^+] \cdot [Cl_B^-] = [K_H^+] \cdot [Cl_H^-] \quad (6.8)$$

9. Затухание потенциала действия в аксоне на некотором расстоянии от места возбуждения:

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_D \cdot e^{-\frac{L}{k}}, \quad (6.9)$$

где $\Delta\varphi_D$ – начальный биопотенциал действия;

L – расстояние;

k – константа затухания потенциала действия.

10. Константа затухания потенциала действия в аксоне:

$$k = \sqrt{\frac{d \cdot r}{4 \cdot \rho}}, \quad (6.10)$$

где d – диаметр аксона;

r – поверхностное сопротивление мембраны;

ρ – удельное сопротивление аксоплазмы.

11. Относительная диэлектрическая проницаемость вещества

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E} = \frac{E_0}{E_0 - E_{св}}, \quad (6.11)$$

где E_0 – напряженность внешнего поля;

$E_{св}$ – напряженность собственного поля диэлектрика.

6.2. Задачи

- 59.** Заряженная капелька жидкости массой 10^{-5} кг находится в равновесии в поле горизонтально расположенного плоского конденсатора. Расстояние между пластинами конденсатора – $4 \cdot 10^{-3}$ м, разность потенциалов между ними – 200 В. Определить заряд капельки.
- 60.** Между внутренней частью клетки и наружным раствором существует разность потенциалов порядка 80 мВ. Полагая, что внутри мембраны электрическое поле однородно, и толщина мембраны 8 нм, найти: напряженность этого поля; электрический поверхностный заряд, если емкость электрического поля – 1 пФ.
- 61.** Для изучения структуры и функций биологических мембран используют искусственные модели, состоящие из бимолекулярного слоя фосфолипидов. Толщина такой мембраны – 6 нм. Найти емкость такой мембраны площадью 1 см^2 , если ее относительная диэлектрическая проницаемость равна 3. Сравните полученную емкость с электроемкостью аналогичного конденсатора, расстояние между пластинами которого 1 мм.
- 62.** В гигантском аксоне кальмара вследствие диффузии происходит перенос массы 10^{-10} г натрия из внеклеточной среды в аксоплазму. Концентрация ионов натрия во внеклеточной среде – 440 ммоль/л, а концентрация ионов натрия в аксоплазме – 50 ммоль/л. Температура кальмара – 10°C . Молярная масса натрия – 23 г/моль. Найти работу диффузионных сил.
- 63.** Биологические мембраны находятся под действием электрического поля, созданного за счет различных концентраций заряженных ионов (K^+ и Na^+) по разные ее стороны. Разность потенциалов между цитоплазмой и вне-

клеточной средой достигает 100 мВ, а толщина мембраны – 10 нм. Определить напряженность электрического поля в мембране. К чему ведет уменьшение толщины мембраны?

64. Величина мембранного потенциала покоя для клетки икроножной мышцы лягушки равна 65 мВ. Какова напряженность электрического поля в мембране толщиной 10 нм? Электроемкость мембраны в расчете на 1 см² ее поверхности равна 0,48 мкФ. Определить относительную диэлектрическую проницаемость мембраны.
65. Вычислить величины потенциалов покоя клеток гигантского аксона кальмара в верхних слоях океана, где температура 25[°]С, и в глубине, где температура 6[°]С. Концентрация ионов калия в аксоне – 410 моль/м³, а концентрация ионов калия вне аксона – 28 моль/м³.
66. Концентрация ионов хлора внутри моторного нейрона кошки – 9 ммоль/л, а концентрация этих же ионов во внеклеточной среде равна 125 ммоль/л. Определить величину мембранного потенциала нейрона, если температура тела кошки – 38[°]С.
67. Потенциал покоя нерва конечности краба равен 89 мВ. Чему равна концентрация ионов калия внутри нерва, если снаружи она составляет 12 ммоль/л. Температура нерва краба – 20[°]С.
68. Величина мембранного потенциала для клеток гладких мышц собаки равна 3 мВ. Вычислить отношение концентраций ионов хлора в наружной среде к концентрации этих ионов внутри клетки, считая температуру мышцы собаки 37[°]С.
69. Концентрация ионов хлора и калия в мышечных волокнах лягушки равна соответственно 3 ммоль/л и 140 ммоль/л. Концентрация ионов хлора во внеклеточной среде – 168 ммоль/л. Какова концентрация ионов калия во внеклеточной среде. Вычислить величину мембранного потенциала мышечных волокон, считая температуру тела лягушки 10[°]С.
70. Величина потенциала действия, создаваемого в аксоне кальмара, равна 90 мВ. Какова будет величина этого потенциала после прохождения его по аксону на расстоянии 5 мм? Диаметр аксона – 0,12 мм, удельное сопротивление аксоплазмы – 0,85 Ом·м, поверхностное сопротивление мембраны – 0,09 Ом·м².
71. На каком расстоянии от места раздражения аксона кальмара потенциал действия уменьшится в 100 раз, если константа затухания сигнала в аксоне 1,78 мм? Вычислить удельное сопротивление аксоплазмы, если диаметр аксона – 0,11 мм и поверхностное сопротивление мембраны – 0,1 Ом/м².
72. Диаметр волокна поперечнополосатой мышцы равен 130 мкм, удельное сопротивление цитоплазмы – 0,72 Ом·м и поверхностное сопротивление мембраны – 0,11 Ом на 1 м². В волокне возникает потенциал действия 118 мВ. Какова будет величина этого потенциала на расстоянии 8 мм от места возбуждения?

7. Биологическое действие постоянного тока

7.1. Основные законы и формулы

1. Сила постоянного тока:

$$I = \frac{q}{t}, \quad (7.1)$$

где q – электрический заряд, прошедший через поперечное сечение проводника;

t – время.

2. Плотность электрического тока:

$$i = \frac{I}{S}, \quad (7.2)$$

где I – сила тока;

S – площадь поперечного сечения проводника.

3. Сопротивление однородного проводника:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}, \quad (7.3)$$

где ρ – удельное сопротивление вещества проводника;

S – площадь поперечного сечения проводника.

l – длина.

4. Электропроводность проводника:

$$K = \frac{1}{R} \quad (7.4)$$

5. Удельная электропроводность:

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad (7.5)$$

6. Закон Ома для участка цепи:

$$I = \frac{U}{R} \quad (7.6)$$

7. Законы электролиза:

а) первый закон Фарадея:

$$m = k \cdot q = k \cdot I \cdot t, \quad (7.7)$$

где m – масса вещества, выделившегося на электроде;

k – электрохимический эквивалент вещества;

q – заряд, прошедший через электролит.

б) второй закон Фарадея:

$$k = \frac{M}{F \cdot Z}, \quad (7.8)$$

где M – молярная масса ионов данного вещества;

$F = 96500$ Кл / моль – постоянная Фарадея;

Z – валентность ионов.

8. Формула Вейсса (зависимость пороговых величин тока и напряжения от времени их действия):

$$I_{\text{п}} = \frac{a}{t} + b \text{ и } U_{\text{п}} = \frac{A}{t} + B, \quad (7.9)$$

где A , B , a , b – эмпирические константы.

7.2. Задачи

73. Аппарат для гальванизации создает плотность тока $0,5 \text{ мА/см}^2$. Какой заряд проходит через тело собаки, если наложенные на нее электроды имеют площадь по 1 см^2 и процесс гальванизации длится 20 мин.? Каково сопротивление участка тела собаки, если к электродам приложено напряжение 25 В?
74. При гальванизации через участок тела лошади за 20 мин. проходит электрический заряд 60 Кл. Определить среднюю плотность тока, если площадь электродов – 400 см^2 .
75. Электролиз раствора медного купороса происходит в течение одного часа при плотности тока 56 А/м^2 . Площадь каждого электрода – $75 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Электрохимический эквивалент меди – $0,33 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$. Сколько меди выделяется за это время?
76. 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 $0,2 \text{ мА/см}^2$?
77. При заболевании маститом корове необходимо ввести в вымя методом лечебного электрофореза 20 мг йода. Для этого гидрофильная прокладка под катодом была смочена раствором йодистого калия. Через прокладку площадью 100 см^2 пропустили ток плотностью $0,15 \text{ мА/см}^2$. Сколько времени необходимо пропускать ток для введения необходимого количества йода?
78. При контакте с проводом электроизгороди на корову действует прямоугольный импульс тока длительностью 5 мс при напряжении 60 В. Какой заряд при этом проходит через тело коровы, если сопротивление тела $1,5 \text{ кОм}$? Какова мощность электрического разряда?
79. При раздражении плечевого сустава коровы длительными прямоугольными импульсами электрического тока порог раздражения наступает при 12 мА (реобазы). При длительности импульса 3 мс порог раздражения наступает при 14,5 мА. Каков будет порог раздражения при длительности импульса 0,5 мс?
80. 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 мА. Константа Вейсса $\alpha = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ А} \cdot \text{с}$. Вычислить сопротивление этого участка хвоста коровы, если напряжение на электродах 20 В.
81. При воздействии на сустав лошади длинными прямоугольными импульсами животное испытывает пороговое раздражение при силе тока 10 мА. В случае продолжительности импульсов 4 мс порог раздражения соответствует 16,5 мА. Рассчитать порог раздражения при продолжительности импульса 0,8 мс.

8. Биологическое действие переменного тока

8.1. Основные законы и формулы

1. Мгновенное значение синусоидального переменного тока:

$$I = I_0 \cdot \sin \omega t, \quad (8.1)$$

где I_0 – амплитуда переменного тока.

2. Эффективные значения величин силы тока и напряжения:

$$I_{\text{эфф}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}; U_{\text{эфф}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}, \quad (8.2)$$

где I_0 – амплитудные значения тока ;

U_0 – амплитудное значение напряжения.

3. Сопротивление участка цепи, содержащего емкостное сопротивление:

$$R_c = \frac{1}{\omega \cdot C}, \quad (8.3)$$

где C – емкость конденсатора.

4. Сопротивление участка цепи, содержащего индуктивное сопротивление:

$$R_L = \omega \cdot L, \quad (8.4)$$

где L – индуктивность катушки.

5. Активное сопротивление участка цепи:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}, \quad (8.5)$$

где l – длина проводника;

S – площадь поперечного сечения проводника.

6. Импеданс ткани живого организма:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (8.6)$$

7. Закон Ома для цепи переменного тока:

$$I_{\text{эфф}} = \frac{U_{\text{эфф}}}{Z} \quad (8.7)$$

8. Активная мощность переменного тока:

$$P = I_{\text{эфф}} \cdot U_{\text{эфф}} \cdot \cos \varphi, \quad (8.8)$$

где $\cos \varphi$ – коэффициент мощности;

φ – угол сдвига фаз между током и напряжением.

9. Тангенс угла сдвига фаз между током и напряжением при последовательном соединении элементов цепи переменного тока, состоящей из электроемкости и активного сопротивления:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{\omega \cdot C \cdot R} \quad (8.9)$$

10. Период собственных колебаний в контуре без активного сопротивления (формула Томсона):

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}, \quad (8.10)$$

где L – индуктивность контура;

C – емкость контура.

8.2. Задачи

82. Эффективное напряжение в цепи переменного тока – 240 В. Найти амплитудное напряжение.
83. В фильтре аппарата для гальванизации есть дроссель с индуктивностью 65 Гн и конденсатор емкостью 20 мкФ. Определить: индуктивное и емкостное сопротивление переменному току частотой 50 Гц; ток через конденсатор, если к нему приложено напряжение 170 В.
84. Активное сопротивление участка здоровой ткани – 25 Ом. Электроемкость здоровой ткани – 2,5 мкФ. Полное сопротивление воспаленной ткани оказалось в 4 раза больше полного сопротивления здоровой ткани. Исследование проводилось при частоте тока 1000 Гц. Найти емкостное сопротивление воспаленной ткани.
85. Жировая ткань при УВЧ-терапии имеет площадь 8 см^2 , толщину 3 см, удельное сопротивление $35 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, электроемкость ткани 85 пФ. Частота переменного тока при УВЧ-терапии – 4,68 МГц. Определить: активное сопротивление жировой ткани; полное сопротивление ткани переменному току.
86. 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 ее активного (омического) сопротивления, равного 850 Ом? Емкость ткани – 0,01 мкФ.
87. Для регистрации переменных импульсных сигналов рыб регистрирующий прибор усилителя соединяют последовательно через конденсатор емкостью 0,05 мкФ с водой аквариума, где находится рыба. Ток, создаваемый рыбой, проходит через сопротивление воды 1 кОм и замыкает цепь усилителя. Определить величину тока в цепи, создаваемой рыбой, если напряжение между головой и хвостом рыбы достигает максимального значения 4 В. Частота импульсов – 3 кГц.
88. Критерием жизнеспособности биологической ткани является величина угла сдвига фаз при пропускании через ткань переменного тока. Омическое и емкостное сопротивление ткани, согласно эквивалентной схеме, имеют последовательное соединение. Определить угол сдвига фаз мышечной ткани кролика, если омическое сопротивление ткани – 0,9 кОм, а емкость – 0,08 мкФ. Частота переменного тока – 10^3 Гц.
89. Угол сдвига фаз между током и напряжением для нерва лягушки при частоте переменного тока 1 кГц равен 64° . Какова электроемкость нерва, если его активное сопротивление – 1,2 кОм? Считать активное сопротивление и емкость нерва соединенными последовательно.

9. Магнитные явления в живых организмах

9.1. Основные законы и формулы

1. Связь магнитной индукции с напряженностью магнитного поля:

$$B = \mu \cdot \mu_0 \cdot H, \quad (9.1)$$

где μ – магнитная проницаемость среды;

μ_0 – магнитная проницаемость ($\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м);

H – напряженность магнитного поля.

2. Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле (сила Ампера):

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin\alpha, \quad (9.2)$$

где F – сила, действующая на проводник с током;

B – вектор магнитной индукции;

I – сила тока в проводнике;

l – длина проводника;

α – угол между направлением тока в проводнике и индукцией магнитного поля.

3. Сила, действующая на заряд, движущийся в магнитном поле (сила Лоренца):

$$F = B \cdot q \cdot v \cdot \sin\alpha, \quad (9.3)$$

где q – величина заряда;

v – скорость движения частицы;

α – угол, образованный вектором скорости и вектором индукции магнитного поля.

4. Поток магнитной индукции:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha, \quad (9.4)$$

где S – площадь, ограниченная контуром;

α – угол между нормалью к плоскости контура и направлением вектора магнитной индукции.

5. Энергия магнитного поля, создаваемого током в контуре:

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2, \quad (9.5)$$

где L – индуктивность контура.

6. Индуктивность соленоида:

$$L = \mu \cdot \mu_0 \cdot \frac{n^2 \cdot S}{l}, \quad (9.6)$$

где n – число витков;

S – площадь поперечного сечения соленоида;

l – длина соленоида.

7. Скорость электромагнитных волн в среде:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}, \quad (9.7)$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м / с – скорость электромагнитных волн в вакууме;

ϵ – диэлектрическая проницаемость среды;

μ – соответственно магнитная проницаемость среды.

8. Относительная магнитная проницаемость вещества:

$$\mu = \frac{B}{B_0}, \quad (9.8)$$

где B – индукция магнитного поля в веществе;

B_0 – индукция магнитного поля в вакууме.

9. Количество теплоты, выделяющееся в единицу времени в единице объема ткани (интенсивность нагрева):

$$q = \frac{Q}{V \cdot t}, \quad (9.9)$$

где Q – количество теплоты;

V – объем ткани;

t – время.

10. Интенсивность нагрева при различных методах физиотерапии:

а) при диатермии:

$$q = i^2 \cdot \rho, \quad (9.10)$$

где i – плотность тока;

ρ – удельное сопротивление ткани.

б) при УВЧ-терапии:

$$q = \frac{E_{\text{эфф}}^2}{\rho}, \quad (9.11)$$

где $E_{\text{эфф}} = \frac{E_0}{\sqrt{2}}$ – эффективное значение напряженности электрического поля;

E_0 – амплитудное значение напряженности;

ρ – удельное сопротивление ткани больного органа.

в) при индуктотермии:

$$q = \frac{k \cdot \omega^2 \cdot B_{\text{эфф}}^2}{\rho}, \quad (9.12)$$

где k – коэффициент пропорциональности;

ω – частота переменного магнитного поля;

$B_{\text{эфф}} = \frac{B_0}{\sqrt{2}}$ – эффективное значение индукции магнитного поля.

г) при микроволновой терапии:

$$q = k \cdot E^2 \cdot \omega^2 \quad (9.13)$$

9.2. Задачи

90. Вычислить напряженность магнитного поля, если его индукция в вакууме – 0,05 Тл.

91. Прямой провод длиной 0,2 м, по которому течет ток 0,2 А, помещен в однородное магнитное поле с индукцией 0,12 Тл под углом 30° к линиям индукции. Найти силу, действующую на провод.

92. На электрон, влетевший в однородное магнитное поле индукцией 0,2 Тл под углом 30° к линиям индукции, действует сила Лоренца 64 фН. С какой скоростью влетел электрон?

93. Магнитный поток 40 мВб пронизывает замкнутый контур сопротивлением 4 Ом. Определить среднее значение ЭДС индукции и величину заряда, возникающего в контуре, если магнитный поток уменьшится до нуля за время 2 мс.
94. Соленоид содержит 1000 витков. Сила тока в его обмотке равна 1 А, магнитный поток через поперечное сечение соленоида равен 0,1 мВб. Вычислить энергию магнитного поля.
95. В физиотерапии часто применяются электромагнитные волны с частотой 460 МГц. Определить длину волны в свободном пространстве ($\epsilon = 1$) и в мягких тканях ($\epsilon = 80$).
96. Магнитное поле нервного импульса, распространяющегося по седалищному нерву лягушки на расстоянии 1,3 мм от поверхности нерва, имеет индукцию $120 \cdot 10^{-12}$ Тл. Напряженность магнитного поля составляет 8 мкА/м. Определить относительную магнитную проницаемость вещества.
97. При диатермии печени крупного рогатого скота один электрод размером 240 см² накладывают на область печени, а второй – напротив первого. Сила тока между электродами – 1,1 А. Процедуру проводят 15 мин. Какое количество теплоты выделится в заключенном объеме печени толщиной 5 см? Удельное сопротивление печени – 10 Ом·м.
98. Какое количество теплоты выделится за 10 мин. в 0,5 дм³ вымени при УВЧ-терапии мастита, если эффективная напряженность электрического поля между электродами – 350 В/м? Удельное сопротивление вымени – 8 Ом·м.
99. Аппарат для индуктотермии генерирует переменное магнитное поле с эффективной индукцией 50 мТл и частотой 13,56 МГц. Какое количество теплоты выделится в единицу времени в единице объема мышечной ткани лошади. Удельное сопротивление мышцы – 2 Ом·м.
100. При местной дарсонвализации поверхности головы котят применяют аппарат «Искра-1». Сила тока – 10 мА. Площадь электрода – 5 см². Удельное сопротивление кожи – 10^5 Ом·м. Определить интенсивность нагревания.
101. Объем жировой ткани, подвергающейся УВЧ-терапии, имеет площадь 8 см² и толщину 3 см. Каково его активное сопротивление? Вычислить полное сопротивление этого участка ткани, если его электроемкость – 85 пФ и частота электрического поля, генерируемого аппаратом УВЧ-терапии, равна 4,68 МГц. Удельное сопротивление жировой ткани принять равным 35 Ом·м.
102. При УВЧ-терапии мастита между электродами создается эффективная напряженность электрического поля 300 В/м. Какое количество теплоты выделится в 0,5 дм³ вымени за 15 минут, если удельное сопротивление вымени – 8 Ом·м?

IV. ОПТИЧЕСКИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

10. Оптика

10.1. Основные законы и формулы

1. Оптическая сила тонкой линзы:

$$D = \frac{1}{f}, \quad (10.1)$$

где f – фокусное расстояние линзы.

2. Оптическая сила системы нескольких сложенных вплотную линз:

$$D = \pm D_1 \pm D_2 \pm \dots \pm D_n \quad (10.2)$$

3. Линейное увеличение микроскопа:

$$k = \frac{|A_2 \cdot B_2|}{|AB|} = k_{\text{ок}} \cdot k_{\text{об}}, \quad (10.3)$$

где $A_2 \cdot B_2$ – линейные размеры изображения;

$A \cdot B$ – линейные размеры предмета;

$k_{\text{ок}}$ – увеличение окуляра;

$k_{\text{об}}$ – увеличение объектива.

4. Фокусное расстояние линзы, корректирующей недостатки зрения:

$$f = \frac{S \cdot S_0}{s - S_0}, \quad (10.4)$$

где S – расстояние, на котором предмет виден без напряжения без очков;

S_0 – расстояние, на котором предмет виден в очках без напряжения (применяется расстояние наилучшего зрения для нормального глаза, равное 0,25 м).

5. Предел разрешения оптического микроскопа:

$$Z = \frac{0,61 \cdot \lambda}{n \cdot \sin \beta}, \quad (10.5)$$

где n – показатель преломления среды;

β – половина апертурного угла ($\theta = 2 \cdot \beta$ – апертурный угол объектива);

$A = n \cdot \sin \beta$ – числовая апертура.

6. Сила точечного источника света:

$$I = \frac{\Phi}{\omega}, \quad (10.6)$$

где ω – телесный угол.

7. Освещенность поверхности:

$$E = \frac{\Phi}{S}, \quad (10.7)$$

где S – площадь освещаемой поверхности.

8. Закон освещенности:

$$E = \frac{I}{R^2} \cdot \cos \alpha, \quad (10.8)$$

где I – сила света;

R – расстояние от источника до освещаемой поверхности;

α – угол падения луча.

9. Яркость:

$$B = \frac{I}{S_0}, \quad (10.9)$$

где S_0 – площадь источника света.

10. Светимость:

$$M = \frac{\Phi}{S_0} \quad (10.10)$$

11. Связь между светимостью и яркостью для косинусных излучателей:

$$M = \pi \cdot B, \quad (10.11)$$

12. Яркость поверхности, рассеивающей свет равномерно по всем направлениям, в направлении нормали:

$$B = \frac{\alpha \cdot E}{\pi}, \quad (10.12)$$

где α – коэффициент диффузионного отражения (рассеивания).

10.2. Задачи

- 103.** Глаз дальнозоркого человека аккомодирует, не напрягаясь, на расстоянии 0,5 м. Какова должна быть оптическая сила очков, чтобы предел аккомодации был понижен до нормы, т.е. до 0,25 м?
- 104.** Определить радиус кривизны передней поверхности роговицы глаза в ее центральной части, если изображение предмета в роговице, замеренное офтальмологом, оказалось равным 10^{-3} м. Высота предмета – $9 \cdot 10^{-3}$ м, и он расположен на расстоянии $3,2 \cdot 10^{-2}$ м от глаз.
- 105.** Микроскоп с семикратным окуляром имеет общее увеличение 140. Каким будет увеличение, если поставить десятикратный окуляр?
- 106.** Диаметр изображения ядра клетки в микроскопе – $4,8 \cdot 10^{-3}$ м. Определить истинный диаметр ядра клетки, если увеличения, которые дают объектив и окуляр, соответственно равны 100 и 6.
- 107.** Определить силу света лампы, если она на расстоянии 1,5 м создает освещенность 20 лк при угле падения лучей в 60° .
- 108.** На высоте 5 м над землей подвешены две лампы силой света 500 кд каждая. Расстояние между лампами – 10 м. Определить освещенность на поверхности земли под каждой лампой.
- 109.** Над операционным столом повешен светильник из молочного стекла, имеющий форму шара диаметром 0,4 м. Сила света, создаваемая светильником, равна 250 кд. Определить световой поток, светимость и яркость светильника.
- 110.** На рабочих столах пункта ветеринарного обслуживания должна быть освещенность 30 лк. Какую минимальную силу света должна иметь лампа, находящаяся на высоте 2 м от поверхности стола? Найти полный световой поток, создаваемый этой лампой.

111.Вертикальная поверхность клетки с животными находится на расстоянии 4 м от УФ-источника, состоящего из трех ламп. Одна из ламп вышла из строя. Насколько нужно передвинуть источник к клетке, чтобы ее облученность не изменилась?

11. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом

11.1. Основные законы и формулы

1. Энергия фотона:

$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}, \quad (11.1)$$

где $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка;
 ν – частота волны;
 c – скорость света в вакууме;
 λ – длина волны.

2. Доза облучения:

$$D = \frac{W}{S}, \quad (11.2)$$

где W – энергия излучения;
 S – площадь облучаемой поверхности.

3. Облученность:

$$E = \frac{W}{S \cdot \Delta t} \quad (11.3)$$

4. Формула Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$h \cdot \nu = A_{\text{вых}} + \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad (11.4)$$

где h – постоянная Планка;
 ν – частота фотона;
 $h \cdot \nu$ – энергия фотона;
 $A_{\text{вых}}$ – работа выхода электрона из вещества;
 m – масса электронов;
 v – скорость электронов;
 $\frac{m \cdot v^2}{2}$ – кинетическая энергия выбитых электронов.

5. Красная граница фотоэффекта:

$$h \cdot \nu_{\text{min}} = h \cdot \frac{c}{\lambda_{\text{max}}} = A_{\text{вых}} \quad (11.5)$$

6. Закон Малюса:

$$I = I_0 \cdot \cos^2 \alpha, \quad (11.6)$$

где I – интенсивность света, вышедшего из анализатора;
 I_0 – интенсивность света, падающего на анализатор;
 α – угол между оптической осью анализатора и поляризатора.

7. Закон Брюстера:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{пр}} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}, \quad (11.7)$$

где $\alpha_{\text{пр}}$ – угол полной поляризации;
 n_2 – абсолютный показатель второй среды;
 n_1 – абсолютный показатель первой среды;
 n_{21} – относительный показатель преломления отражающей среды.

8. Угол поворота плоскости поляризации монохроматического света оптически активными веществами:

а) в твердых телах:

$$\varphi = \alpha \cdot d, \quad (11.8)$$

где α – постоянная вращения;
 d – толщина вещества.

б) в чистых жидкостях:

$$\varphi = \alpha \cdot \rho \cdot l, \quad (11.9)$$

где α – удельное вращение;
 ρ – плотность жидкости;
 l – длина столба жидкости.

в) в растворах (закон Био):

$$\varphi = \alpha \cdot c \cdot l, \quad (11.10)$$

где α – удельное вращение;
 c – концентрация раствора;
 l – длина столба раствора.

9. Закон Бугера:

$$J = J_0 \cdot e^{-k \cdot d}, \quad (11.11)$$

где J – интенсивность света, вышедшего из вещества;
 J_0 – интенсивность падающего света;
 k – показатель поглощения вещества;
 d – толщина вещества.

10. Концентрация оптически активного вещества:

$$c = \frac{\varphi}{\alpha \cdot l}, \quad (11.12)$$

где φ – угол поворота;
 α – удельное вращение;
 l – толщина слоя вещества.

11.2. Задачи

112. Коротковолновое ультрафиолетовое излучение с длиной волны 200 нм оказывает наиболее выраженное бактерицидное действие. Вычислить энергию, необходимую для изменения структуры белков, входящих в состав бактерий. Культуры бактерий находятся в чашке Петри диаметром 100 мм. Какое количество фотонов ультрафиолетового излучения попадает на поверхность культуры бактерий за 10 мин., если интенсивность облучения – 0,3 мВт/см²?

113. Операционную для животных дезинфицируют светом ртутно-кварцевой лампы, дающей ультрафиолетовое излучение с длиной волны 254 нм. Число фотонов, попадающих на площадь 1 м^2 за 1 с, равно $77 \cdot 10^{17}$. Найти интенсивность облучения.
114. Порог зрительного ощущения глаза человека – $3 \cdot 10^{-17}$ Вт. Глаз наиболее чувствителен к длине волны 555 нм. Определить число фотонов, попадающих в глаз за 1 минуту.
115. Работа выхода электрона из натрия – 2,27 эВ. Найти красную границу фотоэффекта для натрия.
116. Определить энергию одного фотона для зеленого цвета, длина волны которого 550 нм.
117. Определить энергию электронов, выбиваемых с поверхности вольфрама ультрафиолетовым светом, если длина волны – 180 нм, а максимальная длина волны, при которой возможен фотоэффект на вольфраме, – 230 нм.
118. Будет ли иметь место фотоэффект, если на поверхность серебра направить ультрафиолетовые лучи длиной волны 300 нм? Работа выхода равна 4,7 эВ.
119. Пластина никеля ($A_B = 5$ эВ) освещена ультрафиолетовыми лучами длиной волны 200 нм. Определить максимальную скорость фотоэлектронов.
120. Во сколько раз уменьшится интенсивность света, прошедшего через поляризатор и анализатор, плоскости которых составляют угол 60° , если в каждом из них теряется 8% падающего на него света?
121. Анализатор в два раза уменьшает интенсивность света, приходящего к нему от поляризатора. Определить угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора. Потери света в анализаторе составляют 10%.
122. Вычислить угол максимальной поляризации при отражении света от роговицы глаза. Под каким углом при этом свет проходит в глаз?
123. Никотин (чистая жидкость), содержащийся в стеклянной трубке длиной 0,08 м, вращает плоскость поляризации желтого света натрия на угол $136,6^\circ$. Плотность никотина – 1010 кг/м^3 . Определить удельное вращение никотина.
124. Определить концентрацию сахара в моче человека, больного диабетом, если в трубке сахариметра длиной 0,2 м плоскость поляризации света повернулась на 40° . Удельное вращение равно $0,665 \text{ град} \cdot \text{м}^2/\text{кг}$.
125. Для определения показателя поглощения сыворотки ее наливают в кювету и с помощью фотометра определяют, что интенсивность света, прошедшего через столб сыворотки, уменьшается на 14% по сравнению с интенсивностью падающего света. При прохождении через такую же толщу воды интенсивность уменьшается на 4%. Определить показатель поглощения

сыворотки, если известно, что показатель поглощения воды равен $2 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$.

126. Определить угол поворота плоскости поляризации света, проходящего через трубку поляриметра, наполненную мочой больного сахарным диабетом. Длина трубки – 20 см, концентрация сахара в моче – $0,05 \text{ г/см}^3$. Удельное вращение – $6,67 \text{ град} \cdot \text{см}^2/\text{г}$.

127. Определить концентрацию сахара в моче диабетика, если в трубке сахариметра длиной 20 см плоскость поляризации света повернулась на угол в 4° . Удельное вращение равно $6,65 \text{ град} \cdot \text{см}^2/\text{г}$.

12. Биоп физика атомов и молекул

12.1. Основные законы и формулы

1. Спектральная излучательная способность тела:

$$E_{\lambda, T} = \frac{W}{S \cdot \Delta t}, \quad (12.1)$$

где W – энергия излучения;
 S – площадь поверхности тела;
 Δt – время.

2. Закон Стефана-Больцмана:

$$\varepsilon_{\lambda, T} = \sigma \cdot T^4, \quad (12.2)$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$ – постоянная Стефана-Больцмана;
 T – термодинамическая температура.

3. Результирующая теплоотдача:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_K^4 - T_B^4), \quad (12.3)$$

где ε – поправочный коэффициент: (для абсолютно черного тела $\varepsilon = 1$; для кожи белого человека $\varepsilon = 0,55 \div 0,70$; для кожи африканца $\varepsilon = 0,81 \div 0,84$);

T_K – температура кожи организма;
 T_B – температура окружающего воздуха.

4. Закон Вина:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad (12.4)$$

где λ_{\max} – длина волны соответствующая максимальной энергии в спектре излучения абсолютно черного тела;

$b = 28979 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ – постоянная Вина.

5. Коротковолновая граница тормозного рентгеновского излучения:

$$\lambda_K = \frac{h \cdot c}{e \cdot U}, \quad (12.5)$$

где h – постоянная Планка;
 c – скорость света в вакууме;
 e – заряд электрона;
 U – напряжение.

6. Длина волны, на которую приходится максимум энергии в сплошном спектре торможения:

$$\lambda_m = \frac{3}{2} \cdot \lambda_k \quad (12.6)$$

7. Изменение интенсивности рентгеновского излучения в веществе:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot d}, \quad (12.7)$$

где I – интенсивность излучения в веществе;

I_0 – интенсивность падающего излучения;

μ – линейный показатель ослабления;

d – толщина ткани.

8. Массовый показатель ослабления рентгеновского излучения:

$$\mu_m = k \cdot \lambda^3 \cdot Z^3, \quad (12.8)$$

где k – коэффициент пропорциональности;

Z – порядковый номер вещества.

12.2. Задачи

- 128.** Максимум излучаемой энергии с поверхности пахотного поля соответствует длине волны 9,6 мкм. Определить температуру поверхности поля, приняв ее за абсолютно черное тело.
- 129.** Определить полную лучеиспускательную способность Земли и длину волны, соответствующую максимуму ее излучения. Считать Землю абсолютно черным телом с температурой поверхности 7°С.
- 130.** Во сколько раз изменится энергетическая светимость с поверхности тела коровы при понижении температуры воздуха в коровнике с 20°С до 12°С? Средняя температура кожи коровы равна 27°С. На какую длину приходится максимум излучения тела коровы?
- 131.** Определить теплоотдачу с поверхности тела коровы, если в коровнике температура – 17°С. Коэффициент излучения – $4,8 \cdot 10^{-8}$ Вт/м² · К⁴. Средняя температура кожи коровы – 37°С.
- 132.** Во сколько раз теплоотдача лошади меньше, чем теплоотдача тела птицы, при температуре окружающей среды воздуха 20°С? Средние температуры кожи лошади и птицы соответственно равны 25°С и 33°С.
- 133.** Облучение куриных яиц в инкубаторе наиболее эффективно при длине волны 4,1 мкм. Используя закон Вина, определите температуру проволочной спирали в нагревателе. Найдите также энергетическую светимость спирали и интенсивность облучения, считая спираль абсолютно черным телом.
- 134.** На какую длину приходится максимум излучения человеческого тела, если средняя температура его поверхности равна 36,5°С?
- 135.** Во сколько раз повысится теплоотдача с поверхности тела человека, если при заболевании его температура повысилась от 36 до 41°С, а температура окружающей среды равна 20°С.

- 136.** Определить температуру вольфрамовой нити накала лампы, применяемой для обогрева помещений молодняка КРС, если максимум ее излучения приходится на инфракрасную область спектра с длиной волны 1,5 мкм.
- 137.** Определить наименьшую длину волны рентгеновского излучения, создаваемого рентгеновской трубкой, работающей под напряжением 500 кВ.
- 138.** Для рентгенодиагностики мягких тканей применяют контрастные вещества. Например, желудок и кишечник заполняют кашеобразной массой сульфата бария $BaSO_4$. Сравнить массовые коэффициенты ослабления сульфата бария и мягких тканей (воды).
- 139.** Определить длину волны, на которую приходится максимум рентгеновского излучения, создаваемого трубкой, работающей под напряжением 50 кВ. Какой минимальной скоростью должны обладать электроны в этой трубке?

СПРАВОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ

Таблица 1 – Физические величины и единицы их измерения

| Физическая величина | | Единица измерения | |
|----------------------|-------------|------------------------------|-------------------|
| Наименование | Обозначение | Наименование | Обозначение |
| время | t | Секунда | с |
| длина | l | Метр | м |
| масса | m | килограмм | кг |
| угол поворота | φ | радиан | рад |
| момент силы | M | ньютон на метр | Н·м |
| момент инерции | J | килограмм на метр квадратный | кг·м ² |
| Объем | V | метр кубический | м ³ |
| Частота | ν | Герц | Гц |
| Период | T | секунда | с |
| давление | p | паскаль | Па |
| энергия | E | джоуль | Дж |
| площадь | S | метр квадратный | м ² |
| плотность вещества | ρ | килограмм на метр кубический | кг/м ³ |
| молярная масса | M | килограмм на моль | кг/моль |
| коэффициент вязкости | η | паскаль в секунду | Па·с |
| электрический заряд | q | кулон | Кл |
| сила тока | I | ампер | А |
| плотность тока | i | ампер на метр квадратный | А/м ² |
| напряжение | U | вольт | В |
| сопротивление | R | ом | Ом |
| электроемкость | C | фарад | Ф |
| электропроводность | K | сименс | См |
| магнитная индукция | B | тесла | Тл |
| магнитный поток | Φ | вебер | Вб |

Таблица 2 – Множителии приставки для образования десятичных, кратных и дольных единиц и их наименование

| Множитель | Наименование | Обозначение | Пример | |
|-------------------|--------------|-------------|-------------|------|
| | | | | |
| 10 ¹⁸ | экса | э | эксаметр | эм |
| 10 ¹⁵ | пета | п | петагерц | пГц |
| 10 ¹² | тера | т | тераджоуль | тДж |
| 10 ⁹ | гига | г | гиганьютон | гН |
| 10 ⁶ | мега | м | мегаом | МОм |
| 10 ³ | кило | к | километр | км |
| 10 ² | гекто | гк | гектоватт | гкВт |
| 10 ¹ | дека | дк | декалитр | дкл |
| 10 ⁻¹ | деци | д | дециметр | дм |
| 10 ⁻² | санти | с | сантиметр | см |
| 10 ⁻³ | милли | м | миллиампер | мА |
| 10 ⁻⁶ | микро | мк | микровольт | мкВ |
| | | μ | | μВ |
| 10 ⁻⁹ | нано | н | наносекунда | нс |
| 10 ⁻¹² | пико | п | пикофарада | пФ |
| 10 ⁻¹⁵ | фемто | ф | фемтограмм | фг |
| 10 ⁻¹⁸ | атто | а | аттокулон | аКл |

Таблица 3 - Основные физические постоянные

| Физическая величина | Обозначение | Численное значение |
|---|----------------|---|
| Ускорение свободного падения | G | 9,81 м/с ² |
| Гравитационная постоянная | G | 6,67 · 10 ⁻¹¹ м ³ /(кг·с ²) |
| Постоянная Авогадро | N _A | 6,02·10 ²³ моль ⁻¹ |
| Универсальная газовая постоянная | R | 8,31 Дж/(К·моль) |
| Молярный объем газа при нормальных условиях | V _M | 22,4·10 ⁻³ м ³ |
| Постоянная Больцмана | k | 1,38·10 ⁻²³ Дж/К |
| Заряд электрона, протона | e | 1,6·10 ⁻¹⁹ Кл |
| Постоянная Фарадея | F | 9,65·10 ⁴ Кл/моль |
| Скорость света в вакууме | c | 3·10 ⁸ м/с |
| Постоянная Планка | h | 6,63·10 ⁻³⁴ Дж·с |
| | ħ | 1,05·10 ⁻³⁴ Дж·с |
| Постоянная Стефана-Больцмана | σ | 5,67·10 ⁻⁸ Вт/(м ² ·К ⁴) |
| Постоянная Вина | v | 2,9·10 ⁻³ м·К |
| Постоянная Ридберга | R | 3,29·10 ¹⁵ с ⁻¹ |
| Электрическая постоянная | ε ₀ | 8,85·10 ⁻¹² Ф/м |
| Магнитная постоянная | μ ₀ | 4π·10 ⁻⁷ Гн/м |

Таблица 4 – Плотности некоторых веществ, кг/м³

| Вещество | ρ | Вещество | ρ |
|--------------------------------|-----------|-------------------------|------|
| Алюминий | 2700 | Масло коровье | 940 |
| Бензин | 680-720 | Молоко снятое | 1032 |
| Бензол (0 ⁰ С) | 899 | Молоко цельное | 1028 |
| Бром жидкий | 3120 | Моча | 1020 |
| Вода (4 ⁰ С) | 1000 | Мышцы гладкие | 1058 |
| Вода (18 ⁰ С) | 998 | Обрат | 1029 |
| Воздух при нормальных условиях | 1,29 | Пищевод | 1040 |
| Головной мозг | 1035 | Плазма крови | 1030 |
| белое в-во | 1043 | | |
| серое в-во | 1038 | | |
| Желудок | 1050 | Пот | 1200 |
| Желудочный сок | 1030 | Сердце | 1030 |
| Зуб | 2090-2240 | Скипидар | 870 |
| Кожа | 1030-1700 | Слюна | 1010 |
| Кость(компактное в-во) | 3500 | Спирт метиловый | 792 |
| | | этиловый | 789 |
| Кишечник 12-перстной кишки | 1047 | Спинномозговая жидкость | 1035 |
| Кровь | 1050 | Сыворотка крови | 1026 |
| Масло касторовое | 960 | Хлороформ | 1489 |
| | | Эритроциты | 1093 |

Таблица 5 –Теплота парообразования, кДж/кг

| Вещество | Q | Вещество | Q |
|----------|------|-----------|------|
| Аммиак | 1350 | Пот | 2450 |
| Вода | 2250 | Хлороформ | 2440 |

Таблица 6 – Скорость звука в различных веществах, м/с

| Вещество | Скорость | Вещество | Скорость |
|------------------------------|----------|--|----------|
| Вода (0 [□] С) | 1402 | Лед (4 [□] С) | 3980 |
| Вода (20 [□] С) | 1482 | Масло парафиновое (33,5 [□] С) | 1420 |
| Водород (норм. усл.) | 1284 | Спирт этиловый (20 [□] С) | 1165 |
| Воздух (норм. усл.) | 331 | Стекло (20 [□] С) | 5000 |
| Гипс (20 [□] С) | 4970 | Ткани организма | 1540 |
| Глицерин (20 [□] С) | 1923 | Углекислый газ (норм.усл.) | 259 |
| Кислород (0 [□] С) | 316 | | |

Таблица 7– Динамическая вязкость, мкПа·с

| Вещество | Динамическая вяз- кость | Вещество | Динамическая вяз- кость |
|-------------------------------|----------------------------|---|----------------------------|
| Вода (0 [□] С) | 1787 | Кислород (0 [□] С) | 19,1·10 ⁻⁶ |
| Вода (20 [□] С) | 1005 | Кровь (20 [□] С) | 5000 |
| Вода (100 [□] С) | 280 | Масло касторовое (20 [□] С) | 970·10 ³ |
| Воздух (0 [□] С) | 18,1 | Молоко (20 [□] С) | 1800 |
| Глицерин (0 [□] С) | 12,1·10 ⁶ | Спирт этиловый (0 [□] С) | 1773 |
| Глицерин (20 [□] С) | 1,48·10 ⁶ | Спирт этило- вый(20 [□] С) | 1200 |
| Жир рыбий (20 [□] С) | 4,61·10 ⁴ | Плазма крови | 1700-2200 |

Таблица 8 – Коэффициент поверхностного натяжения, $\sigma \cdot 10^{-2}$ Н/м

| Вещество | σ | Вещество | σ |
|---|----------|--|----------|
| Бром (16-20 [□] С) | 4,41 | Новокаин 2%-й(18 [□] С) | 6,96 |
| Вода (20 [□] С) | 7,3 | Оливковое масло (18 [□] С) | 3,46 |
| Глицерин (16 [□] С) | 6,43 | Ртуть (20 [□] С) | 50 |
| Глюкоза 40%-я(18 [□] С) | 7,5 | Скипидар (20 [□] С) | 2,7 |
| Масло касторовое (20 [□] С) | 3,64 | Спирт метиловый (20 [□] С) | 2,26 |
| Кровь | 5,8 | Спирт этиловый(20 [□] С) | 2,23 |
| Мыльная вода | 4,0 | | |

Таблица 9 – Электрохимический эквивалент, кг/Кл

| Вещество | К |
|----------------------------|------------------------|
| Водород (H) | 1,04·10 ⁻⁸ |
| Йод (I) | 1,315·10 ⁻⁶ |
| Натрий (Na) | 2,38·10 ⁻⁷ |
| Никель (Ni ⁺⁺) | 3,0·10 ⁻⁷ |
| Серебро (Ag ⁺) | 1,118·10 ⁻⁶ |
| Хлор (Cl) | 3,67·10 ⁻⁷ |
| Хром (Cr ⁺⁺⁺) | 1,8·10 ⁻⁷ |

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов, А.П. Сборник задач и вопросов по медицинской и биологической физике : учебное пособие для студентов медицинских институтов / А. П. Баранов, Г. М. Рогачев ; под ред.: Ф. К. Горского, Ю. С. Вайля. – Минск : Высшейшая школа, 1982. – 192 с.
2. Белановский, А.С. Основы биофизики в ветеринарии : учебное пособие для студентов вузов по специальности «Ветеринария» / А. С. Белановский. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Дрофа, 2007. – 332 с.
3. Волькенштейн, М. В. Биофизика : учебное руководство / М. В. Волькенштейн. – Москва : Наука, 1988. – 592 с.
4. Грабовский, Р.И. Курс физики / Р. И. Грабовский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2004. – 605 с.
5. Лещенко, В. Г. Медицинская и биологическая физика : учебное пособие / В. Г. Лещенко, Г. К. Ильич. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2002. – 552 с.
6. Ливенцев, Н.М. Курс физики для медвузов : учебник для студентов медицинских институтов / Н. М. Ливенцев. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1999. – 648 с.
7. Ремизов, А.Н. Курс физики. Электроники и кибернетики для медицинских институтов : учебник для студентов медицинских специальностей вузов / А. Н. Ремизов. – Москва : Высшая школа, 1982. – 607 с.
8. Соболевский, В. И. Физика и биологическая физика : учебно-методическое пособие и задачи к практическим занятиям для студентов зооинженерного факультета и факультета ветеринарной медицины / В. И. Соболевский ; Витебская государственная академия ветеринарной медицины. – Витебск : УО ВГАВМ, 2005. – 103 с.

Учебное издание

Ковалёнок Наталья Павловна,
Толкач Елена Владимировна

**БИОФИЗИКА.
СБОРНИК ЗАДАЧ ПО БИОФИЗИКЕ**

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск А. М. Курилович
Технический редактор Е. А. Алисейко
Компьютерный набор Н. П. Коваленок
Компьютерная верстка Е. В. Морозова
Корректор Т. А. Никитенко

Подписано в печать 19.09.2023. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 2,50. Уч.-изд. л. 1,73. Тираж 60 экз. Заказ 2395.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Витебская ордена «Знак Почета»
государственная академия ветеринарной медицины».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/ 362 от 13.06.2014.

ЛП №: 02330/470 от 01.10.2014 г.

Ул. 1-я Доватора, 7/11, 210026, г. Витебск.

Тел.: (0212) 48-17-82.

E-mail: rio@vsavm.by

<http://www.vsavm.by>