

Министерство здравоохранения Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Ижевская государственная медицинская академия»
кафедра медбиофизики, информатики и экономики

**ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ
СТУДЕНТОВ НА ЛЕКЦИЯХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ
ПО БИОФИЗИКЕ**

**Учебно-методическое пособие
для студентов дневного отделения лечебного и
педиатрического факультетов**

Ижевск

ИГМА

2017

УДК 378.147 : 577.3 (075.8)
ББК 74.264я73
С 646

Авторы: Т.А. Снигирева, Т.Г. Станкевич, Е.В. Ворсина, А.Г. Дерябина, М.С. Рябчикова, Л.В. Баранова

Рецензенты: доктор медицинских наук, профессор **В.Н. Марков** (Ижевская государственная медицинская академия); кандидат педагогических наук, доцент **А.В. Палеха** (Ижевская государственная медицинская академия)

*Рекомендовано центральным координационным методическим советом
ФГБОУ ВО «Ижевская государственная медицинская академия»*

С 646

Организация самостоятельной работы студентов на лекциях и практических занятиях по биофизике: учебно-метод. пособие / Т.А. Снигирева [и др.]. – Ижевск: ФГБОУ ВО ИГМА, 2017. – 40 с.

В работе представлены разработанные преподавателями кафедры развернутые планы практических занятий по всем темам курса «Биофизика», включающие в себя перечень основных вопросов темы, список литературы, типовые задачи, а также таблицы, схемы, модели, которые могут быть использованы и как раздаточный материал на лекциях, и как материал для самостоятельной работы студентов. Данное пособие должно способствовать, с одной стороны, более эффективному использованию лекционного времени преподавателем, а с другой – акцентировать внимание студентов на основных вопросах, облегчая понимание материала, включенного в образовательный стандарт дисциплины.

Адресовано студентам дневного отделения лечебного и педиатрического факультетов.

УДК 378.147 : 577.3 (075.8)
ББК 74.264я73

© ФГБОУ ВО «Ижевская государственная
медицинская академия», 2017

© Снигирева Т.А. [и др.], 2017

Введение

При переходе на федеральные государственные стандарты (ФГОС) третьего поколения возникает необходимость корректировки учебных программ и разработки соответствующего им методического обеспечения. Образовательный процесс, осуществляемый согласно требованиям ФГОС, предполагает для самостоятельной работы студентов выделить до 40% от общего числа часов, отведенных на изучение дисциплины. При этом ставится задача сохранения и даже повышения уровня освоения учебного материала.

Цель разработки данного пособия – создание методического сопровождения для изучения дисциплины «Медбиофизика» студентами медицинского вуза.

По каждой теме курса учебно-методическое пособие предлагает:

- план практического занятия;
- литературу;
- типовые задачи, а также контрольные вопросы и задания для самостоятельной работы студентов;
- темы реферативных выступлений;
- дополнительные материалы к лекциям в виде таблиц.

Табличное представление материала является удобным способом для проведения сопоставлений, сравнений, классификаций и описания некоторых математических понятий, физических явлений, процессов и методов. Использование такого материала в рамках лекции служит как наглядным примером структурирования изучаемой информации, так и дает возможности лектору сориентировать студентов в предстоящей им самостоятельной работе по подготовке к практическому занятию.

Оглавление

Введение	3
БИОФИЗИКА.....	5
Механические свойства и модели биологических тканей.....	5
Физические свойства жидкостей Часть 1.....	9
Физические свойства жидкостей Часть 2.....	10
Гемодинамика Часть 1.....	12
Гемодинамика Часть 2.....	13
Физические процессы в биологических мембранах.....	15
Биофизические основы применения теплового излучения в медицине. Часть 1.....	18
Биофизические основы применения теплового излучения в медицине. Часть 2.....	18
Биофизические основы применения рентгеновского излучения в меди- цине.....	21
Биофизические основы использования радиоактивного излучения в ме- дицине. Часть 1.....	24
Биофизические основы использования радиоактивного излучения в ме- дицине. Часть 2.....	25
Биофизические основы воздействия ионизирующих излучений на орга- низм.....	29
Физические основы звуковых методов исследования в медицине.....	33
Литература.....	38

БИОФИЗИКА

Механические свойства и модели биологических тканей

План практического занятия

1. Сравнительные характеристики агрегатных состояний вещества.
2. Действие внешних сил на твердые тела. Деформация. Упругая и неупругая деформации. Виды деформаций (продольная, сдвиг, изгиб, кручение).
3. Механические свойства твердых тел. Закон Гука.
4. Диаграмма деформации твердого тела.
5. Идеальные механические модели (упругая, вязкая). Графики зависимости относительного удлинения от времени.
6. Механические модели биологических тканей (модель Максвелла, модель Кельвина-Фойхта, модель Зинера). Графики зависимости относительного удлинения от времени.
7. Механические свойства биологических тканей.

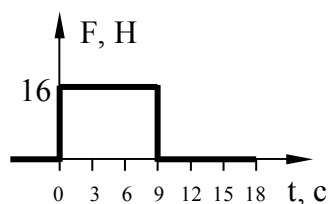
Литература

1. Лекция «Механические свойства и модели биологических тканей».
2. Снигирева Т.А. и [др.] Учебный тезаурус курса медицинской и биологической физики: учеб. пособ. – Ижевск: Экспертиза, 2012. – 70 с.
3. Федорова, В.Н. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами: учеб. пособие / В.Н. Федорова, Е.В. Фаустов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 592 с. Лекция 6 С. 121-148.
4. Ремизов, А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник / А.Н. Ремизов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – 648 с. §§ 10.1 – 10.4.

Типовые задачи

1. Какую силу надо приложить к стальной проволоке длиной 2 м для ее растяжения на 1 мм? Площадь сечения проволоки 0,5 мм². Модуль Юнга стали $2 \cdot 10^{11}$ Н/м².
2. Определите абсолютное удлинение сухожилия длиной 4 мм и площадью сечения 10^{-6} м² под действием силы 320 Н. Модуль упругости сухожилия принять равным 10^9 Па. Считать сухожилие абсолютно упругим телом.

3. К вязкому элементу $S = 2 \text{ м}^2$, $\eta = 4 \text{ Па}\cdot\text{с}$ прикладывается сила F , график изменения которой представлен на рисунке. Определите относительную деформацию ε в моменты времени. Постройте график $\varepsilon(t)$.



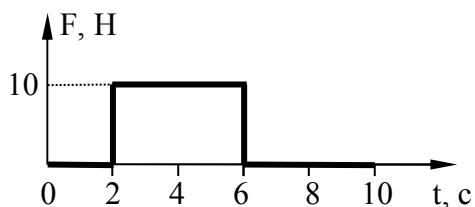
а) $t = 0 \text{ с}$,

б) $t = 3 \text{ с}$,

в) $t = 9 \text{ с}$,

г) $t = 15 \text{ с}$.

4. К упругому элементу $S = 2 \text{ м}^2$, $E = 4 \text{ Н/м}^2$ прикладывается сила F , график изменения которой представлен на рисунке. Определите относительную деформацию ε в моменты времени. Постройте график $\varepsilon(t)$.



а) $t = 0 \text{ с}$,

б) $t = 2 \text{ с}$,

в) $t = 6 \text{ с}$,

г) $t = 10 \text{ с}$.

Таблица 1. Сравнительные характеристики агрегатных состояний вещества

Сравнительные характеристики	Агрегатные состояния			
	газообразное	жидкое	твердое	
			аморфное	кристаллическое
Соотношение между размером молекулы d и расстоянием между ними l	$d \ll l$	$d \approx l$	$d \geq l$	
Силы взаимодействия между молекулами	F_z	$F_{ж}$	F_{mm}	
Соотношение между кинетической энергией E_k (энергией движения) и потенциальной энергией E_n (энергией взаимодействия) молекул	$E_k > E_n$	$E_k \approx E_n$	$E_k < E_n$	
Характер движения молекул вещества	хаотичное движение (свободный пробег до столкновения)	колебания около временных положений равновесия и перескакивание на новые	колебания около постоянных положений равновесия	

продолжение табл. 1

Порядок в расположении молекул	нет порядка	ближний	ближний	дальний
Плотность	$\rho_{\text{г}}$	$<$	$\rho_{\text{ж}}$	$<$ $\rho_{\text{тл}}$
Постоянство формы	нет	нет	есть	
Постоянство объема	нет (занимает весь предоставленный объем)	есть (малосжимаема)	есть	
При увеличении t°	<u>испарение</u> ←		← <u>плавление</u>	
При уменьшении t°	<u>конденсация</u> →		<u>кристаллизация</u> →	
Явление, возникающее под дейсвием внешних сил	деформация (текучесть)	деформация (текучесть)	деформация	

Таблица 2. Классификация деформации по направлению приложения внешней силы

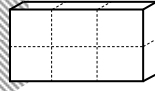
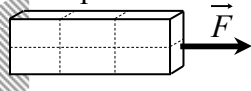
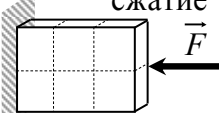
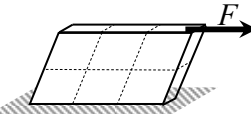
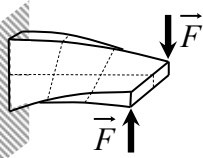
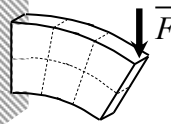
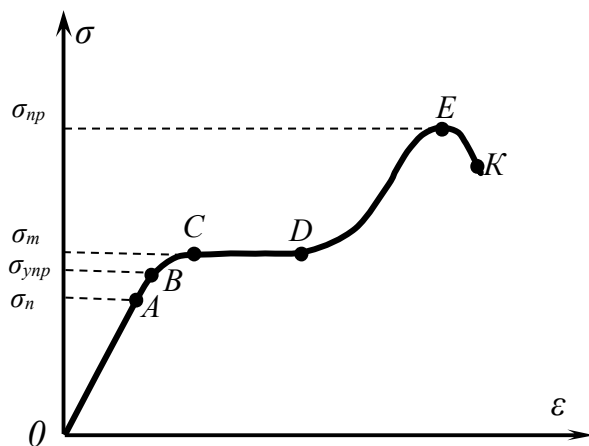
Вид деформации	Направление приложения внешней силы	Результат деформации	Пример деформации в организме человека
	тело до деформации 		
продольная	растяжение 	изменение начальной длины и площади поперечного сечения тела	верхние конечности, связки, сухожилия и мышцы
	сжатие 		позвоночник, нижние конечности под действием силы тяжести
сдвиг		смещение слоев тела относительно друг друга	кровь при течении в сосудах, возникновение резаной раны на коже
кручение		отдельные слои тела остаются параллельными, но смещаются относительно друг друга на некоторый угол	шейный отдел позвоночника при повороте головы
изгиб		растяжение одной стороны тела и сжатие другой	позвоночник при наклонах корпуса, деформация стопы при ходьбе

Диаграмма деформации твердого тела

Результаты экспериментов по растяжению твердого тела изображаются в виде зависимости $\sigma(\epsilon)$ – *диаграммы деформации* твердого тела.



Диаграмму можно разбить на несколько участков:

OB – участок упругой деформации, который состоит из участков **OA** и **AB**. **OA** – участок упругой деформации с прямо пропорциональной зависимостью между σ и ϵ . На этом участке выполняется закон Гука.

Предел пропорциональности (σ_n) – максимальное механическое напряжение, при котором еще выполняется закон Гука.

AB – участок упругой деформации с нелинейной зависимостью $\sigma(\epsilon)$.

Предел упругости ($\sigma_{уп}$) – максимальное механическое напряжение, при котором деформация еще сохраняет упругий характер.

BCDEK – участок неупругой деформации, который включает:

BC – участок упруго-пластической деформации.

CD – участок **текучести** материала. Текучесть – явление удлинения тела при неизменной силе.

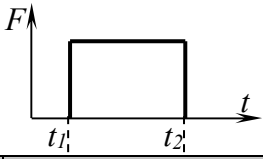
Предел текучести (σ_m) – механическое напряжение, при достижении которого тело изменяет свои размеры при неизменной внешней силе.

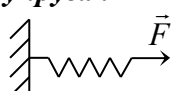
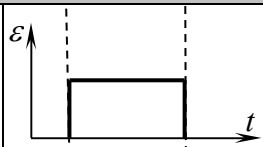
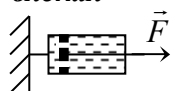
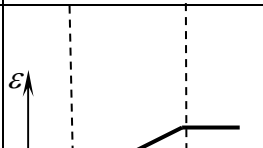
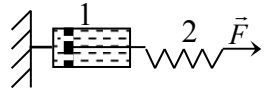
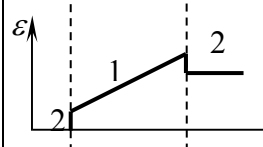
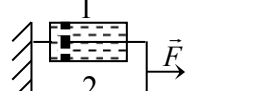
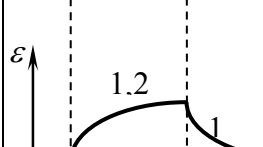
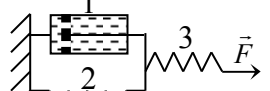
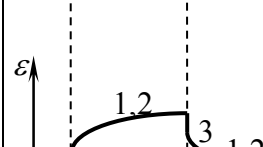
DE – участок достижения предела прочности материала

Предел прочности ($\sigma_{пр}$) – максимальное механическое напряжение, которое выдерживает образец без разрушения.

EK – участок разрушения тела.

Таблица 3. Механические модели биологических тканей и их деформация под действием постоянной внешней силы



Название и схема	График	Законы	Биологическая ткань
идеальные модели			
упругая 		закон Гука $\varepsilon = \frac{F}{SE}$	
вязкая 		следствие закона Ньютона для вязкой жидкости $\varepsilon = \frac{F}{S\eta}t,$ где η – вязкость жидкости	
модели биологических тканей			
упруго-вязкая (Максвелла) 		$\varepsilon = \frac{F}{SE} + \frac{F}{S\eta}t$	гладкие мышцы (мочевой пузырь, желудок)
вязко-упругая (Кельвина-Фойхта) 		$\varepsilon = \frac{F}{SE} \left(1 - e^{-\frac{E \cdot t}{\eta}} \right)$	скелетные мышцы
комбинированная (Зинера) 		$\varepsilon = \frac{F}{SE_3} + \frac{F}{SE_2} \left(1 - e^{-\frac{E_2 \cdot t}{\eta}} \right)$	костная ткань

Физические свойства жидкостей Часть 1

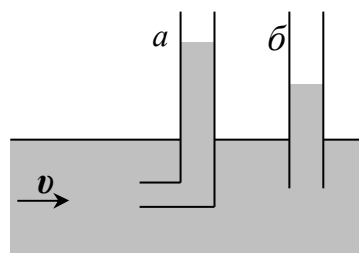
План практического занятия

1. Физические явления на границах агрегатных состояний
 - 1) поверхностное натяжение;
 - 2) смачивание и несмачивание;
 - 3) капиллярные явления;

- 4) газовая эмболия;
2. Закономерности течения идеальной жидкости
 - 1) уравнение неразрывности струи;
 - 2) уравнение Бернулли.

Типовые задачи

1. Наблюдая под микроскопом движение эритроцитов в капилляре, можно измерить скорость течения крови ($v_{\text{кап}} = 0,5 \text{ мм/с}$). Средняя скорость тока крови в аорте $v_a = 40 \text{ см/с}$. На основании этих данных определите, во сколько раз сумма поперечных сечений всех функционирующих капилляров больше сечения аорты.
2. Трубка Пито (а) позволяет по высоте столба жидкости измерять полное давление p . Статическое давление p_1 в движущейся жидкости измеряется трубкой, нижнее сечение которой параллельно линиям тока (б). Вычислите скорость течения керосина, если известно, что $p = 13,3 \text{ кПа}$, $p_1 = 2,66 \text{ кПа}$, $\rho_{\text{керосин}} = 800 \text{ кг/м}^3$.



Тема реферативного выступления

Газовая эмболия

Физические свойства жидкостей Часть 2

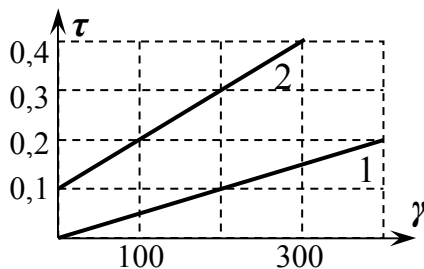
План практического занятия

1. Реология. Биореология.
2. Основные понятия (внутреннее трение, напряжение сдвига, градиент скорости, уравнение течения, кривая течения).
3. Ньютоновские жидкости;
4. Неньютоновские жидкости;
5. Реологические свойства крови.

Типовые задачи

1. Определите высоту подъема воды в капилляре, внутренний радиус которого $0,01 \text{ см}$. Плотность воды 1000 кг/м^3 , коэффициент поверхностного натяжения $0,072 \text{ Н/м}$, смачивание идеальное ($\theta = 0$).

2. Запишите уравнения течения жидкостей, кривые течения которых представлены на рисунке.



Тема реферативного выступления

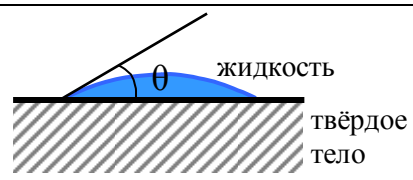
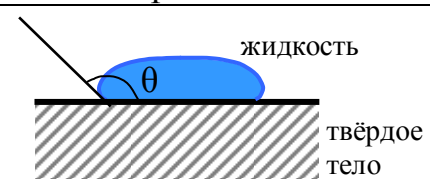
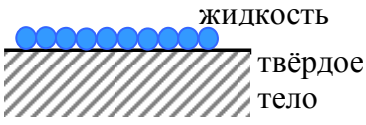
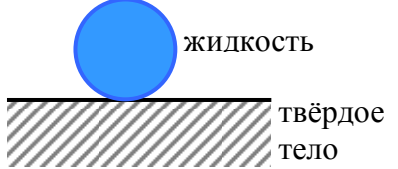
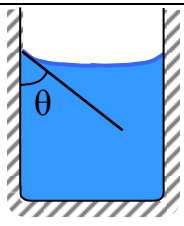
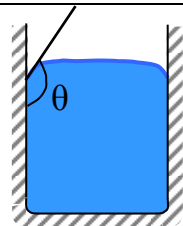
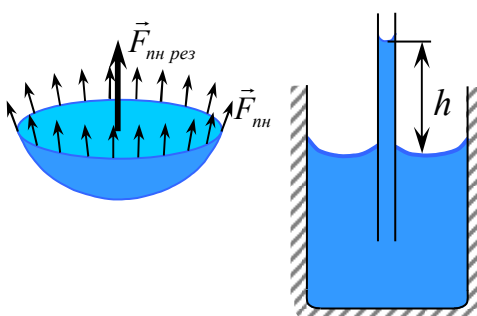
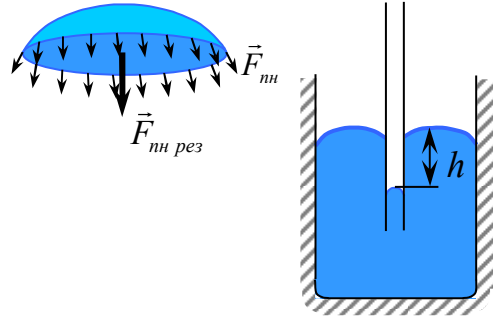
Измерение вязкости крови в медицинской диагностике

Литература

1. Лекция «Физические свойства жидкостей».
2. Камашев Г.Я. и [и др.] Лабораторные работы по физике: учеб.-метод. пособ. – Ижевск: Экспертиза, 2012. – 68 с. Лабораторная работа № 3 «Исследование реологических свойств жидкостей» (теоретическая часть).
3. Снигирева Т.А. и [др.] Учебный тезаурус курса медицинской и биологической физики: учеб. пособ. – Ижевск: Экспертиза, 2012. – 70 с.
4. Ремизов, А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник / А.Н. Ремизов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – 648 с. §§ 9.1, 9.7, 9.8
5. Физика и биофизика: учебник / под ред. В.Ф. Антонова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 480 с. §§ 21.1.
6. Федорова, В.Н. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами: учеб. пособие / В.Н. Федорова, Е.В. Фаустов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 592 с. Лекция 7, 8 С. 152, 163-168.

Таблица 4. **Явления на границе жидкости и твёрдого тела**

Соотношение между $F_{ж,ж}$ и $F_{ж,тв.т}$	$F_{ж,ж} < F_{ж,тв.т}$	$F_{ж,ж} > F_{ж,тв.т}$
	жидкость твёрдое тело	жидкость твёрдое тело
Название явления	<i>смачивание</i>	<i>несмачивание</i>

Вид капли жидкости на поверхности твёрдого тела		
Значения краевого угла	$0 \leq \theta < \frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2} < \theta \leq \pi$
Предельные случаи	$\theta = 0$ – идеальное смачивание 	$\theta = \pi$ – идеальное несмачивание 
Вид поверхности жидкости у стенок сосуда		
Капиллярные явления		

Гемодинамика Часть 1

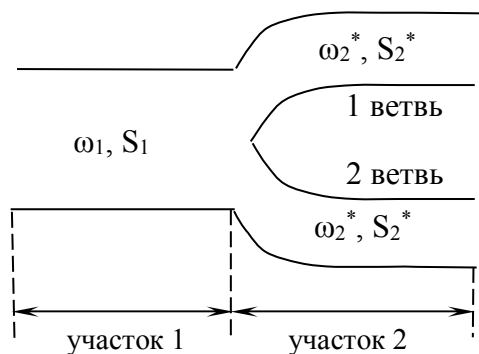
План практического занятия

1. Ламинарное и турбулентное течение вязкой жидкости по трубам. Число Рейнольдса.
2. Профиль скоростей течения жидкости по сечению трубы. Формула Пуазейля.
3. Закон Гагена-Пуазейля.
4. Изменение давления при течении вязкой жидкости по трубам постоянного и переменного сечения.
5. Аналогия между течением жидкости и электрическим током. Гидравлическое сопротивление.
6. Гидравлическое сопротивление последовательно и параллельно соединенных труб.

7. Гидродинамика течения крови. Изменение скорости и среднего давления крови вдоль кровеносных сосудов.

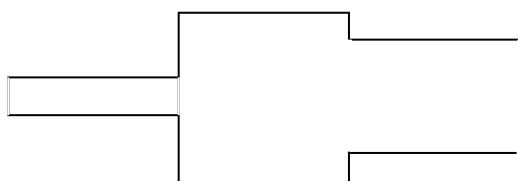
Типовые задачи

1. Труба, по которой течет вязкая жидкость, состоит из двух участков (см. рисунок).



Участок 1 имеет площадь поперечного сечения $S_1 = 10$ кв.ед. и гидравлическое сопротивление $\omega_1 = 20$ ед. Участок 2 состоит из двух одинаковых ветвей, площади поперечного сечения которых $S_2^* = 20$ кв.ед. Найдите:

- гидравлическое сопротивление каждой из ветвей участка 2 – ω_2^* ,
 - общее гидравлическое сопротивление участка 2 – ω_2 ,
 - общее гидравлическое сопротивление всей трубы – $\omega_{1,2\text{экв}}$.
2. Чему равно гидравлическое сопротивление трубы, если объёмная скорость $2 \text{ м}^3/\text{с}$, а разность давлений в начале и в конце трубы 50 Па ?
3. Труба, по которой течет вязкая несжимаемая жидкость, состоит из трёх участков одинаковой длины (см. рис.). Постройте график изменения давления жидкости вдоль трубы.



Тема реферативного выступления

Физические основы клинического метода измерения давления крови.

Гемодинамика Часть 2

План практического занятия

1. Механическая модель участка сердечно-сосудистой системы.
2. Электрическая модель участка сердечно-сосудистой системы.
3. Пульсовая волна. Уравнение пульсовой волны. Анализ уравнения (графики зависимости $p(x)$ и $p(t)$).
4. Работа и мощность сердца.

Типовые задачи

1. Вычислите работу левого и правого желудочка, если работа сердца равна 1,2 Дж.
2. Вычислите мощность сердца за 2 минуты, если работа сердца равна 360 Дж.

Литература

1. Лекция «Гемодинамика».
2. Снигирева Т.А. и [др.] Учебный тезаурус курса медицинской и биологической физики: учеб. пособ. – Ижевск: Экспертиза, 2012. – 70 с.
3. Федорова, В.Н. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами: учеб. пособие / В.Н. Федорова, Е.В. Фаустов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 592 с. Лекция 8, 9 С. 168-176, 190-203.
4. Физика и биофизика: учебник / под ред. В.Ф. Антонова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 480 с. §§ 21.2. 21.3.
5. Ремизов, А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник / А.Н. Ремизов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – 648 с. §§ 11.1-11.5.

Таблица 5. Аналогия между течением жидкости и электрическим током

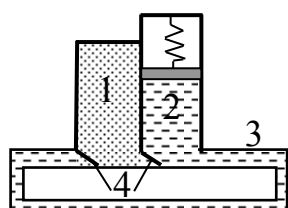
	движение зарядов – электрический ток	движение (течение) жидкости
основной закон	закон Ома $I = \frac{U}{R}$	закон Гагена – Пуазейля $Q = \frac{\Delta p}{\omega}$
причины появления движения	на концах проводника есть разность потенциалов – напряжение $U = \varphi_1 - \varphi_2$	на концах трубы есть разность давлений $\Delta p = p_1 - p_2$
величина, характеризующая скорость процес- са	сила тока $I = \frac{q}{t}$	объёмная скорость $Q = \frac{V}{t}$
величина, характеризующая потери энергии	электрическое сопротивление где ρ – удельное сопротивление $R = \rho \frac{l}{S}$	гидравлическое сопротивление $\omega = \frac{8\eta l}{\pi R^4}$

Таблица 6. Сопоставление участка ССС с соответствующим элементом модели

участок ССС	функция	элемент механической модели	элемент электрической модели
левый желудочек сердца	поддержание движения крови в ССС	насос	источник периодической ЭДС
клапаны сердца	обеспечение движения крови по ССС в одном направлении	клапаны	диод
эластичные сосуды	запасание крови в момент систолы и проталкивание её в момент диастолы для непрерывного тока	камера с поршнем на пружине	конденсатор
неэластичные сосуды	преобразование одного вида энергии в другой	недеформируемая, жёсткая труба	резистор

Модели сердечно-сосудистой системы

Механическая модель



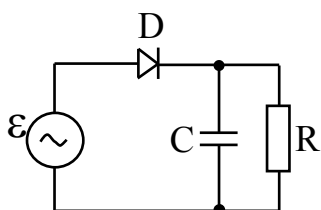
1 – насос (действующий периодически)

2 – камера с поршнем на пружине

3 – недеформируемая, жёсткая труба

4 – клапаны

Электрическая модель



ε – источник периодической ЭДС

C – конденсатор

R – резистор

D – диод

Физические процессы в биологических мембранах

План практического занятия

1. Биологические мембраны. Современные представления о строении и функциях биологических мембран.
2. Классификация видов транспорта веществ через мембрану.
3. Виды пассивного транспорта: простая диффузия, диффузия через поры и диффузия с помощью молекул-переносчиков.
4. Явления переноса. Уравнение диффузии. Уравнение электропроводности.
5. Уравнение пассивного транспорта молекул (незаряженных частиц) через мембрану. Проницаемость мембраны. Особенности применения уравнения для диффузии через поры и диффузии с помощью молекул-переносчиков.
6. Уравнение пассивного транспорта ионов (заряженных частиц) через биологическую мембрану. Электродиффузионное уравнение Нернста-Планка. Составление и анализ решения.
7. Характеристика состояния системы с помощью понятия градиента. Активный транспорт. K^+ - Na^+ – насос.
8. Мембранный потенциал. Природа мембранного потенциала.
9. Потенциал покоя. Теория стационарного мембранного потенциала. Уравнение Гольдмана-Ходжкина-Катца.
10. Потенциал действия. Определение. Фазы. Распространение потенциала действия по возбудимой клетке в форме автоволны.

Тема реферативного выступления

Современные представления о строении и функциях клеточной мембраны

Литература

1. Лекция «Физические процессы в биологических мембранах».
2. Федорова, В.Н. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами: учеб. пособие / В.Н. Федорова, Е.В. Фаустов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 592 с. Лекция 11, 12. С. 225-251.
3. Ремизов, А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник / А.Н. Ремизов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – 648 с. §§ 13.1 – 13.8.

4. Учебный тезаурус курса медицинской и биологической физики: учеб. пособ. Часть II / Е.В. Ворсина [и др.]. – Ижевск, 2016. – 102 с.

Типовые задачи

1. Определите плотность потока незаряженных частиц через биомембрану, если коэффициент диффузии $10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$, а градиент концентрации $3 \cdot 10^{10} \text{ моль}/\text{м}^4$.
2. Найдите коэффициент проницаемости плазматической мембраны *Mycoplasma* для формамида, если при разнице концентраций этого вещества внутри и снаружи мембраны, равной $0,5 \cdot 10^{-4} \text{ моль}/\text{л}$, плотность потока его через мембрану равна $8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{моль} \cdot \text{см}}{\text{л} \cdot \text{с}}$
3. Определите равновесный мембранный потенциал, создаваемый на бислойной липидной мембране ионами калия при температуре 20°C , если концентрация калия с одной стороны мембраны равна $10^{-3} \text{ моль}/\text{л}$, а с другой $10^{-5} \text{ моль}/\text{л}$.

Таблица 7. Виды явлений переноса

Явление	Название (примеры)	Неоднородность	Градиент	Плотность потока	Уравнение
Перенос массы m	диффузия (распространение запахов, растворение веществ)	концентрации	$\text{grad}C = \frac{dC}{dx}$	$J_m = \frac{m}{t \cdot S}$, где J_m – плотность потока массы; $[J_m] = \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$	диффузии (уравнение Фика) $J_m = -D \frac{dC}{dx}$, где D – постоянная диффузии (Фика)
Перенос заряда q	электропроводность (электрический ток)	электрического потенциала	$\text{grad}\varphi = \frac{d\varphi}{dx}$	$J_q = \frac{q}{t \cdot S}$, где J_q – плотность потока заряда; $[J_q] = \frac{\text{Кл}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$	электропроводности $J_q = -\sigma \frac{d\varphi}{dx}$, где σ – удельная электропроводность
Перенос энергии W	теплопроводность (нагревание и охлаждение)	температуры	$\text{grad}T = \frac{dT}{dx}$	$J_w = \frac{W}{t \cdot S}$, где J_w – плотность потока энергии;	теплопроводности $J_w = -k \frac{dT}{dx}$, где k – коэффициент теплопроводности

				$[J_w] = \frac{Дж}{с \cdot м^2}$	
Перенос им- пульса p	вязкость (внутреннее трение) (перемещение одного слоя относительно другого при перемешива- нии жидкости или газа)	скорости	$grad v = \frac{dv}{dx}$	$J_p = \frac{p}{t \cdot S}$, где J_p – плот- ность потока импульса; $[J_p] = \frac{кг \cdot м / с}{с \cdot м^2}$	вязкости (внутренне- го трения) $J_p = -\eta \frac{dv}{dx}$, где η – коэффициент вязкости

Биофизические основы применения теплового излучения в медицине Часть 1

План практического занятия

1. Тепловое излучение. Основные свойства теплового излучения.
2. Количественные характеристики теплового излучения.
3. Виды спектров. Спектральный анализ.
4. Абсолютно черное тело. Серые тела.
5. Закон Кирхгофа.

Темы реферативных выступлений

1. Инфракрасное излучение в медицине
2. Ультрафиолетовое излучение в медицине

Типовые задачи

1. Вычислите спектральную излучательную способность АЧТ, если спектраль-
ная излучательная способность серого тела, находящегося с ним в тепловом
равновесии, $0,42 \text{ Вт/м}^2$, а поглощательная способность $0,7$.

Биофизические основы применения теплового излучения в медицине Часть 2

План практического занятия

1. Законы теплового излучения АЧТ (закон Стефана-Больцмана, закон Вина).
2. Люминесценция. Механизм возникновения фотолюминесценции. Правило Стокса для фотолюминесценции.

Темы реферативных выступлений

1. Тепловидение. Термография
2. Люминесцентный анализ в медицине

Типовые задачи

1. В медицине для диагностики ряда заболеваний получил распространенный метод, называемый термографией. Он основан на регистрации различия теплового излучения здоровых и больных органов, обусловленного небольшим отличием их температур. Вычислите, во сколько раз отличаются термодинамические температуры и полные излучательные способности участков поверхности тела человека, имеющих температуры 30,0 и 30,5 °C соответственно.
2. Температура абсолютно черного тела изменилась с $T = 1000\text{ K}$ до $T = 250\text{ K}$. Как и во сколько раз изменится полная излучательная способность тела?
3. В результате изменения температуры серого тела максимум спектральной излучательной способности сместился с $\lambda = 2400\text{ нм}$ на $\lambda = 800\text{ нм}$. Как и во сколько раз изменится полная излучательная способность тела?

Литература

1. Лекция «Люминесценция. Тепловое излучение».
2. Физика и биофизика: учебник / под ред. В.Ф. Антонова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 480 с. §§ 9.1, 6.1, 6.2, 25.3.
3. Ремизов, А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник / А.Н. Ремизов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – 648 с. §§ 27.1 -27.3, 27.5 – 27.7.

4. Федорова, В.Н. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами: учеб. пособие / В.Н. Федорова, Е.В. Фаустов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 592 с. Лекция 26. С. 438-453. Лекция 29. С. 482-486.
5. Учебный тезаурус курса медицинской и биологической физики: учеб. пособ. Часть II / Е.В. Ворсина [и др.]. – Ижевск, 2016. – 102 с.

Таблица 8. **Использование теплового излучения в медицине**

		Инфракрасное излучение	Видимое излучение	Ультрафиолетовое излучение
условные границы диапазонов				
				
источники излучения		излучение атомов и молекул		излучение атомов
действие на организм		фотобиологические процессы		
		активация терморецепторов	активация зрительных рецепторов	фотохимические реакции на поверхности кожи
применение в медицине	диагностика	картирование тепловых полей организма – тепловидение, термография	люминесцентные методы	
	терапия	тепловое лечение – прогревание	светолечение, лазерная терапия	светолечение, УФ-терапия, синтез витамина D

Количество ультрафиолетовых лучей, достигающих земной поверхности, зависит от высоты Солнца над горизонтом. Спектр ультрафиолетовых лучей Солнца, достигающих земной поверхности, очень узок – 400...290 нм (озон поглощает ультрафиолетовые лучи короче 295 нм)

Ультрафиолетовый спектр разделяют на ультрафиолет-А (УФ-А) с длиной волны 315-400 нм, ультрафиолет-В (УФ-В) -280-315 нм и ультрафиолет-С (УФ-С) - 100-280 нм которые отличаются по проникающей способности и биологическому воздействию на организм.

Ультрафиолет активно влияет на синтез мелатонина и серотонина – гормонов, отвечающих за циркадный (суточный) биологический ритм.

Таблица 9. Зоны ультрафиолетового излучения

Название	Биологическое действие	Примечание
УФ-А антирахитная	вызывает: - образование витамина D из провитаминов, находящихся в организме; - загар; - фотоаллергические реакции	УФ-А не задерживается озоновым слоем, проходит сквозь стекло и роговой слой кожи. За счет поглощения, отражения и рассеивания при прохождении через эпидермис, в дерму проникает только 20-30% УФ-А и около 1% от общей его энергии достигает подкожной клетчатки
УФ-В эритемная	вызывает: - образование витамина D из провитаминов, находящихся в организме; - загар; - ожог глаз; - канцерогенез	Большая часть УФ-В поглощается озоновым слоем, который «прозрачен» для УФ-А. Так что доля УФ-В во всей энергии ультрафиолетового излучения в летний полдень составляет всего около 3%. Он практически не проникает сквозь стекло, на 70% отражается роговым слоем, на 20% ослабляется при прохождении через эпидермис – в дерму проникает менее 10%. Однако длительное время считалось, что доля УФ-В в повреждающем действии ультрафиолета составляет 80%, поскольку именно этот спектр отвечает за возникновение эритемы солнечного ожога
УФ-С бактерицидная	вызывает: - эритему; - канцерогенез; - мутации; используется для дезинфекции	УФ-С (200-280 нм) поглощается озоновым слоем. В случае использования искусственного источника ультрафиолета, он задерживается эпидермисом и не проникает в дерму

Таблица 10. Оптические методы исследования в медицине

Суть метода	Явление, закон, свойства лежащие в основе метода	Примечание
спектральный анализ		
совокупность методов качественного и количественного определения состава объекта, основанных на изучении спектров	тепловое излучение, закон Кирхгофа	качественный состав определяется путём сравнения спектра исследуемого вещества со спектром химических элементов. Количественное содержание элемента в данном веществе определяется по относительной или абсолютной интенсивностям линий или полос в спектрах
тепловидение		
получение видимого изображения объектов по их собственному тепловому излучению	тепловое излучение	служит для определения местоположения и формы объектов, находящихся в темноте или

ственным либо отражённо-му от них тепловому излучению.		в оптически непрозрачных средах, а также для изучения степени нагретости отдельных участков сложных поверхностей и внутренней структуры тел, прозрачных в видимом свете
термография		
диагностический метод, основанный на регистрации и измерении интенсивности теплового излучения поверхности тела человека или её отдельных участков	тепловое излучение	например, изучение кровоснабжения конечностей
люминесцентный анализ		
метод исследования различных объектов под действием УФ излучения, вызывающего люминесценцию этих объектов	люминесценция	позволяет исследовать вещество без его разрушения и при чрезвычайно малых количествах люминесцирующих примесей. В криминалистике: обнаружение невидимых следов крови; фальшивых денежных купюр; подлинность картин. В ветеринарно-санитарной экспертизе: контроль качества продуктов питания. В медицине: распознавание возбудителей инфекционных заболеваний (туберкулёз, сибирская язва, сальмонеллез и пр.); наличие подкожных кровоизлияний

Биофизические основы применения рентгеновского излучения в медицине

План практического занятия

1. Природа рентгеновского излучения. Положение рентгеновского излучения на шкале электромагнитных волн. Свойства рентгеновского излучения.
2. Устройство рентгеновской трубки. Механизм возникновения тормозного рентгеновского излучения, его спектр.
4. Механизм возникновения характеристического рентгеновского излучения и его спектр. Влияние атомного номера элемента на характеристический спектр. Закон Мозли.
5. Виды взаимодействия рентгеновского излучения с веществом: когерентное рассеяние, фотоэффект, Комптон-эффект.
6. Ослабление рентгеновского излучения при прохождении через вещество. Формула коэффициента поглощения рентгеновского излучения.

7. Использование рентгеновского излучения в медицине: рентгеноскопия, рентгенография, флюорография. Компьютерная томография.

Темы реферативных выступлений

1. Рентгеновская компьютерная томография
2. Сравнительный анализ диагностических методов с использованием рентгеновского излучения
3. Рентгеноструктурный анализ и его применение в молекулярной биологии

Литература

1. Лекция «Рентгеновское излучение».
2. Федорова, В.Н. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами: учеб. пособие / В.Н. Федорова, Е.В. Фаустов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 592 с. Лекция 32. С. 520-531.
3. Физика и биофизика: учебник / под ред. В.Ф. Антонова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 480 с. §§ 10.1-10.4.
4. Ремизов, А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник / А.Н. Ремизов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – 648 с. §§ 31.1-31.4.
5. Учебный тезаурус курса медицинской и биологической физики: учеб. пособ. Часть II / Е.В. Ворсина [и др.]. – Ижевск, 2016. – 102 с.

Типовые задачи

1. Найти коротковолновую границу тормозного рентгеновского излучения, если к рентгеновской трубке приложено напряжение 30 кВ.
2. На какую величину изменится минимальная длина волны (коротковолновая граница) в спектре тормозного рентгеновского излучения при увеличении напряжения в рентгеновской трубке с 100 кВ до 150 кВ?
3. Во сколько раз изменится величина потока тормозного рентгеновского излучения, если напряжение в рентгеновской трубке увеличить с 80 кВ до 160 кВ?

4. Во сколько раз изменится поток тормозного рентгеновского излучения, если в рентгеновской трубке вольфрамовый анод заменить молибденовым, а напряжение и ток накала в трубке оставить неизменным.

5. Найти скорость электронов, вырывааемых из вольфрама рентгеновским излучением длиной волны 180 нм, если работа выхода электрона из вольфрама (энергия ионизации) составляет 4,5 эВ.

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

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

Таблица 11. Первичные процессы, вызываемые рентгеновским излучением в веществе

Название процесса	Соотношение между $h\nu$ и E_u	С чем взаимодействует R-фотон	Уравнение процесса	Результат взаимодействия
Когерентное рассеяние	$h\nu < E_u$	С внешними электронами атомов	$h\nu = h\nu'$ $\nu = \nu'$	Изменяется только направление распространения фотона, при этом частота фотона не меняется
Фотоэффект	$h\nu \geq E_u$	Преимущественно с внешними электронами атомов	$h\nu = A_\epsilon + \frac{mv^2}{2}$	Фотон поглощается, при этом 1) из атома вылетает электрон (ионизация); 2) электрон получает кинетическую энергию; 3) атом возбуждается
Некогерентное рассеяние (Комптон – эффект)	$h\nu \gg E_u$	Преимущественно с внутренними электронами атомов	$h\nu = A_\epsilon + \frac{mv^2}{2} + h\nu'$ $h\nu > h\nu'$ $\nu' < \nu$	Фотон поглощается, при этом 1) из атома вылетает электрон (ионизация); 2) электрон получает кинетическую энергию; 3) излучается вторичный фотон с меньшей частотой

Пояснения к табл. 11.

$h\nu$ – энергия фотона рентгеновского излучения; E_u – энергия ионизации или работа выхода электрона из атома (A_ϵ); это энергия, необходимая для удаления электрона за пределы атома или молекулы.

Энергия ионизации тем больше, чем ближе электрон к ядру, т.е. E_u электронов внутренних оболочек больше, чем электронов внешних оболочек.

Таблица 12. Применение рентгеновского излучения в медицине

Название процедуры	Где получается изображение?	Какое изображение?	Как выглядит изображение?
Рентгеноскопия	на люминесцентном экране	позитивное	костная ткань – темная мышечная ткань – светлая
Рентгенография	на фотопленке	негативное	костная ткань – светлая мышечная ткань – темная
Флюорография	на люминесцентном экране, затем проецируется на фотопленку малого формата	негативное	костная ткань – светлая мышечная ткань – темная
Томография	на фотопленке	негативное (послойное)	костная ткань – светлая мышечная ткань – темная
Компьютерная томография	на экране монитора (телевизора)	черно-белое, цветное (объемное)	в натуральном виде

Биофизические основы использования радиоактивного излучения в медицине Часть 1

План практического занятия

1. Ядро как составная часть атома. Размеры ядра, состав. Изотопы, изобары.
2. Основные характеристики ядра: зарядовое число, массовое число, энергия связи, дефект массы, удельная энергия связи.
3. Ядерные силы и их свойства.
4. Радиоактивность. Естественная и искусственная радиоактивность. Основные типы радиоактивного распада: α , β – электронный, β – позитронный. Реакции внутриядерных превращений, уравнения распада. Спектры излучения. γ -излучение, как основная форма уменьшения энергии ядра. Спектр γ -излучения. Свойства радиоактивных излучений.

Типовые задачи

1. Укажите состав ядра атома кобальта $^{56}_{27}\text{Co}$. Вычислите энергию связи нуклонов в ядре, если масса ядра $m_{\text{я}} = 55,93991$ а.е.м., масса нейтрона $m_n = 1,008667$ а.е.м., масса протона $m_p = 1,00783$ а.е.м.
2. Что представляет собой второй продукт ядерной реакции $^{14}_7\text{N} + \alpha \rightarrow ^{17}_8\text{O} + X$?

3. Ядро атома содержит 16 нейтронов и 15 протонов, вокруг него обращаются 15 электронов. Эта система частиц –

1) ион фосфора $^{31}_{15}P$ 2) ион серы $^{31}_{16}S$ 3) атом серы $^{31}_{16}S$ 4) атом фосфора $^{31}_{15}P$

4. Сколько происходит α - и β – распадов при радиоактивном распаде $^{238}_{92}U$, если он превращается в $^{198}_{82}Pb$?

5. Из какого ядра после одного α - распада и одного β – распада образуется ядро $^{211}_{83}Bi$?

1) $^{216}_{84}Po$ 2) $^{219}_{86}Rh$ 3) $^{211}_{80}Hg$ 4) $^{215}_{84}Po$

Темы реферативных выступлений

1. Применение радионуклидов в медицинской диагностике.
2. Применение радионуклидов с лечебной целью.

Биофизические основы использования радиоактивного излучения в медицине Часть 2

План практического занятия

1. Основной закон радиоактивного распада. Зависимости числа нераспавшихся и распавшихся ядер от времени.
2. Характеристики радиоактивного распада: постоянная распада, период полураспада, активность. Физический смысл, единицы измерения. Связь характеристик между собой.

Типовые задачи

1. Найдите число нераспавшихся ядер и активность радиоактивного вещества через 8 суток, если начальное число ядер 10^{10} , период полураспада 2 суток.
2. Какова активность радиоактивного препарата, если в течение 10 минут распадается 18000 ядер этого вещества?
3. 75% изначально имевшихся ядер радиоактивного изотопа распалось за 1 час. Каков период полураспада этого изотопа?
4. Период полураспада радиоактивного фосфора $^{30}_{15}P$ равен 3 минуты. Чему равна постоянная распада этого элемента?

Литература

1. Лекция «Радиоактивность».

2. Федорова, В.Н. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами: учеб. пособие / В.Н. Федорова, Е.В. Фаустов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 592 с. Лекция 33. С. 535-547.
3. Физика и биофизика: учебник / под ред. В.Ф. Антонова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 480 с. §§ 12.1-12.2.
4. Ремизов, А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник / А.Н. Ремизов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – 648 с. §§ 32.1-32.2.
5. Учебный тезаурус курса медицинской и биологической физики: учеб. пособ. Часть II / Е.В. Ворсина [и др.]. – Ижевск, 2016. – 102 с.

Таблица 13. Основные характеристики ядра

Название, характеристики	Обозначение	Определение	Формула для нахождения
Атомный номер	Z	Номер химического элемента в периодической системе элементов. Равен числу протонов в ядре, числу электронов в электронной оболочке	
Массовое число	A	Число нуклонов в ядре	$A = Z + N$
Число нейтронов в ядре	N	${}_0^1n$ – нейтрон, нейтральная частица, входящая в состав ядра	$N = A - Z$
Энергия связи ядра	$E_{св}$	Это энергия, которая выделяется при образовании ядра из свободных нуклонов, или энергия, которую необходимо затратить, чтобы разделить ядро на свободные нуклоны	$E_{св} = \Delta m \cdot c^2$
Дефект массы	Δm	Разность между суммарной массой нуклонов и массой ядра покоя	$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_{я}$
Удельная энергия связи	$\varepsilon_{св}$	Средняя энергия связи, приходящаяся на 1 нуклон	$\varepsilon_{св} = \frac{E_{св}}{A}$

Атом – мельчайшая частица химического элемента, сохраняющая его свойства. Атом состоит из положительно заряженного ядра и отрицательно заряженной оболочки, образованной электронами.

Размеры атома $R_a \sim 10^{-10}$ м, размер ядра атома $R_{я} \sim 10^{-15}$ м

В 1932 году советский физик Д.Д. Иваненко и немецкий ученый В. Гейзенберг предложили модель ядра атома, которая позднее была обоснована исследованиями и принята в настоящее время. Согласно этой модели, ядра

атомов состоят из двух видов элементарных частиц – протонов и нейтронов, называемых вместе **нуклонами**.

В атомной физике за единицу массы принимается $1/12$ массы атома изотопа углерода $^{12}_6\text{C}$, которая называется **атомной единицей массы** (а.е.м.) и с округлением равна $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг.

Протон и нейтрон имеют массу, близкую к единице:

масса протона $m_p = 1,007595$ а.е.м. ≈ 1 а.е.м.

масса нейтрона $m_n = 1,008982$ а.е.м. ≈ 1 а.е.м.

масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг $\ll 1$ а.е.м.

Так как $m_p \gg m_e$ и $m_n \gg m_e$, то почти вся масса атома сосредоточена в ядре.

Число протонов в ядре, которое равно порядковому номеру элемента в периодической системе и числу электронов в атоме, обозначают Z и называют **зарядовым числом**.

Протон имеет единичный (элементарный) положительный электрический заряд $e = +1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, нейтрон электрического заряда не имеет. Полный заряд ядра равен $+eZ$, а суммарный заряд электронов в атоме равен $-eZ$, и, т.о., атом электронейтрален.

Обозначения элементарных частиц и их характеристики:

1_0n – нейтрон является электрически нейтральной частицей ($q = 0$), масса близка к 1 а.е.м.

1_1p – протон является положительно заряженной частицей, величина заряда которого совпадает по модулю с зарядом электрона. В ядерной физике заряд электрона принят за единицу заряда.

$^0_{-1}e$ – электрон отрицательно заряженная частица, масса которой несопоставимо мала в сравнении с 1 а.е.м, поэтому масса электрона в выбранных единицах измерения равна 0.

Таблица 14. Основные типы радиоактивности

Тип радиоактивности	Обозначение радиоактивного излучения	Реакция внутриядерных превращений	Уравнение распада	Пример	Спектр излучения
α – распад Характерен для тяжелых ядер $A > 200$	${}^4_2\alpha$ частица – ядро атома гелия	$2{}_1^1p + 2{}_0^1n \rightarrow {}^4_2\alpha$	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}^4_2\alpha$ Согласно правилу Содди сохраняется суммарные массовые числа и заряды	${}^{236}_{88}Ra \rightarrow {}^{232}_{86}Rn + {}^4_2\alpha$ радий радон	Линейчатый, т.к. ядра обладают дискретными значениями энергии
β – электронный распад	${}^0_{-1}\beta$ или ${}^0_{-1}e$	${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + ({}_0^0e + {}_0^0\bar{\nu})$ (в скобках частицы, вылетающие из ядра)	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + {}^0_{-1}e + \bar{\nu}$	${}^{14}_6C \rightarrow {}^{14}_7N + {}^0_{-1}e + {}_0^0\bar{\nu}$	Сплошной
β – позитронный распад	${}^0_{+1}\beta$ или ${}^0_{+1}e$	${}_1^1p \rightarrow {}_0^1n + ({}_0^0e + \nu)$	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY + {}^0_{+1}e + {}_0^0\nu$	${}^{13}_7N \rightarrow {}^{13}_6C + {}^0_{+1}e + \nu$	Сплошной
Электронный захват (e- или k-захват) Исчезает один электрон с ближайшей к ядру электронной оболочки		${}_1^1p + {}^0_{-1}e \rightarrow {}_0^1n + (\nu)$	${}_Z^AX + {}^0_{-1}e \rightarrow {}_{Z-1}^AY + \nu$	${}^7_4Be + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^7_3Li + \nu$	Линейчатый Согласно правилу частот Бора $h\nu_{ki} = W_k - W_i$
Спонтанное деление – деление ядра на 2 осколка примерно равных масс и зарядов			${}_Z^AX \rightarrow 2{}_{Z/2}^{A/2}Y$		Линейчатый

Пояснения к табл. 14:

Линейчатость спектров α – излучения, электронного захвата и спонтанного деления ядра свидетельствуют о том, что энергия нуклонов в ядре может принимать аналогично энергии атома только дискретные значения. Согласно правилу частот Бора, при переходе ядра из энергетического состояния W_k в состояние W_i , излучается фотон $h\nu_{ki} = W_k - W_i$.

Биофизические основы воздействия ионизирующих излучений на организм

План практического занятия

1. Ионизирующее излучение. Характеристики ионизирующего излучения: линейная плотность ионизации, линейная тормозная способность, средний линейный пробег, пробег.
2. Сравнительные характеристики α , β , γ излучения.
3. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом.
4. Особенности биологического действия ионизирующего излучения.
5. Количественная оценка действия ионизирующего излучения. Дозиметрия. Определение и формулы для нахождения: экспозиционной, поглощенной и эквивалентной биологической доз, мощности экспозиционной, поглощенной, эквивалентной биологической доз. Связь между дозами.
6. Детекторы ионизирующего излучения: счетчики, трековые детекторы. Назначение, основные принципы действия.
7. Устройство и работа дозиметра.

Литература

1. Лекция «Ионизирующее излучение. Дозиметрия»
2. Федорова, В.Н. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами: учеб. пособие / В.Н. Федорова, Е.В. Фаустов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 592 с. Лекция 33. С. 550-552. Лекция 34. С. 557-569.
3. Физика и биофизика: учебник / под ред. В.Ф. Антонова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 480 с. §§ 24.4.

4. Ремизов, А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник / А.Н. Ремизов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – 648 с. §§ 32.3-32.6.

5. Учебный тезаурус курса медицинской и биологической физики: учеб. пособ. Часть II / Е.В. Ворсина [и др.]. – Ижевск, 2016. – 102 с.

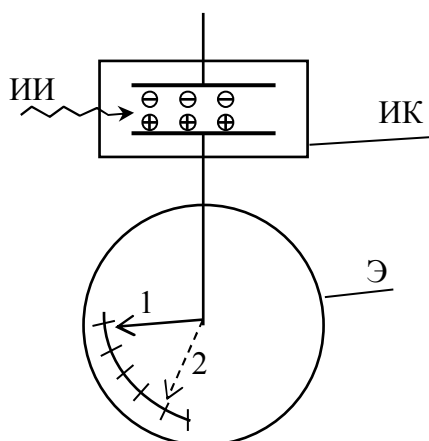
Типовые задачи

1. Телом массой $m = 60 \text{ кг}$ в течении $t = 6 \text{ ч}$ была поглощена энергия 1 Дж .

Найдите поглощенную дозу и мощность дозы.

2. Найдите эквивалентную биологическую дозу, если поглощенная телом доза α -излучения составляет 3 рад, коэффициент качества равен 20.

3. Линейная плотность ионизации α -частиц в воздухе при нормальном давлении составляет $(2 \div 8) \cdot 10^6 \frac{\text{ионов}}{\text{см}}$, $E_\alpha = 34 \text{ эВ}$. Найти границы изменения линейной тормозной способности воздуха считая, что энергия частицы полностью затрачивается на ионизацию.



Устройство дозиметра

Дозиметр – прибор для измерения экспозиционной дозы рентгеновского или γ -излучения.

Ионизационная камера (ИК) – закрытый сосуд объемом V , заполненный чистым сухим воздухом под атмосферным давлением. В нее помещены два электрода, один из которых соединен

с электрометром (прибор, измеряющий электрический потенциал φ). Предварительно электрометр заряжают до q_1 (положение стрелки 1 соответствует потенциал φ_1). При облучении воздуха камеры ионизирующим излучением (ИИ), образовавшиеся в результате ионизации заряды притягиваются к электроду электрометра и частично нейтрализуют его заряд до величины q_2 (положение стрелки 1 соответствует потенциал φ_2). Поскольку известен объем камеры, а значит, и масса воздуха внутри нее, то экспозиционная доза определяется как

$$X = \frac{q_1 - q_2}{m} = \frac{C\varphi_1 - C\varphi_2}{m} = \frac{C}{m} \cdot \Delta\varphi = k\Delta\varphi.$$

Таблица 15. Основные характеристики ионизирующего излучения

Тип ионизирующего излучения	Энергия частиц (МэВ)	Первичные процессы, вызываемые ионизирующим излучением	Основные характеристики ионизирующего излучения			Защита от внешнего ионизирующего излучения
			Линейная плотность ионизации в воздухе	Пробег в воздухе	Пробег в тканях организм	
α-излучение (альфа частица – α_2^4 – ядро атома гелия)	4-9	- возбуждение атомов и молекул вещества; - ионизация; - ядерные реакции; - упругое рассеяние	10^4 пар ионов / см	2 – 8,5 см	около 0,01 мм	тонкий слой вещества (одежда); роговой слой кожи
β – излучение (электроны e^- или позитроны e^+)	1-2	- возбуждение атомов и молекул вещества; - ионизация; - тормозное рентгеновское излучение; - аннигиляция пары электрон-позитрон; - упругое рассеяние	$\sim 10^2$ пар ионов / см	несколько метров	до 15 мм	слой стекла, дерева – 1-2 см, алюминий – 2 мм; излучение с энергией от 0,1 до 2 МэВ поглощается в покровных тканях и опасно для кожи; с энергией больше 2 МэВ влияет на хрусталик глаза
γ – излучение (электромагнитная волна)	0,01-5	- ионизация: а) фотоэффект; б) Комптон-эффект - образование пары электрон-позитрон; - ядерный фотоэффект	~ 10 пар ионов / см	100-1000 м	насквозь	толстый слой воды или 10 см свинца (слой половинного ослабления излучения)

Таблица 16. Количественная оценка действия ионизирующего излучения (и. и.). Дозиметрия

Название дозы	Обозначение	Определение	Формула	Единицы измерения		Связь между дозами
				СИ	внесистемные	
Экспозиционная доза (количественная характеристика и. и.)	X	Суммарный заряд ионов одного знака, образующийся при ионизации 1 кг сухого воздуха при нормальных условиях	$X = \frac{q}{m}$	$[X] = \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$	<i>Рентген</i> $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ $= 2 \cdot 10^9 \text{ пар ионов/см}^3$	
Мощность экспозиционной дозы	$\dot{X}$	Суммарный заряд ионов одного знака образуемый при ионизации 1 кг сухого воздуха за 1 сек	$\dot{X} = \frac{q}{mt} = \frac{X}{t}$	$[X] = \frac{\text{Кл}}{\text{кг} \cdot \text{с}}$	$\frac{\text{Р}}{\text{с}}$	
Поглощенная доза (результат взаимодействия и.и. с веществом)	D	Энергия излучения, поглощенная единицей массы вещества за все время излучения	$D = \frac{W}{m}$	$[D] = \text{Гр}$ (Грей)	$1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр}$	$D = fX$ f – переходный коэффициент; зависит от атомного номера элемента и энергии фотона (приводится для внесистемных единиц); для мягких тканей в поле R или γ и.и. $f = 1$ $1 \text{ рад} = 1 \text{ Рентген}$
Мощность поглощенной дозы	$\dot{D}$	Энергия излучения, поглощенная единицей массы вещества за единицу времени излучения	$\dot{D} = \frac{W}{mt}$	$[\dot{D}] = \frac{\text{Гр}}{\text{с}}$	$\frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$\dot{D} = \frac{D}{t}$
Эквивалентная биологическая доза	H	Энергия излучения, поглощенная единицей массы живого биологического объекта за все время излучения	$H = k D$	$[H] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ $= \text{Зв}$ (Зиверт)	$1 \text{ бэр} = 10^{-2} \text{ Зв}$ бэр (биологический эквивалент рентгена)	$H = kD = kfX$ k – коэффициент качества, безразмерная величина, учитывает биологическую эффективность отдельных видов излучений
Мощность эквивалентной биологической дозы	$\dot{H}$	Энергия излучения, поглощенная единицей массы живого биологического объекта за единицу времени излучения	$\dot{H} = \frac{k \dot{D}}{t}$	$[\dot{H}] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Зв}}{\text{с}}$	$\frac{\text{бэр}}{\text{с}}$	$\dot{H} = k \dot{D} = kf \dot{X}$

Физические основы звуковых методов исследования в медицине

План практического занятия

1. Звук. Условия получения, распространения, восприятия звука и формирование слухового ощущения.
2. Классификация звука по частотам. Физические основы применения звуковых волн в медицине.
3. Ухо как акустическая система.
4. Физические процессы в наружном ухе.
5. Физические процессы в среднем ухе.
6. Физические процессы во внутреннем ухе.
7. Первичный анализ звуков по частоте и интенсивности,
8. Механизмы, обеспечивающие восприятие звука. Теория Гельмгольца. Теория Бекеши.

Темы реферативных выступлений

1. Физические основы применения слышимого звука. Аудиометрия
2. Физические основы применения слышимого звука (перкуссия, аускультация)
3. Физические основы применения ультразвука в медицинской диагностике (эхография)
4. Физические основы применения ультразвука в терапии (УЗ физиотерапия, фонофорез)
5. Физические основы применения ультразвука в терапии (УЗ остеосинтез, УЗ скальпель)
6. Влияние инфразвука на организм
7. Физические процессы в звукопроводящей части слуховой системы (наружное ухо)
8. Физические процессы в звукопроводящей части слуховой системы (среднее ухо)
9. Физические процессы в звуковоспринимающей части слуховой системы (внутреннее ухо)

10. Теория Бекеша

11. Теория Гельмгольца

Литература

1. Лекция «Физические основы применения звуковых методов в медицине. Физика слуха».
2. Снигирева Т.А. и [др.] Учебный тезаурус курса медицинской и биологической физики: учеб. пособ. – Ижевск: Экспертиза, 2012. – 70 с.
3. Федорова, В.Н. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами: учеб. пособие / В.Н. Федорова, Е.В. Фаустов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 592 с. Лекция 3. С. 62-72. Лекция 4. С. 82-91.
4. Ремизов, А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник / А.Н. Ремизов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – 648 с. §§ 8.1-8.3, 8.5-8.7.

Физика слуха

Слух – функция организма, обеспечивающая восприятие звука. Органом слуха человека является ухо.

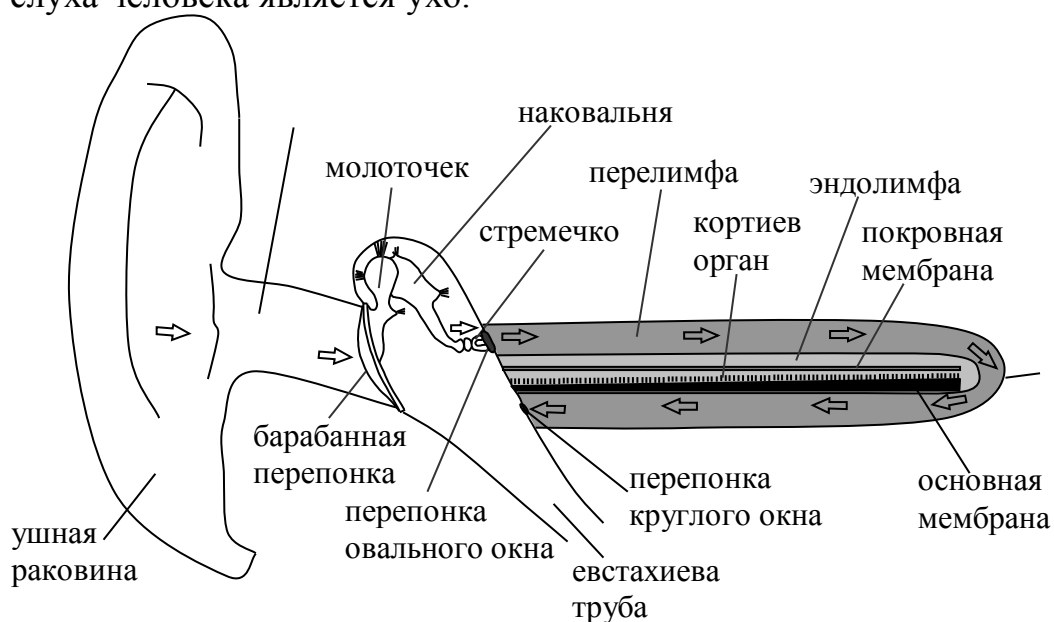


Рис. 1. Схематическое изображение основных структур уха, как органа слуха

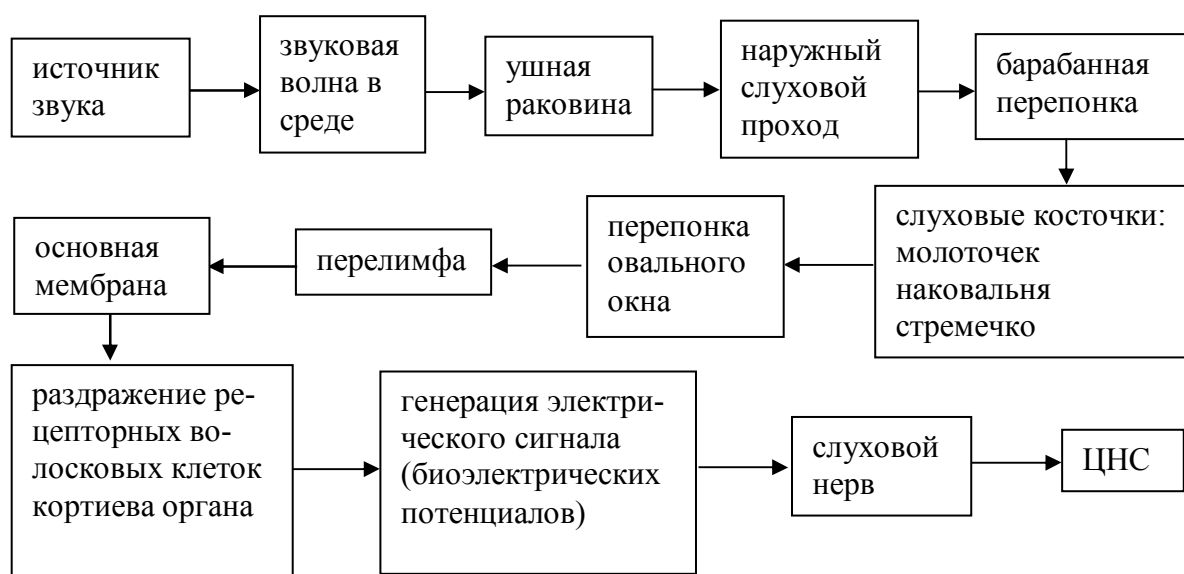
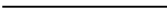


Рис. 2. Путь передачи звуковых (механических) колебаний и их преобразование в нервный (электрический импульс)

Таблица 17. Ухо как акустическая система

Название отдела	Наружное ухо	Среднее ухо	Внутреннее ухо
Основные элементы	1) ушная раковина; 2) наружный слуховой проход	1) барабанная перепонка; 2) слуховые косточки	1) мембрана (перепонка) овального окна; 2) улитка (жидкость - перелимфа; эндолимфа); основная (базиллярная) мембрана; кортиев орган (рецепторные волосковые клетки, которые соединяются с нервными окончаниями слухового нерва)
Среда	воздух	воздух	жидкость (лимфа, перелимфа)
Основные функции	1) установление направления на источник звука; 2) проведение и усиление звуковой волны на собственной резонансной частоте	1) передача звуковой волны из воздуха в жидкость	1) преобразование механической энергии звуковой волны в электрическую энергию нервного импульса; 2) первичный анализ звуков по частотам и интенсивностям

Таблица 18. Классификация звуков по частотам.
Физические основы применения звуковых волн в медицине

характеристика	название звука		
	инфразвук	слышимый звук	ультразвук
Частота, ν, Гц	$\nu < 16$ Гц	16 - 20000 Гц	20000 - 10^9 Гц (10^9 - 10^{13} – гипер-звук)
Длина волны λ, м $\lambda = \frac{\nu}{\nu}$ В воздухе $t = 20^\circ\text{C}, p = 1 \text{ атм.}$ $\nu = 340 \text{ м/с}$	$> 21\text{м}$	21 - 0,017	$< 0,017$ (1,7см)
Преимущественные явления при распространении d – размер препятствия	дифракция, если $\lambda \geq d$	дифракция, если $\lambda \geq d$; отражение, преломление $\lambda < d$	дифракция $\lambda < d$ отражение, преломление узких направленных пучков по законам подобным законам геометрической оптики.
Дальность распространения L	~ 1 км и больше (волна землетрясения, цунами)	~ 1 м	~ 1 см
Интенсивность $I \sim \nu^2$			а) тепловое действие; б) механическое действие
Вызывает ощущение	вибрации, дискомфорта, утомляемости, тошноты	слуховое ощущение (высоты, громкости, тембра)	теплого действия, механического давления
Применение в медицине	стимуляция работы органов с помощью вибромассажеров (явление резонанса), основанная на том, что собственные частоты органов изменяются в интервале от 3 до 12 Гц.	1) диагностика (аускультация, аудиометрия и т.д.); 2) терапия (музыкой и т.д.)	1) диагностика (определение положения размеров внутренних органов – УЗИ); 2) терапия (тепловое прогревание тканей); 3) хирургия (рассечение тканей, дробление камней)

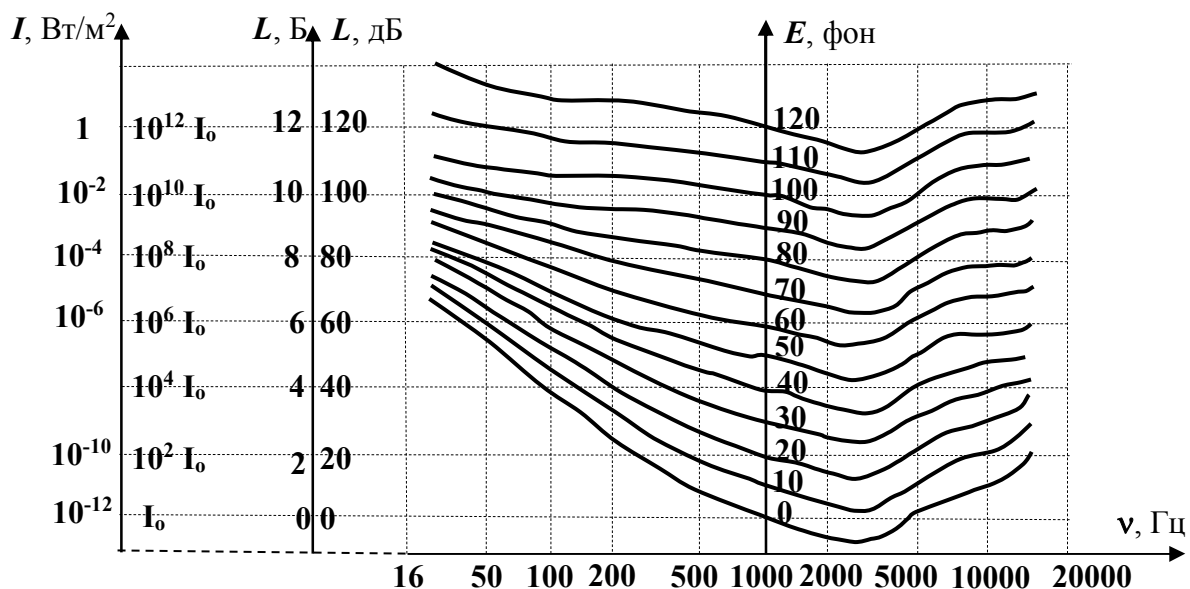


Рис. 3. Кривые равной громкости

Таблица 19. Теория Гельмгольца. Теория Бекеша

Теория Гельмгольца (резонансная теория (1863 г.))	Теория Бекеша (теория бегущей волны (1960 г.))
происходит <i>резонанс</i> (увеличение амплитуды колебаний) волокон основной мембраны, собственные частоты которых совпадают с частотой звука	колебания базилярной мембраны в виде бегущей волны имеют максимум на ограниченном участке, положение которого определяется частотой звука
	Бегущая волна на базилярной мембране

Обязательная литература

1. Морозов, Ю.В. Основы высшей математики и статистики: учебник / Ю.В. Морозов. – М.: ОАО «Изд-во «Медицина», 2004. – 232 с.
2. Лобочкая, Н.Л. Основы высшей математики: учебник для студ. мед. ин-тов / Н.Л. Лобочкая. – М.: Альянс, 2012. – 319 с.
3. Федорова, В.Н. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами: учебное пособие / В.Н. Федорова, Е.В. Фаустов. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. — 592 с.
4. Ремизов, А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник для вузов А.Н. Ремизов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. – 648 с.
5. Физика и биофизика: учебник / под ред. В.Ф. Антонова. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 480 с.
6. Учебный тезаурус курса медицинской и биологической физики / Т.А. Снигирева и [др.]: учебное пособие – Ижевск, 2012. – 70 с.

Дополнительная литература

1. Антонов, В.Ф. Физика и биофизика. Курс лекций для студентов медицинских вузов / В.Ф. Антонов, А.В. Коржуев. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006. – 240 с.
2. Ремизов, А.Н. Сборник задач по медицинской и биологической физике / А.Н. Ремизов, А.Г. Максина. 3-е изд., перераб. и дополн. – М.: Дрофа, 2008. – 192 с.
3. Антонов, В.Ф. Физика и биофизика. Практикум: Учебное пособие / В.Ф. Антонов, А.М. Черныш, Е.К. Козлова, А.В. Коржуев. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 336 с.
4. Мякишев, Г.Я. Физика: учеб. для 10 класса общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев. – М.: Просвещение, 2011. – 336 с.
5. Мякишев, Г.Я. Физика: учеб. для 11 класса общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев. – М.: Просвещение, 2011. – 338 с.
6. Касьянов, В.А. Физика. 10 класса: учебн. для общеобразоват. учеб. заведений / В.А. Касьянов. – М.: Дрофа, 2011 – 416 с.
7. Касьянов, В.А. Физика. 1011 класса: учебн. для общеобразоват. учеб. заведений / В.А. Касьянов. – М.: Дрофа, 2011 – 418 с.

Учебное издание

**ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ
СТУДЕНТОВ НА ЛЕКЦИЯХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ
ПО БИОФИЗИКЕ**

**Учебно-методическое пособие
для студентов дневного отделения лечебного
и педиатрического факультетов**

Авторы-составители:

**Снигирева Татьяна Александровна, Станкевич Татьяна Геннадьевна, Ворсина
Екатерина Викторовна и др.**

*Компьютерный набор Т.А. Снигирева, Е.В. Ворсина, Л.В. Баранова,
М.С. Рябчикова*

Подписано в печать 21.10.2013г.. Формат 60х84/16

Гарнитура «*Times New Roman*» Усл. печ. л. 2,3. Уч. изд. л.

Тираж 250 экз. Заказ

Отпечатано на оборудовании РИО ГБОУ ВПО ИГМА
426034, г. Ижевск, ул. Коммунаров, 281.