

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра «Физика»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Биофизика

Направление подготовки (специальность) 36.03.01 *Ветеринарно-санитарная
экспертиза*

Профиль подготовки *Ветеринарно-санитарная экспертиза*

Форма обучения *заочная*

Оренбург 2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ

- 1. Конспект лекций**
- 1.1 Лекция № 1 Физические основы гемодинамики. Механика сердечно-сосудистой системы.**
- 1.2 Лекция № 2 Физические основы термодинамики**
- 1.3 Лекция № 3 Электрические явления в биологических системах**
- 1.4 Лекция № 4 Волновая оптика.**
- 2. Методические указания по выполнению лабораторных работ**
- 2.1 Лабораторная работа № 11.1 ЛР-11.1 Определение момента инерции шатуна и диска**
- 2.2 Лабораторная работа № 2.4 ЛР-2.4 Цикл Карно**
- 2.3 Лабораторная работа № 3.1 ЛР-3.1 Движение заряженной частицы в электрическом поле**
- 3. Методические указания по проведению практических занятий**
- 3.1 Практическое занятие № ПЗ-1 Тепловое излучение**

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Лекция №1 (2 часа)

Тема: Физические основы гемодинамики. Механика сердечно-сосудистой системы

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Гидродинамика идеальной жидкости. Стационарный поток. Уравнение неразрывности потока. Уравнение Бернулли и следствия из него.
2. Гидродинамика вязкой жидкости. Формула Ньютона. Коэффициент вязкости и методы его измерения на основе законов Стокса и Пуазейля.
3. Физические свойства крови. Кровь, как неньютоновская жидкость. Вычисление работы сердца. Физическая модель сосудистой системы. Перераспределение энергии в эластичных стенках кровеносных сосудов и значение этого явления для кровообращения. Пульсовая волна.
4. Гидростатическое давление крови. Физические основы методов измерения артериального давления.

1.1.2 Краткое содержание вопросов

Элементы механики жидкостей

Гидродинамика – раздел механики, в котором изучают движение жидкостей и явления, происходящие при движении в жидкости твёрдых тел.

В отличие от твёрдого тела в жидкости возможны значительные смещения составляющих её частиц относительно друг друга. Поэтому жидкость благодаря текучести, может принимать форму того сосуда, или русла в котором она находится или движется.

Говоря о реальной жидкости можно сказать, что:

- 1) Реальная жидкость *сжимаема*: её объём уменьшается, а плотность увеличивается с повышением давления. Все жидкости в той или иной степени сжимаемы, но их сжимаемость незначительна. НАПРИМЕР: при повышении давления от 10^5 до 10^7 Па (1-100 атм) плотность воды увеличивается всего лишь на 0,5 %. Конечно, при движении жидкостей по трубам или в открытых руслах, таких больших перепадов обычно не возникает. Поэтому при рассмотрении многих законов гидродинамики сжимаемостью жидкостей можно пренебречь
- 2) Реальная жидкость *вязкая*: при движении жидкости между отдельными частицами всегда возникают силы внутреннего трения, или силы вязкости. Однако, если силы внутреннего трения малы по сравнению с другими действующими в ней силами (внешнего давления, силы тяжести и т.п.), то ими можно пренебречь и считать жидкость *невязкой*.

Воображаемую жидкость не обладающую ни сжимаемостью, ни вязкостью называют *идеальной жидкостью*.

Такой жидкости в природе естественно нет. Но коэффициент вязкости таких жидкостей как вода, ацетон, спирт, эфир относительно невелик при температуре выше 0°C . Поэтому течение таких жидкостей во многих практически очень важных случаях можно рассматривать практически идеальным.

Для идеальной жидкости важно выполнение двух условий:

- 1) $\rho = \text{const}$
- 2) $\eta = 0$

13.2. Основные понятия механики жидкостей

Поток – совокупность движущихся частиц жидкости. В связи с тем, что в жидкости движется огромное количество частиц, исследование каждой отдельной частицы практически неосуществимо. В гидродинамике используется метод исследования потока предложенный Л. Эйлером. В 1773 году Эйлер получает дифференциальные уравнения движения невязкой жидкости, в основу которых заложен совершенно новый метод исследования теоретической механики, ориентированный на решение задач динамики не твердого тела, а жидкости.

Линия тока - это линия, касательная, к которой в любой точке определяет скорость жидкости. Линии тока можно наблюдать, если в поток жидкости выпускать тонкие струйки краски. Последние, двигаясь вместе с частицами жидкости, имеют те же скорости, что и сама жидкость, а значит, дают картину распределения линий тока.

Движение жидкости называется *установившимся (стационарным)*, если все величины: скорость, давление, плотность и т.д. остаются постоянными всё время в каждом месте пространства, занятого текущей жидкостью. В противном случае движение называется *неустановившимся*, и законы движения будут ещё сложнее.

Анализ картины стационарного течения значительно упростится, если мы выделим в движущейся жидкости объём, ограниченный линиями тока.

Поскольку линии тока не пересекаются, жидкость не может проходить через боковую поверхность этого объёма (ни внутрь объёма, ни из него), т.е. рассматриваемый объём подобен трубке с непроницаемыми для жидкости стенками. Поэтому, объём жидкости, ограниченный линиями тока, называется *трубкой тока*.

13.3. Уравнение неразрывности струи

$$Sv = const \quad (13.1)$$

Для данной трубки тока произведение площади поперечного сечения трубки на скорость течения жидкости есть величина постоянная. Соотношение (13.1) называется *уравнением неразрывности струи*. Оно справедливо не только для трубки тока, но и для любой реальной трубы, для русла реки и т.п. Таким образом форма трубки определяет скорость течения жидкости (газа): скорость возрастает там, где трубки тока сужаются, и, наоборот, падает там, где они расширяются.

ПРИМЕР: 1) скорость течения на узких участках речного русла больше, чем на широких и глубоких. 2) скорость воды в струе, вырывающейся из бранспойнта, больше чем в шланге и т.п.

Величина $Q = S \cdot v$, численно равная объёму жидкости, протекающей в единицу времени через поперечное сечение потока, называется *объёмным расходом жидкости*. Измеряется в м³/с.

Из формулы (13.1) следует, что расход жидкости в пределах потока постоянен.

§14. *Уравнение Бернулли и его применение. Давление жидкости, текущей по трубе переменного сечения. Формула Торричелли.*

14.1. Уравнение Бернулли и его применение

Давление покоящейся жидкости, создаваемое столбом её собственным весом, на глубине h равно:

$$P = P_0 + \rho gh \quad (14.1)$$

где P_0 – атмосферное давление

ρgh – давление столба жидкости.

Однако в движущейся жидкости возникает уже дополнительное давление, обусловленное кинетической энергией потока.

Уравнение, выведенное на основании закона сохранения энергии, устанавливает соотношение между величинами, характеризующими поток жидкости:

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + P = const \quad (14.2)$$

Данное соотношение, выведенное в 1738 г. Даниилом Бернулли, называется *уравнением Бернулли*, для стационарного течения несжимаемой жидкости. Оно играет фундаментальную роль во всех гидродинамических исследованиях.

Физический смысл уравнения Бернулли, являющимся математическим выражением закона Бернулли, заключается в том, что полная энергия единицы объёма потока идеальной жидкости, в любом сечении потока есть величина постоянная.

Единицей измерения давления, как известно, является Па. Паскаль – давление, вызываемое силой 1 Н, равномерно распределённой на поверхности площадью 1 м².

$$\text{Па} = \text{Н/м}^2 = \text{Н} \cdot \text{м} / \text{м}^3 = \text{Дж} / \text{м}^3$$

Из приведённого преобразования единиц измерения давления в единицы удельной энергии (т.е. энергии единицы объёма) следует, что все величины левой части уравнения (14.2) можно также рассматривать как величины давления.

Величину P называют статическим давлением;

Величину $\frac{\rho v^2}{2}$ – динамическим давлением;

Величину ρgh – гидростатическим давлением.

Полное давление, равное сумме динамического, гидростатического и статического давлений в любой части потока остается постоянным.

14.2. Давление жидкости, текущей по трубе переменного сечения.

Для горизонтальной трубки тока (или реальной трубы) уравнение Бернулли принимает следующий вид:

$$\frac{\rho v^2}{2} + P = const \quad (14.3)$$

Из уравнения Бернулли и неразрывности струи следует, в местах сужения трубопровода скорость течения жидкости возрастает, а статическое давление понижается. Докажем это.

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

Поскольку $S_1 > S_2 \Rightarrow v_1 < v_2$ получаем, что $\frac{\rho v_1^2}{2} < \frac{\rho v_2^2}{2} \Rightarrow$ согласно (14.3) $P_1 > P_2$.

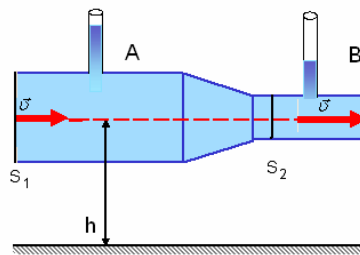


Рис. 25

Статическое давление $P_{ст}$ жидкости в горизонтальной трубе может быть измерено прямой манометрической трубкой 2 (см. рис. 26), плоскость отверстия которой расположена параллельно направлению движения жидкости. Динамическое давление $P_{дин}$ определяют по разности между полным и измеренным одновременно статическим давлением:

$$P_{дин} = P - P_{ст} \quad (14.4)$$

Для измерения полного давления применяют манометрическую трубку 1, изогнутую под прямым углом навстречу движения жидкости. Частицы жидкости, попадающие в отверстие трубки, затормаживаются до полной остановки, а их кинетическая энергия переходит в потенциальную, и давление в трубке повышается согласно уравнению Бернулли до величины полного давления. Если в струю жидкости или газа поставить рядом 2 манометрические трубки 1 и 2 (такое устройство называется *трубкой Пито*) и соединить их с манометром, то последний покажет динамическое давление, по которому вычисляют

скорость течения: $P_{дин} = \frac{\rho v^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2P_{дин}}{\rho}}$.

Уравнение Бернулли является одним из основных законов механики движения жидкостей и газов (гидро и аэродинамики) имеющим большое прикладное значение. На его основе сконструированы:

- 1) Водоструйный насос;
- 2) Гидротаран;
- 3) Пульверизатор.

Лекция №2 (2 часа)

Тема: Физические основы термодинамики.

1.2.1 Вопросы лекции:

1. Термодинамические параметры и процессы. Теплота и работа. Первое начало термодинамики. Работа газа в изопроцессах.
2. Теплоемкости идеального газа. Уравнение Майера. Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона.
3. Обратимые и необратимые процессы. Второе начало термодинамики Цикл Карно и его к.п.д.

1.2.2 Краткое содержание вопросов

Термодинамика изучает качественные и количественные закономерности превращения энергии в различных процессах, обусловленных тепловым движением молекул.

В основу термодинамики положены два начала (два закона) термодинамики.

I. *Первый закон термодинамики* – закон сохранения и превращения энергии в тепловых процессах: внутреннюю энергию тела можно изменить посредством сообщения этой системе количества теплоты и совершения над ней (или самой системой) работы:

$$\Delta U = Q - A \quad (1.1)$$

$$Q = \Delta U + A \Rightarrow A = Q - \Delta U \quad (1.2)$$

Если система периодически возвращается в исходное состояние, то изменение её внутренней энергии равно нулю $\Rightarrow A = Q$. Из этого закона вытекает, что нельзя построить такую машину, которая работала бы без получения энергии из вне. Такая машина называлась бы *вечным двигателем I-го рода*.

Количество теплоты

Количество теплоты Q – это количество энергии отданное, или принятое телом (системой). Передача тепловой энергии возможна: конвекцией, излучением, теплопроводностью.

$$Q = C m \Delta T \quad (1.3)$$

Теплоемкость тела C – количество теплоты, необходимое для нагревания данной массы вещества на 1 Кельвин. Можно ввести понятие *удельной теплоемкости C_{уд}* – это количество теплоты, необходимое для нагревания единицы массы вещества на 1 Кельвин.

$$C_{уд} = \frac{Q}{m \Delta T} \quad (1.4)$$

Существует понятие *мольной теплоемкости C_μ* – количество теплоты, необходимое для нагревания одного моля вещества на 1 Кельвин.

$$C_{\mu} = \frac{Q}{\frac{m}{\mu} \Delta T} \quad (1.5)$$

Внутренняя энергия

Внутренняя энергия U – это энергия всех частей, входящих в данную систему. Внутренняя энергия идеального газа:

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{M}{\mu} R \Delta T \quad (1.6)$$

1) Внутренняя энергия однозначно определяется параметрами состояния $\Rightarrow U$ является функцией состояния;

2) Изменение внутренней энергии ΔU не зависит от процесса перехода, а определяется лишь начальным и конечным состоянием.

3) В замкнутом процессе изменение внутренней энергии равно нулю $\oint dU = 0$.

4) Аддитивность.

Далеко не все функции являются функциями состояния, примером такой функции является работа A .

Работа

Работу A, совершаемую при газовых процессах, можно рассчитать следующим образом.

Пусть мы имеем газ под поршнем с площадью основания поршня S. Объем газа V. Если сообщить газу энергию Q, то он, нагреваясь, должен расширяться так, что его объем увеличится на ΔV .

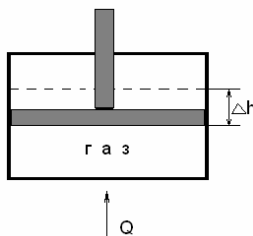


Рис. 8

Работа $A = \int_1^2 F dh$, так как $F = PS$, $\Rightarrow A = \int_1^2 PS dh = \int_1^2 P dV$.

$$A = \int_1^2 P dV \quad (1.7)$$

В случае если $P = const$:

$$A = P\Delta V \quad (1.8)$$

Работа зависит от процесса перехода, т.е. является функцией процесса.

§ 3. Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона. Коэффициент Пуассона.

Адиабатический процесс – это процесс без теплообмена с внешней средой, т.е. $\delta Q = 0$.

Способы получения:

- 1) Хорошая тепловая изоляция;
- 2) Быстрое протекание процесса, т.к. чем быстрее протекает процесс, тем быстрее успевает происходить теплообмен. $Q=0$.

Согласно первому закону термодинамики: $dU = \delta Q + \delta A$, поскольку $\delta Q = 0$:

$$dU = \delta A \quad (3.1)$$

Внутренняя энергия меняется только за счёт совершения работы.

Опыт с «воздушным огнём». Возьмём сосуд с толстыми стенками из оргстекла, чтобы не происходил теплообмен. На дно положим ватку, смоченную легко воспламеняющейся жидкостью. При резком сжатии ватка воспламеняется, поскольку температура резко увеличивается. По такому же принципу основывается работа дизельного двигателя.

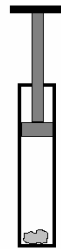


Рис. 9

$$PV^\gamma = \text{const} \quad (3.2)$$

Выражение (3.2) называется уравнением Пуассона. Величина равная отношению

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$$

называется коэффициентом Пуассона.

Изобразим в одной системе координат PV два процесса: изотермический и адиабатический.

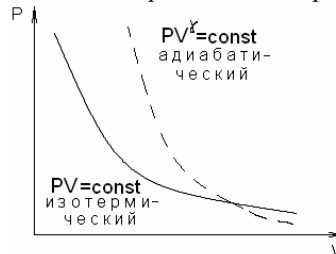


Рис. 10

При адиабатическом процессе давление изменяется в большее число раз, чем при изотермическом процессе. Адиабата идёт круче, чем изотерма, поскольку при адиабатическом сжатии $P \uparrow$ не только за счёт $\downarrow V$, но и за счёт увеличения температуры.

§ 4. Тепловые машины. Цикл Карно. Второе начало термодинамики.

Тепловая машина – это устройство, которое тепловую энергию трансформирует механическую (или наоборот). Любая тепловая машина состоит из рабочего тела, нагревателя и холодильника.

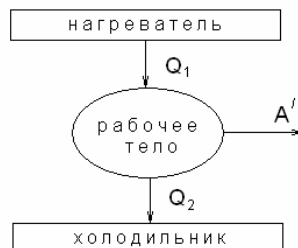


Рис. 11

Q_1 – количество теплоты за один цикл. Рабочее тело часть этого тепла использует на работу, а часть тепла Q_2 бесполезно теряется ($\frac{Q_2}{Q_1}$ – коэффициент бесполезного действия). Коэффициент полезного действия реальной тепловой машины:

$$\eta = \frac{A'}{Q_1} = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} < 1 \quad (4.1)$$

§ 5. Круговые процессы. Необратимые и обратимые процессы

Если система, проходя ряд состояний, возвращается в исходное состояние, то говорят, что совершен *круговой процесс (цикл)*.

Цикл называется **прямым**, если за цикл совершается положительная работа (работа против *внешних сил*). Цикл называется **обратным**, если за цикл совершается отрицательная работа.

Прямой цикл используется в **тепловых двигателях** (совершают работу за счет полученной извне теплоты). Обратный цикл используется в **холодильных машинах** (за счет работы внешних сил теплота переносится к телу с более высокой температурой).

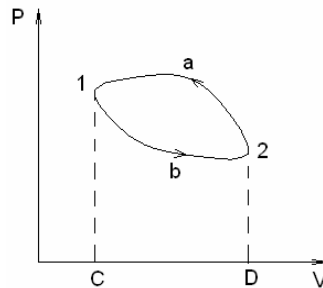


Рис. 12 – Круговой процесс

Графически работа, совершенная при таком процессе будет выражаться площадью фигуры 1a2b.

$$A = \int_1^2 P dV$$

$$A_{1a2b1} = A_{c1a2dc} - A_{c1b2ac}$$

Таким образом, **работа** – это **функция не только состояния термодинамической системы, но и вида процесса**, который происходит. Поэтому **работа не является однозначной функцией состояния** (такой, как внутренняя энергия). Из первого начала термодинамики следует, что **теплота Q** , так же как и работа **A** , является **функцией процесса**, который происходит с системой.

Реальные газы – это те газы, в которых нельзя не учитывать размеры молекул и взаимодействия между ними.

Размеры молекул $d=10^{-10}$ м, а взаимодействие их проявляются лишь при высоких давлениях. Так, при давлении 150-120 атм. (давление в газовых баллонах), газы можно считать идеальными. При сжижении аммиака $P=500$ атм., при взрыве атомной бомбы $P=1000$ атм., газ уже не может считаться идеальным.

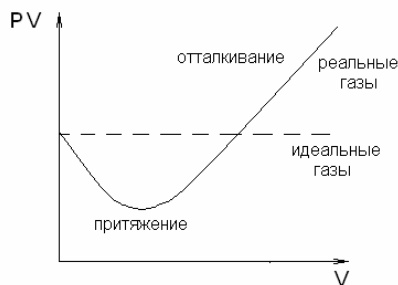


Рис. 14

В области малого давления PV меньше чем нужно для идеального газа за счёт меньшего объёма. При малых давлениях преобладают силы взаимного притяжения, газ занимает меньший объём и кривая идёт

ниже. В области большего давления преобладают силы отталкивания, газ занимает больший объём и кривая идёт выше.

Существует несколько моделей для реального газа и соответственно несколько уравнений состояний.

Одно из самых простых предложено Ван – дер – Ваальсом в 1873 году, взяв за основу уравнение состояния идеального газа:

$$PV = \frac{M}{\mu} RT$$

Ввел поправки, учитывающие размеры молекул и их взаимодействие:

- 1) Так как молекулы имеют собственный объём, то объём пространства будет меньше у реального газа в сравнении с идеальным:

$$V = V_{\mu} - 4N_A V' \quad (6.1)$$

Здесь V_{μ} – объём одного моля идеального газа, N_A – число Авогадро, V' – объём одной молекулы, $b = 4N_A V'$ – поправка на объём, занимаемый самими молекулами.

- 2) Из-за взаимодействия молекул реальный газ испытывает дополнительное давление, называемым *внутренним давлением* P' . Избыточное давление P' зависит от числа молекул, а значит от плотности газа и при этом обратно пропорционально объёму:

$$P' = \frac{a}{V_{\mu}^2} \quad (6.2)$$

Здесь a – поправка, характеризующая взаимодействие молекул.

С учетом поправок уравнение состояния 1 моля реального газа принимает вид:

$$(P + \frac{a}{V_{\mu}^2})(V_{\mu} - b) = RT \quad (6.3)$$

(6.3) называется *уравнением Ван-дер-Ваальса* для 1 моля газа.

Уравнение состояния реального газа любой массы имеет вид:

$$(P + \frac{M^2}{\mu^2} \frac{a}{V^2})(V - \frac{M}{\mu} b) = \frac{M}{\mu} RT \quad (6.4)$$

Здесь a и b – постоянные Ван дер-Ваальса (для разных газов они различны).

Это уравнение оказалось полезным не только для описания состояния газа при больших давлениях, оно также объясняет переход пара в жидкость.

Изотермы Ван-дер-Ваальса и экспериментальные изотермы Эндрюса

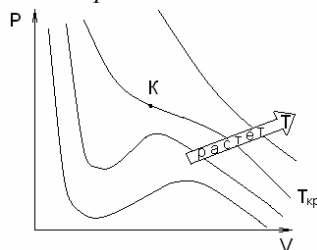


Рис. 15

На рисунке 15 представлены теоретические изотермы Ван – дер – Ваальса. Точка перегиба K называется критической точкой, т.е. переход газа в жидкость (или наоборот) осуществляется мгновенно. Критическая температура $T_{кр}$ – это максимальная температура, при которой вещество ещё может оставаться жидким. В критической точке и не газ и не жидкость, а вещество в особом состоянии. При $T > T_{кр}$ никаким сжатием газ нельзя перевести в жидкое состояние. При температурах выше $T_{кр}$ изотермы реального газа похожи на изотермы идеального газа.

В 1861 – 1869 гг. Т. Эндрюс проводил опыты по сжижению CO_2 . Он исследовал ход изотерм углекислоты при различных температурах и на основании этих исследований ввёл понятие критической температуры для CO_2 и она оказалась равной $31^{\circ}C$ (304 K). До этой температуры изотермы имели вид гиперболы, что соответствовало изотермам идеального газа. Ниже 304 K на изотермах углекислоты появляются горизонтальные участки, на которых изотермическое сжатие газа приводит к его конденсации,

но не к увеличению давления. Т. е. сжатый газ можно превратить в жидкость только если его температура ниже критической.

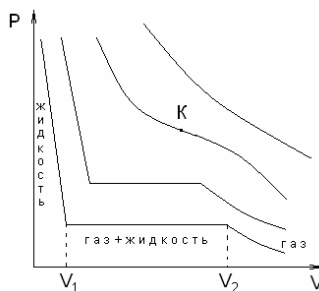


Рис. 16

Начиная с V_1 , в сосуде появится жидкость, часть газа сконденсируется. И чем меньше V , тем больше жидкости. При V_2 весь газ перейдет в жидкость. Поскольку жидкость мало сжимаема, то кривая идет круто вверх. При больших температурах конденсация начнется раньше, а закончится позже.

§ 7. Свойства жидкостей. Поверхностное натяжение и свободная энергия поверхности жидкости.
Давление под искривленной поверхностью жидкости. Формула Лапласа.

По внешним признакам жидкость занимает промежуточное положение между газами и твердыми телами. Газы не обладают ни формой, ни объемом. Твердые тела имеют и то и другое. Поскольку сила притяжения ослабла в жидкости, молекулы в них в отличие от молекул твердого тела подвижны, поэтому жидкость не сохраняет свою форму – она обладает свойством текучести.

При постоянной температуре средняя кинетическая энергия молекул всюду одинакова, однако потенциальная энергия одинакова только для молекул (1) внутри жидкости. Частицы поверхностного слоя (2) обладают повышенным запасом потенциальной энергии.

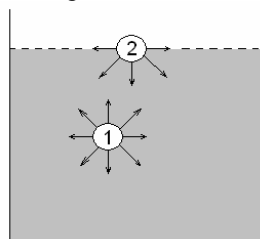


Рис. 17

Вследствие этого они стремятся уйти внутрь объема жидкости, что приводит к особому состоянию поверхностного слоя жидкости (она подобно растянутой упругой пленке) – *состояние поверхностного натяжения*.

Разность энергии поверхностного слоя и энергии тех же молекул внутри жидкости называется *свободной энергией поверхностного слоя*.

$$\Delta W = \alpha \Delta S \quad (7.1)$$

Здесь α – коэффициент поверхностного натяжения; ΔS – изменение площади поверхности.

Из-за наличия поверхностного натяжения на границе жидкость – твердое тело появляются силы поверхностного натяжения, стремящиеся сохранить поверхность неизменной:

$$F = \alpha \cdot l \quad (7.2)$$

Здесь l – длина контура, ограничивающего поверхность жидкости. Коэффициент поверхностного натяжения α численно равен работе, которую нужно совершить, чтобы при постоянной температуре, изменить площадь поверхностного слоя на 1 м^2 :

$$\alpha = \frac{\Delta A}{\Delta S} = \frac{\Delta W}{\Delta S} \quad (7.3)$$

$$[\alpha] = \text{Дж/м}^2 = \text{Н/м}$$

Коэффициент поверхностного натяжения зависит от рода жидкости, температуры (с увеличением температуры α уменьшается) и от примесей. Вещества, уменьшающие коэффициент поверхностного натяжения при добавлении их в жидкость, называются *поверхностно – активными*. Из-за наличия сил поверхностного натяжения жидкость стремится принять такую форму, чтобы была минимальной поверхность. Так в свободном состоянии жидкость принимает форму шара.

Лекция №3 (2 часа)

Тема: Электрические явления в биологических системах.

1.3.1 Вопросы лекции:

1. Механизм образования биопотенциалов.
2. Биопотенциалы покоя и действия.
3. Измерение биопотенциалов. Физические основы электрокардиографии.

1.3.2 Краткое содержание вопросов

2) **Электрический потенциал.** Чтобы переместить заряд против действующей на него электрической силы необходимо выполнить работу. Эта работа не зависит от пути перемещения заряда в электрическом поле, но зависит от начального и конечного положения заряда.

Если заряд перемещается из одной точки в другую против электрической силы, его потенциальная электростатическая энергия увеличивается. Электрический потенциал в любой точке равен электростатической потенциальной энергии W_p , которую имеет положительный заряд q в этой точке: $\phi = W_p/q$ (4).

Можно также сказать, что электрический потенциал в точке равен работе, которую необходимо совершить против электрических сил, чтобы переместить положительный заряд из данной точки на большое расстояние, где потенциал электрического поля равен нулю. Электрический потенциал является скалярной величиной и измеряется в вольтах (В).

Напряжённость электрического поля является отрицательным градиентом электрического потенциала - показателя изменения потенциала с расстоянием x : $E^{\rightarrow} = - d\phi/dx$. С помощью приборов можно измерить разность потенциалов, но не напряжённость поля. Последняя может быть вычислена, если использовать зависимость между E^{\rightarrow} и $\Delta\phi$: где $\Delta\phi = E \cdot l$ - расстояние между двумя токами электрического поля.

Мембранный потенциал покоя

Каждая клетка превращает часть своей метаболической энергии в электростатическую энергию. Источником электрического поля клетки является плазматическая мембрана. Существует разность потенциалов между внутренней и внешней поверхностями плазматической мембраны. Эта разность потенциалов называется **мембранным потенциалом**.

Разность потенциалов между внутренней и внешней средами клетки может измеряться непосредственно и довольно точно. Для этого используют микроэлектрод, представляющий собой стеклянную микропипетку с диаметром кончика до 1 мкм, заполненную концентрированным раствором KCl. Микроэлектрод подключают к усилителю напряжения регистрирующего устройства. Можно измерять мембранный потенциал мышечных, нервных клеток или клеток других тканей. Другой электрод (референтный) установлен на поверхности ткани.

Когда кончик микроэлектрода находится вне клетки, его потенциал по отношению к референтному электроду равен нулю. Если конец электрода погружают в клетку, прокалывая плазматическую мембрану, разность потенциалов резко становится отрицательной. На шкале измерительного устройства регистрируется разность потенциалов между внутренней и внешней средами клетки. Эта разность потенциалов называется **трансмембранной, или мембранным потенциалом**.

Если клетка находится в состоянии покоя, её мембранный потенциал имеет отрицательное значение и устойчивую величину. Обычно его называют **мембранным потенциалом покоя**. Мембранный потенциал покоя клеток различных тканей составляет от -55 милливольт (мВ) до -100 мВ.

При определенных физиологических условиях могут происходить изменения мембранного потенциала. Изменения его в положительном направлении называется **деполяризацией** плазматической мембраны. Смещение мембранного потенциала в отрицательном направлении называется **гиперполяризацией**.

Биофизические основы мембранного потенциала покоя

Электрические явления в плазматической мембране определяются распределением ионов между внутренней и внешней сторонами мембраны. Из химического анализа известно, что концентрация ионов

внутриклеточной жидкости сильно отличается от концентрации ионов во внеклеточной жидкости. Термин "внеклеточная жидкость" имеет отношение ко всем жидкостям вне клеток (межклеточное вещество, кровь, лимфа и т.п.). В таблице представлены концентрации основных ионов в мышечных клетках млекопитающих и внеклеточной жидкости (миллимоли на литр).

Вид ионов		Внутриклеточная концентрация	Внеклеточная концентрация
Катионы	Натрий (Na^+)	12	145
	Калий (K^+)	155	4
	Другие	-	5
Анионы	Хлор (Cl^-)	4	120
	Бикарбонат (HCO_3^-)	8	27
	Другие (A^-)	155	7

Существуют значительные различия между концентрацией основных ионов внутри и вне клетки. Внеклеточная жидкость имеет высокую концентрацию ионов натрия и хлора. Внутриклеточная жидкость имеет высокую концентрацию калия и различных органических анионов (A^-) (заряженные группы белков).

Различие между концентрациями натрия и калия во внеклеточной и внутриклеточной жидкостях обусловлены деятельностью натрий-калиевого насоса, который выкачивает за один цикл 3 иона натрия из клетки и закачивает 2 иона калия в клетку против электрохимического градиента указанных ионов. Основная функция натрий-калия насоса - поддержание различия концентраций ионов натрия и калия по обе стороны плазматической мембраны.

В состоянии покоя проницаемость плазматической мембраны для ионов калия значительно превышает проницаемость мембраны для ионов натрия. В нервных клетках соотношения проницаемости соответствующих ионов составляет 1:0,04.

Этот факт дает возможность объяснять существование мембранного потенциала покоя.

Ионы калия стремятся покинуть клетку из-за их высокой внутренней концентрации. При этом перемещения через мембрану внутриклеточных анионов из-за их больших размеров не происходит. Незначительное поступление ионов натрия внутрь клетки также не компенсирует выход ионов калия наружу, так как проницаемость мембраны в покое для ионов натрия мала.

Следовательно, снаружи клетка приобретает дополнительно положительный заряд и внутри остаётся избыток отрицательного заряда.

Диффузия калия через мембрану - процесс ограниченный. Ионы калия, проникающие через мембрану, создают электрическое поле, которое задерживает диффузию других ионов калия. По мере выхода из клетки калия электрическое поле нарастает и, в конечном итоге, напряжённость достигает такого значения, когда поток калия через мембрану прекращается. Состояние, при котором поток ионов по их концентрационному градиенту уравнивается мембранным потенциалом, называется *состоянием электрохимического равновесия* ионов. Величина такого мембранного потенциала равновесия определяется *уравнением Нернста* (при этом считают, что мембрана проницаема только для одного вида ионов):

$$\varphi_m = -\frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \ln \frac{[K^+]_i}{[K^+]_o} \quad (5)$$

R - универсальная газовая постоянная, T - термодинамическая температура, z - электрический заряд иона, F - постоянная Фарадея, $[K^+]_i$ и $[K^+]_o$ - внутриклеточная и внеклеточная концентрации ионов калия соответственно.

Вычисления, основанные на уравнении Нернста, указывают, что внутренняя и внешняя концентрация иона хлора также соответствует состоянию электрохимического равновесия, но концентрация натрия далека от равновесия с мембранным потенциалом мембраны.

Уравнение Нернста показывает, что концентрационный градиент ионов калия определяет величину мембранного потенциала покоя только в первом приближении. Рассчитанные величины мембранного потенциала совпадают с экспериментально полученными только при высокой концентрации калия вне клетки.

Более точная величина мембранного потенциала покоя может быть вычислена из уравнения Гольдмана-Ходжкина, в котором учитываются концентрации и проницаемость мембраны для трёх основных ионов внутри- и внеклеточной жидкостей:

$$\varphi_m = -\frac{R \cdot T}{z \cdot F} \cdot \ln \frac{P_{Na^+} \cdot [Na^+]_i + P_{K^+} \cdot [K^+]_i + P_{Cl^-} \cdot [Cl^-]_o}{P_{Na^+} \cdot [Na^+]_o + P_{K^+} \cdot [K^+]_o + P_{Cl^-} \cdot [Cl^-]_i} \quad (6)$$

Также в поддержании мембранного потенциала покоя участвует непосредственно натрий-калий насос, выкачивая три иона натрия из клетки и закачивая лишь два иона калия. В результате мембранный потенциал покоя становится более отрицательным, чем был бы, если бы создавался только пассивным перемещением ионов через мембрану.

Потенциал действия

Если через мембрану нервной или мышечной клетки проходит кратковременный электрический ток, то мембранный потенциал подвергается последовательным изменениям, которые специфичны и уникальны для возбудимых клеток. Возбудимые ткани можно стимулировать также механическими или химическими средствами, но в экспериментальной работе, как правило, используются электрические стимулы.

Рис. 1. Потенциал действия нервной клетки.

Потенциал действия - быстрое колебание величины мембранного потенциала, вызванное действием на возбудимую клетку электрического или другого раздражителей.

На рис. 1 показан потенциал действия нервной клетки, записанный с помощью микроэлектрода. Если к клетке прикладывают кратковременный электрический стимул, мембранный потенциал уменьшается быстро до нуля. Это отклонение характеризуют как *фазу деполаризации*. В течение короткого времени внутренняя среда клетки становится электроположительна по отношению к наружной (*фаза реверсии мембранного потенциала, или овершут*). Затем мембранный потенциал возвращается к уровню мембранного потенциала покоя (*этап реполяризации*) (рис.2.).

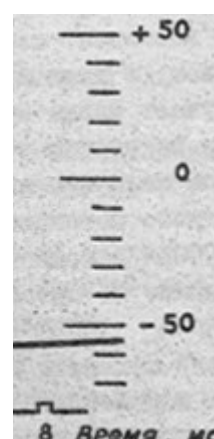
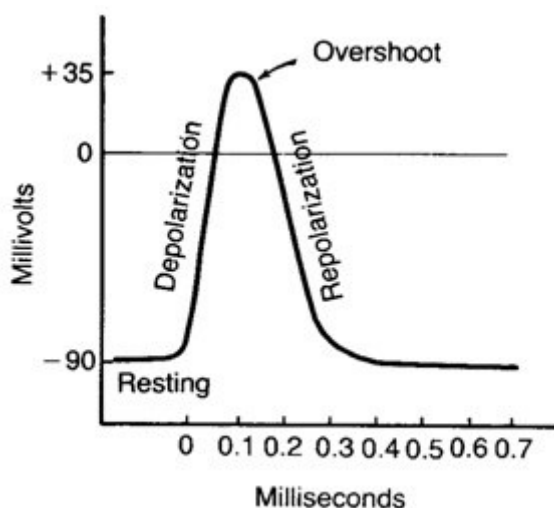


Рис. 2. Фазы потенциала действия

Длительность потенциала действия составляет от 0,5 до 1 миллисекунды в больших нервных клетках и несколько миллисекунд в клетках скелетных

мышц. Общая амплитуда - почти 100 - 120 мВ, отклонение от нулевой линии - около 30-50 мВ.

Потенциал действия играет ведущую роль в обработке информации в нервной системе. Он имеет постоянную амплитуду, которая не является вероятностной величиной. Это имеет большое значение в обработке информации нервной системой. Кодирование интенсивности раздражения осуществляется числом потенциалов действия и частотой, с которой потенциалы действия следуют друг за другом.

Биофизические основы потенциала действия

Потенциал действия возникает из-за специфических изменений ионной проницаемости в плазматической мембране. Английский физиолог Ходжкин показал, что основной механизм потенциала действия состоит в кратковременном и очень специфическом изменении проницаемости мембраны для ионов натрия. Ионы натрия при этом поступают в клетку до момента, пока мембранный потенциал не достигнет потенциала электрохимического равновесия ионов натрия.

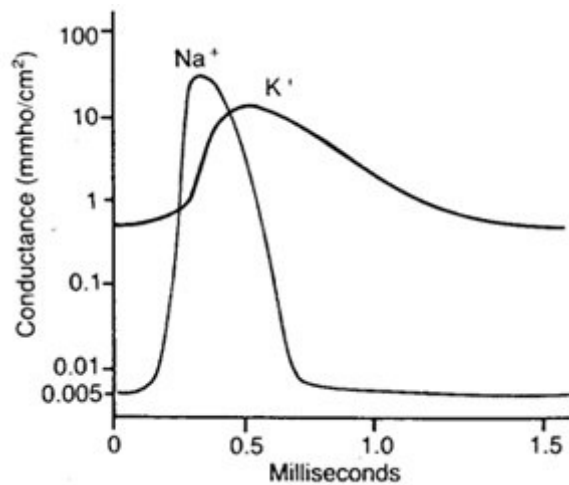


Рис. 3. Изменение проницаемости мембраны для ионов натрия и калия во время потенциала действия

Проницаемость мембраны для натрия при действии на клетку электрического стимула возрастает приблизительно в 500 раз и становится значительно больше, чем проницаемость мембраны для ионов калия. В клетке резко повышается концентрация ионов натрия. В результате мембранный потенциал принимает положительное значение, и поток ионов натрия в клетку замедляется.

Во время возникновения потенциала действия происходит деполяризация плазматической мембраны. Быстрая деполяризация мембраны под действием

электрического стимула вызывает увеличение её проницаемости для ионов натрия. Возросшее поступление ионов натрия в клетку усиливает деполяризацию мембраны, что, в свою очередь, вызывает дальнейшее увеличение проницаемости мембраны для натрия и т.д.

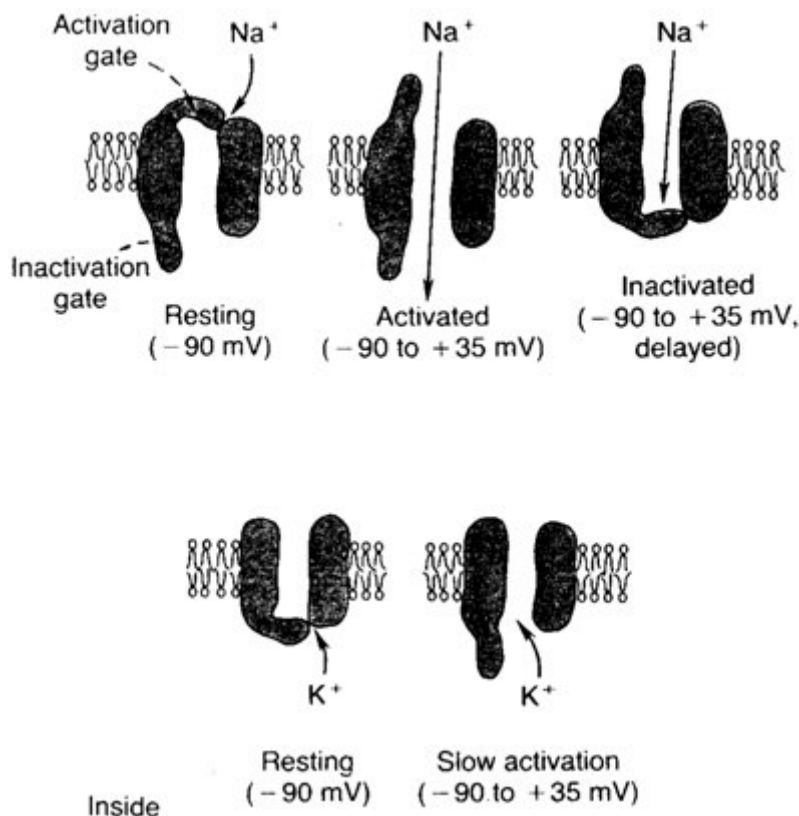
Но величина мембранного потенциала при деполяризации не достигает уровня потенциала электрохимического равновесия ионов натрия. Причиной этому является снижение проницаемости мембраны для ионов натрия из-за *инактивации натриевого трансмембранного переноса*. Этот процесс резко уменьшает проницаемость мембраны для ионов натрия и останавливает наплыв натрия в клетку.

В этот момент происходит увеличение проницаемости мембраны для ионов калия, что приводит к быстрому снижению величины мембранного потенциала к уровню потенциала покоя. Проницаемость мембраны для ионов калия также снижается до своего нормального значения. Таким образом, инактивация входящего натриевого тока и повышение проницаемости мембраны для ионов калия (выходящий ток) ограничивают длительность потенциала действия и приводят к *реполяризации* мембраны.

Таким образом, в течение потенциала действия некоторое количество ионов натрия поступают в клетку. Но это количество достаточно небольшое. Изменение концентрации ионов в больших нервных клетках составляет лишь около 1/300000 начальной величины.

Основной механизм изменений проницаемости мембраны обусловлен событиями в натриевых и калиевых каналах мембраны. Состояние их ворот управляется величиной мембранного потенциала. Натриевые каналы имеют два типа ворот. Один из них, называемые активационными воротами закрыты в состоянии покоя и открываются при деполяризации мембраны. Поступление ионов натрия в клетку вызывает открытие всё большего числа активационных ворот. Второй тип ворот натриевых каналов - инактивационные при усиливающейся деполяризации мембраны постепенно закрываются, что останавливает приток натрия в

клетку. Деполяризация мембраны также служит причиной открытия дополнительного числа калиевых каналов, в результате чего увеличивается проницаемость мембраны для ионов калия и происходит реполяризация мембраны.



в зоне, прилегающей к месту возникновения потенциала действия.

Циклический локальный ток снижает заряд мембраны в неактивной зоне и деполяризует её. Если деполяризация достигает порогового уровня, то возрастает проницаемость мембраны для ионов натрия и возникает потенциал действия. Таким образом потенциал действия распространяется вдоль нервных и мышечных волокон с постоянной скоростью.

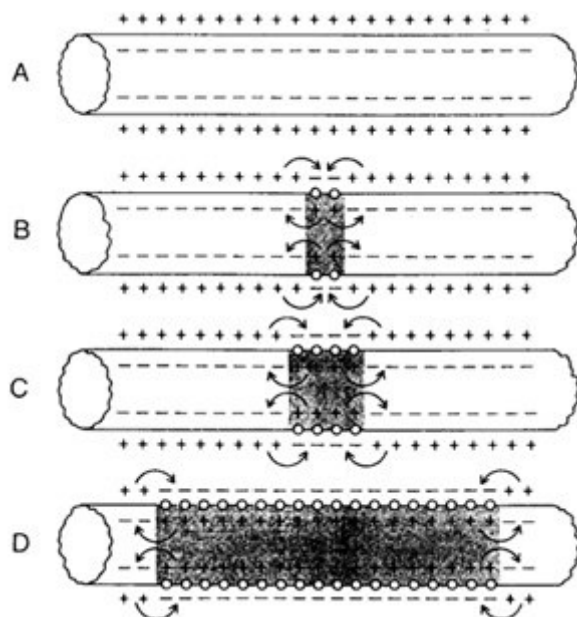


Рис. 5. Распространение потенциала действия вдоль мембраны нервного волокна

Скорость распространения потенциала действия в нервных волокнах зависит от их диаметра. Она максимальна в наиболее толстых волокнах, достигая около 100 метров в секунду.

1.4.1 Вопросы лекции:

1. Интерференция света и способы ее наблюдения
2. Дифракция света. Дифракционная решетка. Определение длины волны света дифракционной решеткой.
3. Естественный и поляризованный свет. Законы Малюса и Брюстера. Призма Николя и поляроиды. Поляриметры и их применение в ветеринарной лабораторной практике.
4. Спектры и их типы, спектральные закономерности. Спектральный анализ. Поглощение света. Законы Бугера и Бера. Метод колориметрии.

1.4.2 Краткое содержание вопросов

Оптика – раздел физики, в котором изучается вопрос о природе света, закономерностях световых явлений и процессы взаимодействия света с веществом (от греческого (оптикос) – зрительный).

В течение последних трех с половиной столетий представления о природе света претерпело весьма существенное изменение.

Основные законы оптики известны ещё с древних времён. Так, Платон (430 г. до н.э.) установил закон прямолинейного распространения и закон отражения света. Аристотель (350 г. до н.э.) и Птоломей изучали преломление света. Первые представления о природе света возникли у древних греков и египтян, которые в дальнейшем, по мере изобретения и усовершенствования различных оптических инструментов, например, параболических зеркал (XVII), фотоаппарата и микроскопа (XVI), зрительной трубы (XVII), развивались и трансформировались. В конце XVII в. на основе многовекового опыта и развития представлений о свете возникли две теории света: корпускулярная (И. Ньютон) и волновая (Р. Гук и Х. Гюйгенс).

Согласно корпускулярной теории (теории течения) свет представляет собой поток частиц (корпускул), испускаемых светящимися телами и летящих по прямолинейным траекториям. Движение световых корпускул Ньютон подчинил сформулированным им законам механики. Так, отражение света понималось аналогично отражению упругого шарика при ударе о плоскость, где также соблюдается закон равенства углов падения и отражения. Преломление света Ньютон объяснил притяжением корпускул преломляющей средой, в результате чего скорость корпускул меняется при переходе из одной среды в другую.

Из теории Ньютона следовало постоянство синуса угла падения α к синусу угла преломления β :

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

где c – скорость света в вакууме, v - скорость света в среде. Поскольку n в среде всегда больше единицы, то по теории Ньютона $v > c$, т.е. скорость света в среде всегда должно быть больше скорости его распространения в вакууме. Однако согласно теории Гюйгенса $v < c$.

Таким образом, к началу XVIII в. существовало два противоположных подхода к объяснению природы света: корпускулярная (И. Ньютон) и волновая (Х. Гюйгенс). XVIII в стал веком борьбы этих теорий. К началу XIX в. корпускулярная теория была полностью отвергнута и восторжествовала волновая теория. Представление о волновой (электромагнитной) природе света оставалось незыблемым вплоть до конца XIX в. Однако, к этому времени накопился достаточно обширный материал (изучение данных о спектрах свечения химических элементов, о распределении энергии в спектре теплового излучения чёрного тела и т.д.) не согласующийся и даже противоречащий данной теории. Всё это привело к необходимости предположить, что излучение, распространение и поглощение электромагнитной энергии носит дискретный (прерывистый) характер.

Исходя из этого предположения немецкий физик Планк в 1900 г. создал квантовую теорию электромагнитных процессов, т.е. свет испускается, распространяется и поглощается не непрерывно (как это следовало из волновой теории), а порциями (квантами), энергия которых определяется частотой ν :

$$E = h\nu$$

где $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж · с называется *постоянной Планка*.

Эйнштейн в 1905 г. разработал квантовую теорию света, согласно которой свет представляет собой поток световых частиц – фотонов. Таким образом в начале 20 в. возникла новая теория о природе света – квантовая теория, возрождающая в известном смысле корпускулярную теорию Ньютона.

Важную роль в дальнейшем развитии квантовой теории света сыграли теоретические исследования атомных и молекулярных спектров, выполненные Бором (1913), Шредингером (1925), Дираком (1930) и т.д.

На сегодняшний день *свет* – сложный электромагнитный процесс, обладающий как волновыми, так и корпускулярными свойствами.

Свойства света

Волновые
-отражение
-преломление
-интерференция
-поляризация

Квантовые
-фотоэффект
-давление света
-атомные спектры
-люминесценция

- дисперсия
- дифракция

В некоторых явлениях (интерференция, дифракция, поляризация света и т.д.) обнаруживаются волновые свойства света; а в таких явлениях, как люминесценция, фотоэффект и т.д. обнаруживаются корпускулярные свойства света. Т.о. волновая и квантовая теории не отвергают, а дополняют друг друга, отражая тем самым двойственный характер свойств света.

Свет – единство дискретности и непрерывности.

В настоящее время установлено, что корпускулярно - волновая двойственность свойств присуща также любой элементарной частице вещества. Например, обнаружена дифракция электронов, нейтронов. Корпускулярно – волновой дуализм является проявлением двух форм существования материи – вещества и поля.

Среда, во всех точках которой скорость распространения света одинакова, называется *оптически однородной средой*. Рассмотрим, исходя из волновой теории явления отражения и преломления монохроматического света на плоской границе раздела двух различных, оптически однородных сред.

Законы отражения и преломления света являются следствием *принципа Ферма*: Из всех возможных траекторий, соединяющих источник и приемник света, реализуется то, для которых время распространения будет минимальным.

Возьмем границу двух прозрачных сред с показателями преломления n_1 и n_2 (см. рис. 50), где $n = c/v$ называется *абсолютным показателем преломления*. Абсолютный показатель преломления показывает во сколько раз скорость света в среде v меньше чем в вакууме c .

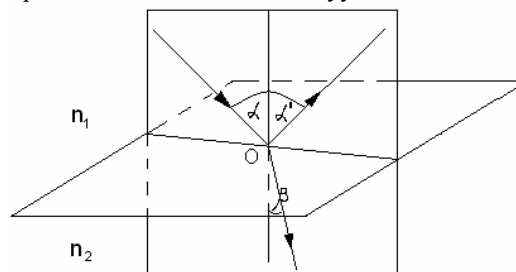


Рис. 50 – Граница раздела двух сред

Закон отражения:

1. Падающий, отраженный лучи и перпендикуляр, опущенный в точку падения луча, лежат в одной плоскости;

2. Угол падения α равен углу отражения α' .

Закон преломления:

1. Падающий, преломленный лучи и перпендикуляр, опущенный в точку падения луча, лежат в одной плоскости;

2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления равно отношению скорости света в первой среде к скорости света во второй среде:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}, \quad (4.1)$$

где n_{21} – относительный показатель преломления.

4.1.3 Линзы. Построение изображений с помощью линз

Раздел оптики, в котором законы распространения света рассматриваются на основе представлений о световых лучах, называется *геометрической оптикой*.

Световой луч – узкий канал, в котором распространяется энергия света.

Геометрическая оптика позволяет разрабатывать основные явления, связанные с прохождением света через оптические системы и является поэтому основой теории оптических приборов. Для изменения направления световых лучей в оптических приборах широко используют линзы (от лат. lens - чечевица).

Линзой называется прозрачное (чаще всего стеклянное) тело, ограниченное двумя криволинейными (обычно сферическими) поверхностями или одной криволинейной и одной плоской поверхностью.

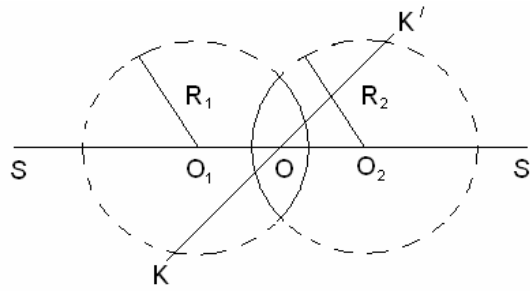



Рис. 52 – Линза



O_1, O_2 – центры кривизны линзы; R_1, R_2 – радиусы кривизны; точка O – оптический центр линзы; прямая SS' – *главная оптическая ось*.

Любая прямая, проходящая через оптический центр линзы под углом к главной оптической оси, называется *побочной оптической осью* (в нашем случае KK').

Линза называется *тонкой*, если толщина её в центре  радиуса кривизны R .

Свойства линз

1. Луч, идущий вдоль любой оптической оси, а также через оптический центр линзы, не преломляется;
2. Лучи, идущие параллельно главной оптической оси, после преломления могут:
 - а) сходиться в одной точке, которая называется *фокусом* (причем у линзы может быть двойной, тройной и т.д. фокусы);
 - б) расходиться, но их продолжение собирается в точке, называемой *мнимый фокус*.

По оптическим свойствам линзы делятся на собирающие (обозначаются ) и рассеивающие (обозначаются ) .

Рассмотрим пример построения изображения с помощью собирающей и рассеивающей линзы.

Пример 1. Предмет KK' находится за фокусом собирающей линзы. В результате построения получаем изображение предмета KK' (см. рис. 53а):

- а) действительное;
- б) увеличенное;
- в) обратное.

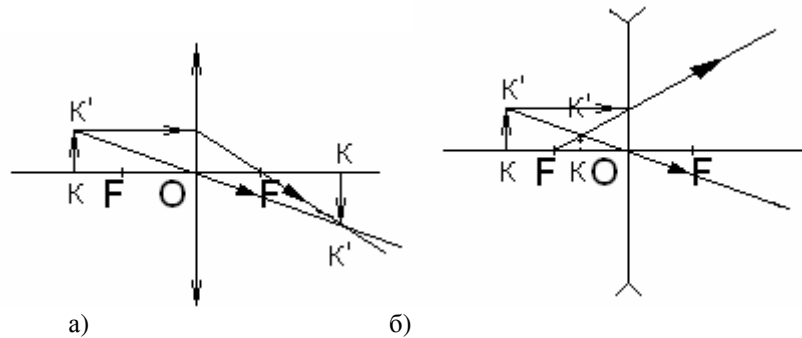


Рис. 53 – Построение изображения с помощью
а) собирающей линзы
б) рассеивающей линзы

Пример 2. Предмет KK' находится за фокусом рассеивающей линзы. В результате построения получаем изображение предмета KK' (см. рис. 53б):

- а) мнимое;
- б) уменьшенное;
- в) прямое.

Расстояние от оптического центра линзы до фокуса, называется *фокусным расстоянием* f . Величина обратная фокусному расстоянию, называется *оптической силой линзы* D :

$$D = \frac{1}{f} \quad (4.3)$$

Единица измерения оптической силы линзы – диоптрия (дптр).

Формула тонкой линзы:

$$\pm \frac{1}{a} \pm \frac{1}{b} = \pm \frac{1}{f}, \quad (4.4)$$

где a – расстояние до предмета, b – расстояние до изображения, «+» – действительный предмет или изображение, «-» – мнимый предмет или изображение, «+» – оптическая сила линзы положительна, а «-» – отрицательна.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

2.1 Лабораторная работа № 11.1 (2 часа).

Тема: «Определение момента инерции шатуна»

2.1.1 Цель работы: Определить момент инерции шатуна используя теорему Штейнера

2.1.2 Задачи работы:

1. Применить теорему Штейнера на практике
2. Ознакомиться с понятием момента инерции твердого тела.

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

штатив с отвесом и горизонтальной осью, секундомер, шатун, крючки с нитями, масштабная линейка

2.1.4 Описание (ход) работы:

1. Значение массы шатуна выбито на шатуне в граммах. По этому значению вычислить вес шатуна в Ньютонах в положении равновесия.
2. Отметить на шатуне центр тяжести O . Для этого шатун подвесить на крючках так, как показано на рис. 1 а. Положение центра тяжести определится как точка пересечения отвесной линии с осью симметрии шатуна.

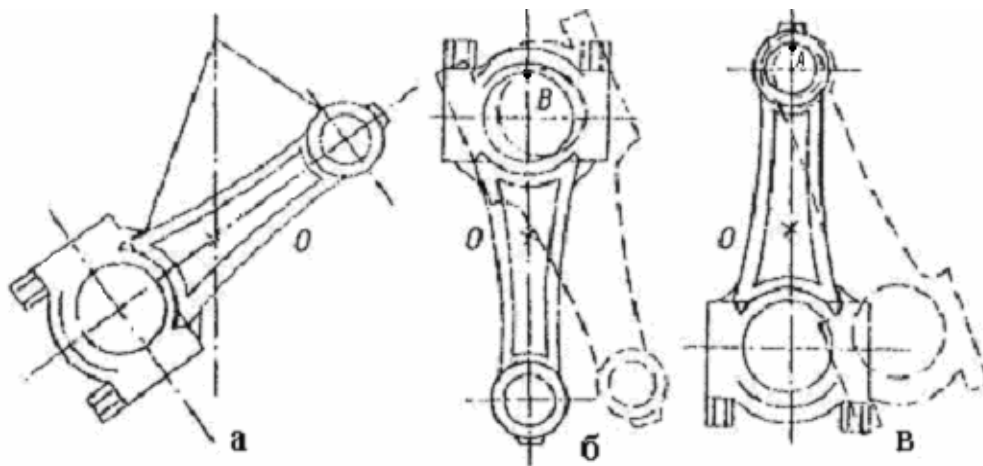


Рис. 1

3. Подвесить шатун так, как показано на рис. 1 б (ось вращения шатуна проходит через точку В) и, определив время десяти колебаний, найти период колебания шатуна T_B относительно оси, проходящей через точку В (шатун отклоняется от положения равновесия на $3-5^\circ$) $\left(T_B = \frac{t}{10} \right)$.

4. Измерить масштабной линейкой расстояние $r_{BO} = BO$.

5. Вычислить момент инерции шатуна относительно оси, проходящей через точку В

(J_B) по формуле (2).

6. Подвесить шатун так, как это показано на рис. 1 в (ось вращения шатуна проходит через точку А), и аналогично описанному выше определить период колебаний шатуна (T_A), расстояние $r_{AO} = AO$ и вычислить момент инерции шатуна относительно оси, проходящей через точку А (J_A).

7. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

	m	p	n	t	T	r	J	J_O
Относительно оси, проходящей через точку В. Относительно оси, проходящей через точку А.								

8. Вычислить J_O шатуна: $J_O = J_A - r_{AO}^2 m$; $J_O = J_B - r_{BO}^2 m$ для двух положений шатуна и его среднее значение.

Найти абсолютную и относительную погрешности вычислений момента инерции шатуна J_O относительно оси, проходящей через центр масс.

2.2 Лабораторная работа № 2.5 (4 часа).

Тема: «Определение зависимости КПД цикла Карно от температуры нагревателя и охладителя»

2.2.1 Цель работы: Выяснить с помощью компьютерной модели зависимость КПД цикла от температуры термостатов

2.2.2 Задачи работы:

1. Пронаблюдайте экспериментальные графики изотермического и адиабатного процессов при различных температурах

2. Ознакомьтесь с описанием компьютерной модели «Цикл Карно»

3. Рассчитать приращение энтропии

2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:



компьютер

2.2.4 Описание (ход) работы:

Задание 1. Изотерма и адиабата.

1. Ознакомьтесь с описанием компьютерной модели «Изотерма и адиабата».
2. Пронаблюдайте экспериментальные графики изотермического и адиабатного процессов при различных температурах.

Задание 2. Определение зависимости КПД цикла Карно от температур нагревателя и охладителя.

1. Запустите программу «Молекулярная физика».
2. Ознакомьтесь с описанием компьютерной модели «Цикл Карно».
3. Нажмите кнопку ПУСК. Определите по строке параметров температуру нагревателя T_1 .
4. Установите температуру $T_1=380\text{К}$. Для этого нажмите кнопку «ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР» «», затем «». Если исходная температура ниже

380K, то перейдите с помощью клавиш клавиатуры к выше лежащей изотерме. Подтвердите свой выбор нажатием клавиши ENTER.

5. Аналогично установите температуру $T_2 = 220\text{K}$.

6. Нажмите кнопку «**Пуск**». Зарисуйте цикл Карно в координатах $p - V$. Дождитесь пока модель завершит цикл и зарисуйте его в осях $S - T$, где S – энтропия.
7. Занесите в таблицу значение работы A , совершенной за цикл, количества теплоты Q_1 , полученного от нагревателя и КПД машины. (Рис. 1)

$T_1 = 340^\circ$	$U_1 = 15$
$T_2 = 220^\circ$	$U_2 = 23$
$A=16 \quad Q=47 \quad \eta=0.35$	

Рис. 1

8. Вычислите приращение энтропии ΔS , полученное при изотермическом расширении по формуле $\Delta S = \frac{Q_1}{T_1}$.
9. Установите температуру $T_2 = 200\text{K}$, а затем 180K и выполните пункты № 6, №7 и № 8.
10. Сделайте вывод о зависимости КПД тепловой машины и приращения энтропии от температур нагревателя и холодильника.
11. Завершите работу программы.

$T_1 - T_2$ (K)	A , (Дж)	Q_1 , (Дж)	η (%)	ΔS , (Дж/К)

2.3 Лабораторная работа № 3.1 (2 часа).

Тема: «Движение заряженной частицы в электрическом поле»

2.3.1 Цель работы: Определение удельного заряда электрона

2.3.2 Задачи работы:

1. Знакомство с моделью процесса движения заряда в однородном электрическом поле.
2. Определение удельного заряда электрона.

2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

компьютер

2.3.4 Описание (ход) работы:

1. Выберите раздел «Электричество». Нажмите кнопку с названием данной работы.
2. Нажмите «мышью» кнопку «Выбор». Подведите курсор «мыши» к вектору E и установите напряженность $E \geq 2 \text{ кВ/м}$.
3. Аналогичным способом установите $v_{ox} = 5 \cdot 10^6 \text{ м/с}$, $v_{oy} = 0 \text{ м/с}$. Нажав «Старт», наблюдайте движение частицы. Изменяя V_{ox} , подберите минимальное значение, при котором частица вылетает из конденсатора. Запишите значение длины пластины конденсатора $L(x)$.
4. Зарисуйте движение частицы и укажите вектор начальной скорости и ускорение движения частицы.
5. Верните модель в исходные начальные условия (E, v_{ox}, v_{oy}).

6. Нажмите «Старт» и проследите, чтобы электрон не вылетел из конденсатора. Если электрон «приземлился» на одной из пластин, то запишите в таблицу значения скорости V_{ox}, V_y и времени полета электрона t , полученные в ходе эксперимента. Если электрон вылетел из конденсатора, то измените величину начальной скорости, уменьшите или увеличьте напряженность поля и повторите опыт.
7. Используя формулу (4) рассчитайте ускорение электрона.
8. Вычислите величину удельного заряда $\frac{q}{m}$, выразив ее из формулы (2).
9. Повторите пункты 6 ÷ 8 не менее пяти раз, изменяя каждый раз значение скорости V_{ox} . Данные занесите в таблицу 1.
10. Вычислите среднее арифметическое значение величины удельного заряда и сравните с табличным значением удельного заряда электрона ($q = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг), рассчитайте ϵ_1 .
11. Постройте график зависимости составляющей скорости V_y на вылете из конденсатора от обратной начальной скорости ($V_y = f(1/V_{ox})$).
12. Определите по наклону графика экспериментальное значение удельного заряда частицы, используя формулу:

$$\frac{q}{m} = \frac{1}{EL} \cdot \frac{\Delta(v_y)}{\Delta(1/V_{ox})}$$

13. Определите относительную погрешность результатов измерения ϵ_2 .

$$\epsilon = \frac{|N_{\text{тбл}} - N_{\text{эксп}}|}{N_{\text{тбл}}} \cdot 100\%$$

14. Сформулируйте вывод по работе.

Таблица 1

№	$V_{ox}, (м/с)$	$E, (В/м)$	$V_y, (м/с)$	$t, (с)$	$a, (м/с^2)$	$\frac{q}{m},$ (Кл/кг)	$\frac{q}{m}$ ср., (Кл/кг) I	$\frac{q}{m},$ (Кл/кг) II	ϵ_1 (%)	ϵ_2 (%)
1										
2										
3										
4										
5										

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

3.1 Практическое занятие №1 (2 часа).

Тема: «Тепловое излучение»

3.1.1 Задание для работы:

1 Законы теплового излучения. Законы Вина и Стефана-Больцмана.

2 Квантовая гипотеза Планка.

3 Оптическая пирометрия.

Основные законы и формулы

Закон Стефана – Больцмана	$R_0 = \sigma T^4$
Закон Вина	$\lambda_m \frac{C'}{T}$
Энергия кванта (закон Планка)	$\varepsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$
Формула Эйнштейна для фотоэффекта	$\varepsilon = A + \frac{mv^2}{2}$
Красная граница (порог) фотоэффекта	$\nu_{cp} = \frac{A}{h} ; \quad \lambda_{cp} = \frac{hc}{A}$
Закон взаимосвязи массы и энергии	$E = mc^2$
Энергетическая освещенность, облученность	$E_e = \frac{E}{St}$
Давление света	$p = \frac{E}{cSt} (1 + \rho)$
Наименование	Формула

Примеры решения задач

Пример 1. Максимум энергии излучения черного тела при некоторой температуре приходится на длину волны $\lambda_m = 1$ мкм. Вычислить излучательность тела при этой температуре и энергию W , излучаемую с площади $S = 300$ см² поверхности тела за время $t = 1$ мин. Определить также массу, соответствующую этой энергии.

Решение. Излучательность черного тела определим из закона Стефана–Больцмана:

$$R_0 = \sigma T^4, \quad (1)$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана; T – термодинамическая температура тела. Из закона смещения Вина:

$$\lambda_m = \frac{b}{T}. \quad (2)$$

Определим термодинамическую температуру:

$$T = \frac{b}{\lambda_m},$$

где λ_m – длина волны, на которую приходится максимум излучения при температуре T ; b – постоянная Вина.

Подставив выражение для T из (2) в (1), получим:

$$R_0 = \sigma \left(\frac{b}{\lambda_m} \right)^4 \quad (3)$$

Энергию, излучаемую с площади S поверхности тела за время t , определим по формуле:

$$W = R_0 S t \quad (4)$$

По закону Эйнштейна взаимосвязи энергии и массы:

$$W = mc^2,$$

где c – скорость света в вакууме; W – энергия. Найдём массу, соответствующую энергии излучения:

$$m = \frac{W}{c^2} \quad (5)$$

Проверим формулу (3):

$$\frac{Вт}{м^2} = \frac{Вт}{(м^2 \cdot К^4) \left(\frac{м \cdot К}{м} \right)^4} = \frac{Вт}{м^2}$$

Выпишем значения величин, входящих в формулы (3), (4), (5), в СИ:

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} Вт/(м^2 \cdot К^4), C' = 2,89 \cdot 10^{-3} м \cdot К, \lambda_m = 10^{-6} м, S = 3 \cdot 10^{-2} м^2, \\ t = 60 с, c = 3 \cdot 10^8 м/с.$$

Подставим числовые значения величин в формулы (3), (4), (5) и вычислим:

$$R_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \left(\frac{2,89 \cdot 10^{-3}}{10^{-6}} \right)^4 Вт / м^2 = 3,95 \cdot 10^6 Вт / м^2 = 3,95 МВт / м^2,$$

$$W = 3,95 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 10^{-2} 60 Дж = 7,10 \cdot 10^6 Дж = 7,10 МДж,$$

$$m = \frac{7 \cdot 10 \cdot 10^6}{(3 \cdot 10^8)^2} кг = 7,88 \cdot 10^{-11} кг = 7,88 \cdot 10^{-5} мг.$$

Ответ: $R_0 = 3,95 МВт/м^2$, $W = 7,10 МДж$, $m = 7,88 \cdot 10^{-5} кг$.

Пример 2. На поверхность площадью $S = 3 см^2$ за время $t = 10$ мин падает свет, энергия которого $W = 20$ Дж. Определить: 1) облученность (энергетическую освещенность) поверхности, 2) световое давление на поверхности, если она или полностью поглощает лучи, или полностью отражает.

Решение: 1) Облученность определим по формуле:

$$E_e = \frac{W}{St}.$$

Выпишем значения величин, входящих в эту формулу, в СИ:

$$S = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, t = 600 \text{ с}.$$

Подставим числовые значения величин в расчетную формулу и вычислим:

$$E_e = \frac{20}{3 \cdot 10^{-4} \cdot 600 \text{ м}^2 \cdot \text{с}} \frac{\text{Дж}}{\text{м}} = 111 \text{ Вт / м}.$$

2) Световое давление определим по формуле:

$$p = \frac{E_e (1 + \rho)}{c}, \text{ или } p = \omega (1 + \rho),$$

где $\omega = \frac{E_e}{c}$ – объемная плотность энергии излучения; c – скорость света в вакууме; ρ – коэффициент отражения.

Если поверхность полностью отражает лучи, то $\rho=1$ и тогда

$$p = 2 \cdot 0,370 \text{ мкПа} = 0,740 \text{ мкПа}.$$

Ответ: $E_e = 111 \text{ Вт/м}^2$, $p = 0,370 \text{ мкПа}$ ($\rho = 0$), $p = 0,740 \text{ мкПа}$ ($\rho = 1$).