



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Приборостроение и биомедицинская инженерия»

Учебно-методическое пособие для выполнения практических работ по дисциплине

«Взаимодействие физических полей с биообъектами»

Авторы
Мороз К. А.,
Николаенко Т. Е.

Ростов-на-Дону, 2019

Аннотация

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов очной формы обучения направления 12.03.04 Биотехнические системы и технологии.

Авторы

к.т.н., доцент кафедры «Приборостроение и биомедицинская инженерия» Мороз К.А.
магистрант Николаенко Т.Е.



Оглавление

Практическое занятие №1	4
Взаимодействие света с веществом	4
Практическое занятие № 2	7
Электрическое поле. Электроника	8
Практическое занятие № 3	19
Рентгеновское излучение	19
Практическое занятие № 4	21
Магнитное поле.	21
Практическое занятие № 5	29
Физические процессы в биологических мембранах.....	29
Список рекомендованной литературы:	35

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

Взаимодействие света с веществом

Интенсивность света, вышедшего из слоя вещества толщиной l после поглощения (закон Бугера),

$$I_l = I_0 \cdot e^{-kl}$$

где I_0 — интенсивность света, вошедшего в поглощающее вещество; k — натуральный показатель поглощения.

Закон Бугера, выраженный через показательную функцию с основанием 10,

$$I_l = I_0 \cdot 10^{-kl'}$$

где $k' \approx 0,4343k$ — показатель поглощения.

Закон Бугера—Ламберта—Бера

$$I_l = I_0 \cdot e^{-\chi'cl}$$

или

$$I_l = I_0 \cdot 10^{-\chi cl}$$

Где χ' — натуральный молярный показатель поглощения, χ — молярный показатель поглощения, C — молярная концентрация, $C = \frac{n}{N_A}$, n — концентрация молекул, поглощающих кванты света, N_A — число Авогадро.

Обычно χ относят к какой-либо длине волны и называют мономатическим молярным показателем поглощения (χ_λ). Это замечание относится также и к другим параметрам: k , k' и χ .

Связь натурального молекулярного показателя поглощения с эффективным сечением поглощения молекулы (σ)

$$\chi' = \sigma \cdot N_A$$

Коэффициент пропускания τ равен отношению интенсивностей света, прошедшего сквозь данное тело (или раствор) и упавшего на это тело,

$$\tau = \frac{I_l}{I_0}$$

Оптическая плотность раствора

$$D = \lg\left(\frac{I_0}{I_l}\right) = \lg\left(\frac{1}{\tau}\right) = \chi_1 \cdot Cl$$

Закон ослабления интенсивности света вследствие рассеяния

$$I_l = I_0 \cdot 10^{-ml}$$

Где m - показатель рассеяния.

Закон ослабления интенсивности света вследствие совместного действия поглощения и рассеяния

$$I_1 = I_0 \cdot 10^{\mu l},$$

Где $\mu = k + m$ – показатель ослабления.

Квантовый выход люминесценции φ - это отношение количества испущенных квантов люминесценции N_1 к количеству поглощенных квантов N_2 :

$$\varphi = \frac{N_1}{N_2}.$$

Квантовый выход в спектрофотометрах

$$\varphi = \frac{I_n}{I_0 - I},$$

Где I_n - регистрируемая фотоэлементом интенсивность люминесценции; $(I_0 - I) = I_{\text{полгл}}$ - регистрируемая фотоэлементом интенсивность света, вызывающего люминесценцию для слабых растворов с оптической плотностью D порядка 0,1.

Интенсивность люминесценции

$$I_n = 2,3\varphi I_0 D.$$

Время жизни молекулы люминесцирующего вещества в возбужденном состоянии τ

$$\ln \frac{I_{n0}}{I_{nt}} = \frac{t}{\tau}$$

где индексы 0 и t относятся к начальному моменту времени моменту t после начала измерения интенсивности люминесценции.

Задачи.

1. Пучок монохроматического света проходит через стеклянную пластинку толщиной $l = 1$ см. Определите монохроматический натуральный показатель поглощения и монохроматический показатель поглощения стекла, если при этом поглощается 0,1 падающего света. Какой толщины должна быть стеклянная пластинка, чтобы поглотилась половина падающего света?

2. При прохождении света с длиной волны λ_1 через слой вещества его интенсивность уменьшается вследствие поглощения в четыре раза. Интенсивность света с длиной волны λ_2 по той же причине ослабляется в три раза. Найдите толщину слоя вещества и показатель поглощения для света с длиной волны λ_2 , если для света с длиной волны λ_1 он равен $K_1 = 0,02 \text{ см}^{-1}$.

3. Через пластинку из прозрачного вещества толщиной $l = 4,2$ см проходит половина падающего на нее светового пото-

ка. Определите натуральный показатель поглощения данного вещества. Рассеянием света в пластинке пренебечь; считать, что 10% падающей энергии отражается на поверхности пластинки.

4. В 4%-ном растворе вещества в прозрачном растворителе интенсивность света на глубине $l_1 = 20$ мм ослабляется в два раза. Во сколько раз ослабляется интенсивность света на глубине $l_2 = 30$ мм в 8%-ном растворе того же вещества?

5. Какова концентрация раствора, если одинаковая освещенность фотометрических полей была получена при толщине $l_1 = 8$ мм у эталонного 3% ного раствора и $l_2 = 24$ мм — у исследуемого раствора?

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

6. Оптическая плотность раствора $D = 0,08$. Найдите его коэффициент пропускания.

7. При прохождении света через слой раствора поглощается $1/3$ первоначальной световой энергии. Определите коэффициент пропускания и оптическую плотность раствора.

8. При прохождении монохроматического света через слой вещества толщиной $l = 15$ см его интенсивность убывает в четыре раза. Определите показатель рассеяния, если показатель поглощения $k = 0,025 \text{ см}^{-1}$.

9. Вычислите толщину слоя половинного ослабления параллельного пучка -излучения для воды, если натуральный показатель ослабления $\mu = 0,053 \text{ см}^{-1}$.

10. Интенсивность света, прошедшего через раствор некоторого вещества, уменьшилась в 10 раз. Молярный показатель поглощения на данной длине волны равен $2300 \text{ л}/(\text{моль} \cdot \text{см})$, длина кюветы с раствором равна 1 см. Найдите молярную концентрацию растворенного вещества.

11. Чему равен молярный показатель поглощения некоторого вещества, если при прохождении света через раствор с концентрацией $0,05 \text{ моль/л}$ интенсивность света уменьшилась в 25 раз? Длина кюветы $0,5 \text{ см}$.

12. Определите квантовый выход люминесценции вещества, если его оптическая плотность равна $0,05$, а интенсивность люминесценции в 15 раз меньше интенсивности возбуждающего света.

13. Пересчитайте следующие оптические плотности растворов в проценты пропускания: а) 0; б) 2; в) ∞ .

14. Почему форма спектра фотолюминесценции не зависит от длины волны возбуждающего света?

15. При регистрации фосфоресценции некоторого вещества было обнаружено, что интенсивность люминесценции уменьшается в 30 раз за 2 мин. Чему равно время жизни возбужденного состояния молекул этого вещества?

16. Чем объясняется различие времен флуоресценции и фосфоресценции?

17. Как изменится квантовый выход люминесценции вещества, если при той же интенсивности люминесценции интенсивность поглощенного света увеличивается на 30% ?

18. Лазерное излучение используют в различных областях медицины. Сравните энергию квантов лазерного излучения со следующими длинами волн: а) офтальмология («приваривание» сетчатки), $\lambda = 0,514$ мкм; б) терапия, $\lambda = 0,63$ мкм.

19. Почему состояние вещества с инверсной заселенностью энергетических уровней иногда называют состоянием с отрицательной термодинамической температурой?

20. Частотный диапазон лазерного излучения, используемого в медицине, лежит в пределах от 30 000 ГГц до 1 500 000 ГГц. Найдите соответствующие границы диапазона длин волн.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

Электрическое поле. Электроника

Электрический (дипольный) момент диполя

$$p = ql,$$

Где q - электрический заряд, l - расстояние между зарядами.

Момент силы, действующей на диполь в электрическом поле,

$$M = pE \sin \alpha,$$

где α - угол между электрическим моментом диполя и напряженностью.

Проекция силы, действующей на диполь в неоднородном электрическом поле, на ось Ox

$$F_x = p_x (dE_x/dx)$$

где p_x, E_x - соответственно проектир и E на ось Ox .

Потенциал электрического поля, созданного диполем в некоторой точке A на расстоянии r ($r \gg l$),

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{p \cos \alpha}{r^2},$$

где α - угол между p и направлением на точку A , ϵ_r - относительная диэлектрическая проницаемость среды, ϵ_0 - электрическая постоянная.

Разность потенциалов двух точек, равноудаленных от диполя - источника поля,

$$\varphi_B - \varphi_A = \frac{\sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)}{2\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2} p \cos \beta,$$

где γ - угол, под которым видны точки A и B от диполя, β - угол между p и прямой AB .

Соотношение между поверхностной плотностью связанных зарядов и поляризованностью

$$\sigma_{св} = P_g \cos \alpha,$$

где α - угол между P_g и нормалью к поверхности диэлектрика.

Связь поляризованности с напряженностью электрического поля в диэлектрике

$$P_g = \epsilon_0(\epsilon_r - 1)E.$$

Энергия заряженного конденсатора

$$E_{эл} = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}.$$

Объемная плотность энергии электрического поля

$$\omega_{эл} = \frac{\epsilon_0\epsilon_r E^2}{2}.$$

Плотность тока

$$j = qnv,$$

где q и n - заряд и концентрация носителей тока, v - средняя скорость их направленного движения.

Плотность тока в электролите

$$j = qn(b_+ + b_-)E,$$

где b_+ и b_- - подвижности ионов соответствующих знаков, E - напряженность электрического поля.

Зависимость термоэлектродвижущей силы от разности температур спаев

$$\varepsilon_T = \beta \Delta T,$$

где β - коэффициент, равный термоЭДС при $\Delta T = 1\text{К}$.

Зависимость удельного сопротивления полупроводника от температуры

$$\rho = \rho_0 e^{\frac{\Delta E_z}{2kT}},$$

где ΔE_z - ширина запрещенной зоны; ρ_0 - коэффициент пропорциональности, имеющий размерность удельного сопротивления; k - постоянная Больцмана.

Вероятность безотказной работы электронного прибора

$$P(t) = \frac{N(t)}{N_0},$$

где N - число не испортившихся за время t приборов, N_0 - общее число изделий.

Интенсивность отказов

$$\lambda = -\frac{dN}{Ndt}$$

Чувствительность датчика

$$z = \frac{\Delta y}{\Delta x},$$

где x - входная величина, y - выходная величина.

Для переменного тока эффективные значения величин силы тока и напряжения:

$$I_{\text{эф}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}}; U_{\text{эф}} = \frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{2}},$$

Где $I_{\text{max}}, U_{\text{max}}$ - амплитудные значения тока и напряжения.

Индуктивное сопротивление катушки индуктивности

$$X_L = \omega L,$$

где ω - круговая частота, L - индуктивность катушки.

Емкостное сопротивление конденсатора

$$X_C = \frac{1}{\omega C},$$

где C - емкость конденсатора.

При последовательном соединении резистора, катушки индуктивности и конденсатора полное сопротивление электрической цепи переменному току (импеданс) рассчитывают по формуле:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}.$$

Закон Ома для цепи переменного тока:

$$I_{\text{эф}} = \frac{U_{\text{эф}}}{Z}.$$

Период электромагнитных колебаний в колебательном контуре:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Коэффициент затухания

$$\beta = \frac{R}{2L}.$$

Где R -сопротивление резистора, L - индуктивность катушки.

Задачи.

1. Маленький отрицательно заряженный шарик равномерно вращается вокруг неподвижного точечного положительного заряда величиной 10^{-9} Кл. Чему равно отношение заряда вращающегося шарика к его массе, если радиус орбиты 2 см, а угловая скорость 3 рад/с?

2. Согласно боровской модели атома водорода, электрон движется вокруг ядра по круговой орбите радиуса $0,53 \cdot 10^{-10}$ м. Чему равна напряженность электрического поля и электрический потенциал в точке нахождения электрона?

3. Найдите электрический момент системы электрон-ядро атома водорода, рассматривая эту систему как диполь. Выразите электрический момент в единицах СИ и дебаях. Расстояние между ядром и электроном принять равным $r = 10^{-8}$ см.

4. В результате поляризации на концах диэлектрика возникли связанные заряды с поверхностной плотностью $\sigma_{\text{св}} = 10^{-10}$ Кл/м². Образец диэлектрика имеет форму цилиндра длиной $l=30$ см и площадью поперечного сечения $S=1$ см². Считая поляризованный диэлектрик диполем, найдите его электрический момент.

5. Какой максимальный момент силы действует в электрическом поле с напряженностью $E = 20$ кВ/м на молекулу воды

($p = 3,7 \cdot 10^{-29}$ Кл · м)? В чем различие действия на молекулу однородного и неоднородного полей?

6. Какая сила действует на диполь, электрический момент которого $p = 10^{-10}$ Кл · м, если он расположен в вакууме на расстоянии $x = 50$ см от точечного заряда $q = 1,5 \cdot 10^{-4}$ Кл вдоль линий напряженности? Расстояние между зарядами диполя много меньше x .

7. В электрическом поле точечного заряда $q = 0,3$ нКл на расстоянии $r = 1$ м от него находится диполь с $p = 2 \cdot 10^{-28}$ Кл · м. Найдите максимальный момент силы, действующий на диполь в вакууме.

8. Под воздействием однородного электрического поля свободный диполь начинает колебаться. Получите дифференциальное уравнение и формулу для периода колебаний, если известны: напряженность E электрического поля, электрический момент p и момент инерции J диполя. Считать угол отклонения диполя от положения устойчивого равновесия малым ($\sin \alpha \approx \alpha$).

9. Найдите потенциал поля, созданного диполем в точке A , удаленной на расстояние $r = 0,5$ м в направлении под углом $\alpha = 30^\circ$ относительно электрического момента p диполя (рис. 1). Среда — вода.

Диполь образован зарядами $q = 2 \cdot 10^{17}$ Кл, расположенными на расстоянии $l = 0,5$ см.

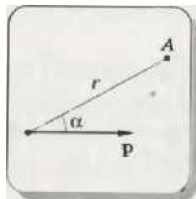


Рисунок 1

10. Используя условие задачи 9, найдите разность потенциалов двух точек поля, созданного диполем. Точки находятся на расстоянии $r = 0,5$ м под углами соответственно $\alpha_1 = 0$ и $\alpha_2 = 90^\circ$ (рис 1).

11. Используя выражение для потенциала диполя и связь между напряженностью и потенциалом, найдите зависимость напряженности электрического поля на оси диполя от риг.

12. Найдите силу, с которой диполь ($p_1 = 10^{-15}$ Кл • м) действует в вакууме на другой диполь ($p_2 = 10^{-16}$ Кл • м), расположенный вдоль оси первого диполя на расстоянии $r = 20$ см (рис 2). Какой момент силы будет действовать на второй диполь, если его повернуть на 90° (штриховое изображение на рисунке)? Воспользоваться формулой, полученной в задаче 11.

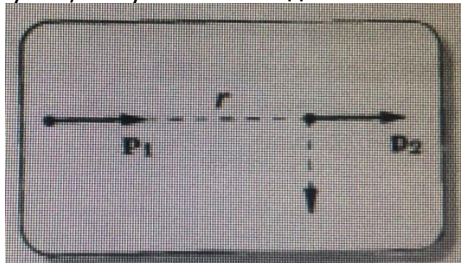


Рисунок 2

13. Согласно представлениям Эйнтховена, сердце подобно электрическому диполю. Электрический момент сердца-диполя периодически изменяется как по модулю, так и по направлению. Биопотенциалы (электрокардиограммы) регистрируются между вершинами условно равностороннего треугольника, который образуется двумя руками и одной ногой. Какой вид имели бы электрокардиограммы, снятые в трех возможных отведениях, если бы электрический момент сердца равномерно вращался во фронтальной плоскости? Укажите общие формулы и постройте три «электрокардиограммы», откладывая по оси абсцисс время, а по оси ординат — разность биопотенциалов.

14. Какой вид имели бы электрокардиограммы, снятые в трех возможных отведениях, если бы электрический момент сердца-диполя изменялся по закону $p = p_0 \cos \omega t$ во фронтальной плоскости, сохраняя ориентацию в пространстве параллельно одной из сторон треугольника Эйнтховена? Укажите общие формулы и постройте графики (сравните с задачей 13).

15. В одном из отведений наибольшая разность биопотенциалов на электрокардиограмме равна 2 мВ. Предполагая, что при этом электрический момент сердца параллелен стороне треугольника Эйнтховена, с которой снимается электрокардиограмма, оцените величину электрического момента сердца. Известны: $\epsilon_r = 80$, $r = 1$ м [см. (5)].

16. В воде 3% молекул ориентированы упорядоченно вдоль линий напряженности электрического поля, остальные молекулы ориентированы хаотически. Найдите поляризованность воды. Электрический момент диполя молекулы воды $p=1.86$ Д.

17. На пластины плоского конденсатора, расстояние между которыми $l=3$ см, подано напряжение $U=1$ кВ. Пространство между пластинами заполнено кровью. Найдите поверхностную плотность связанных зарядов и поляризованность.

18. Одна часть плоского конденсатора заполнена водой, другая- глицерином. Во сколько раз поверхностная плотность связанных зарядов одного диэлектрика больше, чем другого?

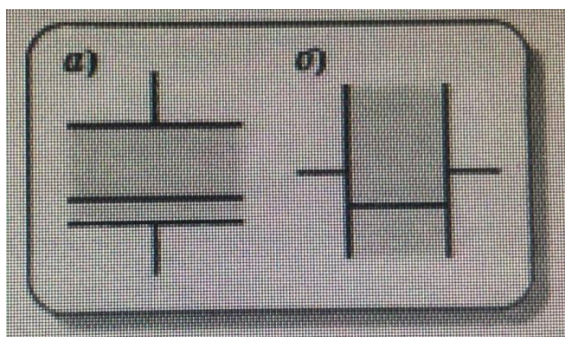


Рисунок 3

Ответ приведите для двух случаев расположения воды и глицерина.

19. Вычислите емкость тела человека, считая ее равной емкости электропроводящего шара того же объема. Среднюю плотность тела принять равной $\rho=1$ г/см³; масса человека $m=60$ кг.

20. Плоский конденсатор, расстояние между пластинами которого $l=0,5$ см, заряжен до разности потенциалов $U=700$ В. Диэлектрик — кровь. Определите объемную плотность энергии поля конденсатора.

21. Конденсатор емкостью $C_1=2$ мкФ заряжен до разности потенциалов $U=100$ В. После отключения от источника ЭДС конденсатор был подключен к другому незаряженному конденсатору емкостью $C_2=5$ мкФ. На сколько изменилась энергия системы двух конденсаторов?

22. Диполь с электрическим моментом $p=0,3 \cdot 10^{-21}$ Кл•м ориентирован вдоль линии напряженности электрического поля E

$= 50$ В/см. Найдите работу, которую необходимо совершить для поворота диполя на угол: а) 90° ; б) 180° .

23. Расстояние между пластинами плоского воздушного конденсатора площадью $S = 50$ см² изменяется от $l_1 = 3$ см до $l_2 = 10$ см. Конденсатор был заряжен до напряжения $U = 200$ В и отключен от источника тока. Найдите изменение энергии поля конденсатора. Чему равна работа по раздвижению пластин конденсатора?

24. Используя данные задачи 23 и считая конденсатор подключенным к источнику тока, найдите изменение энергии конденсатора, источника тока и работу по раздвижению пластин конденсатора.

25. Через плоское сечение проводника проходят электроны со скоростью $v = 1,5$ см/с. Концентрация электронов равна $n = 10^{19}$ см⁻³. Найдите плотность тока. Определите силу тока, создаваемого этими зарядами, если сечение проводника $S = 0,3$ мм².

26. Найдите плотность тока в электролите, если концентрация ионов в нем $n = 10^5$ см³, их подвижности $b_+ = 4,5 \cdot 10^{-4}$ см²/(В · с), $b_- = 6,5 \cdot 10^{-4}$ см²/(В · с) и напряженность электрического поля $E = 10$ В/см. Считая плотность тока всюду одинаковой, найдите силу тока, если площадь каждого электрода $S = 1$ дм². Принять заряд иона равным заряду электрона.

27. Между двумя электродами, к которым приложено постоянное напряжение $U = 36$ В, находится живая ткань. Условно можно считать, что ткань состоит из двух слоев сухой кожи (рис.4) и мышц с кровеносными сосудами. Толщина каждого слоя кожи $l_1 = 0,3$ мм, толщина внутренней ткани $l_2 = 9,4$ мм. Найдите плотность тока и падение напряжения в коже и в мышечной (сосудистой) ткани, рассматривая их как проводники. Как изменяется потенциал в направлении, перпендикулярном этим слоям?

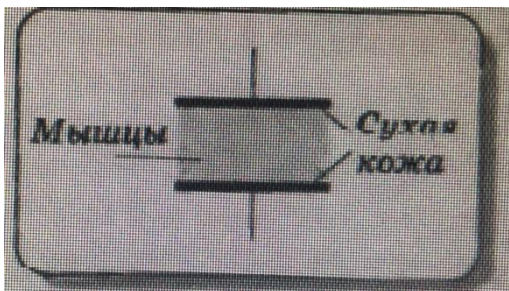


Рисунок 4

28. В ионизационной камере, расстояние между плоскими электродами которой $l = 4$ см, проходит ток насыщения. Плотность тока $j = 15$ мкА/м². Найдите среднее число пар ионов, образующихся под действием ионизатора в одном кубическом сантиметре пространства камеры в единицу времени. Заряд иона численно равен заряду электрона.

29. Между плоскими электродами площадью $S = 100$ см² каждый находится $V = 300$ см³ водорода. Концентрация ионов в газе $n = 5 \cdot 10^{-7}$ см⁻³. Какое напряжение нужно приложить к электродам, чтобы получить ток силой $I = 1$ мкА? Подвижности ионов: $b_+ = 5,4$ см²/(В · с) и $b_- = 7,4$ см²/(В · с).

30. Термопара из Pb—Agсоздает термоэлектродвижущую силу 3 мкВ при разности температур спаев 1 К. Можно ли такой термопарой уверенно установить повышение температуры тела человека от 36,5 до 37,0 °С, если потенциометр позволяет измерить напряжение с точностью до 1 мкВ?

31. Во сколько раз изменится сопротивление полупроводника при уменьшении температуры вдвое, если его начальная температура $T = 400$ К, ширина запрещенной зоны $\Delta E_3 = 0,7$ эВ?

32. Во сколько раз уменьшится сопротивление полупроводника при увеличении температуры на 10%, если его начальная температура $t = 27$ °С, ширина запрещенной зоны $\Delta E_3 = 0,6$ эВ?

33. Найдите (в электрон-вольтах) ширину запрещенной зоны полупроводника, если известно, что при температурах $T_1 = 300$ К и $T_2 = 350$ К сопротивления его соответственно равны $R_1 = 700$ Ом и $R_2 = 100$ Ом.

34. Как можно из графика $\ln R = f(1/T)$ определить ширину запрещенной зоны? Найдите графически ширину запрещенной зоны для кремния, если из эксперимента получены следующие данные:

$T, \text{ К}$	900	682	555	467
$R, \text{ Ом}$	0,25	2,5	25	250

35. Из зависимости (13) получите выражение для температурного коэффициента сопротивления полупроводников. Температурным коэффициентом сопротивления называют отношение относительного изменения сопротивления к изменению температуры:

$$\alpha = \frac{dR}{RdT}$$

36. Чему равен температурный коэффициент сопротивления кремния при температуре 1000 К (см. задачи 35, 34)?

37. При сухой коже сопротивление между ладонями рук может достигать значения $R_1 = 10^5 \text{ Ом}$, а при влажных ладонях это сопротивление существенно меньше ($R_2 = 1000 \text{ Ом}$). Оцените ток, который пройдет через тело человека при контакте с электросетью напряжением $U = 220 \text{ В}$. Сравните этот ток со значениями порогов ощутимого и не отпускающего токов, если частота тока равна $\nu = 50 \text{ Гц}$.

38. Фибрилляция желудочков сердца заключается в их хаотическом сокращении. Если при этом пропустить через область сердца большой ток, то это приведет к возбуждению большинства клеток тканей миокарда и в результате может восстановиться нормальный ритм сокращения желудочков. Соответствующий аппарат называется *дефибриллятором*. Технически он выполнен в виде конденсатора, который заряжается до значительного напряжения и затем разряжается через электроды, наложенные на тело больного в области сердца. Найдите значение максимального тока при действии дефибриллятора, если он был заряжен до напряжения $U = 5 \text{ кВ}$, а сопротивление участка тела равно $R = 500 \text{ Ом}$. Покажите графически (качественно) изменение тока со временем.

39. Напряжение сети, питающей медицинский аппарат, равно $U = 220 \text{ В}$. Человек находится на земле (на полу) и касается корпуса аппарата. Сопротивление тела человека равно $R_{\text{ч}} = 1000 \text{ Ом}$. Сопротивление между проводником и человеком (через землю) равно $R_{\text{гч}} = 5 \text{ кОм}$. В результате повреждения изоляции проводник соединился на корпус аппарата (произошел «пробой на корпус»). Найдите напряжение, которое будет на теле человека, и протекающий через него ток, если: а) аппарат не заземлен; б) аппарат заземлен и сопротивление заземления равно $R_{\text{з}} = 4 \text{ Ом}$. Сопоставьте полученные данные со значениями порога ощутимого тока и порога неотпускающего тока.

40. В одной группе, состоящей из 1000 медицинских аппаратов, за полгода отказало в работе 19. В другой группе, которая состоит из 300 таких же аппаратов, за то же время вышло из строя 13 штук. Оцените, в какой группе более высокая возможность сохранения изделия работоспособности.

41. В условиях предыдущей задачи найдите среднюю интенсивность отказов двух групп аппаратов. Время измерять в годах.

42. Интенсивность отказов на протяжении некоторого периода времени постоянна и равна $\lambda = 3 \cdot 10^{-9} \text{ с}^{-1}$. Найдите вероятность безотказной работы за любые: а) два; б) четыре; в) шесть месяцев этого периода.

43. На рис.5 изображена функции преобразования индуктивного датчика. Определите чувствительность этого датчика, укажите порог и предел чувствительности.

44. Покажите, что в замкнутой цепи из разных материалов сумма контактных разностей потенциалов равна нулю при одинаковой температуре контактов.

45. Какое количество последовательно соединенных термопар надо взять, чтобы создать источник питания для кардиостимулятора за счет разности температур внешних и внутренних органов, считая ее равной 1К? Использовать термопары железо — платина, для которых термоэлектрическая постоянная равна $18,1 \cdot 10^{-6} \text{ В/К}$.

46. Для измерения размеров объекта можно использовать проволочный линейный реостат длиной 1 м (рис.5). Сопротивление проволоки датчика 1 кОм. В цепи датчика есть сопротивление 100 Ом. Какие показания будет давать амперметр, если рост человека 182 см? Напряжение внешнего источника 6 В.

47. В качестве датчика медико-биологической информации используют конденсаторы с изменяющимся расстоянием между пластинами. Найдите отношение изменения частоты к частоте собственных колебаний в контуре, включающем такой конденсатор, если расстояние между пластинами уменьшилось на 1 мм. Первоначальное расстояние равно 1 см.

48. Датчик частоты дыхания выполнен в виде резиновой трубки, которая заполнена угольным порошком. С торцов трубки вмонтированы электроды. Через уголь можно пропускать ток от внешнего источника. Длина трубки L , сечение столбика угля S , удельное сопротивление угольного порошка ρ , напряжение внешнего источника U . Как подсчитать частоту дыхания пациента, если его грудную клетку опоясать такой трубкой?

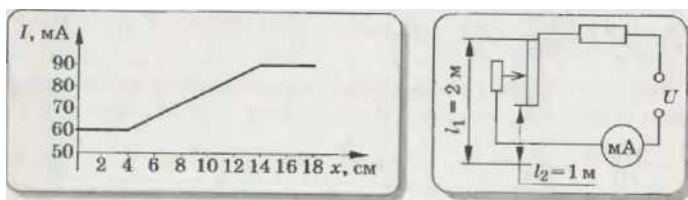


Рисунок 5

49. Почему с увеличением частоты переменного тока уменьшается его раздражающее действие на ткани организма человека?

50. Сдвиг фаз между током и напряжением при прохождении переменного тока частотой 25 Гц через мышцу лягушки составил -35° . Чему равна емкость конденсатора в эквивалентной схеме последовательно соединенных резистора и конденсатора, если активное сопротивление равно 0,5 кОм?

51. Конденсатор емкостью 25 пФ, заряженный до разности потенциалов 20В, разряжается через проводник сопротивлением 10м и индуктивностью 4мкГн. Найдите коэффициент затухания и амплитуду тока в цепи.

52. Непосредственной подстановкой в дифференциальное уравнение затухающих электрических колебаний выражения

$$q = q_0 \exp(-\beta t) \cos \omega t$$

получите формулу для расчета частоты колебаний $\omega^2 = \omega_0^2 - \beta^2$.

53. Сдвиг фаз между током и напряжением при прохождении переменного тока частотой 30Гц через мышцу кролика составляет -65° . Чему равно сопротивление резистора в эквивалентной схеме последовательно соединенных конденсатора и резистора, если емкость конденсатора 3,6 мкФ?

54. Найдите амплитудное значение тока в цепи, содержащей конденсатор емкостью 1 мкФ. Напряжение в электрической цепи равно 250В, а активное сопротивление 2,5 кОм. Конденсатор и резистор соединены последовательно. Частота равна 50 Гц.

55. Конечность, на которую наложены электроды, имеют активное сопротивление 1 кОм и емкость 0,2 мкФ. Определите угол сдвига фаз между током и напряжением для частоты 50 Гц, учитывая, что активное и емкостное сопротивления соединены последовательно.

56. Почему в электрокардиографе для усиления электрического сигнала необходимо использовать усилитель постоянного тока?

57. Колебательный контур аппарата для терапевтической диатермии состоит из катушки индуктивности и конденсатора емкостью 30 пФ. Определите индуктивность катушки, если частота генератора равна 1 МГц.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

Рентгеновское излучение

Граница спектра тормозного рентгеновского излучения

$$\lambda_{\min} = \frac{1.23}{U},$$

где U – напряжение в рентгеновской трубке, кВ; λ_{\min} , нм.

Поток рентгеновского излучения

$$\Phi = kIU^2Z,$$

Где I и U – сила тока и напряжение в рентгеновской трубке, Z – порядковый номер элемента вещества анода, $k = 10^{-9} \text{В}^{-1}$.

Массовый коэффициент ослабления рентгеновского излучения

$$\mu_m = k\lambda^3 Z^3,$$

где k – коэффициент пропорциональности, λ – длина волны, Z – порядковый номер элемента вещества – поглотителя.

Линейный коэффициент ослабления рентгеновского излучения

$$\mu = \mu_m \rho,$$

где ρ – плотность вещества.

Задачи.

1. Найдите границу тормозного рентгеновского излучения (частоту и длину волны) для напряжений $U_1 = 2$ кВ и $U_2 = 20$ кВ. Во сколько раз энергия фотонов этих излучений больше энергии фотона, соответствующего $\lambda = 760$ нм (красный цвет)?

2. В каком случае произойдет большее увеличение потока рентгеновского излучения: при увеличении вдвое силы тока, но сохранении напряжения или, наоборот, при увеличении вдвое напряжения, но сохранении силы тока? Как можно увеличить силу тока, не изменяя напряжения в рентгеновской трубке? Проанализируйте процессы, которые происходят при изменении силы тока, при изменении напряжения.

3. При прохождении потока рентгеновского излучения через костную ткань произошло его ослабление в два раза. Учитывая, что толщина слоя костной ткани составляла 20 мм, найдите линейный коэффициент ослабления.

4. Во сколько раз длина волны рентгеновского излучения с энергией квантов 50 кэВ меньше, чем видимого фиолетового света с длиной волны 400 нм?

5. Почему характеристические рентгеновские спектры разных атомов однотипны?

6. Чему равна энергия кванта рентгеновского излучения,

если соответствующая ему длина волны равна 0,005 нм?

7. Сравните изменение массового коэффициента ослабления кости и мягких тканей при переходе от мягкого к жесткому рентгеновскому излучению. Принять энергию фотонов для мягкого излучения равной 30 кэВ, а для жесткого 120 кэВ.

8. Меняется ли спектральный состав рентгеновского излучения при изменении тока накала катода рентгеновской трубки? Почему?

9. Во сколько раз различаются линейные коэффициенты ослабления воды и насыщенного водяного пара при нормальных условиях? Принять плотность воды 1000 кг/м³, пара 768 кг/м³.

10. Учитывая, что при воздействии рентгеновских лучей на атомы кальция имеет место фотоэффект, найдите скорость, с которой вылетают электроны из атомов кальция, входящего в состав костной ткани. Энергия квантов рентгеновского излучения равна 10 кэВ, а энергия ионизации атома кальция равна 6,1 эВ.

11. Почему спектр тормозного рентгеновского излучения является сплошным?

Во сколько раз изменится скорость электронов в рентгеновской трубке при увеличении напряжения от 80 кВ до 120 кВ?

12. На какую величину сместится спектр тормозного рентгеновского излучения в условиях предыдущей задачи?

13. Электроны в луче телевизионной трубки тормозятся веществом экрана. Напряжение, подаваемое на трубку, равно 20 кВ. Чему равна граничная длина волны λ_{min} спектра рентгеновского излучения, возникающего при торможении электронов?

14. Как влияет на спектр тормозного рентгеновского излучения увеличение напряжения на трубке? Почему?

15. Во сколько раз уменьшится поток рентгеновского излучения, если вольфрамовый антикатод заменить молибденовым, а напряжение и ток накала в трубке оставить неизменными?

16. Тело поглотило фотоны рентгеновского излучения с энергией 100 эВ, что значительно превышает энергию ионизации атомов данного вещества. Считая основным эффектом взаимодействия рентгеновского излучения с веществом некогерентное рассеяние, найдите длину волны вторичного рентгеновского излучения, если вторичные электроны движутся со скоростью $3,7 \cdot 10^6$ м/с.

17. Напряжение на рентгеновской трубке равно 250 кВ. Найдите энергию квантов, соответствующих граничной длине волны спектра тормозного рентгеновского излучения.

18. Найдите поток рентгеновского излучения при $U = 10$

кВ, $I = 1$ мА. Анод изготовлен из вольфрама. Скольким фотонам в секунду соответствует этот поток, если допустить, что излучается электро-магнитная волна, длина которой равна $3/2$ от длины волны, соответствующей границе спектра тормозного рентгеновского излучения?

19. Считая, что поглощение рентгеновского излучения не зависит от того, в каком соединении атом представлен в веществе, определите, во сколько раз массовый коэффициент ослабления кости ($\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$) больше массового коэффициента ослабления воды?

20. Для рентгенодиагностики мягких тканей применяют контрастные вещества. Например, желудок и кишечник заполняют кашеобразной массой сульфата бария BaSO_4 . Сравните массовые коэффициенты ослабления сульфата бария и мягких тканей (воды).

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

Магнитное поле.

Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях.

Связь напряженности магнитного поля и магнитной индукции в однородной безграничной среде

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

где μ_0 – магнитная постоянная, μ_r – относительная магнитная проницаемость.

Закон Био-Савара-Лапласа

$$dH = \frac{Idl \sin \alpha}{4\pi r^2},$$

или в векторной форме

$$dH = \frac{Idl \times r}{4\pi r^3},$$

где dH - вектор напряженности магнитного поля, созданного элементом тока Idl , r - радиус-вектор.

Напряженность магнитного поля в центре кругового тока радиуса r

$$H = \frac{1}{2r},$$

Напряженность магнитного поля, создаваемого прямолинейным отрезком проводника с током,

$$H = \frac{1}{4\pi b} (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2),$$

где b – расстояние от оси проводника до точки А.

Напряженность магнитного поля, создаваемого прямолинейным бесконечно длинным проводником с током.

$$H = \frac{I}{2\pi b},$$

где – расстояние от оси проводника до точки А.

Напряженность магнитного поля в центре длинного соленоида

$$H = \frac{IN}{l},$$

где N – число витков, l – длина соленоида.

Сила, действующая на элемент тока в магнитном поле с индукцией B (закон Ампера).

$$dF = IBdl\sin\beta,$$

Где β – угол между B и dl , или в векторной форме

$$dF = Idl * B.$$

Магнитный момент замкнутого плоского контура с током

$$p_m = IS,$$

где S – площадь, охватываемая контуром.

Момент силы, действующий на рамку с током в магнитном поле,

$$M = p_m B \sin \alpha,$$

или в векторной форме

$$M = p_m * B,$$

где α – угол между нормалью к плоскости рамки и магнитной индукцией B .

ЭДС индукции, возникающая в замкнутом контуре,

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

Сила индукционного тока, текущего по контуру сопротивлением R ,

$$I = \frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt}.$$

Количество индуцируемого заряда в контуре с сопротивлением R

$$q = \frac{\Delta\Phi}{R},$$

где $\Delta\Phi$ – изменение магнитного потока.

ЭДС взаимной индукции, возникающая в контуре

$$\varepsilon_B = -M \frac{dl}{dt},$$

где M – взаимная индуктивность, $\frac{dI}{dt}$ – скорость изменения силы тока в соседнем контуре.

ЭДС самоиндукции возникающая в замкнутом контуре при изменении силы тока в нем,

$$\varepsilon_c = -L \frac{dI}{dt},$$

где L - индуктивность контура.

Энергия магнитного поля контура с током:

$$E_M = \frac{LI^2}{2},$$

Объемная плотность энергии магнитного поля

$$\omega_M = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_r \mu_v} = \frac{\mu_0 \mu_r H^2}{2}.$$

Сила Лоренца

$$f_n = qvB \sin \beta,$$

где β - угол между скоростью v движения заряда и магнитной индукцией B , или в векторной форме

$$f_n = qv * B.$$

Результирующая сила, действующая на движущуюся заряженную частицу одновременно со стороны электрического и магнитного полей.

$$f_{em} = f_e + f_n = qE + qv * B.$$

Задачи

1. По двум прямолинейным бесконечно длинным проводникам (рис. 6) текут в противоположных направлениях токи силой $I_1 = 5$ А и $I_2 = 10$ А. Расстояние между проводниками $l = 10$ см. Найдите напряженность и индукцию магнитного поля в точке A , лежащей посередине между проводниками, и в точке B справа от проводника с током I_2 на расстоянии $l_1 = 2$ см от него.

2. По двум длинным параллельным проводникам текут в противоположных направлениях токи, причем $I_2 = 2I_1$. Расстояние между ними $l = 5$ см. Определите положение точек, в которых напряженность магнитного поля равна нулю.

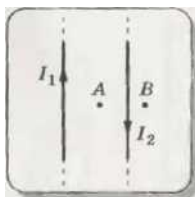


Рисунок 6

3. Вычислите напряженность магнитного поля, созданного отрезком прямолинейного проводника длиной $l = 8$ см в точке, лежащей на перпендикуляре к его середине на расстоянии $r = 3$ см от проводника, если по проводнику течет ток $I = 20$ А.

4. Из проволоки длиной $l = 40$ см сделана квадратная рамка, по которой течет ток $I = 10$ А. Найдите напряженность и индукцию магнитного поля в центре этой рамки. Относительная магнитная проницаемость среды $\mu_r = 2$.

5. По двум длинным параллельным проводам текут в одинаковом направлении токи $I_1 = 1$ А и $I_2 = 2$ А. Расстояние между проводами $l = 6$ см. Определите напряженность магнитного поля в точке, удаленной от первого провода на $b_1 = 6$ см и от второго на $b_2 = 3$ см.

6. По длинному проводу, согнутому под прямым углом (рис. 7), течет ток $I = 10$ А. Определите напряженность магнитного поля в точке А, если $b = 2,5$ см.

7. По тонкой катушке течет ток $I = 7$ А, радиус витков $r = 10$ см. При каком числе витков N напряженность магнитного поля в центре катушки будет $H = 245$ А/м? Считать катушку плоской.

8. Ток $I = 1$ А течет по изолированному проводнику, который вначале является прямолинейным, затем делает круговую петлю радиуса $r = 5$ см и далее снова выпрямляется (рис. 7). Найдите напряженность и индукцию в центре кольца.

По проводу (рис. 8) течет ток $I = 3,2$ А. Чему равна индукция магнитного поля в центре полукруга (точка А)? Радиус его $r = 5$ см.

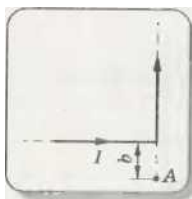


Рисунок 7

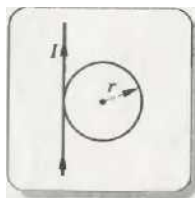


Рисунок 8

9. В однородном магнитном поле $B = 0,1$ Тл расположен прямолинейный участок проводника с током $I \sim 10$ А под углом 30° к вектору магнитной индукции. Определите силу, с которой поле действует на каждый сантиметр участка проводника.

10. Равносторонний треугольник со стороной $l = 10$ см расположен в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,2$ Тл. Найдите силы, действующие на все стороны треугольника, если

по нему течет ток $I = 5$ А, а вектор индукции B параллелен одной из его сторон.

11. В одной плоскости с бесконечно длинным прямым током $I = 5$ А расположена прямоугольная рамка (рис. 8), обтекаемая током $I_2 = 1$ А. Найдите силы, действующие на каждую сторону рамки со стороны поля, создаваемого прямым током, а также равнодействующую этих сил. Сторона рамки $l = 10$ см, расстояние от стороны AB до прямого провода $b = 5$ см.

12. В одной плоскости с длинным прямым проводником, по которому течет ток $I = 10$ А, расположена прямоугольная рамка так, что большая сторона ее длины $l = 5$ см параллельна проводнику и расстояние от проводника до этой стороны равно длине меньшей стороны. Определите магнитный поток, пронизывающий рамку. Окружающая среда — воздух.

13. Проволочное кольцо радиусом $r = 3$ см находится в однородном магнитном поле напряженностью $H = 10^5$ А/м. Плоскость кольца составляет угол 30° с линиями напряженности. Вычислите магнитный поток, пронизывающий кольцо. Окружающая среда — воздух.

14. Определите работу при перемещении на 50 см проводника длиной $l = 20$ см, по которому течет ток $I = 10$ А, в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,7$ Тл. Вектор индукции поля, направления перемещения проводника и тока взаимно перпендикулярны.

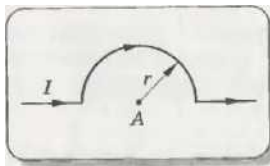


Рисунок 8

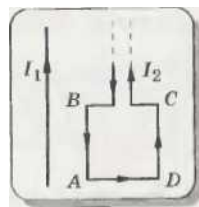


Рисунок 9

15. Определите магнитный момент соленоида при токе $I = 0,3$ А, если число витков $N = 500$, площадь витка $S = 20$ см².

16. Согласно теории Бора, в невозбужденном атоме водорода электрон движется вокруг ядра по окружности радиуса $r = 0,53 \cdot 10^{-8}$ см со скоростью $v = 2,2 \cdot 10^8$ см/с. Определите магнитный момент атома водорода, обусловленный этим круговым током, и направление этого момента.

17. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1$ Тл находится квадратная рамка с током силой $I = 0,4$ А. Плоскость рамки составляет с направлением поля угол $\alpha = 60^\circ$. Определите вращающий момент, действующий на рамку, если сторона ее $a = 2$

см.

18. Определите максимальный вращающий момент, действующий на квадратную рамку со стороной $a = 5$ см, помещенную в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,5$ Тл. По рамке течет ток $I = 1$ А.

19. Короткая катушка площадью поперечного сечения $S = 10$ см², содержащая $N = 40$ витков, по которым течет ток $I = 1$ А, помещена в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,2$ Тл. Определите магнитный момент катушки, а также вращающий момент, действующий на катушку, если между осью катушки и вектором индукции поля угол $\alpha = 60^\circ$.

20. В однородном магнитном поле свободно с периодом $T = 10$ с колеблется рамка с током $I = 0,1$ А. Площадь рамки $S = 10$ см², момент инерции $J = 2 \cdot 10^{-3}$ кг·м². Определите магнитную индукцию поля. Максимальный угол отклонения рамки мал.

21. Рамка площадью $S = 20$ см², содержащая $N = 10$ витков, равномерно вращается с частотой 10 с⁻¹ в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,04$ Тл. Определите максимальную ЭДС, индуцируемую в рамке, если ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции.

22. Проволочная рамка площадью $S = 40$ см² расположена перпендикулярно индукции магнитного поля, которая изменяется по закону $B = 1 + e^{-2t}$. Определите ЭДС, индуцируемую в контуре в момент $t = 0,5$ с.

23. Квадратная рамка со стороной $l = 10$ см расположена в магнитном поле так, что плоскость рамки образует угол $\alpha = 30^\circ$ с направлением индукции поля, изменяющейся по закону $B = 0.1 \sin \pi t$. Определите закон, по которому изменяется ЭДС в рамке, и найдите ЭДС в момент $t = 4$ с.

24. Катушка радиуса $r = 4$ см, имеющая $N = 100$ витков, находится в магнитном поле. Чему равно среднее значение ЭДС индукции в этой катушке, если индукция магнитного поля увеличивается в течение $t = 0.4$ с от $B_1 = 0$ до $B_2 = 1,2$ Тл?

25. Самолет, имеющий размах крыльев $l = 40$ м, летит горизонтально со скоростью $v = 900$ км/ч. Определите разность потенциалов на концах крыльев, если вертикальная составляющая напряженности магнитного поля Земли $H = 40$ А/м.

26. Виток из проволоки площадью $S = 20$ см² и сопротивлением $R = 10^{-2}$ Ом находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,4$ Тл. Плоскость витка составляет угол $\alpha = 90^\circ$ с линиями индукции. Определите заряд, который протечет по витку, если его выдернуть из поля.

27. Кольцо радиуса $r = 4$ см находится в магнитном поле напряженностью $H = 3 \cdot 10^2$ А/м. Плоскость кольца перпендикулярна линиям поля. Каково сопротивление кольца, если при исчезновении поля по кольцу протекает заряд $q = 10^{-2}$ Кл? Окружающая среда — воздух.

28. Замкнутый провод длиной $l = 4$ м (сложенный вдвое) развертывается в квадрат в магнитном поле Земли. Вычислите наведенный в горизонтально расположенном контуре заряд, если известно, что сопротивление провода $R = 5$ Ом. Среда — воздух. Вертикальная составляющая напряженности магнитного поля Земли $H = 40$ А/м. Будет ли больше наведенный заряд, если провод развертывается в окружность?

29. На катушку длиной $l = 20$ см и площадью поперечного сечения $S = 20$ см² надет проволочный виток. Обмотка катушки имеет $N = 100$ витков, и по ней идет ток $I = 1$ А. Какая ЭДС индуцируется в надетом на катушку витке, когда ток в катушке выключается в течение $\Delta t = 10^{-2}$ с? Относительная магнитная проницаемость среды $\mu_r = 5$.

30. По катушке протекает ток $I = 1$ А, который создает в ней магнитный поток $\Phi = 0,6$ Вб. Сколько витков имеет катушка, если длина катушки $l = 40$ см, радиус $r = 5$ см и относительная магнитная проницаемость железного сердечника при этом токе $\mu_r = 100$?

31. Соленоид с радиусом поперечного сечения $r = 3 \cdot 10^{-2}$ м изготавливают, плотно наматывая провод диаметром $d = 0,6$ мм. Какой длины должен быть соленоид, если его индуктивность $L = 0,006$ Гн?

32. При изменении силы тока в катушке на $\Delta I = 0,8$ А за $\Delta t = 2$ с в другой замкнутой катушке, расположенной рядом с первой, возникает ЭДС индукции $\delta I = 2$ В. Определите взаимную индуктивность катушек.

33. По первичной обмотке трансформатора течет ток, сила которого изменяется по закону $I = 12 \sin 10\pi t$. Найдите максимальное значение ЭДС, индуцируемой во вторичной обмотке, если взаимная индуктивность обмоток трансформатора $L = 0,1$ Гн.

34. Сила тока в соленоиде изменяется по закону $I = 10t - t^2$. Индуктивность соленоида $L = 10$ Гн. Какая ЭДС самоиндукции будет в соленоиде через $\Delta t = 2$ с?

35. Вычислите среднюю ЭДС самоиндукции, получающуюся при размыкании тока в электромагните. Число витков $N = 1000$, поперечное сечение соленоида $S = 10$ см², индукция $B = 1,5$ Тл, время размыкания $\Delta t = 0,01$ с.

36. Какова энергия магнитного поля в катушке длиной $l = 50$ см, имеющей $N \sim 10^3$ витков диаметром $d = 20$ см, если по ней протекает ток $I = 2$ мА? Найдите объемную плотность энергии.

37. Определите энергию магнитного поля в катушке, если длина ее $l = 50$ см, площадь поперечного сечения $S = 20$ см², число витков $N = 1000$. По катушке течет ток $I = 2$ А. Относительная магнитная проницаемость железного сердечника при этой силе тока $\mu_r = 150$.

38. При индукции магнитного поля $B = 0,1$ Тл плотность энергии магнитного поля в железе $w = 10$ Дж/м³. Какова относительная магнитная проницаемость железа при этих условиях?

39. Напряженность магнитного поля тороида со стальным сердечником возросла от $H_1 = 200$ А/м до $H_2 = 800$ А/м. Во сколько раз изменилась объемная плотность энергии магнитного поля? Магнитная индукция полей соответственно равна $B_1 = 0,5$ Тл и $B_2 = 1,25$ Тл.

40. По длинному прямолинейному проводнику течет ток $I = 3$ А. Определите, как убывает плотность энергии магнитного поля с расстоянием от прямого тока. Найдите плотность энергии магнитного поля на расстоянии $b = 5$ см от прямого тока. Среда — воздух.

41. Найдите удельный заряд для протона, если он, влетая со скоростью $v = 10^8$ см/с в однородное магнитное поле напряженностью $H = 2 \cdot 10^5$ А/м, движется по дуге окружности, радиус которой $r = 4,2$ см. Направления скорости протона и индукции магнитного поля перпендикулярны.

42. Протон и электрон, ускоренные одинаковой разностью потенциалов, влетают в однородное магнитное поле. У какой частицы и во сколько раз радиус кривизны траектории будет больше?

43. Электрон, пройдя разность потенциалов $U = 300$ В, влетает в магнитное поле с напряженностью $H = 8 \cdot 10^3$ А/м перпендикулярно индукции поля. Определите радиус его траектории.

44. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1$ Тл движется протон. Траектория его движения представляет собой винтовую линию с радиусом $r = 30$ см и шагом $h = 20$ см. Определите кинетическую энергию протона. Масса его $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг.

45. Электрон влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 1$ мТл. Траектория движения Электрона представляет собой винтовую линию с радиусом $r = 1,8 \cdot 10^{-2}$ м и шагом $h = 0,2$ м. Определите скорость электрона и ее направление.

46. Электрон движется по окружности в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,18$ Тл. Определите период обращения электрона.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

Физические процессы в биологических мембранах

Уравнение Фика

$$J = -D \frac{dC}{dx},$$

где J – плотность потока диффундирующего вещества, D – коэффициент диффузии, $\frac{dC}{dx}$ – производная от концентрации диффундирующего вещества по направлению x .

Уравнение Теорелла

$$J = -CU \frac{d\mu}{dx},$$

здесь μ – электрохимический потенциал;

$$U = \frac{D}{RI}$$

- подвижность, где R - молярная газовая постоянная.

Средняя величина смещения молекулы вещества в растворе

$$\bar{x} = 2Dt,$$

где D - коэффициент диффузии, t - время.

Характерное время установления равновесной концентрации

$$t_{0,5} = 0.693 \frac{V}{pS},$$

Здесь V – объем клетки; S - площадь поверхности клеточной мембраны.

$$P = \frac{D}{l} K,$$

где P - коэффициент проницаемости мембраны для данного вещества, l - толщина мембраны, K - коэффициент распределения вещества.

Формула Нернста

$$\Delta\varphi = \frac{RT}{ZF} \ln \frac{C_0}{C_1},$$

Здесь $\Delta\varphi$ – равновесный мембранный потенциал, C_0 и C_1 - концентрации данного иона снаружи и внутри клетки, F – постоянная Фарадея, Z - валентность иона.

Уравнение Гольдмана-Ходжкина-Катца

$$\varphi_n = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_k [K^+]_0 + P_{Na} [Na^+]_0 + P_{Cl} [Cl^-]_t}{P_k [K^+]_t + P_{Na} [Na^+]_t + P_{Cl} [Cl^-]_0}$$

где φ_n – мембранный потенциал, P_k, P_{Na}, P_{Cl} – проницаемости мембраны для соответствующих ионов.

$$\varphi = \frac{q}{r} e^{-r/\delta},$$

где r – расстояние, δ – дебаевский радиус экранирования.

В общем случае, когда в растворе присутствует несколько ионов.

$$\delta = \sqrt{\frac{RT_\varepsilon}{F^2 \sum Z_i^2 c_i}}$$

где Z_i – валентность иона, c_i – концентрация соответствующего иона, ε – диэлектрическая проницаемость растворителя.

Задачи.

1. Найдите среднюю величину смещения молекулы формамида в воде и в растворе сахарозы за 1 мин, если коэффициенты диффузии этого вещества в воде и в сахарозе равны соответственно 1,6 и $0,3 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$

2. Чему равна плотность потока формамида через плазматическую мембрану *Chara ceratophylla* толщиной 8 нм, если коэффициент диффузии его составляет $1,4 \cdot 10^8 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, концентрация формамида в начальный момент времени снаружи была равна $2 \cdot 10^{-4} \text{ М}$, а внутри в десять раз меньше?

3. Бислойная липидная мембрана (БЛМ) толщиной 10 нм разделяет камеру на две части. Плотность потока метиленового синего через БЛМ постоянна и равна $3 \cdot 10^{-4} \text{ М} \cdot \text{см/с}$, причем концентрация его с одной стороны этой мембраны равна 10^{-2} М , в с другой $2 \cdot 10^{-3} \text{ М}$. Чему равен коэффициент диффузии этого вещества через БЛМ?

4. Определите коэффициент диффузии в воде эритрола, если среднее смещение его молекулы составляет 40 мкм.

5. Найдите коэффициент проницаемости плазматической мембраны *Musorlasma* для формамида, если при разнице концентраций этого вещества внутри и снаружи мембраны, равной $0,5 \cdot 10^{-4} \text{ М}$, плотность потока его через мембрану равна $8 \cdot 10^{-4} \text{ М} \cdot \text{см/с}$.

6. Толщину двойного слоя на границе мембрана — электролит характеризует дебаевский радиус b . Определите b для случая, когда в растворе электролита, окружающем мембрану, есть только ионы калия с концентрацией: а) 10^{-5} М ; б) 10^{-2} М .

7. Между внутренней частью клетки и наружным раствором существует разность потенциалов (мембранный потенциал покоя) порядка $U = 80$ мВ. Полагая, что электрическое поле внутри мембраны однородно, и считая толщину мембраны $l = 8$ нм, найдите напряженность этого поля.

8. Для изучения структуры и функции биологических мембран используют модели — искусственные фосфолипидные мембраны, состоящие из бимолекулярного слоя фосфолипидов. Толщина искусственной мембраны достигает около $l = 6$ нм. Найдите емкость 1 см^2 такой мембраны, считая ее относительную диэлектрическую проницаемость $\epsilon_r = 3$. Сравните полученную емкость с аналогичной характеристикой конденсатора, расстояние между пластинами которого $l = 1$ мм.

9. Какова связь электродиффузии и электрофореза? Проанализируйте связь, исходя из основного уравнения электродиффузии.

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

11. Какое из соединений, приведенных ниже, имеет наименьшую проницаемость через липидный бислой и почему: толуол, этанол, ионы калия, кальция? Приведите необходимые уравнения.

12. Определите равновесный мембранный потенциал митохондрий, если при 37°C внутри митохондрий $\text{pH} = 9$, а в окружающей среде 7.

13. Покажите, что электродиффузионное уравнение Нернста—Планка является частным случаем уравнения Теорелла.

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

15. Как изменится основное электродиффузионное уравнение при отсутствии внешнего электрического поля?

16. Вязкость липидного бислоя в 100 раз больше, чем вязкость воды. Толщина примембранных слоев воды приблизительно в 100 раз больше толщины липидного бислоя. Коэффициент распределения кислорода в системе липид—вода близок к 1. Что является основным барьером для молекулярного кислорода при его диффузии через мембрану: липидный бислой или примембранный слой? Приведите необходимые уравнения.

17. Покажите, что уравнение Фика для диффузии является частным случаем уравнения Теорелла.

18. Определите равновесный мембранный потенциал, создаваемый на бислойной липидной мембране ионами калия при температуре 20 °С, если концентраций калия с одной стороны мембраны равна 10^{-3} М, а с другой — 10^5 М.

19. Каков электрический заряд мембраны, если ее емкость $1 \text{ мкФ} \cdot \text{см}^{-1}$, а равновесный мембранный потенциал такой же, как в задаче 18?

20. Рассчитайте потенциал покоя гигантского аксона кальмара, если известно, что концентрация ионов натрия снаружи равна 440 мМ, а внутри его 49 мМ (температура равна 20 °С).

21. Потенциал покоя нерва конечности краба равен 89 мВ. Чему равна концентрация ионов калия внутри нерва, если снаружи она составляет 12 мМ? Принять температуру равной 20 °С.

22. Определите время, в течение которого устанавливается равновесная концентрация эритрола в клетке, если объем клетки 70 мкм^3 , коэффициент проницаемости 13 мкм/с , а площадь поверхности мембраны клетки 43 мкм^2 .

23. В клетках фагоцитов равновесная концентрация вещества устанавливается за 0,2 с. Чему равен коэффициент проницаемости этого вещества через мембрану фагоцитов, если считать клетку тело»' сферической формы диаметром 8 мкм?

24. Концентрация некоторых ионов внутри и вне клетки гигантского аксона кальмара приведена в следующей таблице.

Вид иона	Концентрация иона, ммоль/л	
	внутри клетки	вне клетки
K+	340	10.4
Na ⁺	49	463
Cl ⁻	114	592

Коэффициент распределения вещества между мембраной и окружающей средой принять равным $K = 7 \cdot 10^{-4}$, толщина мембраны 10 нм. Найдите средний градиент концентрации ионов на мембране g : а) с учетом (g_a); б) без учета ($g_с$) коэффициента распределения вещества между мембраной и окружающей средой.

25. Электрическое напряжение на мембране равно $U = 60$ мВ, толщина мембраны $l = 10$ нм. Найдите напряженность электрического поля в мембране (E) и сравните ее с напряженностью

электрического поля плоского конденсатора (E_k) с напряжением $U_k = 220$ В. Расстояние между пластинами $l_k = 0,1$ мм.

26. В растворе поддерживается стационарное состояние распределения некоторого вещества. При этом на расстоянии $l = 50$ см разность концентрации растворенного вещества составляет $2 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Коэффициент диффузии $D = 3 \cdot 10^{-12}$ м²/с. Найдите плотность потока диффузии и максимальный поток через площадку площадью $S = 1$ см².

27. Найдите плотность потока (в начальный момент времени) и коэффициент диффузии глицерина через мембраны одноклеточных водорослей, если глицерин в начальный момент введен в водный раствор, содержащий клетки, в концентрации $c_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ моль/л и эта концентрация поддерживается постоянной. Изобразите графически распределение глицерина внутри клетки, в мембране и в окружающей среде: а) в начальный момент времени; б) в некоторый промежуточный момент времени; в) в установившемся равновесном состоянии. Коэффициент проницаемости через мембрану для глицерина равен $P = 2,1 \cdot 10^{-9}$ м/с, а коэффициент распределения вещества между мембраной и водной средой $K = 7,5 \cdot 10^{-5}$. Толщина мембраны $l = 10$ нм.

28. Из уравнения Нернста—Планка получите; а) закон Ома для участка цепи; б) выражение для электрического сопротивления; в) выражение для удельного сопротивления раствора (электролита). Раствор находится в сосуде (рис. 10). Концентрация ионов в выделенном объеме равна c . Электрическое поле однородно.

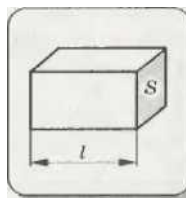


Рисунок 10

29. Получая выражение для уравнения диффузии Фика через мембрану, полагают, что коэффициенты распределения веществ одинаковы по разные стороны мембраны. Однако для реальных биологических мембран это допущение неверно. Почему?

30. При приготовлении варенья используют очень высокие концентрации сахара. Это приводит, в частности, к гибели бактерий, вызывающих ботулизм. В чем состоит одна из причин этого

эффекта?

31. Определите время установления равновесной концентрации эритрола в нейтрофилах, учитывая, что клетку можно считать сферическим телом диаметра 12 мкм. Коэффициент проницаемости эритрола равен $1,3 \cdot 10^{-3} \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$. Как изменится это время, если в ре-ямльтате осмоса объем нейтрофила увеличится в два раза?

32. Осмотическое давление крови человека составляет 0,77 МПа. Сколько молей соли NaCl должен содержать изотонический физиологический раствор в 200 мл воды при температуре 37 °С?

33. В гипотоническом растворе соли NaCl эритроциты крови вследствие осмоса приобретают сферическую форму. Площадь поверхности эритроцита равна 160 мкм^2 , объем клетки в изотоническом растворе составляет 85 мкм^3 . Во сколько раз изменится объем эритроцита в гипотоническом растворе при изменении его формы от двояковогнутого диска до сферы, если механического растяжения мембраны еще не происходит?

34. Среднее значение концентрации ионов калия, натрия и хлора в аксоплазме гигантского аксона кальмара равны соответственно 410, 49 и 40 моль/н³. В морской воде концентрация этих же ионов равна 10, 460 и 540 моль/м³. Вычислите потенциал Нернста для каждого из этих ионов при 27 °С.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Вихров С.П., Холомина Т.А. Взаимодействие полей и излучений с биологическими объектами: учебное пособие. Саратов: Вузовское образование, 2003.
2. Вихров С.П., Холомина Т.А. Взаимодействие естественных и искусственных полей и излучений с биологическими объектами: учебное пособие. Саратов: Вузовское образование, 2009.
3. Бигдай Е.В., Вихров С.П. Биофизика для инженеров. Том 1. Биоэнергетика, биомембранология и биологическая электродинамика: учебное пособие. Саратов: Вузовское образование, 2008.
4. Самойлов В.О. Медицинская биофизика: учебник для вузов. Санкт-Петербург: СпецЛит, 2013.
5. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика: Учеб. для мед. спец. Вузов. М.: Высш. шк., 1999.
6. Ремизов А.Н., Максина А.Г. Сборник задач по медицинской и биологической физике: учеб. пособие для вузов. М.: Дрофа, 2001.