

федеральное казенное профессиональное образовательное учреждение  
«Кунгурский техникум-интернат»  
Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации

УТВЕРЖДАЮ  
заместитель директора  
по учебной работе  
\_\_\_\_\_ Н.Л. Мелкова  
\_\_.\_.2024 г.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

**по выполнению практических работ**

**ОУД.11 Физика**

35.01.19 Мастер садово-паркового и ландшафтного строительства

**Организация-разработчик: ФКПОУ «Кунгурский техникум-интернат» Минтруда России.**

**Разработчик: Брагина Татьяна Александровна, преподаватель.**

### Перечень практических работ

№ п/п	Содержание практических работ	Количество часов
1	Практическое занятие № 1 Решение задач. Скорость. Уравнение движения. Мгновенная и средняя скорости. Ускорение.	2
2	Практическое занятие № 2 Закон всемирного тяготения. Первая космическая скорость. Движение планет и малых тел Солнечной системы. Вес. Невесомость. Силы упругости. Силы трения.	2
3	Практическая работа № 3 Применение законов сохранения. Использование законов механики для объяснения движения небесных тел и для развития космических исследований, границы применимости классической механики.	2
4	Практическое занятие № 4 Температура и ее измерение. Абсолютный нуль температуры. Термодинамическая шкала температуры. Температура звезд. Скорости движения молекул и их измерение.	2
5	Практическое занятие № 5 Изучение одного из изопроецессов.	2
6	Практическое занятие № 6 Испарение и конденсация. Насыщенный пар и его свойства. Относительная влажность воздуха. Приборы для определения влажности воздуха. Кипение. Зависимость температуры кипения от давления. Характеристика жидкого состояния вещества. Ближний порядок. Поверхностное натяжение. Смачивание. Капиллярные явления.	2
7	Практическое занятие № 7 Характеристика твердого состояния вещества. Кристаллические и аморфные тела.	2
8	Практическое занятие № 8 Способы определения относительной влажности воздуха.	2
9	Практическое занятие № 9 Контрольная работа «Молекулярная физика и термодинамика»	2
10	Практическое занятие № 10 Решение задач. Диэлектрики в электрическом поле. Поляризация диэлектриков. Потенциал. Разность потенциалов.	2
11	Практическое занятие № 11 Связь между напряженностью и разностью потенциалов электрического поля. Емкость. Конденсаторы. Энергия заряженного конденсатора. Применение конденсаторов.	2
12	Практическое занятие № 12 Решение задач. Работа и мощность постоянного тока. Тепловое действие тока Закон Джоуля—Ленца. Электродвижущая сила источника тока. Закон Ома для полной цепи Изучение законов последовательного и параллельного соединений проводников.	2
13	Практическое занятие №13 Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока.	2

14	Практическое занятие №14 Электрический ток в металлах, в электролитах, газах, в вакууме. Электролиз. Закон электролиза Фарадея. Виды газовых разрядов. Термоэлектронная эмиссия. Плазма. Электрический ток в полупроводниках. Собственная и примесная проводимости. P-n переход. Полупроводниковые приборы. Применение полупроводников.	2
15	Практическое занятие № 15 Применение силы Ампера. Магнитный поток. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца. Применение силы Лоренца.	2
16	Практическое занятие № 16 Магнитные свойства вещества. Солнечная активность и её влияние на Землю. Магнитные бури.	2
17	Практическое занятие № 17 Изучение явления электромагнитной индукции.	2
18	Практическое занятие № 18 Решение задач. Поперечные и продольные волны. Характеристики волны. Звуковые волны. Ультразвук и его применение.	2
19	Практическое занятие № 19 Решение задач. Переменный ток. Резонанс в электрической цепи. Генератор переменного тока. Трансформаторы. Получение, передача и распределение электроэнергии.	2
20	Практическое занятие № 20 Применение электромагнитных волн. Решение задач.	2
21	Практическое занятие № 21 Определение показателя преломления стекла.	2
22	Практическое занятие № 22 Определение длины световой волны с помощью дифракционной решетки. Движение со скоростью света. Постулаты теории относительности и следствия из них. Инвариантность модуля скорости света в вакууме. Энергия покоя. Связь массы и энергии свободной частицы. Элементы релятивистской динамики.	2
23	Практическое занятие № 23 Применение фотоэффекта.	2
24	Практическое занятие № 24 Ядерные реакции. Ядерная энергетика. Энергетический выход ядерных реакций. Искусственная радиоактивность. Деление тяжелых ядер.	2
25	Практическое занятие № 25 Контрольная работа по разделу квантовая физика.	2
26	Практическое занятие № 26 Солнечная система: планеты и малые тела, система Земля—Луна.	2
27	Практическое занятие № 27 Строение и эволюция Солнца и звёзд. Классификация звёзд. Звёзды и источники их энергии. Галактика. Современные представления о строении и эволюции Вселенной.	2
28	Практическое занятие № 28 Изучение карты звездного неба.	2

### Пояснительная записка

Данное учебно-методическое пособие предназначено для обучающихся 1 курса

для выполнения практических работ по дисциплине физика. В качестве способа решения учебной задачи при взаимосвязанной деятельности преподавателя и студентов выбран метод самостоятельной работы.

Целями выполнения практических работ является:

- обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний по конкретным темам дисциплины;
- формирование умений применять полученные знания на практике, реализация единства интеллектуальной и практической деятельности;
- развитие интеллектуальных умений у будущих специалистов;
- выработку при решении поставленных задач таких профессионально значимых качеств, как самостоятельность, ответственность, точность.

В процессе изучения физики очень большое значение имеет решение задач, так как оно позволяет закрепить теоретический материал курса, разобраться в различных законах и границах их применения, способствует их запоминанию. Кроме того, при этом развиваются навыки использования этих законов для выяснения конкретных практических вопросов. Таким образом, выполнение задач в практических работах является проверкой степени усвоения обучающимися теоретического материала и может служить критерием знания курса.

Предлагаемое пособие содержит материал 28 практических работ по физике, которые включают в себя: краткую теорию, предлагаемые обучающимся для теоретической подготовки к занятиям вопросы; задачи для самостоятельного решения.

## Практическое занятие №1

### Механика

Скорость. Уравнение движения. Мгновенная и средняя скорости. Ускорение.

Задачи для самостоятельного решения

1. Первую половину времени своего движения автомобиль двигался со скоростью 80 км/ч, а вторую половину времени – со скоростью 40 км/ч. Какова средняя скорость движения автомобиля?

2. Зависимость пройденного телом пути  $S$  от времени  $t$  дается уравнением  $S=A+Bt+C$ , где  $A=6$  м,  $B=3$  м/с и  $C=2$  м/. Найти среднюю скорость и среднее ускорение  $a$  тела для интервала времени  $1$  т  $4$  с. Построить график зависимости пути  $S$ , скорости  $v$  и ускорения  $a$  от времени  $t$  для интервала  $0$  т  $5$  с через  $1$  с.

3. Зависимость пройденного телом пути  $S$  от времени  $t$  дается уравнением  $S=A+Bt+C$ , где  $A=3$  м,  $B=2$  м/с и  $C=1$  м/. Найти среднюю скорость и среднее ускорение тела за первую, вторую и третью секунды его движения.

4. Зависимость пройденного телом пути  $S$  от времени  $t$  дается уравнением  $S=A+Bt+C+Dt$ , где  $C=0,14$  м/ и  $D=0,01$  м/. Через какое время  $t$  после начала движения тело будет иметь ускорение  $a=1$  м/ Найти среднее ускорение  $a$  тела за этот промежуток времени.

5. Точка движется по окружности радиусом  $R=4$  м. Закон ее движения выражается уравнением  $S=A+Bt$ , где  $A=8$  м,  $B=-2$  м/с. Найти момент времени  $t$ , когда нормальное ускорение точки  $a_n=9$  м/с<sup>2</sup>; скорость  $v$ ; тангенциальное и полное ускорение ( $a$ ) точки в этот момент времени.

6. Две материальные точки движутся согласно уравнениям:  $x_1 = 4t^2 + 16t + 16$  и  $x_2 = 2t^2 - 4t + 1$ , где  $x$  в м,  $t$  в с. В какой момент времени  $t$  ускорение этих точек будут одинаковы? Найти скорости  $v$ , и точек в этот момент.

7. Найти радиус  $R$  вращающегося колеса, если известно, что линейная скорость точки, лежащей на ободе, в 2,5 раза больше линейной скорости точки, лежащей на расстоянии  $r=5$  см ближе к оси колеса.

8. Колесо, вращаясь равноускоренно, достигло угловой скорости  $\omega=20$  рад/с через  $N=10$  об после начала вращения. Найти угловое ускорение колеса.

9. Колесо, вращаясь равноускоренно, через время  $t=1$  мин после начала вращения приобретает частоту  $n=720$  об/мин. Найти угловое ускорение колеса и число оборотов  $N$  колеса за это время.

10. Точка движется по окружности радиусом  $R=20$  см с постоянным тангенциальным ускорением  $a_t=5$  см/с<sup>2</sup>. Через какое время  $t$  после начала движения нормальное ускорение точки будет: а) равно тангенциальному; б) вдвое больше тангенциального?

11. Точка движется по окружности радиусом  $R=2$  см. Зависимость пути от времени дается уравнением  $S=Ct^2$ , где  $C=0,1$  см/с<sup>2</sup>. Найти нормальное и тангенциальное ускорения точки в момент, когда линейная скорость точки  $v=0,3$  м/с.

12. Две автомашины движутся по двум прямолинейным и взаимно перпендикулярным дорогам по направлению к перекрестку с постоянными скоростями  $v_1=50$  км/ч и  $v_2=100$  км/ч. Перед началом движения первая машина находилась на расстоянии  $s_1=100$  км от перекрестка, вторая – на расстоянии  $s_2=50$  км. Через сколько времени после начала движения расстояние между машинами будет минимальным?

13. Камень, брошенный горизонтально, через время  $t=0,5$  с после начала движения имел скорость  $v$ , в 1,5 раза большую скорость в момент бросания. С какой скоростью брошен камень?

14. Тело падает с высоты  $h=19,6$  м с начальной скоростью  $v_0=0$ . Какой путь пройдет тело за первую и последнюю 0,1 секунды своего движения?

15. Тело падает с высоты  $h=19,6$  м с начальной скоростью  $v_0=0$ . За какое время тело пройдет первый и последний 1 метр своего пути?

16. Свободно падающее тело в последнюю секунду движения проходит половину своего пути. С какой высоты  $h$  падает тело и каково время  $t$  его падения?

17. Мяч брошен со скоростью  $v_0=10$  м/с под углом  $\alpha=40^\circ$  к горизонту. На какую высоту  $h$  поднимется мяч? На каком расстоянии от места бросания он упадет на землю? Какое время  $t$  он будет в движении?

18. Тело брошено со скоростью  $v_0=14,7$  м/с под углом  $\alpha$  к горизонту. Найти нормальное и тангенциальное ускорение тела через время  $t=1,25$  с после начала движения.

## 2. Вопросы для повторения.

2.1. Какие виды механического движения вы знаете? Дайте определение каждому из них.

2.2. Что называется материальной точкой; абсолютно твердым телом; сплошной средой?

2.3. Дайте определения следующим понятиям: тело отсчета; система отсчета; координата точки; траектория точки.

2.4. Сколько степеней свободы имеет материальная точка? 2.5. Назовите виды равнопеременного движения.

2.6. Напишите уравнение равнопеременного движения и постройте график этого движения.

2.7. Что называется средней скоростью, мгновенной скоростью и ускорением переменного движения?

2.8. Напишите уравнение движения и формулу скорости для равноускоренного и равнозамедленного движений (с начальной и без начальной скорости).

2.9. Постройте графики скорости равномерного, равнопеременного, равноускоренного и равнозамедленного движений.

2.10. Какой вид имеет график ускорения равнопеременного движения?

2.11. Как движется тело, брошенное вертикально вверх?

2.12. Чему равно ускорение тела, брошенного вертикально вверх? Каково соотношение между временами подъема и падения тела?

2.13. Сформулируйте принцип независимости движений.

2.14. Постройте траектории движения тела, брошенного горизонтально и под углом к горизонту. На какие более простые движения можно разложить каждое из этих движений?

2.15. Что называется дальностью полета и от чего она зависит?

2.16. В какой точке траектории тело, брошенное под углом к горизонту, обладает наименьшей скоростью?

2.17. Как направлены векторы линейной скорости и линейного ускорения при криволинейном движении?

2.18. Какова зависимость между линейной и угловой скоростями при движении материальной точки по окружности?

2.19. Какое ускорение называется центростремительным?

## Практическое занятие № 2

Закон всемирного тяготения. Первая космическая скорость. Движение планет и малых тел Солнечной системы. Вес. Невесомость. Силы упругости. Силы трения.

### Контрольные вопросы:

1. Что изучает динамика?
2. Что такое масса?
3. Что такое инертность?
4. Что такое сила?
5. Сформулируйте принцип суперпозиции сил.
6. Что такое взаимодействие?
7. Сформулируйте законы Ньютона.
8. Сформулируйте условия, при которых ускорение прямо пропорционально силе.
9. Сформулируйте понятие веса тела.
10. Поясните разницу между силой тяжести и весом тела.
11. Сформулируйте понятие силы реакции опоры.
12. Чему равна сила трения покоя?
11. Как находится сила трения покоя?
12. Куда направлена сила трения скольжения и чему она равна?

**Задание 1.** Определите коэффициент трения скольжения.

**Цель:** определить коэффициент трения скольжения.

**Оборудование:** деревянный брусок, деревянная линейка, набор грузов.

Основным измерительным прибором в этой работе является динамометр. Динамометр имеет погрешность  $\Delta = 0,05 \text{ Н}$ . Она и равна погрешности измерения, если указатель совпадает со штрихом шкалы. Если указатель в процессе измерения не совпадает со штрихом шкалы (или колеблется), то погрешность измерения силы равна  $\Delta F = 0,1 \text{ Н}$ .

### Ход работы

1. Положите брусок на горизонтально расположенную деревянную линейку. На брусок поставьте груз.
2. Прикрепив к бруску динамометр, как можно более равномерно тяните его вдоль линейки. Заметьте при этом показание динамометра.
3. Взвесьте брусок и груз.
4. К первому грузу добавьте второй, третий грузы, каждый раз взвешивая брусок и грузы и измеряя силу трения.

По результатам измерений заполните таблицу:

№ опыта	$P, \text{ Н}$	$\Delta P, \text{ Н}$	$F_{\text{тр}}, \text{ Н}$	$\Delta F_{\text{тр}}, \text{ Н}$

5. По результатам измерений постройте график зависимости силы трения от веса тела и, пользуясь им, определите среднее значение коэффициента трения.
6. Рассчитайте максимальную относительную погрешность измерения коэффициента трения.
7. Найдите абсолютную погрешность и запишите ответ в виде:

$$\Delta \mu = \mu_{\text{ср}} + \Delta \mu$$

8. Сделайте вывод.

**Задание 2.** Изучить движение системы связанных тел.

**Цель:** Запустить с помощью перегрузка систему связанных тел так, чтобы она за заданное время прошла заданный путь.

**Оборудование:** грузы, штатив, блок, секундомер, сантиметровая лента.

### Ход работы

1. Соберите экспериментальную установку, как показано на рисунке:
2. Измерьте массы уравнивающих друг друга грузов.
3. Добавьте к одному из грузов перегрузок для компенсации влияния блока.
4. Задайте значение пути и времени движения системы. Запишите данные в таблицу:

$N$	$g, \text{ м/с}^2$	$L, \text{ м}$	$t, \text{ с}$	$M, \text{ кг}$	$m, \text{ кг}$	$t_{\text{эксп.}}, \text{ с}$
1						

5. Рассчитайте массу перегрузка, необходимую для запуска системы, по формуле

$$m = \frac{4ML}{gt^2 - 2L}$$

Запишите ее значение в таблицу.

6. Положите перегрузок на один из грузов и, придерживая систему рукой, переведите ее в начальное состояние.
7. Отпустите систему, одновременно включив секундомер.
8. Выключите секундомер в момент прохождения системой заданной точки.
9. Проведите опыт 3 раза. Найдите среднее значение времени движения системы:

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$$

Занесите полученное значение в таблицу.

10. Сравните результат с заданным значением времени.
11. Сделайте выводы.

### Практическое занятие № 3

Применение законов сохранения. Использование законов механики для объяснения движения небесных тел и для развития космических исследований, границы применимости классической механики.

#### ВАРИАНТ 1

ЧАСТЬ А Выберите один верный ответ

1. Самолет летит по прямой с постоянной скоростью на высоте 9 км. Систему отсчета, связанную с Землей, считать инерциальной. В этом случае:
  - 1) на самолет не действуют никакие силы
  - 2) на самолет не действует сила тяжести
  - 3) сумма всех

сил, действующих на самолет равна нулю 4) сила тяжести равна силе Архимеда, действующей на самолет

2. На тело массой 1 кг действуют силы 6 Н и 8 Н, направленные перпендикулярно друг другу. Чему равно ускорение тела?

- 1)  $2 \text{ м/с}^2$  2)  $5 \text{ м/с}^2$  3)  $10 \text{ м/с}^2$  4)  $14 \text{ м/с}^2$

3. Спутник массой  $m$  движется вокруг планеты по круговой орбите радиуса  $R$ . Масса планеты  $M$ . Какое выражение определяет значение скорости движения спутника?

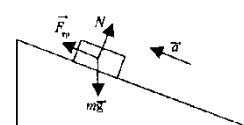
- 1)  $G \cdot \frac{M}{R}$  2)  $\sqrt{G \frac{m}{R^2}}$  3)  $\sqrt{G \frac{M}{R}}$  4)  $G \cdot \frac{m}{R^2}$

4. К пружине длиной 10 см, коэффициент жесткости которой 500 Н/м, подвесили груз массой 2 кг. Какой стала длина пружины?

- 1) 12 см 2) 13 см 3) 14 см 4) 15 см

5. Человек вез ребенка на санках по горизонтальной дороге. Затем на санки сел второй такой же ребенок, но человек продолжал движение с той же постоянной скоростью. Как изменилась сила трения при этом?

- 1) не изменилась 2) увеличилась в 2 раза 3) уменьшилась в 2 раза 4) увеличилась на 50 %



6. По наклонной плоскости вниз скользит брусок. Какой вектор, изображенный на рисунке, является лишним или неправильным?

- 1)  $\vec{F}_{mp}$  2)  $m\vec{g}$  3)  $\vec{N}$  4)  $\vec{a}$

7. Модуль скорости автомобиля массой 1000 кг изменяется в соответствии с графиком, приведенном на рисунке. Какое утверждение верно?

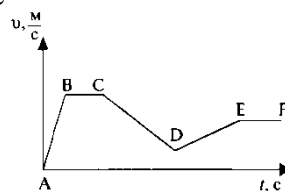
- 1) на участке ВС автомобиль двигался равномерно  
2) на участке DE автомобиль двигался равноускоренно, вектор ускорения направлен противоположно вектору скорости  
3) на участке АВ автомобиль двигался равномерно  
4) модуль ускорения на участке АВ меньше модуля ускорения на участке DE.

### ЧАСТЬ В

8. Используя условие задачи, установите соответствия уравнений из левого столбца таблицы с их графиками в правом столбце.

Три тела одинаковой массы по 3 кг каждое совершали движения. Уравнения проекции перемещения представлены в таблице. На каком графике представлена зависимость проекции силы от времени, действующей на каждое тело?

Уравнение		График	
А.	$S_x = 2t$	1.	
Б.	$S_x = 4t - 3t^2$	2.	
В.	$S_x = 5t + 3t^2$	3.	
		4.	



Решите задачи.

9. Подвешенное к тросу тело массой 10 кг поднимается вертикально. С каким ускорением движется тело, если трос жесткостью 59 кН/м удлинился на 2 мм? Какова сила упругости, возникающая в тросе?

10. Средняя высота спутника над поверхностью Земли 1700 км. Определить скорость его движения.

### ЧАСТЬ С

Решите задачу.

Тележка массой 5 кг движется под действием гири массой 2 кг. Определить натяжение нити, если коэффициент трения равен 0,1.

### ВАРИАНТ 2

ЧАСТЬ А Выберите один верный ответ.

1. Ниже перечислены движения тел относительно Земли. Какую систему отсчета, связанную с одним из этих тел, нельзя считать инерциальной? Систему отсчета, связанную с Землей, считать инерциальной.

- 1) девочка бежит с постоянной скоростью
- 2) автомобиль движется равномерно по горизонтальной части дороги
- 3) поезд движется равноускоренно
- 4) хоккейная шайба равномерно скользит по гладкому льду

2. На тело массой 2 кг действуют четыре силы. Чему равно ускорение тела, если  $F_1 = 20$  Н,  $F_2 = 18$  Н,  $F_3 = 20$  Н,  $F_4 = 16$  Н.

- 1)  $2 \text{ м/с}^2$
- 2)  $4 \text{ м/с}^2$
- 3)  $1 \text{ м/с}^2$
- 4)  $8 \text{ м/с}^2$

3. Какое выражение определяет значение первой космической скорости спутника, если радиус его круговой орбиты  $R$ , а ускорение свободного падения на этой высоте  $g$ ?

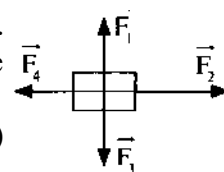
- 1)  $\sqrt{\frac{gR}{2}}$
- 2)  $\sqrt{gR}$
- 3)  $2\sqrt{gR}$
- 4)  $\sqrt{2gR}$

4. Чтобы тело, находящееся в лифте испытало перегрузку (увеличение веса) необходимо:

- 1) ускоренное движение лифта вверх
- 2) замедленное движение лифта вверх
- 3) ускоренное движение лифта вниз
- 4) такое состояние невозможно

5. Человек вез двух одинаковых детей на санках по горизонтальной дороге. Затем с санок встал один ребенок, но человек продолжал движение с той же постоянной скоростью. Как изменилась сила трения при этом?

- 1) не изменилась
- 2) увеличилась в 2 раза
- 3) уменьшилась в 2 раза
- 4) увеличилась на 50 %

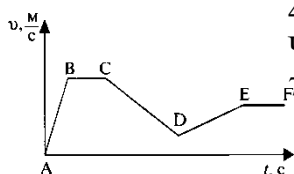
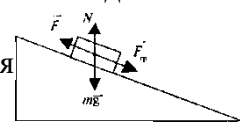


6. По наклонной плоскости равномерно вверх перемещается брусок. Какой вектор, изображенный на рисунке, является лишним или неправильным?

- 1)  $\vec{F}$
- 2)  $m\vec{g}$
- 3)  $\vec{N}$
- 4)  $\vec{a}$

7. Модуль скорости автомобиля массой 1000 кг изменяется в соответствии с графиком, приведенном на рисунке. Какое утверждение верно?

- 1) на участке BC автомобиль двигался равноускоренно
- 2) на участке CD автомобиль двигался равноускоренно, вектор ускорения совпадает по направлению с вектором скорости
- 3) на участке DE автомобиль двигался равноускоренно, вектор ускорения совпадает по направлению с вектором скорости
- 4) модуль ускорения на участке AB меньше модуля ускорения на участке DE

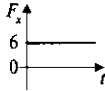
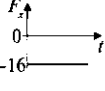
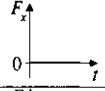
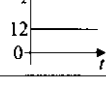


### ЧАСТЬ В

Используя условие задачи, установите соответствия уравнений из левого

столбца таблицы с их графиками в правом столбце.

Три тела одинаковой массы по 2 кг каждое совершали движения. Уравнения проекции перемещения представлены в таблице. На каком графике представлена зависимость проекции силы от времени, действующей на каждое тело?

Уравнение		График	
А.	$S_x = 5t - 4t^2$	1.	
Б.	$S_x = 5t$	2.	
В.	$S_x = 5t + 3t^2$	3.	
		4.	

### ЧАСТЬ С

Решите задачу.

8. Два груза массами 200 г и 300 г связаны нитью. Определить ускорение грузов и силу натяжения нити между ними, если к телу массой  $m_1$  приложили силу 10 Н, направленную горизонтально вправо.

### Практическое занятие № 4

тема: Температура и ее измерение. Абсолютный нуль температуры. Термодинамическая шкала температуры. Температура звезд. Скорости движения молекул и их измерение.

#### Вопросы для устного опроса:

1. Причины изменения температуры воздуха.
2. Суточный ход температуры воздуха у земной поверхности.
3. Годовая амплитуда температуры воздуха.
4. Типы годового хода температуры воздуха.
5. Распределение температуры воздуха у земной поверхности.
6. Аномалии в распределении температур.
7. Измерение температуры воздуха.

В метеорологии используются разные температурные шкалы. Широкое распространение получили шкалы, которые предложили Фаренгейт в 1715 г., Реомюр – в 1736 г., Цельсий – в 1748 г., Кельвин – в 1848 г. Температура воздуха, а также почвы и воды в метеорологии в большинстве стран измеряется в единицах СИ, т.е. в градусах Международной температурной шкалы, или шкалы Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ). Ноль этой шкалы приходится на температуру, при которой тает лед, а  $100^{\circ}\text{C}$  – на температуру кипения воды (и то и другое при нормальном давлении – 1013 гПа). Наряду со шкалой Цельсия широко распространена, особенно в теоретических работах,

абсолютная шкала температур, или шкала Кельвина. Ноль этой шкалы соответствует полному прекращению теплового хаотического движения молекул, т.е. самой низкой температуре. По шкале Цельсия это будет  $-273,15^{\circ}\text{C}$  (на практике за абсолютный ноль нередко принимают  $-273^{\circ}\text{C}$ ). *Единица абсолютной шкалы, называемая Кельвином (К), равна единице шкалы Цельсия*  $1\text{ К} = 1^{\circ}\text{C}$ . По абсолютной шкале температура может быть только положительной, т.е. выше абсолютного нуля. В формулах температура по абсолютной шкале обычно обозначается  $T$ , а температура по Цельсию –  $t$ . Переход от температуры по Цельсию к температуре по абсолютной шкале осуществляется по формуле:

$$T = t + 273,15.$$

В США, Англии и некоторых странах бывшей Британской империи до сих пор используется температурная *шкала Фаренгейта*. Градус температурной шкалы Фаренгейта ( $^{\circ}\text{F}$ ) составляет  $1/180$  интервала между пунктами таяния льда и кипения воды. За ноль в этой шкале принята температура смеси снега и нашатыря, а за  $100^{\circ}\text{F}$  – нормальная температура человеческого тела. По шкале Фаренгейта  $0^{\circ}\text{C}$  соответствует  $+32^{\circ}\text{F}$ , а  $100^{\circ}\text{C}$  –  $+212^{\circ}\text{F}$ . Таким образом,  $100^{\circ}\text{C} = 180^{\circ}\text{F}$ , отсюда  $1^{\circ}\text{C} = (9/5)^{\circ}\text{F}$ ,  $1^{\circ}\text{F} = (5/9)^{\circ}\text{C}$ . Переход от шкалы Фаренгейта к шкале Цельсия и наоборот осуществляется по формулам:

$$t^{\circ}\text{C} = (5/9) (t^{\circ}\text{F} - 32),$$

$$t^{\circ}\text{F} = (9/5) t^{\circ}\text{C} + 32.$$

Отсюда можно определить, что  $0^{\circ}\text{F}$  соответствует примерно  $-17,8^{\circ}\text{C}$ .

Градус температурной *шкалы Реомюра* ( $^{\circ}\text{R}$ ) составляет  $1/80$  интервала между пунктами таяния льда и кипения воды. Им даны значения соответственно  $0^{\circ}\text{R}$  и  $80^{\circ}\text{R}$ . Для перехода от шкалы Реомюра к шкале Цельсия и наоборот применяются следующие формулы:

$$t^{\circ}\text{R} = 4/5 t^{\circ}\text{C},$$

$$t^{\circ}\text{C} = 5/4 t^{\circ}\text{R}.$$

Задания для самостоятельной работы:

1. Наиболее низкие температуры воздуха у поверхности земли наблюдаются на полюсах планеты. При этом могут подразумеваться либо абсолютные минимумы температуры, либо минимумы средние годовые ее величины.

13 сентября 1922 г. в местечке Эль-Азизия, Ливия, была зарегистрирована температура +58,2 градуса. На сегодняшний день данный результат считается ошибочным и поэтому Всемирная метеорологическая организация считает рекордом 56,7 °С, зафиксированные 10 июля 1913 года на ранчо Гринленд в долине Смерти (штат Калифорния, США). По неофициальным данным в тот же день в Саудовской Аравии (место неизвестно) было 58,4 °С. На открытом солнце самая высокая температура наблюдалась в центре Австралии - 67 °С. Самая высокая точно измеренная температура почвы составляет в Западном Казахстане в городе Шарынгол +79 °С. Однако в пустынях температура почвы может подняться до 80 °С, а в некоторых - и до 90 °С. Самая низкая измеренная температура снега и почвы одновременно была зафиксирована в первой половине прошлого века в Оймяконе (Россия) и составила - 69,6 °С.

21 июля 1983 г. на станции Восток, Антарктика, на высоте 3420 м над уровнем моря была зарегистрирована рекордно низкая температура: -89,6 С. Среднегодовая температура на станции Восток -57,8С.

27 июля 1963 года в атмосфере над Швецией, была зафиксирована температура -143°С на высоте около 85000 м.

*Выразить температуру в градусах шкалы Фарингейта (°C) и Кельвина (K), Реомюра (R).*

1. Построить график годового хода температуры почвы на разных глубинах по данным одной из метеорологических станций (таблица 1). Определить величину годовой амплитуды, месяц наступления и время запаздывания максимума и минимума для каждой глубины.
2. Построить термоизоплеты почвы через 2°С на разных глубинах по данным одной из метеорологических станций (таблица 1). Определить максимальную и минимальную температуру на глубинах 0,4, 1,6, 3,2 м, время запаздывания (в сутках) максимума и минимума с глубиной.

**Таблица 1** – Средняя месячная температура почвы, °С

Глубина, м	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Полоцк (почва суглинистая)													
0,0	-8	-8	-4	4	14	19	21	18	12	5	0	-5	6
0,2	-0,2	-0,5	-0,4	2,9	10,5	15,1	17,2	16,3	12,2	7,7	3,0	0,4	7,0
0,4	0,5	0,1	0,2	2,5	9,3	13,7	16,0	15,7	12,4	8,3	4,0	1,4	7,0

Глубина, м	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
0,8	2,0	1,4	1,1	2,3	7,5	11,7	14,1	15,5	12,5	9,2	5,8	3,2	7,1
1,6	3,7	2,9	2,4	2,6	5,6	9,1	11,5	12,6	12,1	10,0	7,6	5,2	7,1
3,2	6,3	5,3	4,6	4,2	4,8	6,3	8,2	9,7	10,3	9,8	8,8	7,4	7,2
Минск (почва супесчаная)													
0,0	-7	-7	-3	6	15	20	22	19	20	6	0	-5	6
0,2	- 0,8	- 1,1	- 0,1	5,3	13,4	18,5	20,3	18,9	13,8	7,6	2,7	0,2	8,2
0,4	- 0,2	- 0,6	0,2	4,7	12,6	17,3	19,5	18,4	14,0	8,1	3,5	0,8	8,2
0,8	1,2	0,5	0,7	4,0	10,9	15,4	17,8	17,4	14,1	9,1	4,9	2,1	8,2
1,6	3,2	2,5	2,2	3,5	8,3	12,0	14,5	15,2	13,7	10,4	7,2	4,6	8,1
3,2	6,4	5,5	4,8	4,6	5,9	8,0	10,0	11,4	11,8	11,0	9,5	7,8	8,1
Гродно (почва супесчаная)													
0,0	-5	-5	-1	7	16	21	22	20	14	7	2	-3	8
0,2	- 0,4	- 1,3	0,0	5,9	13,0	17,9	19,6	18,6	14,1	8,8	3,7	0,6	8,4
0,4	0,1	- 1,0	0,2	5,2	12,2	16,8	18,8	18,0	14,5	9,5	4,4	1,4	8,3
0,8	1,3	0,3	0,6	4,2	10,4	14,8	17,3	17,3	14,6	10,2	5,9	2,7	8,3
1,6	3,7	2,6	2,2	3,7	8,1	11,8	14,4	15,3	14,3	11,4	8,2	5,3	8,4
3,2	6,8	5,7	4,9	4,7	6,1	8,2	10,3	11,7	12,3	11,5	10,0	8,3	8,4
Новогрудок (почва супесчаная)													
0,0	-7	-6	-3	5	14	18	20	18	12	6	0	-4	6
0,2	- 0,1	- 0,2	0,1	3,7	10,9	15,1	17,7	16,8	12,8	8,2	3,4	0,3	7,4
0,4	0,7	0,4	0,5	3,1	9,6	13,7	16,5	16,2	13,1	9,0	4,6	1,5	7,4
0,8	1,8	1,3	1,1	2,6	7,9	11,9	14,8	15,4	13,3	10,0	6,3	3,0	7,4
1,6	3,4	2,6	2,1	2,6	5,9	9,6	12,4	13,9	13,2	10,9	8,1	5,1	7,5
3,2	6,1	5,0	4,3	3,8	4,4	6,4	8,5	10,3	11,1	10,7	9,5	7,8	7,3

Глубина, м	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Горки (почва суглинистая)													
0,0	-8	-8	-4	4	14	19	21	18	12	5	1	-6	6
0,2	- 0,8	- 1,1	- 0,5	2,4	11,3	16,1	18,1	17,2	12,5	7,0	2,3	- 0,3	7,0
0,4	- 0,1	- 0,5	- 0,2	1,8	9,9	14,8	17,1	16,8	12,9	7,8	3,3	0,6	7,0
0,8	1,3	0,8	0,6	1,5	7,6	12,7	15,4	15,9	13,4	9,3	5,1	2,4	7,2
1,6	3,2	2,4	2,0	2,0	5,4	9,7	12,5	13,0	13,1	10,5	7,3	4,7	7,2
3,2	6,1	5,1	4,6	4,1	4,8	6,6	8,5	10,2	10,8	10,6	9,2	7,5	7,3
Брест (почва супесчаная)													
0,0	-5	-4	1	8	17	21	22	20	14	8	2	2	8
0,2	0,2	- 0,3	1,2	6,9	13,2	18,2	19,9	18,9	14,4	9,4	4,1	1,0	8,9
0,4	1,0	0,4	1,3	6,3	12,2	16,9	19,0	18,5	14,8	9,9	5,2	2,0	9,0
0,8	2,2	1,5	1,9	5,6	10,9	14,9	17,2	17,4	14,9	10,6	6,9	3,6	9,0
1,6	4,4	3,4	3,1	4,9	8,6	11,9	14,4	15,3	14,3	11,7	8,9	6,0	8,9
3,2	7,1	6,0	5,2	5,2	6,6	8,6	10,7	12,1	12,6	11,9	10,5	8,7	8,8
Гомель (почва супесчаная)													
0,0	-7	-6	-2	7	16	20	22	19	13	6	1	-5	7
0,2	- 0,2	- 1,5	- 0,5	5,5	12,8	17,7	20,0	19,2	14,4	8,3	8,2	0,0	8,3
0,4	0,3	- 0,8	0,0	4,8	11,8	16,5	18,8	18,5	14,1	8,8	4,1	0,8	8,1
0,8	1,6	0,6	0,7	3,9	10,0	14,4	16,7	17,1	14,3	10,0	5,2	2,6	8,1
1,6	3,6	2,6	2,1	3,2	7,5	11,2	13,8	15,1	14,0	11,2	8,2	5,1	8,1
3,2	6,3	5,2	4,3	4,0	5,4	7,8	10,1	12,0	12,6	11,8	10,1	8,1	8,1
Василевичи (почва супесчаная)													
0,0	-7	-6	-2	8	17	22	23	20	14	6	1	-4	8
0,2	- 0,7	- 1,2	0,1	6,4	13,5	18,1	19,7	18,4	13,5	7,7	2,8	0,2	8,2

Глубина, м	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
0,4	-0,1	-0,8	0,2	5,4	12,2	16,5	18,2	17,5	13,4	8,2	3,6	0,9	7,9
0,8	1,6	0,9	1,1	4,8	10,7	14,6	16,6	16,7	14,0	9,8	5,6	2,9	8,3
1,6	3,9	3,0	2,6	4,2	8,0	11,2	13,3	14,2	13,3	10,8	7,8	5,3	8,1
3,2	6,8	5,8	5,0	4,8	6,0	7,9	9,8	11,2	11,8	11,2	9,8	8,2	8,2

*Пример.* Термоизоплеты. Материалы многолетних наблюдений за температурой почвы на различных глубинах могут быть представлены графически.

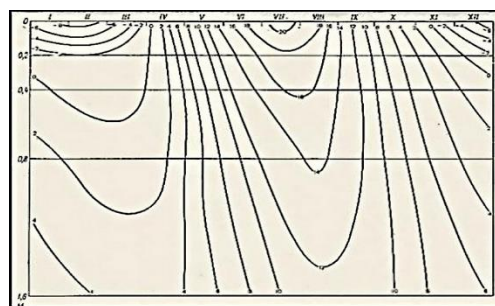
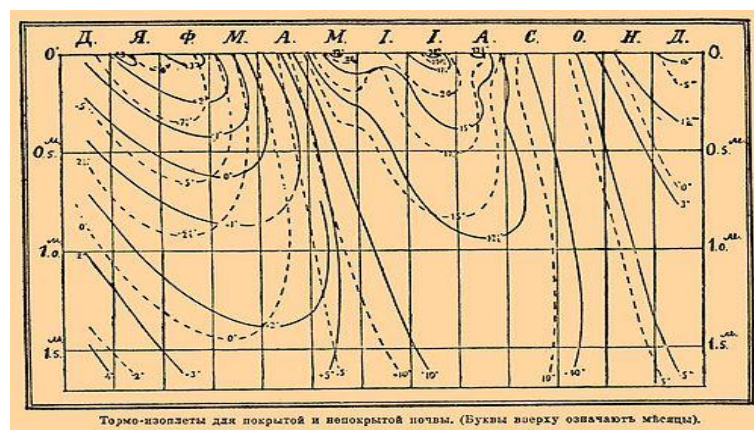


Рисунок – Изоплеты температуры почвы для Санкт-Петербурга.

На таком графике связываются температура почвы, глубина и время. Для построения графика на вертикальной оси откладывают глубины, а на горизонтальной – время (обычно месяцы). На график наносят среднюю месячную температуру почвы на разных глубинах. Затем точки с одинаковой температурой соединяют плавными линиями, которые называют термоизоплеты.

Термоизоплеты дают наглядное представление о температуре активного слоя почвы на любой глубине в каждый месяц. Такие графики используют, например, для определения глубины проникновения критических температур, повреждающих корневую систему плодовых деревьев.

Эти графики используют также в коммунальном хозяйстве, в промышленном и дорожном строительстве, при мелиорации.

3. Построить график годового хода средней месячной температуры воздуха, среднего максимума и среднего минимума температуры воздуха по данным одной из метеорологических станций (таблица 2). Проанализировать графики.

**Таблица 2** – Средняя температура воздуха, °С

Температура	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Витебск													
Средняя	-8,1	-7,6	-2,9	5,0	12,7	15,9	17,8	16,4	11,1	5,4	0,0	-5,0	5,0
Средняя min	-11,2	-11,0	-6,6	0,9	7,2	10,7	12,7	11,5	7,0	2,5	-2,2	-7,6	1,2
Абсолютная min	-41	-38	-30	-18	-4	-2	4	0	-5	-15	-23	-35	-41
Средняя max	-5,2	-4,3	0,8	9,6	18,7	21,4	22,9	21,6	16,1	8,9	2,5	-2,5	9,1
Абсолютная max	5	6	17	28	31	32	35	34	29	29	15	9	35
Лида													
Средняя	-6,2	-5,8	-1,7	5,8	12,4	15,8	17,3	16,3	11,9	6,9	1,6	-3,2	5,9
Средняя min	-9,5	-8,6	-5,2	1,7	6,7	10,6	12,3	11,4	7,5	3,0	-0,9	-5,4	2,0
Абсолютная min	-35	-33	-32	-16	-4	0	4	0	-5	-15	-19	-28	-35
Средняя max	-3,5	-2,1	2,5	11,2	17,0	21,8	22,8	22,1	17,3	10,2	3,7	-0,7	10,3
Абсолютная max	8	9	19	28	32	33	35	34	29	25	15	12	35
Пинск													
Средняя	-5,6	-4,4	-0,4	7,0	13,6	16,8	18,3	17,1	12,8	6,9	1,4	-2,8	6,7
Средняя min	-8,7	-7,6	-3,7	3,2	8,5	11,5	12,9	11,8	7,9	3,0	-1,1	-5,2	2,7

Абсолютная max	-35	-31	-26	-15	-3	1	5	-1	-4	-12	-23	-27	-35
Средняя max	-3,0	-2,0	3,0	11,8	18,8	22,3	23,8	22,8	18,3	11,3	4,5	0,3	10,9
Абсолютная max	10	13	22	29	33	36	36	36	31	27	17	13	36

5. Привести к уровню моря среднегодовую температуру следующих пунктов:

А) высота 4200 м,  $t = 4,2^{\circ}\text{C}$ ;

Б) высота 300 м,  $t = 15,4^{\circ}\text{C}$ ;

В) высота 1152 м,  $t = 0,3^{\circ}\text{C}$ ;

Г) высота 764 м,  $t = 3,4^{\circ}\text{C}$ ;

Д) высота 126 м,  $t = 21,3^{\circ}\text{C}$ .

*Примечание.* Вертикальный температурный градиент принять равным  $0,6^{\circ}\text{C}$ .

### Практическое занятие №5

#### Тема: Изучение одного из изопроцессов.

**Тема.** Изучение одного из изопроцессов.

**Цель работы.** Экспериментальная проверка газовых законов.

**Оборудование.** Стекланный цилиндр высотой 50 см, стеклянная трубка длиной 50-60 см, закрытая с одного конца, стакан, пластилин, термометр, линейка, барометр-анероид, штатив с лапкой, холодная и горячая вода.

**Описание работы.**

Опытная проверка закона Боя – Мариотта.

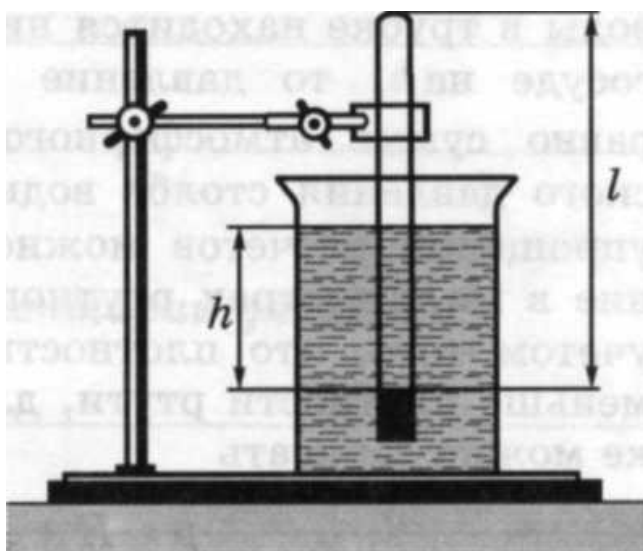
В цилиндр с водой опускают открытым концом вниз трубку (см. рисунок 1.). Если уровень воды в трубке находится ниже уровня воды в сосуде на  $h$ , то давление воздуха в трубке равно сумме атмосферного и гидростатического давления столба воды высотой  $h$ . Для упрощения расчетов можно измерять давление в миллиметрах ртутного столба. Тогда, с учетом того, что

плотность воды в 13,6 раз меньше плотности ртути, для воздуха в трубке можно записать  $p = H + h/13,6$  где  $H$  — атмосферное давление в миллиметрах ртутного столба,  $h$  — разность уровней воды в цилиндре и трубке, измеренная в миллиметрах. В трубке заключена постоянная масса воздуха, который можно считать находящимся при постоянной (комнатной) температуре. Объем и давление воздуха, заключенного в трубке, можно изменять, изменяя глубину погружения трубки. Объем воздуха в трубке  $V = l S$ , где  $l$  — длина столба воздуха;  $S$  — площадь сечения трубки. Поскольку площадь поперечного сечения трубки постоянна, длина столба воздуха в трубке пропорциональна объему воздуха. Поэтому для проверки закона Бойля — Мариотта достаточно проверить справедливость равенства:  $(H + h/13,6)l = \text{const}$

### Порядок выполнения работы

4. Соберите установку (см. рисунок 1.).

Рис.1.



2. Измерьте барометром атмосферное давление в мм рт. Ст.
3. Погружая в воду трубку открытым концом вниз, измерьте  $h$  (повторите опыт не менее трех раз).

№ опыта	$H$ мм рт. Ст.	$h$	$l$	$c = (H + h/13,6)l$
		мм	см	

--	--	--	--	--

Таб.1.

4. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.
5. Запишите вывод: что вы измерили и какой получили результат.

### **Практическое занятие №6**

Тема: Испарение и конденсация. Насыщенный пар и его свойства. Относительная влажность воздуха. Приборы для определения влажности воздуха. Кипение. Зависимость температуры кипения от давления. Характеристика жидкого состояния вещества. Ближний порядок. Поверхностное натяжение. Смачивание. Капиллярные явления.

#### **Цели:**

- 1-повторить, обобщить и закрепить знания учащихся об испарении, кипении, конденсации, свойствах насыщенного и ненасыщенного пара, влажности воздуха;
- 2-закрепить умения учащихся объяснять взаимные превращения жидкостей и газов на основе молекулярно-кинетической теории;
- 3-формирование умений анализировать и сравнивать физические процессы (испарение и кипение), свойства изучаемых объектов (насыщенного и ненасыщенного пара);
- 4-наблюдать явления и делать выводы.

#### **Задание 1**

1. Выполнить эксперимент: “Зависимость скорости испарения от рода жидкости”.

Приборы и материалы: вода, спирт, масло, пипетка, салфетка

Ход работы

1. Капните по 1 капле жидкости на салфетку.
2. Пронаблюдайте, как происходит испарение.
3. Сделайте вывод: какая жидкость испарится быстрее? Почему?

## **Задание 2**

1. Выполнить эксперимент: “Зависимость скорости испарения от площади испаряющейся жидкости”

Приборы и материалы: спирт, 2 матовых стекла, пипетка.

Ход работы

1. Возьмите 2 матовых стекла, капните по капле спирта.
2. На одном из стекол каплю размажьте.
3. Сделайте вывод: на каком стекле жидкость испаряется быстрее? Почему?

## **Задание 3**

1. Выполнить эксперимент: “Зависимость скорости испарения жидкости от температуры”

Приборы и материалы: вода, 2 стекла, держатель, спиртовка, спички, пипетка.

Ход работы

1. Возьмите 2 матовых стекла.
2. Капните по капле воды на каждое стекло.
3. Одно стекло с помощью держателя подержите над пламенем спиртовки.
4. Сделайте вывод: на каком стекле вода испарится быстрее? Почему?

## **Задание 4**

1. Выполнить эксперимент: “Зависимость испарение от движения воздуха над ней”

Приборы и материалы: спирт, пипетка, 2 салфетки, веер.

Ход работы

1. Возьмите 2 салфетки, капните по капле жидкости.
2. Бумажным веером создайте около одной из салфеток воздушный поток.
3. Сделайте вывод: на какой из салфеток спирт испарится быстрее? Почему?

## **Задание 5:**

1. Выполните эксперимент: “Изменение температура испаряющейся жидкости”

Приборы и материалы: термометр, спирт, вата.

Ход работы

1. Заметьте начальное показание термометра.
2. Смочите спиртом вату, которой обернут резервуар термометра.
3. Запишите наименьшее показание термометра.
4. Сделайте вывод: изменилась ли температура жидкости? Изменилась ли внутренняя энергия жидкости при её испарении? Почему?
5. Оформите отчет о проделанной работе по образцу:

Название эксперимента	Вывод

#### Работа в группах

Студенты проводят эксперимент, выдвигают свои гипотезы, делают выводы. После проведенных исследований представители групп выступают с отчетом.

### Практическое занятие № 7

Тема: Характеристика твердого состояния вещества. Кристаллические и аморфные тела.

Запишите ответы на вопросы:

1. Кристаллы – это ...
2. Зависимость физических свойств от выбранного в кристалле направления называется...
3. Одиночные кристаллы наз...
4. Твердые тела, не имеющие строгого порядка в расположении атомов наз. ..
5. Приведите примеры кристаллов (не менее трех).
6. Поликристаллическим наз...
7. При низких температурах аморфные тела проявляют такие свойства как... и ведут себя как тела в ... состоянии.
8. К аморфным телам можно отнести (не менее трех) ...
9. Изобразите примерную кристаллическую решетку аморфного тела.
10. Может ли одно и то же вещество находиться как в кристаллическом, так и в аморфном состоянии? Например, ...

11. При очень длительном воздействии или при высокой температуре аморфные тела ...
12. Что можно сказать о температуре плавления кристаллических и аморфных тел?
13. Одним из основных направлений современной физики твердого тела является ...
14. Кипение – это...
15. От чего зависит скорость испарения?

Выполните задания теста.

Как располагаются атомы в аморфных телах?

- А) нет строгого порядка
- Б) располагаются в кристаллических решетках
- В) имеют особое строение

Как называется кварц в аморфной форме?

- А) кристалл
- Б) кремниевая кислота
- В) кремнезем

Как ведут себя аморфные тела при внешних воздействиях?

- А) не изменяют свою форму
- Б) раскалываются на мелкие куски
- В) подобно твердым веществам

Как называется время колебаний около положения равновесия?

- А) «оседлая жизнь»
- Б) перемещение
- В) текучесть

Чему равна определенная температура плавления у аморфных тел?

- А) определенной температуры нет
- Б) 100 0С
- В) 0 0С

Как называется зависимость физических свойств от направления внутри кристалла?

- А) диффузия
- Б) анизотропия

В) кристаллизация

7. Твердое тело, состоящее из большого числа маленьких кристалликов, называют:

А) монокристаллическим

Б) поликристаллическим

В) аморфным

Сколько воды содержит человеческое тело?

А) 80 %

Б) 10 %

В) 65 %

Как расположены молекулы в жидкости?

А) хаотично, беспорядочно

Б) плотно друг к другу, на расстоянии одной молекулы

В) на больших расстояниях друг от друга

В каком агрегатном состоянии молекулы занимают определенное, упорядоченное положение в пространстве?

А) в жидкости

Б) в газе

В) в твердом теле

### **Практическое занятие №8**

Тема: Способы определения относительной влажности воздуха.

#### **Цель:**

- научиться определять абсолютную и относительную влажность воздуха;
- изучить приборы для определения влажности воздуха;
- изучить практическое значение влажности в жизни человека.

## Материально-техническое обеспечение:

Методические указания по выполнению работ, справочник по физике, опорные конспекты.

Ход занятия:

1. Изучить краткие теоретические сведения; 2. Выполнить задания;
3. Сделать вывод по работе;
4. Подготовить защиту работы по контрольным вопросам. Краткие теоретические сведения:

Насыщенным паром называют пар, давление и плотность которого максимальны при данной температуре.

Насыщенный пар находится в динамическом (подвижном) равновесии со своей жидкостью.

Насыщенные пары по своим свойствам близки к газам и подчиняются всем основным законам идеальных газов.

Ненасыщенный пар можно перевести в насыщенный, уменьшая его объем и понижая температуру.

Влажность – наличие пара, содержащегося в воздухе, или его давлению  $p_a$ . Относительная влажность воздуха равна отношению абсолютной влажности  $p_a$  (или давлению  $p_a$  водяного пара в воздухе) к плотности  $p_n$  (или давлению  $p_n$ ) наступающих паров при данной температуре:

Вариант 1.

1. Насыщенный водяной пар, имевший при температуре 300 К давление  $3 \cdot 10^4$  Па, отделили от жидкости и нагрели до 350 К при постоянном объеме. Определить давление пара при этой температуре.
2. Может ли вещество переходить из твердой фазы в газообразную, минуя жидкую фазу?
3. Какому внешнему воздействию нужно подвергнуть насыщенный пар, что бы он стал насыщенным?
4. Относительная влажность воздуха при температуре 293 К равна 44%. Что показывает влажный термометр психрометра?
5. Относительная влажность воздуха при 20°C равна 58%. При какой максимальной температуре выпадает роса?

Вариант 2.

1. Давление насыщенного водяного пара при температуре 284 К. равно 1306 Па. Определить концентрацию молекул пара.
2. Какой пар находится над свободной плоской поверхностью жидкости, если за 1 с переходит из жидкости в пар  $4 \cdot 10^8$  молекул, а из пара в жидкость – 108 молекул?
3. Почему вода гасит огонь? Что быстрее потушит пламя – кипяток или холодная вода?

Почему?

4. Определить относительную влажность воздуха, если сухой термометр психрометра показывает 294 К, а влажный – 286 К.

5. Воздух при температуре 303 К имеет точку росы при 286 К.

определить абсолютную и относительную влажность воздуха.

#### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Можно ли заставить воду кипеть, не нагревая?

2. Как изменяется влажность воздуха с повышением температуры?

3. Почему в низких местностях после жаркого дня появляется туман? 4. Приборы для измерения влажности воздуха.

### **Практическое занятие №9**

Контрольная работа №1

«Молекулярная физика и термодинамика»

Вариант 1

#### **Часть 1. Тест**

1. Какое определение соответствует физической величине «количество вещества»?

1) отношение числа молекул в данном теле к числу атомов в 0,012 кг углерода;

2) масса вещества, взятого в количестве 1 моль;

3) количество вещества, содержащее столько же молекул сколько содержится атомов в 0,012 кг углерода;

4) число молекул или атомов в 1 моле вещества.

2. Какая единица измерения соответствует молярной массе?

1) кг;

2) кг/моль;

3) моль;

4) моль<sup>-1</sup>.

3. Какое выражение соответствует определению массы одной молекулы?

4. Как изменится давление идеального газа при увеличении концентрации его молекул в 3 раза, если средняя кинетическая скорость молекул остается неизменной?

1) увеличится в 9 раз;

2) увеличится в 3 раза;

3) останется неизменной;

4) уменьшится в 3 раза.

5. С физической точки зрения имеет смысл измерять температуру ...

1) твердых, жидких и газообразных тел;

2) молекулы;

3) атома;

4) ядра атома.

6. Какой буквой принято обозначать внутреннюю энергию системы?

7. Чем определяется внутренняя энергия идеального газа в запаянном сосуде постоянного объема?

- 1) хаотическим движением молекул газа;
- 2) движением всего сосуда с газом;
- 3) взаимодействием сосуда с газом и Земли;
- 4) действием на сосуд с газом внешних сил.

8. Какова единица измерения удельной теплоемкости тела?

- 1) Дж/К;
- 2) Дж;
- 3) Дж/(кг • К);
- 4) Дж/кг.

9. Какая из предложенных формулировок наиболее полно отражает сущность первого начала термодинамики?

- 1) изменение внутренней энергии тела равно сумме сообщенного телу количества теплоты и произведенной над ним механической работы;
- 2) изменение внутренней энергии тела равно разности сообщенного телу количества теплоты и произведенной над ним механической работы;
- 3) изменение внутренней энергии тела зависит от сообщенного телу количества теплоты и произведенной над ним механической работы;
- 4) изменение внутренней энергии тела пропорционально сообщенному телу количеству теплоты и произведенной над ним механической работы.

10. Определите, в ходе какого процесса работа, совершаемая телом, равна нулю.

- 1) изотермического;
- 2) изохорного;
- 3) изобарного;
- 4) адиабатного.

11. Что называется испарением?

- 1) явление перехода вещества в пар;
- 2) парообразование с открытой поверхностью;
- 3) процесс парообразования по всему объему жидкости;
- 4) среди ответов 1—3 нет верного.

12. Какой буквой принято обозначать механическое напряжение?

13. Какое свойство отличает кристалл от аморфного тела?

- 1) твердость;
- 2) прозрачность;

- 3) существование плоских граней;
- 4) анизотропность.

### Часть 2. Задачи

14. Чему равно число молекул в  $1 \text{ м}^3$  газа (концентрация молекул), если при температуре  $300 \text{ К}$  давление газа составляет  $4,14 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ?
15. Чему равна работа, совершенная газом, если он получил количество теплоты  $300 \text{ Дж}$ , а его внутренняя энергия увеличилась на  $200 \text{ Дж}$ ?
16. Оцените максимальное значение КПД, которое может иметь тепловая машина, если температура нагревателя равна  $227^\circ\text{С}$  и температура холодильника  $27^\circ\text{С}$ .
17. Газ, расширяясь изобарно при давлении  $3 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , совершает работу  $0,3 \text{ кДж}$ . Определите первоначальный объем газа, если его конечный объем оказался равным  $2,5 \cdot 10^3 \text{ см}^3$ ,

Контрольная работа №1

Вариант 2

### Часть 1. Тест

1. Какой буквой принято обозначать число Авогадро?
2. Какая формула является основным уравнением молекулярно-кинетической теории идеального газа?
3. Какая температура по шкале Цельсия соответствует температуре  $100 \text{ К}$  по абсолютной шкале?
  - 1)  $-373^\circ\text{С}$ ;
  - 2)  $+273^\circ\text{С}$ ;
  - 3)  $-273^\circ\text{С}$ ;
  - 4)  $-173^\circ\text{С}$ .
4. Какое из предложенных выражений соответствует изотермическому процессу газа?
  - 1)  $p/T = \text{const}$ ;
  - 2)  $pV = \text{const}$ ;
  - 3)  $pV/T = \text{const}$ ;
  - 4)  $V/T = \text{const}$ .
5. Как изменилась средняя кинетическая энергия молекул одноатомного идеального газа при увеличении абсолютной температуры в 2 раза?
  - 1) уменьшилась в 2 раза;
  - 2) увеличилась 2 раза;
  - 3) увеличилась в 4 раза;
  - 4) уменьшилась в 4 раза.
6. Какое из следующих определений является определением внутренней энергии?
  - 1) энергия, которой обладает тело вследствие своего движения;
  - 2) энергия, которая определяется положением взаимодействующих тел или частей одного и того же тела;

- 3) энергия движения частиц, из которых состоит тело;
- 4) энергия движения и взаимодействия частиц, из которых состоит тело.

7. Возможна ли теплопередача от холодного тела к горячему?

- 1) возможна за счет дальнейшего охлаждения холодного тела;
- 2) возможна за счет совершения работы;
- 3) не возможна ни при каких условиях;
- 4) среди ответов 1—3 нет правильного.

8. В приведенных ответах представлено выражение первого начала термодинамики. Установите, какое из выражений соответствует изобарному процессу.

- 1)  $Q = \Delta U + p\Delta V$ ;
- 2)  $\Delta U = Q$ ;
- 3)  $\Delta U = -A$  ;
- 4)  $Q = -A$  .

9. Определите процесс, при котором газ совершил работу, равную 5 кДж, а его внутренняя энергия уменьшилась на 5 кДж.

- 1) изотермический;
- 2) изохорический;
- 3) адиабатический;
- 4) изобарический.

10. Почему паровые машины были вытеснены двигателя внутреннего сгорания?

- 1) только из-за их громоздкости;
- 2) только из-за низкого КПД;
- 3) только из-за низкой мощности;
- 4) по причинам, указанным в ответах 1—3.

11. Какой из приборов измеряет влажность воздуха?

- 1) психрометр;
- 2) гигрометр;
- 3) барометр;
- 4) гигрометр и психрометр

12. Какова единица измерения удельной теплоты парообразования?

- 1) Дж/°С;
- 2) Дж/(кг·°С);
- 3) Дж/кг;
- 4) Дж.

13. Какая формула выражает закон Гука?

## Часть 2. Задачи

14. Определите давление гелия массой 0,04 кг, если он находится в сосуде объемом 8,3 м<sup>3</sup> при температуре 127 °С.
15. Определите температуру холодильника, если температура нагревателя 820 К. Тепловая машина имеет максимальный КПД 45 %.
16. Чему равен максимально возможный КПД тепловой машины, если температура нагревателя 600К, а температура холодильника на 200 К меньше, чем у нагревателя?
17. Какое количество теплоты необходимо, чтобы нагреть 1 т кирпича от 20 до 320 К? Удельная теплоемкость кирпича равна 750 Дж/(кг·К).

## ОТВЕТЫ

	1 вариант	2 вариант
1	1	3
2	2	3
3	3	4
4	2	2
5	1	2
6	3	4
7	1	2
8	3	1
9	2	4
10	2	4
11	2	4
12	4	3
13	4	2
14	10 <sup>26</sup>	4000 Па
15	100Дж	451К
16	0,4	1/3
17	1,5·10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup>	2,25·10 <sup>8</sup> Дж

## ШКАЛА

«5»	19-21
«4»	16- 18
«3»	10-15

## Практическое занятие №10

Решение задач. Диэлектрики в электрическом поле. Поляризация диэлектриков. Потенциал. Разность потенциалов.

## Цели:

U; - изучить понятия «потенциал» -  $\varphi$ , «разность потенциалов» -  $\Delta\varphi$ , «напряжение» -

- научиться вычислять работу сил электрического поля по перемещению заряда.

**Материально-техническое обеспечение:** метод указания по выполнению работы, справочник по физике, опорный конспект.

**Ход занятия:**

1. Изучить краткие теоретические сведения; 2.

Выполнить задания;

3. Сделать вывод по работе;

4. Подготовить защиту работы по контрольным вопросам. **Краткие**

**теоретические сведения:**

При перемещении заряда в электрическом поле совершается работа, поэтому энергетической характеристикой электрического поля служит электрический потенциал.

$$\varphi = \frac{A}{q}$$

Единица потенциала - вольт (В)

Электрический потенциал поля, образованного точечным зарядом, или потенциал наэлектризованного шара, определяется по формуле

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

Работа в электрическом поле  $A$ , связанная с перемещением заряда, зависит от разности потенциалов точек, между которыми перемещается заряд  $q$ :

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

и не зависит от формы пути, по которому он перемещается.

Для однородного поля справедлива следующая зависимость:

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} = \frac{U}{d}$$

где  $d$  - расстояние между точками 1 и 2, измеряемое вдоль силовой линии. Из этой формулы получается единица напряженности - вольт на метр (В/м).

**Вариант 1.**

1. Определить разность электрических потенциалов между двумя точками поля, если для перемещения между ними заряда  $8,0 \cdot 10^{-7}$  Кл пришлось совершить работу  $3,0 \cdot 10^{-5}$  Дж.

2. Работа при переносе заряда  $2 \cdot 10^{-7}$  Кл из бесконечности в некоторую точку электрического поля равна  $8 \cdot 10^{-4}$  Дж. Определить электрический потенциал поля в

этой точке.

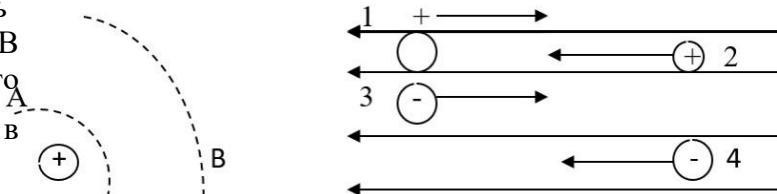
3. Какую скорость может сообщить электрону, находящемуся в состоянии покоя, ускоряющаяся разность потенциалов в 1000 В? Масса электрона  $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг.

4. Какую работу требуется совершить, чтобы два заряда  $4 \cdot 10^{-5}$  и  $8 \cdot 10^{-6}$  Кл, находящиеся в воздухе на расстоянии 0,8 м друг от друга, сблизить до 0,2 м?

### Вариант 2.

1. Электрическое поле перемещает положительный заряд  $3,0 \cdot 10^{-7}$  Кл между точками с потенциалами 200 и 1200 В. Какую работу совершает при этом поле?

2. Определить разность потенциалов между точками А и В электрического поля точечного заряда  $4 \cdot 10^{-8}$  Кл, находящегося в воздухе, как показано на рисунке, если расстояния от этих точек до заряда соответственно равны 1 и 4 м.



зано на рисунке, если расстояния от этих точек до заряда соответственно равны 1 и 4 м.

3. Напряженность электрического поля между двумя большими металлическими пластинами не должна превышать  $2,5 \cdot 10^4$  В/м. Определить допустимое расстояние между пластинами, если к ним будет подано напряжение 5000 В.

4. Электрические потенциалы двух изолированных проводников, находящихся в воздухе, равны +110 и -110 В. Какую работу совершит электрическое поле этих двух зарядов при переносе заряда  $5 \cdot 10^{-4}$  Кл с одного проводника на другой?

### Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое «потенциал электрического поля»? Формула.
2. Что такое «разность потенциалов»? Формулы.
3. Связь между напряжением и напряженностью электрического поля.

## Практическое занятие №11

Связь между напряженностью и разностью потенциалов электрического поля.

Емкость. Конденсаторы. Энергия заряженного конденсатора. Применение конденсаторов.

### Цель:

1. Изучить устройство, работу и применение конденсаторов.
2. Научиться решать задачи, применяя формулы ёмкости конденсатора и энергии заряженного конденсатора.

### Ответьте на вопросы:

1. Что называется электроёмкостью двух проводников? Отчего она зависит? (определение, формула, единицы измерения)
2. Что такое конденсаторы? Их виды.
3. Какие бывают типы конденсаторов?
4. Как вычислить ёмкость конденсатора? Отчего она зависит?
5. Как вычислить энергию заряжённого конденсатора? (формулы с пояснениями, единицы измерения)
6. Какую роль играют конденсаторы в технике? Где они применяются?

#### Решите задачи:

1. Конденсатор ёмкостью 20 мкФ заряжен до напряжения 300 В. Определите заряд конденсатора и энергию, сосредоточенную в нём.
2. Ёмкость конденсатора 0,25 мкФ, а разность потенциалов между пластинами 400 В. Какой заряд имеет этот конденсатор?
3. Конденсатор ёмкостью 0,02 мкФ соединили с источником тока, в результате чего он приобрёл заряд 0,02 мкКл. Определите значение напряжённости ЭП между пластинами конденсатора, если расстояние между ними равно 5 мм.
4. Два конденсатора ёмкостью:  $C = 100$  мкФ и  $C = 200$  мкФ соединены

а) последовательно б) параллельно

Чему равна общая ёмкость батареи?

#### Решите самостоятельно:

1. Какова ёмкость конденсатора, если при его зарядке до напряжения 1,4 кВ он получает заряд 28 нКл?
2. Наибольшая ёмкость конденсатора 58 мкФ. Какой заряд он получит при его подключении к полюсам источника постоянного напряжения 50 В?
3. Конденсатору ёмкостью 10 мкФ сообщили заряд 4 мкКл. Какова энергия заряжённого конденсатора?
4. Конденсатор ёмкостью 0,01 мкФ соединили с источником тока, в результате он приобрёл заряд 0,1 нКл. Определите напряжённость ЭП между пластинами конденсатора, если расстояние между пластинами 4 мм.

### Практическое занятие №12

Работа и мощность постоянного тока. Тепловое действие тока Закон Джоуля—Ленца. Электродвижущая сила источника тока. Закон Ома для полной цепи

Цель: научиться решать задачи, используя формулы работы и мощности электрического тока, закон Джоуля – Ленца.

Краткая теория

Способность тела производить работу называется энергией тела. Таким образом, мерой количества энергии является работа. Энергия тела тем больше, чем большую работу может

произвести это тело при своем движении. Энергия не исчезает, а переходит из одной формы в другую. Например, в генераторе механическая энергия преобразуется в электрическую энергию, а в двигателе – электрическая в механическую. Однако не вся энергия является полезной, т.е. часть ее расходуется на преодоление внутреннего сопротивления источника и проводов. Работа электрического тока численно равна произведению напряжения, силы тока в цепи и времени его прохождения. Единица измерения – Джоуль. Для измерения работы или энергии электрического тока используется электроизмерительный прибор – счетчик электрической энергии. Электрическая энергия помимо джоулей измеряется в ваттчасах или киловатт-часах:

$$1 \text{ Вт}\cdot\text{ч} = 3\,600 \text{ Дж}, 1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 1\,000 \text{ Вт}\cdot\text{ч}.$$

Мощность электрического тока – это работа, производимая (или потребляемая) в единицу времени. Единица измерения – Ватт. Для измерения мощности электрического тока используется электроизмерительный прибор – ваттметр. Кратными единицами измерения мощности являются киловатт или мегаватт:

$$1 \text{ кВт} = 1\,000 \text{ Вт}, 1 \text{ МВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт}.$$

Закон Джоуля-Ленца: при прохождении электрического тока по проводнику количество теплоты, выделяемое проводником, прямо пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени, в течение которого электрический ток протекает по проводнику:

где  $Q$  – количество теплоты, Дж,  $I$  – сила тока, А;  $R$  – сопротивление проводника, Ом;  $t$  – время, в течение которого электрический ток протекал по проводнику, с.

Закон Джоуля-Ленца используют при расчетах тепловых режимов источников электроэнергии, линий электропередачи, потребителей и других элементов электрической цепи.

#### Задания для аудиторной работы

1. Какую работу совершает электрический ток в электродвигателе за 30 мин, если сила тока в цепи 0,5 А, а напряжение на клеммах двигателя 12 В?
2. Электроплитка рассчитана на напряжение 220 В и силу тока 3 А. Определите мощность тока в плитке.
3. В цепь с напряжением 127 В включена электрическая лампа, сила тока в которой 0,6 А. Найдите мощность тока в лампе.
4. Определите сопротивление электрического паяльника, потребляющего ток мощностью 300 Вт от сети напряжением 220 В.
5. Какое количество теплоты выделяется за 20 мин при силе тока 400 мА в проводнике сопротивлением 200 Ом?

#### Самостоятельная работа

##### Вариант 1

##### Часть А

При пуске двигателя автомобиля через его стартер в течение 2 с протекает ток 150 А от аккумуляторной батареи с напряжением 12 В.

Какую работу совершает при этом стартер?

##### Часть В

Рассчитайте количество теплоты, которое выделит за 5 минут проволочная спираль сопротивлением 50 Ом, если сила тока 1,5 А.

Часть С

Определите сопротивление нити накала лампочки, имеющей номинальную мощность 100 Вт, включенной в сеть с напряжением 220 В.

Вариант 2

Часть А

При нормальном режиме работы тостера сила тока в его электрической цепи равна 6 А. Напряжение в сети 220 В. Найдите работу электрического тока за 5 мин.

Часть В

Лампочка потребляет мощность 100 Вт. Какой ток будет идти по лампочке, если включить ее в сеть с напряжением 120 В?

Часть С

Какое количество теплоты в течение часа выделит электрический утюг с сопротивлением в 24 Ом, питаемый током в 5А?

Контрольные вопросы.

1. Что называется работой электрического тока? Мощностью тока?
2. В каких единицах измеряются работа и мощность тока?
3. Сформулируйте закон Джоуля-Ленца.

### Практическое занятие №13

#### Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока.

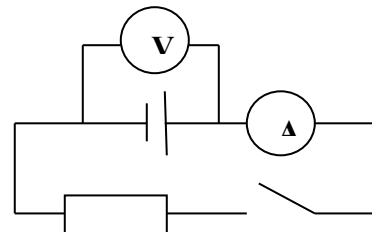
При использовании любого источника тока необходимо, прежде всего, знать его ЭДС и внутреннее сопротивление. В работе рассматриваются простейшие способы измерения ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока на основе использования закона Ома для замкнутой цепи.

**Цель работы:** измерить ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.

**Приборы и материалы:** амперметр, источник тока, резистор, ключ, соединительные провода.

**Указания к работе.**

1. Соберите цепь, изображенную на рисунке.



2. Измерьте ЭДС источника, пользуясь тем, что напряжение между его полюсами мало отличается от ЭДС, если  $R \gg r$ .
3. Замкните ключ, измерьте силу тока  $I$  и напряжение  $U$ .
4. Рассчитайте, используя закон Ома для участка цепи, внешнее сопротивление  $R$ .

5. Рассчитайте внутреннее сопротивление источника тока по формуле:  $r = \frac{\mathcal{E}}{I} - R$

6. Результаты измерений занесите в таблицу.

ЭДС источника , В	Сила тока I, А	Напряжение U, В	Сопротивление R, Ом	Внутреннее сопротивление r, В

7. Сделайте вывод.

#### Практическое занятие №14

Электрический ток в металлах, в электролитах, газах, в вакууме. Электролиз. Закон электролиза Фарадея. Виды газовых разрядов. Термоэлектронная эмиссия. Плазма. Электрический ток в полупроводниках. Собственная и примесная проводимости. Р-п переход. Полупроводниковые приборы. Применение полупроводников.

При прохождении тока через некоторые растворы, например, через раствор серной кислоты, происходит разложение воды на составные части – водород и кислород, которые выделяются на пластинах, соединенных соответственно с отрицательным и положительным полюсами батареи. Такого рода растворы, разлагающиеся химически при прохождении через них тока, называются электролитами, а сам процесс разложения вещества электрическим током – электролизом. Проводники, погруженные в электролит для подведения к нему тока называются электродами: положительный электрод – анод, отрицательный электрод – катод. Продукты разложения электролита, например, водород и кислород, в опыте, выделяются на электродах все время, пока идет ток. Массу выделившегося вещества можно измерить. Если подобрать такой раствор, при котором выделяющееся вещество оседает в виде твердого осадка на электроде, то эту массу можно измерить без затруднений. Например, если пропускать ток через раствор медного купороса, то на катоде оседает медь. Это явление можно легко наблюдать, если катод сделать из угля – на черной поверхности угля будет заметен красноватый слой выделившейся меди. Взвешивая катод до и после опыта, можно определить массу осадившегося металла. Измерения показывают, что масса вещества, выделившегося на электродах, зависит от силы тока и времени электролиза. Замыкая цепь на разные промежутки времени, можно убедиться в том, что масса выделившегося вещества пропорциональна времени прохождения тока. Также масса выделившегося вещества пропорциональна силе тока. Таким образом, получается, что масса выделившегося вещества пропорциональна произведению силы тока и времени электролиза. Все это позволило Фарадею сформулировать важный закон, который носит его имя: масса вещества,

выделившегося на электроде, пропорциональна заряду, или количеству электричества, прошедшему через электролит. Это первый закон Фарадея. Если  $m$  – масса выделившегося вещества,  $I$  – сила тока,  $t$  – время электролиза,  $q$  – полный заряд, прошедший через ванну за время  $t$ , то первый закон Фарадея можно записать так:

$$m = Kq = Kit, \text{ где } K \text{ – коэффициент пропорциональности.}$$

Полагая в этой формуле заряд  $q = 1$ , получим, что коэффициент  $K$  равен массе вещества, выделяемого зарядом в 1 Кл, или иначе массе вещества, выделяемого током 1А за 1 с. Исследования Фарадея показали, что величина  $K$  является характерной для каждого вещества. Величина  $K$  называется электрохимическим эквивалентом данного вещества. Таким образом, получаем, что электрохимическим эквивалентом вещества, называется масса этого вещества, выделяемая при электролизе одним кулоном протекшего через раствор электричества.

Электрохимические эквиваленты различных веществ существенно отличны один от другого. Ответ на вопрос – от каких свойств вещества зависит его химический эквивалент, дает следующий важный закон, который также был установлен Фарадеем на опыте (второй закон Фарадея): электрохимические эквиваленты различных веществ пропорциональны их молярным массам и обратно пропорциональны числам, выражающим их химическую валентность. Уяснить этот закон можно с помощью следующего примера: Молярная масса серебра равна 0,1079 кг/моль, его валентность – 1. Молярная масса цинка равна 0,0654 кг/моль, его валентность – 2. Поэтому по второму закону Фарадея электрохимические эквиваленты серебра и цинка должны относиться

как:  $\frac{0,1079}{1}; \frac{0,0654}{2} = 3,30$

Если по прежнему обозначить через  $K$  [кг/Кл] электрохимический эквивалент вещества, через  $M$  [кг/моль] – его молярную массу, а через  $n$  – валентность ( $n = 1, 2, \dots$ ), то второй закон Фарадея можно переписать в виде:

$$K = \frac{1}{F} \frac{M}{n}$$

Здесь через  $1/F$  обозначен коэффициент пропорциональности, который является универсальной постоянной, т. е. имеет одинаковое значение для всех веществ. Величина  $F$  называется постоянной Фарадея. Ее значение, найденное экспериментально равно:  $F = 96484$  Кл/моль. Отношение молярной массы какого-либо вещества к его валентности  $M/n$  называют химическим эквивалентом данного вещества. Это отношение показывает, какая масса данного

вещества необходима для замещения одного моля водорода в химических соединениях. У одновалентных веществ химический эквивалент численно равен молярной массе. Пользуясь этим понятием, можно выразить второй закон Фарадея следующим образом: электрохимические эквиваленты веществ пропорциональны их химическим эквивалентам. Теперь можно выразить оба

закона Фарадея в виде одной формулы:  $m = \frac{1}{F} \frac{M}{n} q = \frac{1}{F} \frac{M}{n} It$ , где  $m$  – масса вещества, выделяющегося при прохождении через электролит количества электричества  $q$ . Это объединенный закон Фарадея. Эта формула имеет простой физический смысл. Положим в ней  $m = M/n$ , т. е. возьмем массу одного химического эквивалента данного вещества. Тогда получим  $F = q$ . Это значит, что постоянная Фарадея численно равна заряду  $q$ , который необходимо пропустить через любой электролит, чтобы выделить на электродах вещество в количестве, равном одному химическому эквиваленту. Электролиз находит техническое применение в таких процессах как электролитический метод получения чистых металлов, гальваностегия, гальванопластика.

**Задание:** Зная, что химический эквивалент водорода равен  $1,045 \cdot 10^{-8}$  кг/Кл, вычислите электрохимический эквивалент хлора. Валентность хлора равна 1, относительные атомные массы хлора и водорода равны 35,45 и 1,008.

1. Серебрение пластинок производится при плотности тока  $j = 0,5$  А/дм<sup>2</sup>, при этом за время  $t = 5$  ч выделяется масса  $m = 2$  кг серебра. Найти площадь пластинок. Электрохимический эквивалент серебра  $K = 1,118 \cdot 10^{-6}$  кг/Кл.

*Указания:*

- a. Записать «Дано»
  - b. Записать численные значения и единицы измерения всех физических величин, перевести дробные и кратные значения величин в целые.
  - c. Использовать формулу первого закона Фарадея.
  - d. Использовать формулу для связи силы тока, плотности тока с площадью пластин:  $I = j \times S$
  - e. Скомбинировать две вышеприведенные формулы, выразить неизвестную площадь пластин через известные величины, подставить численные значения и вычислить.
2. Электролитическая ванна для получения алюминия рассчитана на 25000 А. Электролиз алюминия производится при рабочем напряжении 4,8 В на ванне. Выход по току (КПД) равен 86%. Электрохимический эквивалент  $K = 0,335$  г/А×ч. Сколько алюминия производится за сутки? Каков расход электроэнергии на 1 кг алюминия?

Указания:

- a. Записать «Дано»
  - b. Записать численные значения и единицы измерения всех физических величин, перевести дробные и кратные значения величин в целые.
  - c. Использовать формулу первого закона Фарадея с учетом КПД:  $m = \eta KIt$ ,  $\eta$  - КПД
  - d. Использовать формулу для работы тока  $A = UIt$ , так как она равна потребляемой электроэнергии.
  - e. Расход электроэнергии найти, используя формулу:  $\gamma = \frac{A}{m}$ , где  $\gamma$  – расход электроэнергии.
  - f. Сделать проверку размерности полученных величин.
2. Под каким напряжением следует проводить электролиз воды на установке с КПД 80%, чтобы при затратах электроэнергии не более 965 кДж выделившийся кислород находился в объеме 1л под давлением 200 кПа при температуре 300К? Постоянная Фарадея, валентность кислорода и молярная газовая постоянная равны соответственно 96500 Кл/моль; 2; 8,31 Дж/(моль×К).

Указания:

- a. Записать «Дано»
- b. Записать численные значения и единицы измерения всех физических величин, перевести дробные и кратные значения величин в целые.
- c. Искомое напряжение найти, выразив его из формулы:  $E_{\text{полезная}} = qU$ , где  $E_{\text{полезная}}$  – электроэнергия (полезная), идущая непосредственно на выделение кислорода.
- d. Исходя из того, что КПД определяется по формуле:  $\eta = \frac{E_{\text{полезная}}}{E}$ , выразить из этой формулы  $E_{\text{полезная}}$ .
- e. Найти величину заряда из объединенного закона Фарадея:  $m = \frac{1}{F} \frac{Aq}{n}$ , выразив из него  $q$ .
- f. Подставив формулы из пунктов d и e в формулу для напряжения (пункт c), получить формулу для напряжения. В этой формуле помимо напряжения остается неизвестной масса выделившегося кислорода.
- g. Массу выделившегося кислорода найти, выразив ее из уравнения Менделеева-Клапейрона:  $pV = \frac{m}{M} RT$ ,  $M = 32 \times 10^{-3}$  кг/моль – молярная масса кислорода.

- h. Подставив формулу для массы  $m$  в полученную в пункте  $f$  формулу для напряжения, получить конечную формулу, подставить численные значения и вычислить.
- i. Сделать проверку размерности полученных величин.
2. При никелировании изделия в течение 1 часа отложился слой никеля толщиной  $l = 0,01$  мм. Определить плотность тока  $j$ , если атомная масса никеля  $A = 0,0587$  кг/моль, валентность  $n = 2$ , плотность никеля  $\rho = 8,9 \times 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Указания:

- a. Записать «Дано»
- b. Записать численные значения и единицы измерения всех физических величин, перевести дробные и кратные значения величин в целые.
- c. Использовать объединенный закон Фарадея:  $m = \frac{1}{F} \frac{A}{n} It$
- d. Использовать формулы для массы:  $m = \rho \times V = \rho \times l \times S$ , для силы тока:  $I = j \times S$ , где  $S$  – площадь покрытия никелем.
- e. Подставить формулы из пункта  $d$  в формулу из пункта  $c$ .
- f. Выразить плотность тока, подставить численные значения и вычислить.
- g. Сделать проверку размерности полученных величин.
2. При электролизе раствора серной кислоты затрачивается мощность 37 Вт. Определить сопротивление электролита, если за время 50 мин выделилось 0,3 г водорода. КПД установки 80%. Постоянная Фарадея  $96,5 \times 10^3$  Кл/моль. Атомная масса и валентность водорода равны соответственно  $1,0 \times 10^{-3}$  кг/моль и 1. Указания:
- a. Записать «Дано»
- b. Записать численные значения и единицы измерения всех физических величин, перевести дробные и кратные значения величин в целые.
- c. Использовать объединенный закон Фарадея:  $m = \frac{\eta}{F} \frac{A}{n} It$ , где  $\eta$  – КПД установки.
- d. Использовать формулы - закона Ома:  $I = \frac{U}{R}$ , мощности:  $P = U \times I$
- e. Выразить из объединенного закона Фарадея силу тока.
- f. Скомбинировав формулы пункта  $d$ , выразить искомое сопротивление электролита.
- g. Подставить формулу из пункта  $e$  в формулу для сопротивления из пункта  $f$ .
- a. Подставить численные значения и вычислить.
- b. Сделать проверку размерности полученных величин.

## Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте первый закон Фарадея.
2. Сформулируйте второй закон Фарадея.
3. Сформулируйте объединенный закон Фарадея.
4. Что такое химический эквивалент данного вещества?
5. Что такое постоянная Фарадея?
6. Укажите численное значение и единицу измерения постоянной Фарадея.
7. Какой из электродов называется анодом, а какой катодом?
8. Каким образом можно измерить массу выделившегося вещества.
9. Укажите, при каких технологических процессах применяется электролиз и кратко поясните в чем заключается каждый из этих процессов.

## Практическое занятие № 15

Применение силы Ампера. Магнитный поток. Действие магнитного поля на движущийся заряд.  
Сила Лоренца. Применение силы Лоренца.

Магнитное поле — это особый вид материи, посредством которого осуществляется взаимодействие между движущимися электрически заряженными частицами.

Силовой характеристикой магнитного поля является магнитная индукция — векторная величина, являющаяся силовой характеристикой магнитного поля и которая полностью характеризует магнитное поле.

В магнитном поле на проводник с током действует сила Ампера, а на отдельно движущуюся частицу — сила Лоренца.

В данной теме рассмотрим основные типы задач, а также попытаемся выделить общую методику их решений. В представленной теме можно выделить три типа задач:

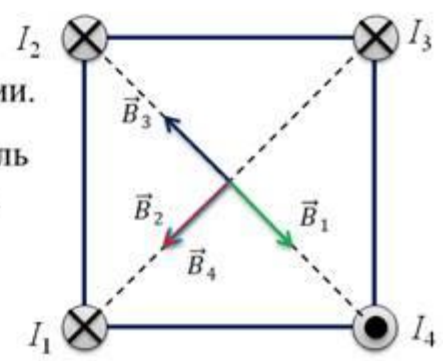
- 1) на расчет полей (вычисление магнитной индукции, в какой либо точке магнитного поля);
- 2) о силовом действии магнитного поля на проводники или контур с током;
- 3) о силовом действии магнитного поля на движущиеся в нем заряженные частицы.



Рассмотрим первый тип задач на конкретных примерах.

Задача 1. По четырем длинным прямым параллельным проводникам, проходящим через вершины квадрата, со стороной 30 см, перпендикулярно его плоскости, проходят одинаковые токи по 10 А, причем по трем проводникам проходят токи в одном направлении, а по четвертому — в противоположном. Определите индукцию магнитного поля в центре квадрата.

Дано:	Решение:
$a = 0,3 \text{ м}$	Воспользуемся принципом суперпозиции полей:
$I = 10 \text{ А}$	$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4$
$B = ?$	$r = \frac{a\sqrt{2}}{2}$ — радиус линий магнитной индукции.
	$\vec{B}_1 + \vec{B}_3 = \vec{0}$ — т.к. векторы направлены вдоль одной прямой в противоположные стороны.
	$\vec{B}_2$ и $\vec{B}_4$ — сонаправлены.
	$B = B_2 + B_4 = 2B_2 = 2 \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{2\mu_0 I}{\pi a\sqrt{2}}$
	$B = \frac{2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10}{\pi \cdot 0,3 \cdot \sqrt{2}} = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ Тл} = 19 \text{ мкТл.}$



Задача 2. Соленоид длиной 40 см и диаметром 4 см, содержит 2000 витков проволоки сопротивлением 150 Ом. Определите индукцию магнитного поля внутри катушки, если к ней подведено напряжение 6 В.

<b>Дано:</b>
$l = 0,40 \text{ м}$
$d = 0,040 \text{ м}$
$N = 2,0 \cdot 10^3$
$R = 150 \text{ Ом}$
$U = 6,0 \text{ В}$
$B = ?$

**Решение:**

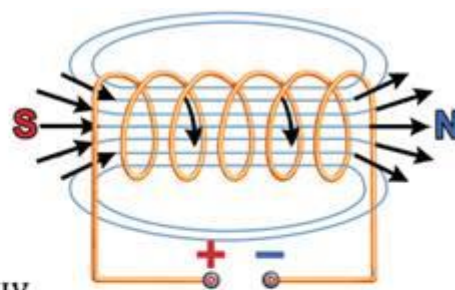
Внутри соленоида, магнитное поле однородно:

$$B = \mu_0 I n = \frac{\mu_0 I N}{l},$$

где  $n = \frac{N}{l}$  — число витков на единицу длины.

По закону Ома для участка цепи:  $I = \frac{U}{R}$   $\Rightarrow$   $B = \frac{\mu_0 U N}{l R}$

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 6,0 \cdot 2,0 \cdot 10^3}{0,4 \cdot 150} = 2,5 \text{ мТл.}$$



Выделим общие рекомендации для решения задач на расчет полей. При решении задач данного типа, главное следует помнить, что силовой характеристикой магнитного поля является магнитная индукция, которая в каждой точке поля направлена по касательной к линии магнитной индукции.

Поэтому необходимо:

1. Сделать схематический рисунок, указав на нем проводник с током, создающий магнитное поле;
2. Через данную точку провести линию магнитной индукции, определив ее направление, пользуясь правилом правого винта;
3. Изобразить магнитную индукцию в точке наблюдения вектора индукции магнитного поля, направленную по касательной к линии магнитной индукции;
4. Рассчитать модуль магнитной индукции, используя формулы для магнитного поля;
5. При нахождении магнитной индукции поля, созданного несколькими токами, следует использовать принцип суперпозиции полей, при этом обязательно нужно помнить, что это векторная сумма.

Рассмотрим пример задачи второго типа, т.е. задачи на силовое действие магнитного поля на проводник с током.

Задача 3. Прямой проводник длиной 0,2 м и массой 5 г подвешен горизонтально на двух невесомых нитях в однородном магнитном поле. Вектор магнитной индукции перпендикулярен проводнику и равен по модулю 49 мТл. Какой ток надо пропустить через проводник, чтобы одна из нитей разорвалась, если нить разрывается при нагрузке, равной или превышающей 39,2 мН?

<b>Дано:</b>
$l = 0,2 \text{ м}$
$m = 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$
$B = 49 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$
$F_m = 39,2 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$
$I = ?$

**Решение:**

Условие равновесия в проекции на ось Oy:

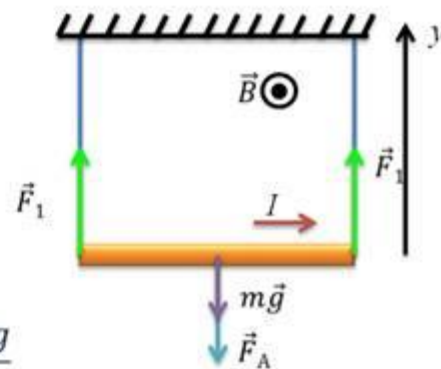
$$2F_1 - mg - F_A = 0$$

$$F_1 = \frac{mg + F_A}{2} \geq F_m$$

$$F_A = IBl$$

$$mg - IBl \geq 2F_m \Rightarrow I \geq \frac{2F_m - mg}{Bl}$$

$$I \geq \frac{2 \cdot 39,2 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{49 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2} = 3 \text{ А.}$$



Задача 4. Определите силу взаимодействия, приходящуюся на единицу длины проводов воздушной линии электропередач, если сила тока в линии составляет 500 А, а расстояние между проводами 50 см.

<b>Дано:</b>
$l = 1 \text{ м}$
$I = 500 \text{ А}$
$d = 0,5 \text{ м}$
$F_2 = ?$

**Решение:**

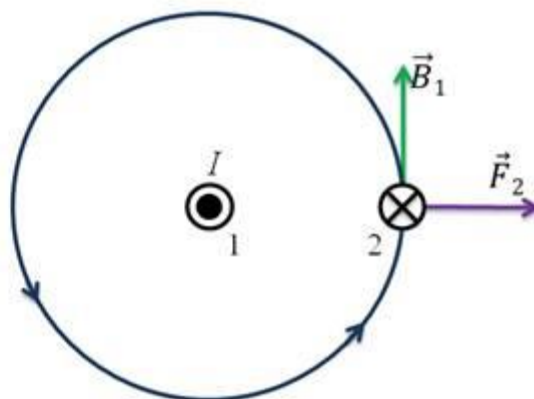
По закону Ампера:

$$F_2 = IB_1 l \sin 90^\circ = IB_1 l$$

Для магнитного поля прямого тока:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \Rightarrow F_2 = \mu_0 \frac{I^2 l}{2\pi d}$$

$$F_2 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{500^2 \cdot 1}{2\pi \cdot 0,5} = 0,1 \text{ Н.}$$



Выделим основные этапы, необходимые для решения задач подобного типа:

1. Сделать схематический чертёж, указав на нем линии индукции магнитного поля. Часто линии индукции изображают в плоскости чертежа, в некоторых случаях удобно их изображать перпендикулярно плоскости;
2. Изобразить контур с током, находящийся в этом поле. Отметить углы между направлением поля и отдельными элементами контура, если последний состоит из нескольких прямых проводников;
3. Используя правило левой руки, определить направление сил Ампера, действующих на каждый элемент контура, и изобразить их на чертеже;
4. Записать формулы для сил Ампера или вращающего момента, создаваемого этими силами и найти из них искомую величину;

5. Если в задаче рассматривается равновесие проводника или его движение в магнитном поле, то, кроме силы Ампера, нужно указать и все остальные силы, действующие на проводник, и записать условия его равновесия или основное уравнение динамики, спроецировав векторные величины на оси  $X$  и  $Y$ , найти искомую величину.

Рассмотрим третий тип задач: о силовом действии магнитного поля на движущиеся в нем заряженные частицы.

Задача 5. Протон влетает в однородное магнитное поле со скоростью  $1000 \text{ м/с}$  под углом  $60^\circ$  к линиям магнитной индукции. Определите радиус и шаг винтовой линии, по которой будет двигаться протон, если магнитная индукция поля равна  $10 \text{ мТл}$ .

Дано:
$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
$m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
$v = 1 \cdot 10^3 \text{ м/с}$
$\alpha = 60^\circ$
$B = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$
$R = ?$
$h = ?$

**Решение:**

$$F_{\text{л}} = qvB \sin \alpha$$

Движение по окружности:  $v_{\perp} = v \sin \alpha$   
 Равномерное движение:  $v_{\parallel} = v \cos \alpha$   
 По II закону Ньютона:  $F_{\text{л}} = ma_{\text{ц}}$   
 Центробежное ускорение:

$$a_{\text{ц}} = \frac{v_{\perp}^2}{R} = \frac{v^2 \sin^2 \alpha}{R}$$

Следовательно:  $qvB \sin \alpha = \frac{v^2 \sin^2 \alpha}{R} m$

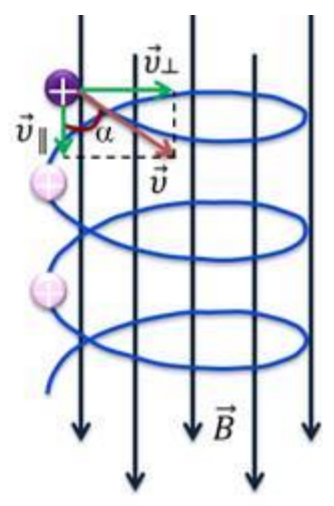
$$R = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$$

$$R = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 1 \cdot 10^3 \sin 60^\circ}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1 \cdot 10^{-2}} = 0,9 \text{ мм.}$$

Шаг винтовой линии:

$$h = v_{\parallel} T, \text{ где } T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}} = \frac{2\pi m}{qB}$$

$$h = \frac{2\pi m v \cos \alpha}{qB} \quad h = \frac{2\pi \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 10^3 \cdot \cos 60^\circ}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-2}} = 3,2 \text{ см.}$$



Выделим общие этапы решения задач данного типа. При решении задач о силовом действии магнитного поля на движущиеся в нем заряженные частицы необходимо:

- 1) Сделать чертеж, указав на нем линии индукции магнитного поля, начальную скорость частицы и отметить знак ее заряда;
- 2) Если скорость частицы направлена под углом к линии индукции магнитного поля, ее следует разложить на две составляющие, одна из которых должна быть перпендикулярна магнитной индукции, вторая параллельна ей. Такое разложение позволяет представить сложное движение в

виде двух более простых и в значительной мере упрощает задачу, поскольку при движении частицы вдоль линии магнитного поля сила Лоренца на частицу не действует;

3) Изобразить силы, действующие на заряженную частицу. При нахождении направления силы Лоренца по правилу левой руки следует обратить особое внимание на знак заряда частицы;

4) Указав силы, нужно попытаться определить вид траектории частицы;

5) записать основное уравнение динамики, выбрать оси координат и спроецировать векторные величины на оси  $x$  и  $y$ ;

6) используя формулу силы Лоренца, подставить в полученные уравнения значения сил, добавить при необходимости к уравнениям динамики еще формулы кинематики и решить полученную систему уравнений относительно искомой величины.

1. Какая сила действует на протон, движущийся со скоростью  $10^6$  м/с в магнитном поле с индукцией 0.2 Тл перпендикулярно линиям индукции?

2. Определите модуль силы, действующей на проводник длиной 20 см при силе тока 10 А в магнитном поле с индукцией 0.13 Тл, если угол  $\alpha$  между вектором  $B$  и проводником равен  $90^\circ$ ;

3. Определите, с какой силой магнитное поле, созданное током, действует на проводник, если магнитная индукция поля 1.5 Тл, рабочая длина проводника 0.4 м и по нему протекает ток 50 А.

4. Вычислите магнитную индукцию поля, если оно действует на проводник с силой 50 Н. Рабочая длина проводника, помещенного в магнитное поле, составляет пол метра, а сила тока, протекающего в нем, 0,2 А.

5. Какова скорость заряженного тела, перемещающегося в магнитном поле с индукцией 2 Тл, если на него со стороны магнитного поля действует сила 32 Н. Скорость и магнитное поле взаимно перпендикулярны. Заряд тела равен 0,5 мКл.

### Практическое занятие №16

Магнитные свойства вещества. Солнечная активность и её влияние на Землю. Магнитные бури.

Выполните задания:

1. Магнитное поле порождается

- только покоящимися электрическими зарядами
- как неподвижными, так и движущимися эл. Зарядами
- только движущимися эл. зарядами

2. Из опыта Эрстеда следует, что ...
  - проводник с током действует на эл. Заряды
  - магнитная стрелка взаимодействует вблизи проводника с током
  - два проводника взаимодействуют между собой
3. Как располагаются железные опилки в магнитном поле прямого тока
  - Беспорядочно
  - По прямым линиям
  - По замкнутым кривым, охватывающим проводник

Работа в группах.

### **Задание 1. Взаимодействие постоянного магнита с разными материалами.**

*Оборудование:* магнит, несколько тел, изготовленных из разных материалов.

Поднесите магнит к предметам, изготовленным из различных материалов, установите, все ли из них притягиваются магнитом.

Сделайте вывод. (*Учащиеся делают выводы.*)

**Вывод.** *Хорошо притягиваются магнитом чугун, сталь, железо и некоторые сплавы, значительно слабее никель и кобальт.*

### **Задание 2 Изучение магнитных взаимодействий.**

*Оборудование:* 1 магнит подвесить, другой подносить к нему. Зарисуйте результаты.

**Вывод.** *Одноименные полюсы магнита отталкиваются, разноименные — притягиваются*

### **Задание 3. Наблюдение картины магнитного поля постоянных магнитов.**

*Оборудование:* магниты (полосовой и дуговой), стаканчики с металлическим порошком.

накройте полосовой магнит бумагой, насыпьте порошок. Слегка постучите по ней пальцем. Рассмотрите полученное изображение.

Повторите опыт для дугового магнита.

*Рисунки, которые у вас получились, дают представление о картине магнитного поля полосового и дугообразного магнитов. Как магнитные линии магнитного поля тока, так и магнитные линии магнитного поля магнита — замкнутые линии. Вне магнита магнитные линии выходят из*

северного полюса магнита и входят в южный, замыкаясь внутри магнита, так же как магнитные линии катушки с током.

#### **Задание 4. Наблюдение картины магнитного поля двух полосовых магнитов.**

*Оборудование:* два магнита, стаканчики с металлическим порошком.

Накройте магнит бумагой, насыпьте на неё опилки, легко постучите. Рассмотрите магнитные линии магнитного поля двух магнитов, обращенных друг к другу:

- одноименными полюсами;
- разноименными полюсами.

*Вывод(рисунки).*

#### **Задание 5. Все ли точки магнитов обладают одинаковой силой?**

*Оборудование:* металлические скрепки, магниты (полосовой и дуговой).

Возьмите полосовой магнит, поднесите несколько скрепок точно к середине магнита, где проходит граница между красной и синей половинками. Притягивает ли магнит скрепки?

Приближайте скрепки к разным местам магнита, начиная от середины. Какие места обнаруживают наиболее сильное магнитное действие? Повторите то же с дуговым магнитом.

Сделайте вывод. (*Учащиеся делают вывод.*)

***Вывод.*** Линия посередине магнита, называемая нейтральной, не обнаруживает магнитных свойств. Наиболее сильное магнитное действие обнаруживают полюса магнита.

#### **Задание 6**

*Оборудование:* гвоздь, скрепки, магнит.

Возьмите иголку и поднесите её к скрепкам. Прилипают ли скрепки к иголке?

Потрите иголку о магнит в одном направлении, а затем поднесите к скрепкам. Прилипают ли скрепки?

Сделайте вывод.

В первом случае иголка не прилипла к скрепкам. Стоило иголке «пообщаться» с магнитом, как она сама стала магнитом.

***Вывод.*** Железо, сталь, никель, кобальт и некоторые другие сплавы в присутствии магнитного железняка приобретают магнитные свойства.

Если магнитную стрелку приблизить к другой такой же стрелке, то они повернутся и установятся друг против друга противоположными полюсами (*показать на опыте*).

**Постоянные магниты** – это тела, которые длительное время сохраняют намагниченность.

**Полюс** – место магнита, где обнаруживается наиболее сильное действие.

**N** – северный полюс магнита

**S** – южный полюс магнита

Происхождение магнитного поля постоянных магнитов

Как объяснить намагниченность магнитов? Оказывается, что все дело в особом поле, создаваемом магнитом. Вокруг любого магнита существует магнитное поле. Оно и притягивает железо к магниту.

#### Практическое занятие № 17

Изучение явления электромагнитной индукции.

Цель работы:

*изучить условия возникновения индукционного тока, ЭДС индукции.*

Оборудование: катушка, два полосовых магнита, миллиамперметр.

Теория

Взаимная связь электрических и магнитных полей была установлена выдающимся английским физиком М. Фарадеем в 1831 г. Он открыл явление электромагнитной индукции.

Многочисленные опыты Фарадея показывают, что с помощью магнитного поля можно получить электрический ток в проводнике.

*Явление электромагнитной индукции заключается в возникновении электрического тока в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего контур.*

*Ток, возникающий при явлении электромагнитной индукции, называют индукционным.*

В электрической цепи (рисунок 1) возникает индукционный ток, если есть движение магнита относительно катушки, или наоборот. Направление индукционного тока зависит как от направления движения магнита, так и от расположения его полюсов. Индукционный ток отсутствует, если нет относительного перемещения катушки и магнита.



Рисунок 1.

Строго говоря, при движении контура в магнитном поле генерируется не определенный ток, а определенная э. д. с.

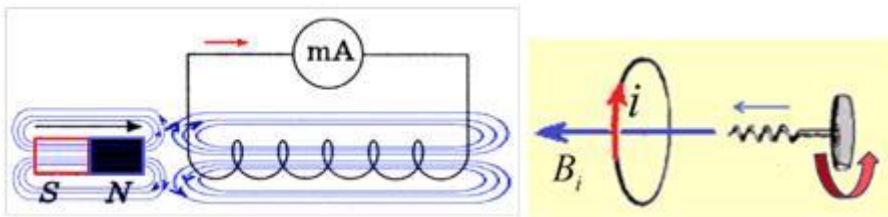


Рисунок 2.

Фарадей экспериментально установил, что *при изменении магнитного потока в проводящем контуре возникает ЭДС индукции  $E_{инд}$ , равная скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой со знаком минус:*

$$\varepsilon_{инд} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Эта формула выражает закон Фарадея: *э. д. с. индукции равна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром.*

Знак минус в формуле отражает правило Ленца.

В 1833 году Ленц опытным путем доказал утверждение, которое называется правилом Ленца: *индукционный ток, возбуждаемый в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, всегда направлен так, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающего индукционный ток.*

При возрастании магнитного потока  $\Phi > 0$ , а  $\varepsilon_{инд} < 0$ , т.е. э. д. с. индукции вызывает ток такого направления, при котором его магнитное поле уменьшает магнитный поток через контур.

При уменьшении магнитного потока  $\Phi < 0$ , а  $\varepsilon_{инд} > 0$ , т.е. магнитное поле индукционного тока увеличивает убывающий магнитный поток через контур.

Правило Ленца имеет глубокий физический смысл – оно выражает закон сохранения энергии: если магнитное поле через контур увеличивается, то ток в контуре направлен так, что его магнитное поле направлено против внешнего, а если внешнее магнитное поле через контур уменьшается, то ток направлен так, что его магнитное поле поддерживает это убывающее магнитное поле.

ЭДС индукции зависит от разных причин. Если вдвигать в катушку один раз сильный магнит, а в другой — слабый, то показания прибора в первом случае будут более высокими. Они будут более высокими и в том случае, когда магнит движется быстро. В каждом из проведённых в этой работе опыте направление индукционного тока определяется правилом Ленца. Порядок определения направления индукционного тока показан на рисунке 2.

На рисунке синим цветом обозначены силовые линии магнитного поля постоянного магнита и линии магнитного поля индукционного тока. Силовые линии магнитного поля всегда направлены от N к S – от северного полюса к южному полюсу магнита.

По правилу Ленца индукционный электрический ток в проводнике, возникающий при изменении магнитного потока, направлен таким образом, что его магнитное поле противодействует изменению магнитного потока. Поэтому в катушке направление силовых линий магнитного поля противоположно силовым линиям постоянного магнита, ведь магнит движется в сторону катушки. Направление тока находим по правилу буравчика: если буравчик (с правой нарезкой) ввинчивать так, чтобы его поступательное движение совпало с направлением линий индукции в катушке, тогда направление вращения рукоятки буравчика совпадает с направлением индукционного тока.

Поэтому ток через миллиамперметр течёт слева направо, как показано на рисунке 1 красной стрелкой. В случае, когда магнит отодвигается от катушки, силовые линии магнитного поля индукционного тока будут совпадать по направлению с силовыми линиями постоянного магнита, и ток будет течь справа налево.

Ход работы.

Подготовьте для отчета таблицу и по мере проведения опытов заполните её.

№ п/п	Действия с магнитом и катушкой	Показания милли- амперметра,	Направления отклонения стрелки миллиампер- метра (вправо, влево или не	Направление индукционного тока (по правилу Ленца)

		мА	отклоняется)	
1	Быстро вставить магнит в катушку северным полюсом			
2	Оставить магнит в катушке неподвижным после опыта 1			
3	Быстро вытащить магнит из катушки			
4	Быстро приблизить катушку к северному полюсу магнита			
5	Оставить катушку неподвижной после опыта 4			
6	Быстро вытащить катушку от северного полюса магнита			
7	Медленно вставить в катушку магнит северным полюсом			
8	Медленно вытащить магнит из катушки			
9	Быстро вставить в катушку 2 магнита северными полюсами			
10	Быстро вставить магнит в катушку южным полюсом			
11	Быстро вытащить магнит из катушки после опыта 10			

12	Быстро вставить в катушку 2 магнитными полюсами			
----	---	--	--	---

Записать общий вывод по работе на основе проведённых наблюдений.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. В чем заключается явление электромагнитной индукции?
2. Какой ток называют индукционным?
3. Сформулируйте закон электромагнитной индукции. Какой формулой он описывается?
4. Как формулируется правило Ленца?
5. Какова связь правила Ленца с законом сохранения энергии?

### Практическое занятие № 18

Решение задач. Поперечные и продольные волны. Характеристики волны. Звуковые волны. Ультразвук и его применение.

#### Задание #1

Вопрос:

Через какое время человек услышит эхо, если расстояние до преграды, отражающей звук, 68 м? Скорость звука в воздухе 340 м/с.

Запишите число:

\_\_\_\_\_

#### Задание #2

Вопрос:

Верхняя граница частоты колебаний, воспринимаемая ухом человека, составляет для детей 22 кГц, а для пожилых людей 10 кГц.

В воздухе скорость звука равна 340 м/с. Кто услышит звук с длиной волны 20 мм?

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) услышит только пожилой человек
- 2) не услышат ни ребёнок, ни пожилой человек
- 3) услышит и ребёнок, и пожилой человек

4) услышит только ребёнок

Задание #3

Вопрос: Какие колебания называются ультразвуковыми?

Выберите один из 3 вариантов ответа:

- 1) Механические колебания с частотой выше 20 Гц
- 2) Механические колебания, частоты которых лежат в пределах от 20 до 20000 Гц
- 3) Механические колебания, частоты которых выше 20000 Гц

Задание #4

Вопрос: При интерференции когерентных волн, если разность хода равна нечетному числу полуволн, то....

Выберите один из 2 вариантов ответа:

- 1) амплитуда суммарной волны равна нулю.
- 2) амплитуда суммарной волны равна удвоенной амплитуде одной из волн.

Задание #5 Вопрос: От чего зависит громкость звука?

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) От частоты колебаний
- 2) От амплитуды колебаний
- 3) Не зависит ни от частоты, ни от амплитуды
- 4) От частоты и амплитуды

Задание #6

Вопрос: Поперечные упругие волны возможны:

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) Только в жидкостях
- 2) В газах, твердых телах и жидкостях
- 3) Только в газах

4) Только в твердых телах

Задание #7

Вопрос: В воздухе распространяется звуковая волна. Выберите правильное утверждение.

Выберите один из 3 вариантов ответа:

- 1) Чем выше частота звуковой волны, тем меньше скорость этой волны.
- 2) Волна является поперечной.
- 3) Волна представляет собой чередующиеся сжатия и разрежения.

Задание #8

Вопрос: В каких направлениях совершаются колебания в продольной волне?

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) Во всех направлениях
- 2) Только вдоль направления распространения волны
- 3) Только перпендикулярно распространению волны
- 4) По направлению распространения волны и перпендикулярно этому направлению

Задание #9

Вопрос: Частота звука увеличилась в 2 раза. Как изменится скорость звука в одной и той же среде?

Выберите один из 3 вариантов ответа:

- 1) Останется неизменной
- 2) Уменьшится в 2 раза
- 3) Увеличится в 2 раза

Задание #10

Вопрос: Как изменится высота звучания струны гитары при увеличении температуры воздуха?

Выберите один из 3 вариантов ответа:

- 1) не изменится

2) уменьшится

3) увеличится

Задание #11

Вопрос: Амплитуда звуковых колебаний увеличилась в 5 раз. Как изменилась высота звука при

неизменной частоте звуковых колебаний?

Выберите один из 3 вариантов ответа:

1) не изменилась

2) увеличилась в 5 раз

3) уменьшилась в 5 раз

Задание #12

Вопрос: Какова глубина моря, если ультразвуковой сигнал гидролокатора был принят обратно через  $t = 5$  с, скорость звука в воде равна 1500 м/с.

Выберите один из 3 вариантов ответа:

1) 300 м

2) 3750 м

3) 7500 м

Задание #13

Вопрос: Ветвь камертона колеблется с частотой 600 Гц. Выберите правильное утверждение.

Выберите один из 3 вариантов ответа:

1) Если амплитуда колебаний увеличится, высота тона излучаемого звука станет меньше.

2) Чем больше частота колебаний, тем выше высота тона излучаемого звука.

3) Если амплитуда колебаний уменьшится, громкость излучаемого звука увеличится.

Задание #14

Вопрос: От чего зависит высота звука?

Выберите один из 3 вариантов ответа:

- 1) От частоты колебаний источника звука
- 2) От амплитуды колебаний
- 3) От длины волны

#### Задание #15

Вопрос: Какова единица измерения громкости звука?

Выберите один из 5 вариантов ответа:

- 1) децибел
- 2) фон
- 3) бел
- 4) герц
- 5) сон

#### Задание #16

Вопрос: Свойства продольных волн.

Выберите несколько из 8 вариантов ответа:

- 1) Волны представляют собой деформацию сдвига
- 2) Эти волны могут распространяться только в газах
- 3) Эти волны могут распространяться в газах, жидкостях, твердых телах
- 4) Эти волны могут распространяться только в твердых телах
- 5) Продольные волны представляют собой чередующиеся разрежения и сжатия.
- 6) Частицы среды при колебаниях смещаются перпендикулярно направлению распространения волны
- 7) Частицы среды при колебаниях смещаются вдоль направления распространения волны
- 8) Скорость волны равна произведению длины волны на частоту волны

Задание #17

Вопрос: Что такое инфразвук?

Выберите один из 3 вариантов ответа:

- 1) Колебания выше 20 Гц
- 2) Колебания выше 20000 Гц
- 3) Колебания ниже 20 Гц

Задание #18

Вопрос: Звук распространяясь в воде переходит в воздух. Как при этом изменяются следующие физические величины: частота колебаний волны; скорость волны; длина волны.

Укажите соответствие для всех 3 вариантов ответа:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

\_\_\_ частота колебаний волны

\_\_\_ длина волны

\_\_\_ скорость волны

Задание #19

Вопрос: Определите скорость распространения волны, если её длина 5м, а период колебаний 10с.

Выберите один из 3 вариантов ответа:

- 1) 0,5 м/с
- 2) 2 м/с
- 3) 50 м/с

Задание #20

Вопрос: С какой частотой колеблется источник волн, если длина волны 4м, а скорость ее

распространения 10 м/с?

Выберите один из 6 вариантов ответа:

- 1) 0,4 Гц.
- 2) 0,4 с
- 3) 40 Гц.
- 4) 2,5 Гц.
- 5) 2,5 с
- 6) 40 с

Задание #21

Вопрос: Что совершает колебания в звуковой волне?

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) Частицы среды, в которой распространяется звук
- 2) Частота волны
- 3) Частицы воздуха
- 4) Период волны

Задание #22

Вопрос: Происходит ли перенос энергии и вещества при распространении волны?

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) энергии - нет, вещества - да
- 2) энергии и вещества - да
- 3) энергии и вещества - нет
- 4) энергии - да, вещества - нет

Задание #23

Вопрос: В каких направлениях совершаются колебания в поперечной волне?

Выберите один из 3 вариантов ответа:

- 1) Во всех направлениях.
- 2) Только по направлению распространения волны
- 3) Только перпендикулярно распространению волны.

Задание #24

Вопрос: Динамик подключен к выходу звукового генератора электрических колебаний. Частота колебаний 170 Гц. Определите длину звуковой волны, зная, что скорость звуковой волны в воздухе 340 м/с?

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) 2 м
- 2) 1 м
- 3) 57800 м
- 4) 0,5 м

Задание #25

Вопрос: Могут ли звуковые волны распространяться в безвоздушном пространстве?

Выберите один из 3 вариантов ответа:

- 1) Могут, например, звук выстрела в безвоздушном пространстве
- 2) Могут, если звуковые волны поперечные
- 3) Не могут: звуковые волны распространяются только в веществе

Задание #26

Вопрос: При переходе из одной среды в другую длина звуковой волны увеличилась в 3 раза. Как при этом изменилась высота звука?

Выберите один из 3 вариантов ответа:

- 1) уменьшилась в 3 раза
- 2) увеличилась в 3 раза

3) не изменилась

Задание #27

Вопрос: поперечные механические волны являются волнами.....

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) кручения
- 2) изгиба
- 3) сдвига
- 4) сжатия и разрежения

Задание #28

Вопрос: От чего зависит скорость звука в воздухе?

Выберите один из 4 вариантов ответа:

- 1) От температуры
- 2) От высоты звука
- 3) От скорости движения источника звука
- 4) От громкости звука

Ответы:

- 1) (1 б.): Верный ответ: 0,4.;
- 2) (1 б.) Верные ответы: 4;
- 3) (1 б.) Верные ответы: 3;
- 4) (1 б.) Верные ответы: 1;
- 5) (1 б.) Верные ответы: 2;
- 6) (1 б.) Верные ответы: 4;
- 7) (1 б.) Верные ответы: 3;
- 8) (1 б.) Верные ответы: 2;

- 9) (1 б.) Верные ответы: 1;
- 10) (1 б.) Верные ответы: 2;
- 11) (1 б.) Верные ответы: 1;
- 12) (1 б.) Верные ответы: 2;
- 13) (1 б.) Верные ответы: 2;
- 14) (1 б.) Верные ответы: 1;
- 15) (1 б.) Верные ответы: 5;
- 16) (2 б.) Верные ответы: 3; 5; 7; 8;
- 17) (1 б.) Верные ответы: 3;
- 18) (1 б.) Верные ответы: 3; 2; 2;
- 19) (1 б.) Верные ответы: 1;
- 20) (1 б.) Верные ответы: 4;
- 21) (1 б.) Верные ответы: 1;
- 22) (1 б.) Верные ответы: 4;
- 23) (1 б.) Верные ответы: 3;
- 24) (1 б.) Верные ответы: 1;
- 25) (1 б.) Верные ответы: 3;
- 26) (1 б.) Верные ответы: 3;
- 27) (1 б.) Верные ответы: 3;
- 28) (1 б.) Верные ответы:

#### Практическое занятие № 19

Решение задач. Переменный ток. Резонанс в электрической цепи. Генератор переменного тока. Трансформаторы. Получение, передача и распределение электроэнергии.

**Тема:** Расчет разветвленной R-L-C цепи переменного тока, резонанс токов.

**Цель работы:** исследование электрической цепи синусоидального тока при последовательном соединении резистора, индуктивной катушки и конденсатора. Научиться по опытным данным строить векторные диаграммы токов и напряжений, определять параметры электрической цепи. Понимать и уметь устанавливать резонанс напряжений в рассматриваемой цепи.

### Краткая теория

Под резонансом в электрической цепи понимают такое состояние цепи, когда ток и напряжение совпадают по фазе, а эквивалентная схема представляет собой активное сопротивление. Резонанс в электрической цепи сопровождается периодическим переходом энергии электрического поля емкости в энергию магнитного поля индуктивности и наоборот.

При резонансе в электрической цепи малые напряжения, приложенные к цепи, могут вызвать значительные токи и напряжения на отдельных ее участках.

В цепи, где элементы  $R, L, C$  соединены последовательно (последовательный колебательный контур) может возникнуть резонанс напряжений, а в цепи, где элементы  $R, L, C$  соединены параллельно, – резонанс токов.

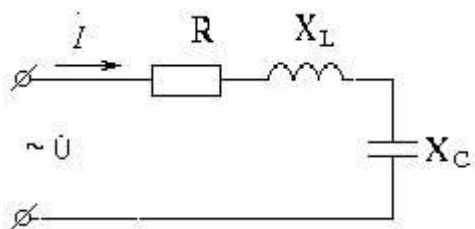
Основными характеристиками колебательного контура являются резонансная частота циклическая  $\omega_0$  (рад/сек) или линейная  $f_0$  (Гц), добротность контура  $Q$  и характеристическое сопротивление  $\rho$ . В последовательном колебательном контуре добротность показывает, во сколько раз происходит увеличение амплитуды колебаний напряжения в индуктивности и емкости при резонансе по отношению к входному напряжению

$$Q = \frac{U_{L0}}{U_{ex}} = \frac{U_{C0}}{U_{ex}}$$

Характеристическое сопротивление  $\rho$  контура равно реактивному сопротивлению индуктивности и емкости при резонансе

$$\rho = X_{L0} = X_{C0} = \omega_0 L_0 = \frac{1}{\omega_0 C_0} = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$$

Для цепи с последовательным соединением катушки индуктивности и конденсатора справедливо соотношение



$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C = I[R + j(X_L - X_C)] = I\dot{Z}, \quad (1)$$

где  $\dot{Z} = Z e^{j\varphi}$  и  $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$  - комплексное и полное сопротивление контура,  $\varphi$  - угол сдвига фаз между напряжением и током.

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} \quad (2)$$

При резонансе  $Z = R$  и  $\angle\varphi = 0^\circ$ , поэтому из (1) следует, что это возможно, если

$$X_L = X_C \quad (3)$$

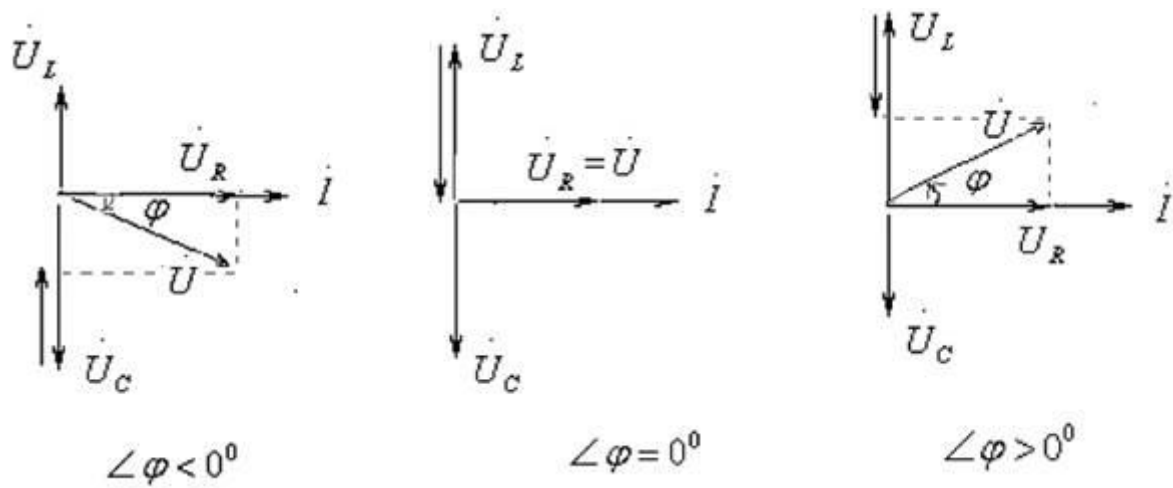
Это выражение называют условием резонанса напряжений.

В зависимости от соотношения величин  $X_L$  и  $X_C$  возможны три различных случая:

1  $X_C > X_L$ , следовательно  $U_C > U_L$ . Этому режиму соответствует векторная диаграмма, изображенная на рисунке 1а.

2  $X_L = X_C$ , следовательно  $U_L = U_C$  - резонанс напряжений (рисунок 1б).

3  $X_C < X_L$ , следовательно  $U_C < U_L$ . Этот случай изображен на рисунке 1с.



а)                                      б)                                      в)

Рисунок 1

В области до резонанса при  $\omega < \omega_0$  цепь носит ёмкостный характер, в резонансе ( $\omega = \omega_0$ ) - активный, а после резонанса при  $\omega > \omega_0$  - индуктивный характер.

Выразив  $X_L$  и  $X_C$  из (3), соответственно, через  $L, C$  и  $f$  получим

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}, \quad \text{откуда} \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = f_0,$$

где  $f_0$  - резонансная частота.

При резонансе напряжений ток в цепи резко возрастает:

$$I_\phi = \frac{U}{Z_\phi} = \frac{U}{R}.$$

Соответственно увеличиваются и напряжения на индуктивном и емкостном элементах, которые могут во много раз превысить величину напряжения источника питания (при условии  $X_L = X_C > R$ ). Коэффициент усиления напряжения на реактивных элементах (добротность контура - Q):

$$\frac{U_{L,C}}{U} = \frac{X_{L,C} I_0}{R I_0} = \frac{X_{L,C}}{R} = \frac{\rho}{R} = Q$$

На рисунке 2 показаны графики характеристик последовательного резонансного контура  $R(\omega), X(\omega), Z(\omega), I(\omega), U_L(\omega), U_C(\omega), \varphi(\omega)$ .

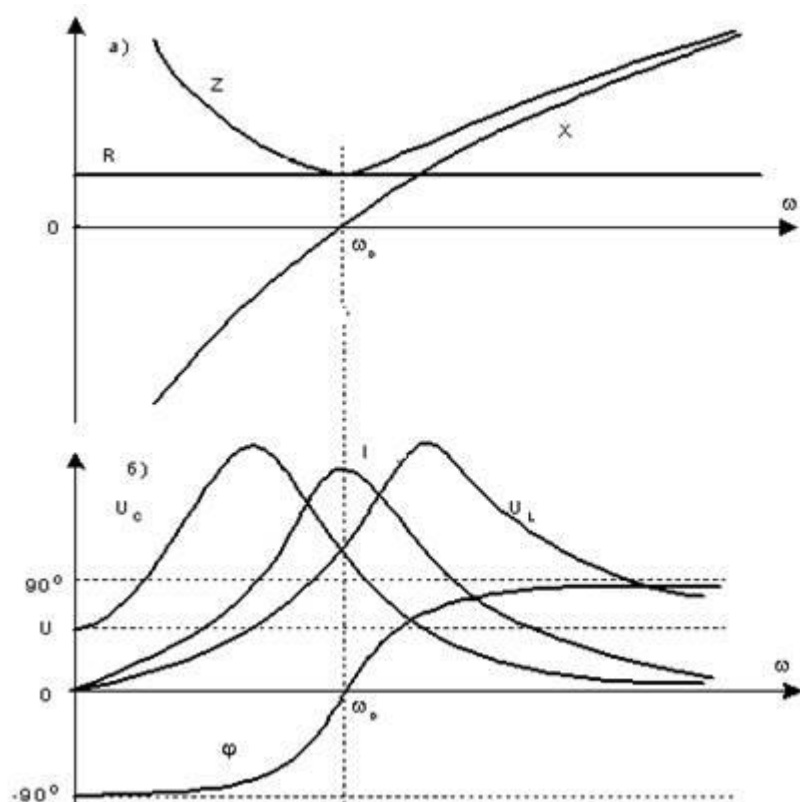


Рисунок 2

В области до резонанса при  $\omega < \omega_0$  цепь носит ёмкостный характер, в резонансе ( $\omega = \omega_0$ ) - активный, а после резонанса при  $\omega > \omega_0$  - индуктивный характер.

Интервал частот на границах которого ток  $I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$  называют полосой пропускания -  $\Delta f$ .

Относительная полоса пропускания называется затуханием цепи:  $d = \frac{\Delta f}{f_0}$ .

Затухание цепи связано с добротностью контура соотношением  $d = \frac{1}{Q} = \frac{R}{\rho}$

### Порядок выполнения работы

- Собрать схему исследования (рисунок 3).

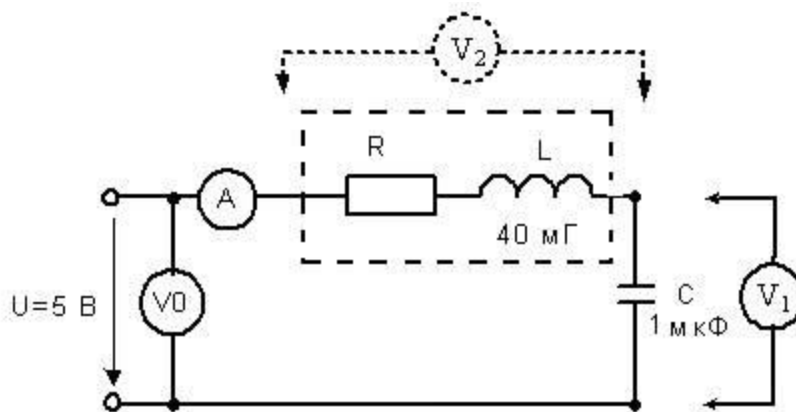


Рисунок 3

- Измерить омметром активное сопротивление катушки индуктивности.
- Рассчитать теоретическую резонансную частоту  $f_0$ , характеристическое сопротивление  $\rho$ , добротность  $Q$  и затухание контура  $d$  - по формулам:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}, \quad \rho = \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad Q = \frac{\rho}{R}, \quad d = \frac{1}{Q} = \frac{R}{\rho}.$$

- Установить параметры регулируемого источника синусоидального напряжения:  $U = 5\text{В}$ ,  $f = f_0$ . Включить виртуальные приборы и, изменяя частоту приложенного напряжения, добиться резонанса по максимальному току. Для более точной настройки резонансного режима проверить показание фазометра.
- Измерить параметры электрической цепи. Результаты расчетов и измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1

$f_0$ , кГц	$I_0$ , mA	$U$ , В	$U_{L0}$ , В	$U_{C0}$ , В	$\varphi$ , град	$\rho$	$Q$	$d$

- Изменяя частоту от  $0,2f_0$  до  $2f_0$ , записать в таблицу 2 показания виртуальных приборов и по этим результатам построить графики

частотных характеристик последовательного резонансного контура  $I(f), U_L(f), U_C(f), R(f), X(f), Z(f), \varphi(f)$

Таблица 2

$f$ , кГц	0,3 $f_0$	0,5 $f_0$	0,8 $f_0$	$f_0$	1,2 $f_0$	1,5 $f_0$	2 $f_0$
$I$ , mA							
$U_L$ , В							
$U_C$ , В							
$R$ , Ом							

$X$ , Ом							
$Z$ , Ом							
$\varphi$ , град							

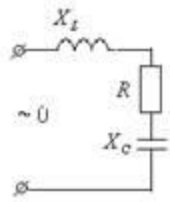
- По экспериментальным данным определить добротность

контура  $Q_{\text{эксп.}} = U_{L0}/U = U_{C0}/U$  и затухание цепи  $d = \frac{\Delta f}{f_0}$ . Сравнить их с теоретическими значениями.

- Построить векторные диаграммы напряжений и тока для трех значений частоты:  $f < f_0$ ,  $f = f_0$  и  $f > f_0$ .
- Сделать выводы по работе.

### Контрольные вопросы и задачи

- В чем заключается явление резонанса напряжений и при каком условии оно возникает? Перечислите все особенности цепи при резонансе напряжений.
- Каков характер цепи до резонанса, в резонансе и после резонанса?
- Изменяя какие параметры цепи, можно получить резонанс напряжений?
- С помощью каких приборов и по какому признаку можно судить о возникновении резонанса напряжений?
- Что такое добротность контура и на что она оказывает влияние?
- Почему при резонансе напряжений ток в цепи максимальный?
- Определить резонансную частоту последовательного колебательного контура с параметрами:  $L = 1$  Гн,  $C = 100$  мкФ,  $R = 10$  Ом.



8 Определить ток последовательного колебательного контура при резонансе напряжений, если его параметры  $L = 20$  мГн,  $C = 2$  мкФ, добротность  $Q = 50$ , напряжение контура  $U = 2$  В.

9 Определить индуктивность и емкость последовательного колебательного контура, если его характеристическое сопротивление  $\rho = 300$  Ом, резонансная частота  $f_0 = 2$  МГц.

10 Определить частоту сети, при которой в цепи возможен резонанс напряжений. Определить также, во сколько раз напряжение на индуктивности больше напряжения сети при резонансе, если цепь имеет следующие параметры:  $L = 0,1$  Гн,  $R = 20$  Ом,  $C = 5$  мкФ.

Выполнение работы

Для получения зачета необходимо оформить отчет:

1. Изучить методическую разработку
2. Выполнить конспект
- 3 Проверить техническую документацию.
- 4 Сделать вывод о проделанной работе.

#### Практическое занятие № 20

Применение электромагнитных волн. Решение задач.

#### Контрольные вопросы.

1. Что называется колебаниями контура?
2. Нарисуйте схему колебательного контура и объясните все стадии процесса превращения энергии при свободных электрических колебаниях в течение периода колебаний.
3. Запишите формулу Томсона.
4. Что называется действующим значение переменного тока?

5. Какие виды сопротивлений различаются в цепи переменного тока?
6. Опишите процессы, происходящие в контуре при свободных электромагнитных колебаниях.
7. Сформулируйте закон Ома для цепи переменного тока.
8. Что называют трансформатором? Опишите принцип его действия?
9. Что называют электромагнитной волной?
10. Что является источником электромагнитных волн?
11. Перечислите основные свойства электромагнитных волн?
12. Чем отличаются электромагнитные волны от механических?

**Задание 1.** Выполните эксперимент «Наблюдение интерференционной картины от двух отверстий».

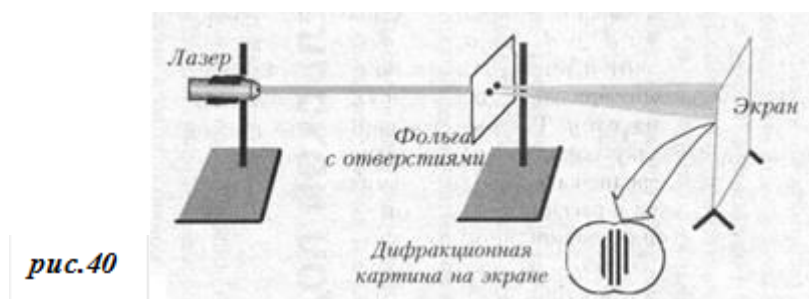
**Цель:** убедиться, что сложение волн от двух когерентных источников приводит к появлению устойчивой интерференционной картины.

**Оборудование:** лазерный брелок, фольга (черная бумага), белый экран (бумага), два держателя.

### Ход работы

В эксперименте негласно предполагается, что стенка сосуда очень тонкая, т. е. оптическая длина пути в ней мала по сравнению с оптической длиной пути в жидкости:  $2n_{ст} d \ll n_x L$ .

1. Укрепите в держателе лазерный брелок горизонтально (рис.40). Кнопка должна быть удобно расположена для нажатия одним пальцем.



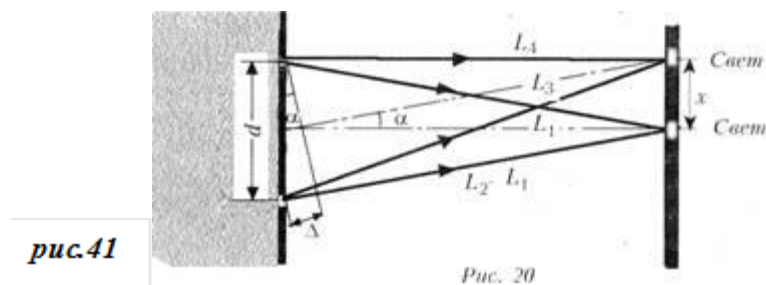
2. Прodelайте обыкновенной иглой в фольге от конфет два маленьких (около 0,2 мм в диаметре) отверстия на максимально близком (около 0,5 мм) расстоянии, но не превышающем ширину луча лазера. Можно заменить фольгу черной бумагой, чтобы отраженный от фольги свет не слепил глаза.

3. Укрепите фольгу с отверстиями в держателе так, чтобы оба отверстия были одинаково освещены. Это лучше контролировать с обратной стороны фольги. Если отверстия оказались чуть шире луча, то можно между лазером и фольгой поставить рассеивающую линзу, чтобы уширить луч.

4. Медленно отодвигая одной рукой экран, второй периодически нажимайте кнопку лазерного брелока и наблюдайте, как две светящиеся точки на экране сольются в одну и возникнет интерференционная картина из чередующихся максимумов и минимумов освещенности (темные и светлые полосы). Зафиксируйте экран в месте, где картина наблюдается наиболее четко (при удалении увеличивается расстояние между полосами, но падает яркость).

5. Закройте одно отверстие в фольге бумагой или иглой и пронаблюдайте картину на экране. Зарисуйте эту картину при одном и двух открытых отверстиях.

6. Если у вас есть помощник, а батарейки в брелоке еще не сели, попросите помощника подержать кнопку лазера, а сами измерьте расстояние между двумя максимумами  $x$  ( $x = 0,005/N$  м, где  $N$  - это число полос на 5 мм). Это дает возможность сравнить расчетную величину  $x = \lambda L/d$  (рис. 41) с измеренной ( $\lambda$  - длина волны излучения лазерного брелока,  $L$  - расстояние от фольги до экрана,  $d$  - расстояние между центрами отверстий).



7. Сделайте вывод.

### Задание 2. Решение задач.

1. Дифракционная решётка содержит 120 штрихов на 1 мм. Найти длину волны монохроматического света, падающего на решётку, если угол между двумя спектрами первого порядка равен  $8^\circ$ .

2. Определить угол отклонения лучей зелёного света (длина волны 0,55 мкм) в спектре первого порядка, полученном с помощью дифракционной решётки, период которой равен 0,02 мм.

3. Сколько времени идёт свет от Солнца до Земли?

4. Вода освещена красным светом, для которого длина волны в воздухе 0,7 мкм. Какой будет длина волны в воде?

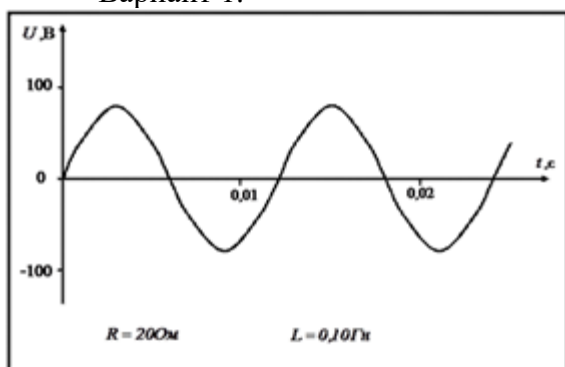
**Задание 3.** Работа с карточками «График напряжения переменного тока».

1. Какова циклическая частота тока?
2. Определите амплитудное значение напряжения.
3. Вычислите действующее значение напряжения.
4. Вычислите амплитудное и действующее значение тока при включении в цепь

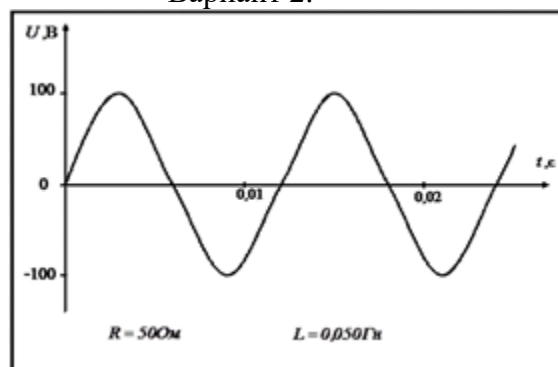
только активного сопротивления  $R$ , указанного в карточке. Перечертите данный график изменения напряжения со временем и на том же чертеже изобразите графическую зависимость силы тока от времени, выбрав подходящий масштаб.

5. Какова будет средняя мощность тока в этом случае?
6. Вычислите реактивное и полное сопротивление, если в цепь будут включены последовательно активное сопротивление  $R$  и катушка с индуктивностью  $L$ .
7. Вычислите амплитудное значение тока в этой цепи.
8. Какой емкости конденсатор следует включить последовательно в данную цепь, чтобы получить резонансное увеличение тока?
9. Какое амплитудное напряжение возникнет в этой цепи на индуктивном и емкостном сопротивлениях?

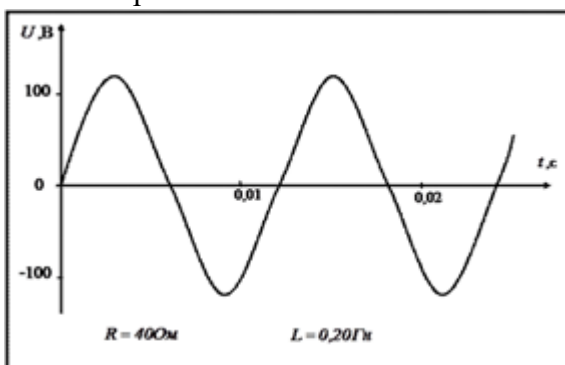
Вариант 1.



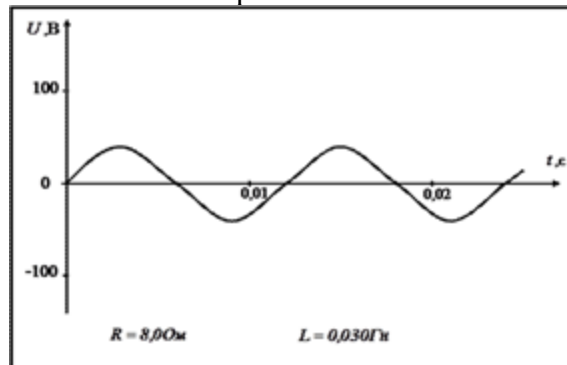
Вариант 2.



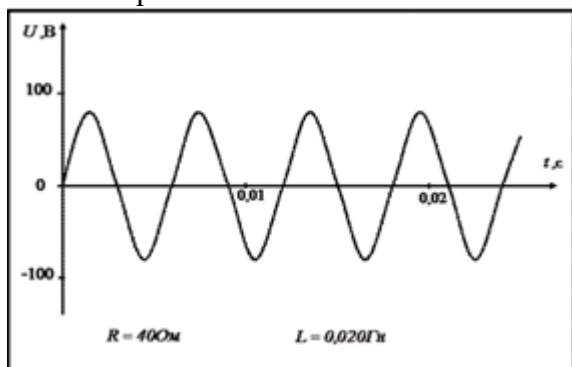
Вариант 3.



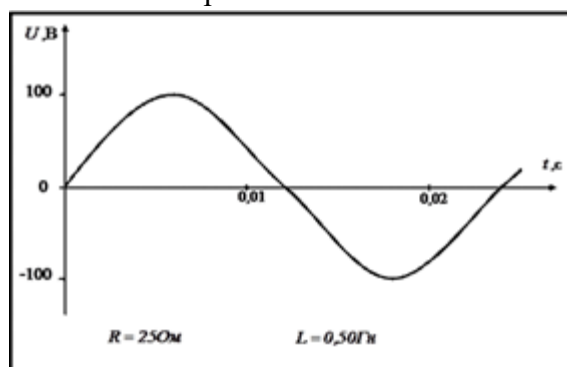
Вариант 4.



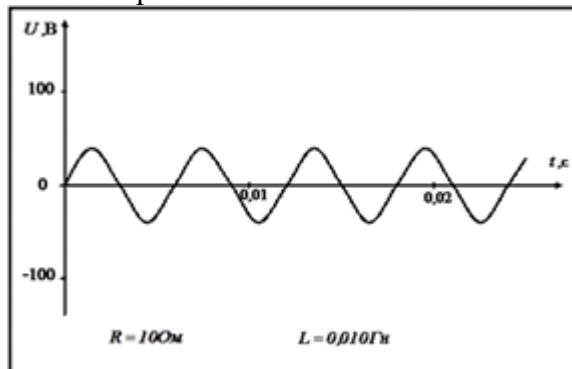
Вариант 5.



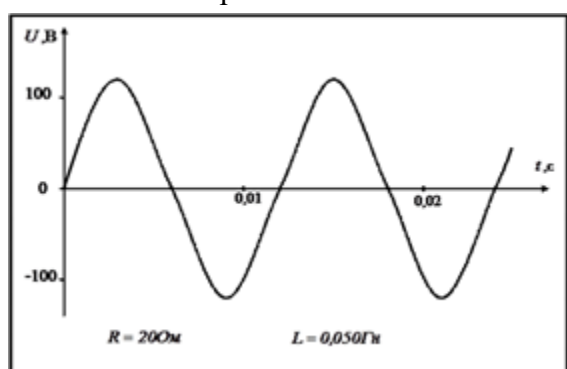
Вариант 6.



Вариант 7.



Вариант 8.



## Практическое занятие № 21

### Определение показателя преломления стекла.

#### Теоретическое обоснование

Свет при переходе из одной среды в другую меняет своё направление, т. е. преломляется. Преломление объясняется изменением скорости при переходе из одной среды в другую и подчиняется следующим законам:

1. Падающий и преломлённый лучи лежат в одной плоскости с перпендикуляром, проведённым через точку падения луча к границе раздела двух сред.
2. Отношение синуса угла падения  $\alpha$  к синусу угла преломления  $\beta$  – величина постоянная для данных двух сред и называется коэффициентом преломления  $n$  второй среды относительно

$$\text{первой: } n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$$

#### Вопросы для закрепления теоретического материала к занятию:

1. В чём сущность явления преломления света и какова причина этого явления?
2. В каких случаях свет на границе раздела двух прозрачных сред не преломляется?

3. Что называется коэффициентом преломления и в чём различие абсолютного и относительного коэффициентов преломления?
4. Докажите, что показатель преломления второй среды относительно первой  $n_{2,1} = n_2 / n_1$ , где  $n_1$  и  $n_2$  – абсолютные показатели первой и второй сред.
5. Как определить геометрически показатель преломления  $n$  оп.
6. Как с помощью радиуса и перпендикуляра к нормали определить синус угла падения и синус угла преломления?
  1. Как рассчитать абсолютную погрешность показателя преломления стекла  $\rho n$ ?
  2. Как рассчитать относительную погрешность измерения показателя преломления стекла? Каковы численные значения?
  3. Что показывает запись результата опыта  $n_{\text{оп}} - \rho n \leq n \leq n_{\text{оп}} + \rho n$ ?
  4. Зависит ли показатель преломления стекла от угла падения луча света на пластину? Где в вашем опыте это видно?
  5. Чему соответствует ваш показатель преломления стекла по таблице? Что это за вещество или какой вид оптического стекла?

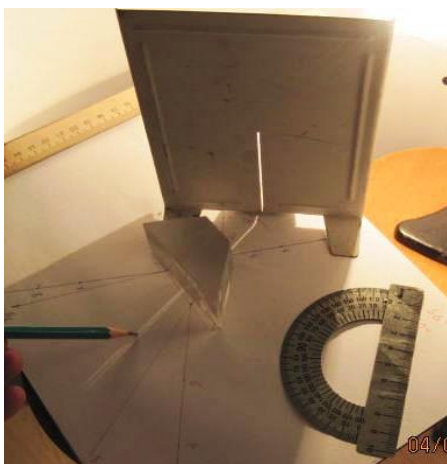
### **Содержание и Последовательность выполнения практической работы:**

#### **Задачи практической работы:**

##### **Задание 1**

1. Положить стеклянную пластинку на лист бумаги, обвести хорошо отточенным карандашом её контуры.
2. Щель экрана направить на источник света. Экран перемещать, пока луч света не попадёт в среднюю точку на грань пластины.
3. Отметить точками 1, 2, 3, 4 падающий луч на пластину и вышедшей луч из неё.
4. Снять пластину (рисунок 1) через точки 1, 2, 3, 4 провести прямые до пересечения с противоположными гранями. Через точку 2 провести перпендикуляр к границе сред воздух – стекло.

и по  
раз



5. Отметить угол падения  $\alpha$  и угол преломления  $\beta$ , транспортиром измерить эти углы в таблице значений синусов определить синусы измеренных углов.

6. Опыт повторить 2 – 3 раза, меняя каждый угол  $\alpha$ .

7. Вычислить коэффициент преломления, найти среднее значение. Определить погрешность

измерения методом среднего арифметического. Результаты измерений, вычислений записать в таблицу №1

Таблица №1

**Показатели преломления  
таблицы**

Т а б л и ц а 6. Показатель преломления различных веществ относительно воздуха

Жидкости		Твердые вещества	
Вещество	$n$	Вещество	$n$
Вода	1,333	Сахар	1,56
Спирт этиловый	1,362	Алмаз	2,417
Сероуглерод	1,632	Рубин	1,76
Глицерин	1,47	Стекло (легкий крон) *)	1,57
Жидкий водород	1,12	Стекло (тяжелый флинт) *)	1,80
Жидкий гелий	1,028	Лед	1,31

\*) Крон и флинт—различные сорта оптических стекол.

№ опыта	Угол падения светового луча $\alpha$ град	Угол преломления светового луча $\beta$ град	Коэффициент преломления $n$	Среднее значение коэффициента преломления $n_{ср}$	Абсолютная погрешность $\rho n =  n_{ср} - n $	Среднее абсолютное погрешность $\rho n_{ср}$	Относительная погрешность $\delta = \frac{n_{ср}}{\rho n_{ср}} \cdot 100\%$

Рисунок 1

## Задание 2

### Рекомендации

Для определения отношения, стоящего в правой части формулы,

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta},$$

поступают следующим образом. Перед тем, как направить на пластину световой пучок, её располагают на столе, на листе миллиметровой бумаги так, чтобы одна из её параллельных граней совпала с предварительно отмеченной линией на бумаге. Эта линия укажет границу раздела сред воздух – стекло. Тонко очинённым карандашом проводят линию вдоль второй параллельной грани. Эта линия изображает границу раздела сред стекло – воздух. Не смещая пластины, на её первую параллельную грань направляют узкий световой пучок под каким – либо углом к грани. Вдоль падающего на пластину и вышедшего из неё световых пучков тонко очинённым карандашом ставят точки 1, 2, 3, 4 (рисунок 3). Лампочку выключают, пластину снимают и с помощью линейки прочерчивают входящий и преломлённый лучи. Через точку В границы раздела сред воздух – стекло проводят перпендикуляр к границе, отмечают углы падения  $\alpha$  и преломления  $\beta$ . Циркулем проводят окружность с центром в точке В и строят прямоугольные треугольники  $ABE$  и  $BCD$ .

Так как  $\sin \alpha = \frac{AE}{AB}$ ,  $\sin \beta = \frac{CD}{BC}$  и  $AB = BC$ , то формула для определения показателя преломления стекла примет вид

$$n = \frac{AE}{DC} \quad (1)$$

Длину отрезков  $AE$  и  $DC$  измеряют по миллиметровой бумаге или с помощью линейки.

Инструментальную погрешность можно считать равной 1 мм.

Максимальную относительную погрешность  $\epsilon = \frac{\Delta AE}{AE} + \frac{\Delta DC}{DC}$

Максимальная относительная погрешность определяется по формуле:  $\Delta n = n_{np} \epsilon$ . приближённое значение рассчитывается по формуле (1).

Окончательный результат измерения показателя преломления записывается так:  $n = n_{np} \pm \Delta n$

### Порядок выполнения работы

1. Подготовить бланк отчёта с таблицей для записи результатов измерений и вычислений, таблица №2
2. Подключить лампочку через выключатель к источнику тока. С помощью экрана с щелью получить тонкий световой пучок.
3. Измерить показатель преломления стекла относительно воздуха, при каком – ни будь угле падения. Результат записать с учётом погрешностей.
4. Повторить то же при другом угле падения.
5. Сравнить результаты, полученные по формулам  $n_{1np} - \rho$   $n_1 < n_1 < n_{1np} + \rho$   $n_1$   $n_{2np} - \rho$   $n_2 < n_2 < n_{2np} + \rho$   $n_2$ .
6. Сделать вывод о зависимости (или независимости) показателя преломления от угла падения.

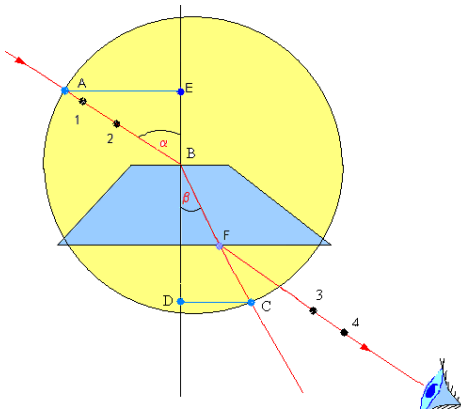


Рисунок 3

Измерено		Вычислено				
AE, мм	DC, мм	nпр	$\rho$ AE, мм	$\rho$ DC, мм	$\epsilon$ , %	$\rho$ n

### Задание 3

#### Порядок выполнения работы

1. Положить стеклянный полуцилиндр на бумажный круг, разделённый на градусы, так чтобы центр круга и центр полуцилиндра совпадали рисунок 4
2. Щель экрана направить на источник света перемещать прибор до тех пор, пока луч света не попадёт в среднюю точку на плоской грани полуцилиндра, рисунок 5

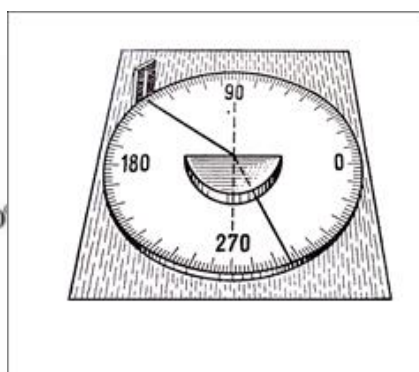
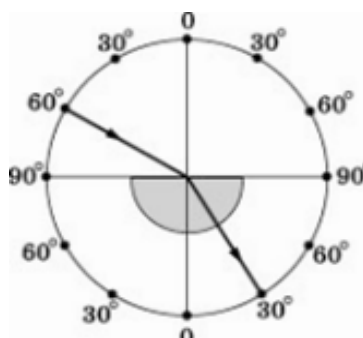


Рисунок 4 Рисунок 5

1. Измерить по кругу угол падения луча  $\alpha$  и угол преломления  $\beta$  и их значения использовать для определения коэффициента преломления стекла.
2. Перемещая экран со щелью получить несколько значений для углов падения и преломления луча.
3. Направить световой луч перпендикулярно плоской грани полуцилиндра, пронаблюдать ход луча в полуцилиндре и сделать вывод.
4. Результаты измерений вычислить и записать в таблицу №2

5. Найти среднее значение коэффициента преломления и вычислить методом среднего арифметического погрешности измерения

## Практическое занятие № 22

Определение длины световой волны с помощью дифракционной решетки. Движение со скоростью света. Постулаты теории относительности и следствия из них. Инвариантность модуля скорости света в вакууме. Энергия покоя. Связь массы и энергии свободной частицы. Элементы релятивистской динамики.

Тема: *Определение длины волны светового излучения с помощью дифракционной решётки*

Цель: Познакомиться на опыте с явлением многолучевой интерференции световых волн. Используя решётку с известным расстоянием между штрихами измерить длину волны светового излучения.

Оборудование:

1. Штатив.
2. Дифракционная решётка 100 штрихов на мм.
3. Измерительная лента.

Теория

Дифракция волн - *огибание волнами различных препятствий (неоднородностей).*

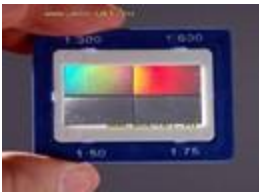
Препятствия нарушают прямолинейность распространения фронта волны.

Дифракция волн свойственна всякому *волновому движению*; проявляется особенно отчетливо в случаях, когда размеры препятствий меньше длины волны или сравнимы с ней, однако проявляется всегда. Для увеличения яркости дифракционной картины нужно пропускать свет через несколько параллельных щелей. В этом случае кроме явления дифракции будет происходить ещё и явление интерференции, т.к. лучи, идущие от всех лучей, оказываются когерентными.

Когерентными *называются волны, имеющие одинаковую частоту и постоянную разность фаз.*

Дифракционная решетка – *оптический прибор, представляющий собой большое число параллельных и очень близко расположенных узких щелей, которые пропускают или отражают свет.*

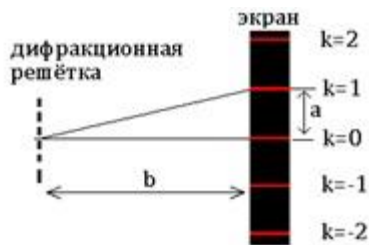
Дифракционные решетки с различным числом щелей на 1 мм:



Параллельный пучок света с длиной волны  $\lambda$ , проходя через дифракционную решётку, вследствие дифракции за решёткой, распространяется по всевозможным направлениям и интерферирует. На экране, установленном на пути интерферирующего света, можно наблюдать интерференционную картину:

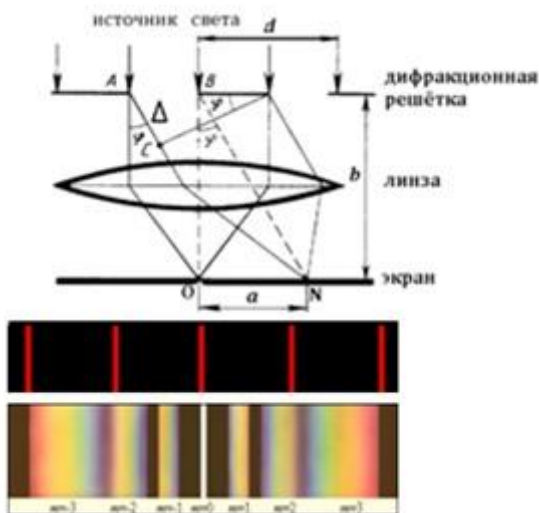


Максимумы света наблюдаются в точках экрана, для которых выполняется условие максимума:



Условие максимума: на разности хода волн укладывается четное число полуволен (целое число длин волн):  $\Delta = k \cdot \lambda$ , (1)

где  $\Delta = AC$  - разность хода волн;  $\lambda$  - длина световой волны;  $k$  - номер максимума.



Центральный максимум (в точке О) называют *нулевым*; для него  $\Delta=0$ . Слева и справа от него располагаются максимумы высших порядков.

Условие возникновения максимума можно записать иначе:

$$d \cdot \sin \varphi = k \cdot \lambda$$

где  $k=0; \pm 1; \pm 2; \pm 3 \dots$

Здесь  $d$  - период дифракционной решётки в мм,  $\varphi$  - угол, под которым виден световой максимум  $k$ -го порядка в точке  $N$  на расстоянии  $a$  от нулевого максимума, а  $\lambda$  - длина волны.

Так как углы дифракции малы, то для них можно принять:  $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi$ , а  $\operatorname{tg} \varphi = a/b$ .

Поэтому:  $k\lambda = d \cdot \frac{a}{b}$ , и искомая длина световой волны равна  $\lambda = \frac{d \cdot a}{k \cdot b}$  (2)

В данной работе формулу (2) используют для вычисления длины световой волны.

Из условия максимума следует  $\sin \varphi = (k \cdot \lambda) / d$ .

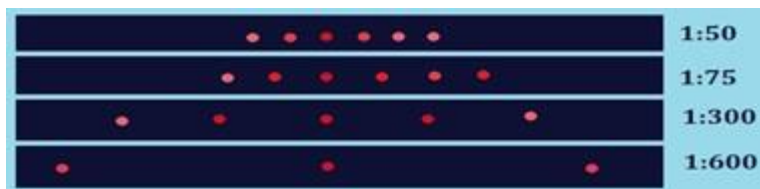
Пусть  $k=1$ , тогда  $\sin \varphi_{кр} = \lambda_{кр} / d$  и  $\sin \varphi_{ф} = \lambda_{ф} / d$ .

Известно, что  $\lambda_{кр} > \lambda_{ф}$ , следовательно  $\sin \varphi_{кр} > \sin \varphi_{ф}$ . Т.к.  $y = \sin \varphi_{ф}$  - функция возрастающая, то  $\varphi_{кр} > \varphi_{ф}$

Поэтому фиолетовый цвет в дифракционном спектре располагается ближе к центру.

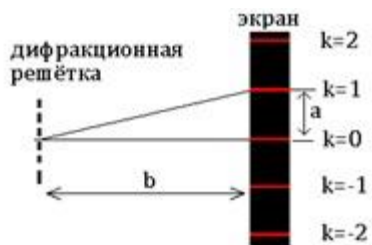
Между максимумами расположены минимумы освещенности. Чем больше общее число щелей и чем ближе друг к другу они расположены, тем более широкими промежутками разделены максимумы.

Картина дифракции лазерного излучения красно цвета на решётках с различным числом щелей на 1 мм:



Ход работы

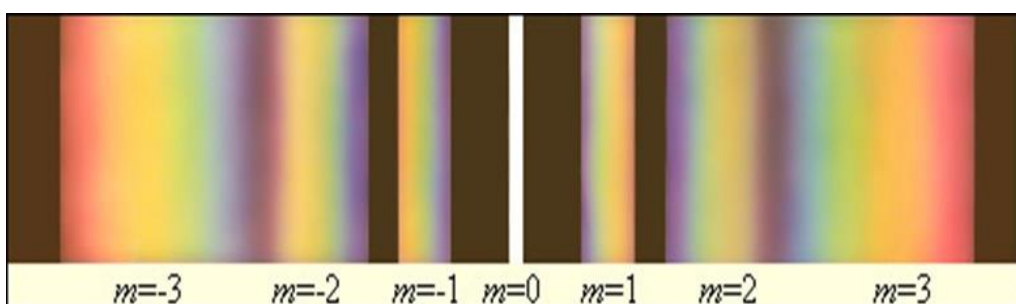
1. Перенести рисунок в тетрадь.



2. Подготовить таблицу для записи результатов измерений:

Порядок спектра, цвет $k$	Постоянная решётки, $d$ мм	Расстояние от решётки до экрана, $b$ мм	Расстояние от нулевого максимума до максимума $k$ - порядка $a$ мм	Длина волны, нм	Средняя длина волны нм	Относительная погрешность измерения $\delta$ %
1-ый, красный	1:100=0,001					
2-ой, красный	1:100=0,001					
1-ый, фиолетовый	1:100=0,001					
2-ой, фиолетовый	1:100=0,001					

- Укрепить в штативе линейку с экраном и закрепить на направляющей линейки дифракционную решётку.
- Установить расстояние от решётки до экрана 40 см ( $b$ ). Результат записать в таблицу.
- Смотря через дифракционную решётку, направить прибор на источник света. Пронаблюдать спектр:



Измерить на экране расстояние  $a$  между нулевым максимумом и максимумом 1-го порядка для красного света. Результат записать в таблицу.

6. Измерить на экране расстояние  $a$  между нулевым максимумом и максимумом 2-го порядка для красного света. Результат записать в таблицу.

7. Повторить опыт, измерив на экране расстояние  $a$  между нулевым максимумом и максимумом 1-го и 2-го порядка для фиолетового света. Результат записать в таблицу.

$$\lambda = \frac{d \cdot a}{k \cdot b}$$

8. По формуле рассчитать длину волны излучения.

9. Найти среднее значение длины волны светового излучения для красного  $\lambda_{кр}$   
 $ср = (\lambda_{кр1} + \lambda_{кр2}) / 2$

и фиолетового света  $\lambda_{ф}$   $ср = (\lambda_{ф1} + \lambda_{ф2}) / 2$

10. Зная истинное значение длины волны лазерного излучения, рассчитать относительную погрешность измерений:

$$\delta = (\lambda_{кр ср} - \lambda_{кр табл}) / \lambda_{кр табл} * 100\% \quad \text{и} \quad \delta = (\lambda_{ф ср} - \lambda_{ф табл}) / \lambda_{ф табл} * 100\%$$

Диапазон длин волн, нм

Красный 625—740 нм ( $\lambda_{кр табл} = 680$  нм)

Фиолетовый 380—440 нм ( $\lambda_{ф табл} = 410$  нм)

11. Записать вывод по результатам выполненной работы.

12. Ответить письменно на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какие волны называются когерентными?
2. В чём заключается явление дифракции?
3. Какие свойства света подтверждает дифракция света?
4. При каких условиях наблюдается дифракция света?
5. Как образуется дифракционный спектр?
6. Почему максимумы располагаются как слева, так и справа от нулевого максимума?
7. В чём разница в дифракционных картинах решёток с 50 и 300 штрихами на одном миллиметре?

## Практическое занятие № 23

### Применение фотоэффекта.

Внешний фотоэффект – это явление вырывания электронов из металла под действием света. Явление внутреннего фотоэффекта – это явление увеличения концентрации носителей заряда в веществе под действием света. Фотоэлемент – это устройство, в котором энергия света управляет энергией электрического тока или преобразуется в неё. Свет — это поток фотонов, каждый из фотонов обладает импульсом:

$$p = mc$$

Свет обладает корпускулярно – волновым дуализмом: при его распространении преобладают волновые свойства, а при взаимодействии с веществом (излучении и поглощении) – корпускулярные.

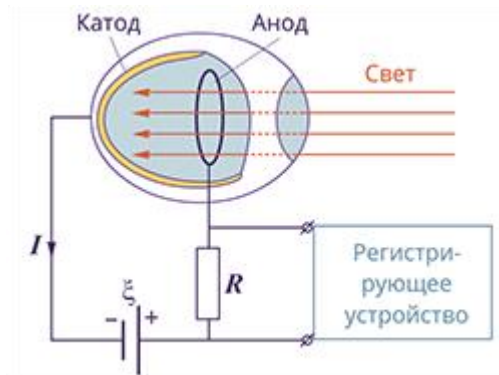
1. Явление фотоэффекта широко применяют в науке и технике: оно позволяет осуществить непосредственное преобразование энергии света в электрическую энергию. С помощью фотоэффекта появился звук в кино, стала возможной передача движущихся изображений (телевидение). Применение фотоэлектронных приборов позволило создать станки, которые без участия человека изготавливают детали по заданным чертежам. Основанные на фотоэффекте приборы контролируют размеры изделий лучше человека, вовремя включают и выключают уличное освещение и т. п.

Вспомним, что явление фотоэффекта делится на внешний фотоэффект и внутренний фотоэффект. Внешний фотоэффект – это явление вырывания электронов из металла под действием света. Это явление применяется в вакуумных фотоэлементах. Явление внутреннего фотоэффекта – это явление увеличения концентрации носителей заряда в веществе под действием света. Это явление применяется в полупроводниковых фотоэлементах.

Приборы, в основе принципа действия которых лежит явление фотоэффекта, называют фотоэлементами. В них энергия света управляет энергией электрического тока или превращается в нее. Фотоэлементы, использующие внешний фотоэффект, преобразуют в электрическую энергию лишь незначительную часть энергии излучения. Поэтому источники электроэнергии их не используют, зато широко применяют в различных схемах автоматики для управления электрическими цепями с помощью световых пучков. Рассмотрим устройство современного вакуумного фотоэлемента. Он представляет собой стеклянную колбу, часть

внутренней поверхности которой покрыта тонким слоем металла. Этот слой изготовлен из металла с малой работой выхода и служит катодом.

Анодом служит проволочная петля (или диск), находящаяся в центре колбы. Анод улавливает фотоэлектроны. Он присоединяется к положительному полюсу батареи, а катод – к отрицательному.



Когда свет через прозрачную часть колбы попадает на катод, в цепи возникает электрический ток (за счет движения электронов, вырванных из металла). Этот ток регистрируется тем или иным устройством, в результате чего включается (или наоборот выключается) реле. Эта схема работы лежит в основе всех, так называемых, видящих автоматов – тех же автоматических дверей. Когда человек подходит к такой двери, он закрывает собой свет, и на это незамедлительно реагирует фотоэлемент, а за ним и реле. Можно заметить похожую картину и в современных лифтах: если стоять в дверном проеме, то дверь не будет закрываться. По тому же принципу действуют турникеты в метро или освещение, которое автоматически включается, когда вы входите в помещение.

В аэронавигации, в военном деле широко применяют фотоэлементы, чувствительные к инфракрасным лучам. Инфракрасные лучи невидимы, облака и туман для них прозрачны. С явлением фотоэффекта связаны фотохимические процессы, протекающие под действием света в фотографических материалах.

2. Принцип действия полупроводникового фотоэлемента основано на явлении внутреннего фотоэффекта. Напомним, что полупроводники делятся на полупроводники  $n$ -типа и полупроводники  $p$ -типа. Полупроводники  $n$ -типа – это полупроводники с донорными примесями: в них основными носителями зарядов являются электроны. Полупроводник  $p$ -типа — полупроводники с акцепторными примесями, где основной носитель заряда дырки.

Под действием света образуются новые пары электрон-дырка. Это приводит к тому, что в полупроводнике *n*-типа накапливается все больше электронов, а в полупроводнике *p*-типа накапливается все больше дырок. При замыкании цепи в ней возникнет электрический ток, равный разности токов основных и неосновных носителей. Сила тока будет зависеть от интенсивности падающего света и от сопротивления цепи.

Полупроводниковые фотоэлементы используют также в качестве экономичных источников тока. Ярким примером таких источников являются солнечные батареи.

3. Основные выводы:

Фотоэлемент – это устройство, в котором энергия света управляет энергией электрического тока или преобразуется в неё.

В вакуумных фотоэлементах используется внешний фотоэффект.

В полупроводниковых фотоэлементах используется внутренний фотоэффект.

4. В современной физике фотон считается одной из элементарных частиц, являющейся переносчиком электромагнитного взаимодействия. Рассмотрим фотон в рамках явления фотоэффекта. 14 декабря 1900 г. немецкий физик Макс Планк выступил на заседании Немецкого физического общества с докладом, посвящённым проблеме распределения энергии в спектре излучения абсолютно чёрного тела. Он установил формулу, которая выражала зависимость энергии электромагнитных волн от частоты. Так зарождалась квантовая теория, но Планк не мог тогда предположить, к каким революционным преобразованиям в будущем приведёт его «рабочая» формула! Альберт Эйнштейн был первым физиком, всерьёз заинтересовавшимся гипотезой Планка. Он пишет статью в марте 1905 г «Об одной эвристической точке зрения на возникновение и превращение света», где приводит понятие – световые кванта – частицы, из которых состоит электромагнитное излучение. Позднее эти частицы – кванты электромагнитного излучения стали называть фотонами.

5. Так какими же свойствами обладает фотон?

По современным представлениям фотоны обладают следующими свойствами:

1) Заряд фотона равен нулю.

2) Скорость фотона равна скорости света в вакууме.

$$c = v\lambda = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

3) Масса покоя фотона равна нулю.

4) Энергия фотона пропорциональна частоте электромагнитного излучения, квантом которого он является.

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Часто энергию фотона выражают через циклическую частоту  $\omega$ :

$$\omega = 2\pi\nu$$

При этом в формуле энергии кванта в качестве коэффициента пропорциональности вводится вместо постоянной Планка  $h$  используют величину  $\hbar$  с чертой:

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

$$E = h\nu = \hbar\omega$$

5) Масса движущегося фотона определяется формулой:

$$E = mc^2$$

$$m = \frac{E}{c^2}$$

У фотона нет массы покоя, так как не существует в состоянии покоя.

Масса, определяемая формулой  $m = \frac{E}{c^2}$ , это масса движущегося фотона.

6) Зная массу и скорость можно найти импульс фотона:

$$p = mc$$

$$p = \frac{E}{c}$$

Импульс фотона направлен вдоль светового луча.

Перечисленные свойства фотонов были установлены не сразу. В начале XX века сама идея о существовании световых квантов встречала резкое неприятие. Ведь интерференция, дифракция света явно показывала, что свет – это волна. А теория Эйнштейна этому противоречила. Согласно квантовым представлениям свет – это поток частиц – фотонов, движущихся со скоростью света. Таким образом, свет обладает корпускулярно – волновым дуализмом: при его распространении преобладают волновые свойства, а при взаимодействии с веществом (излучении и поглощении) – корпускулярные.

Свет оказался сложным явлением.

6. В 1923 году французский ученый Луи де Бройль высказал необычную мысль: может быть электрон и другие частицы обладают также и волновыми свойствами. Де Бройль получил формулу длины волны для этих волн.

Знаменитая формула для длины волны де Бройля:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Экспериментально обнаружены волновые свойства электронов, протонов, нейтронов.

У частицы, имеющей некоторую массу  $m$  и движущейся со скоростью  $v$ , можно определить длину волны (связь длины волны с импульсом, формула де Бройля):

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}$$

7. В 1873 г. Максвелл, исходя из представлений об электромагнитной природе света, пришел к выводу: свет должен оказывать давление на препятствия. Впервые гипотеза о световом давлении была высказана еще в 1619 г. немецким ученым И. Кеплером (1571-1630) для объяснения отклонения хвостов комет, пролетающих вблизи Солнца.

Предсказанное Максвеллом существование светового давления было экспериментально подтверждено Лебедевым, который в 1900 г. измерил давление света на твердые тела, используя чувствительные крутильные весы. Оно оказалось чрезвычайно малым,  $4 \cdot 10^{-26}$  Па. Тем не менее, световое давление сыграло большую роль в развитии физики, особенно такого его важного раздела, как теория электромагнитного поля.

Как объяснить возникновение светового давления с позиций квантовой теории света?

Свет — это поток фотонов, каждый из фотонов обладает импульсом:

$$p = mc$$

При поглощении веществом фотон перестает существовать, но импульс его, по закону сохранения импульса, не может совсем исчезнуть. Он передается телу, значит, на тело действует сила. Это верно, когда свет веществом поглощается. Свет еще может отражаться телами, а если тело прозрачно, то может проходить сквозь него. Что же наблюдается в реальных условиях? В реальных условиях свет частично отражается телом, частично поглощается, а если это, например, стекло, то свет проходит сквозь него. Но как будет обстоять дело, если поверхность зеркальная? Возникает ли световое давление в данном случае?

Для простоты предположим, что свет падает перпендикулярно к поверхности зеркала.

Мы знаем, что при абсолютном ударе какого-либо тела о стенку она получает импульс, модуль которого равен удвоенному модулю импульса тела, то есть  $2mv$ .

Здесь будет то же самое. Отражаясь, фотон летит с той же скоростью, но в противоположном направлении. Значит, при отражении фотона от зеркала его импульс изменяется на  $2mc$ .

Такое же изменение импульса, но в противоположном направлении, получит зеркало. Сила давления света в случае отражения будет в 2 раза больше, чем в случае поглощения. Таким образом, световое давление в реальных условиях обусловлено как поглощением, так и отражением фотонов.

8. Световое давление принадлежит к числу тех оптических явлений, которые могут быть объяснены с позиций, как квантовой теории света, так и волновой.

Как же объяснить световое давление на основе волновой теории?

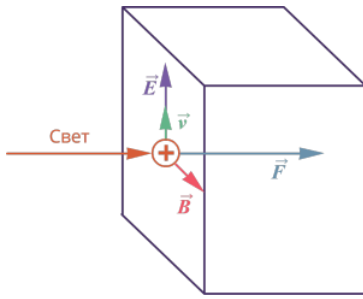
Предположим, что световая волна падает на поверхность тела по нормали. Как будет направлена тогда сила светового давления? Тоже по нормали в сторону распространения света. Откуда это следует? Какова природа этой силы с точки зрения волновой теории? Все тела состоят из молекул, атомы, а атомы из электронов, протонов и нейтронов.

На эти частицы при прохождении электромагнитной волны будут действовать силы со стороны электрического поля волны. Эта сила равна  $F=qE$ . На движущиеся в магнитном поле заряженные частицы будут действовать сила Лоренца. Сила Лоренца рассчитывается по формуле  $F=q\mathbf{v}B\sin\alpha$ , а направление этой силы определяется по правилу левой руки.

Итак, электромагнитная волна может оказывать воздействие только на заряженные частицы. Световое давление объясняется действием световой волны на заряженные частицы, находящиеся в теле.

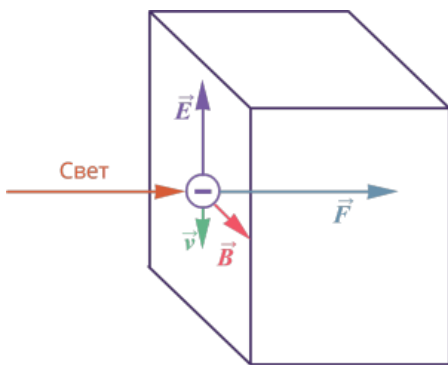
9. А сейчас постараемся выяснить, какие силы, электрические или магнитные, или те и другие, вызывают световое давление. Разберемся в этом с помощью рисунка. Как мы знаем, вектор напряженности электрического поля и вектор магнитной индукции в электромагнитной волне взаимно перпендикулярны.

Рассмотрим в начале действие электромагнитной волны на положительный заряд. Какие силы будут действовать на заряд?



Электрическая сила  $F=qE$  будет действовать в сторону вектора напряженности электрического поля. Значит, в ту же сторону начнет смещаться заряд под действием электрической силы. Но эта сила не совпадает по направлению с силой светового давления. Так как заряд под действием электрической силы начнет двигаться, то на него будет действовать магнитное поле волны. Возникает сила Лоренца. Чтобы определить направление силы Лоренца, надо левую руку расположить так, чтобы вектор  $\vec{B}$  входил в ладонь, четыре вытянутых пальца были направлены в сторону движения частицы, тогда отставленный на 90 градусов большой палец покажет направление силы Лоренца. Значит, сила Лоренца направлена внутрь тела, а световое давление представляет собой сумму Лоренцовых сил, действующих на все положительные заряды, находящиеся в теле.

Но в теле есть и отрицательные электроны.



На них тоже действует сила Лоренца. Электроны должны двигаться против поля  $E$ , так как имеют отрицательный заряд, и, применяя правило левой руки, выясняем, что на электроны сила Лоренца будет действовать в ту же сторону, то есть внутрь тела.

Эти силы Лоренца в совокупности и создают световое давление.

10. А теперь остановимся непосредственно на опытах Лебедева.

В экспериментальной установке Лебедев на тонкой упругой кварцевой нити было подвешено коромысло с крылышками на концах. Крылышки были сделаны из тонкой металлической фольги.

Одно крылышко было покрыто слоем сажи. Крылышки облучались мощным источником света. При поглощении света черной поверхностью крылышко получит от волны импульс  $p$ . При отражении волны от блестящей поверхности крылышко получит от волны импульс  $2p$ . Поэтому световое давление на черное крылышко в 2 раза меньше, чем на блестящее. Это приводит к повороту крылышка и закручиванию упругой нити. Зная угол поворота коромысла, его длину, площадь крылышек и упругие свойства нити Лебедев определил световое давление. Угол поворота коромысла определялся по отклонению светового луча. Однако Лебедев, проделывая данный опыт, столкнулся с побочными явлениями. В частности, наблюдался радиометрический эффект: под действием света крылышки нагреваются и при этом черное крыло нагревается сильнее блестящего. Так как температура черного крылышка выше температуры блестящего, то черное крылышко передает молекулам окружающего воздуха больший суммарный импульс, чем блестящее, и по закону сохранения импульса само получает больший импульс противоположного направления. В результате возникает закручивающий момент примерно в 1000 раз больше закручивающего момента, обусловленного световым давлением. Чтобы устранить радиометрический эффект, Лебедев поместил прибор в сосуд с вакуумом и взял очень большой сосуд и очень тонкие крылышки.

Опыты Лебедева можно рассматривать как экспериментальное доказательство существования давления света и того, что фотоны обладают импульсом. Результаты, полученные Лебедевым в 1900 году, совпали со значением светового давления, полученным теоретически, и подтвердили расчеты Максвелла. Расчеты силы давления света на основе фотонной и электромагнитной теорий света дали одинаковые результаты.

11. Опытным доказательством фотонной теории являются также опыты С. И. Вавилова, посвященные изучению флуктуации слабых световых потоков.

В опытах Вавилова исследователь наблюдал пучок света, который выпускался через каждую секунду на промежуток времени 0,1 с. Если величина светового потока превышала порог чувствительности, то глаз наблюдал каждую вспышку света. При уменьшении интенсивности света некоторые вспышки уже не оказывали действия на наблюдателя. Чем меньше интенсивность света, тем больше оказывалось пропусков. Зная число попадающих в глаз импульсов, и фиксируя обнаруженные глазом вспышки, можно определить число тех импульсов, которые глаз не заметил, так как они содержали недостаточное количество квантов. Таким образом, были непосредственно обнаружены флуктуации числа фотонов в световом потоке. Трудно предложить более непосредственное доказательство корпускулярной природы света

12.Бесспорно, что мы не можем не вспомнить и о химических действиях света. Отдельные молекулы поглощают световую энергию порциями. В случае видимого и ультрафиолетового излучений ее достаточно для расщепления многих молекул, а любое превращение молекул есть химический процесс. Часто после расщепления молекул светом, начинается целая цепочка химических превращений. Химическое действие света является еще одним доказательством квантовой теории света. Фотохимические процессы лежат в основе фотографии, фотосинтеза и механизма зрения. Зрительное ощущение человека и животных связано с фотохимическими процессами. Свет, достигая сетчатки, поглощается светочувствительным веществом. Механизм разложения этих веществ и последующего их восстановления пока не выяснен, но установлено, что продукты разложения вызывают раздражение зрительного нерва. В результате чего по нерву проходят электрические импульсы в головной мозг, и возникают ощущение света. Мы вполне отчетливо видим предметы, освещенные ярким солнцем, равно как те же предметы при умеренном вечернем освещении. Эта способность глаза приспосабливаться к весьма широкому диапазону яркостей носит название адаптация.

Наибольшее значение имеет химический процесс, который разыгрывается под действием света в зеленых частях растений. Как известно, дыхание всех живых существ сопровождается окислением углерода, входящего в состав их тела. Сгорание углерода в углекислоту ( $\text{CO}_2$ ) сопровождается освобождением энергии, которая и используется животными при их движении. Обратный процесс расщепления  $\text{CO}_2$  происходит в зеленых частях растений под действием солнечного света, как фотохимический процесс. Расщепление углекислоты сопровождается дальнейшими химическими превращениями, приводящими, в конце концов, к образованию тех основных органических соединений, из которых построено тело растений и животных.

Все это происходит за счет энергии солнечных лучей. Здесь важно не только сама энергия, но и та форма, в которой она поступает. Фотосинтез может протекать только под действием света определенного спектрального состава. До конца механизм фотосинтеза не выяснен, а когда это произойдет, для человечества начнется новая эра.

#### Разбор тренировочных заданий

1. Определите энергию фотона, соответствующую длине волны  $6,4 \cdot 10^{-7}$  м.

Дано:	Решение:
-------	----------

$\lambda = 6,4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$	Энергия фотона выражается формулой:
$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}$	$E = h\nu$
$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$	Частоту выражаем через длину волны и скорость
$E = ?$	$\nu = \frac{c}{\lambda}$
	Следовательно, энергию фотона находим по формуле:
	$E = \frac{hc}{\lambda}$
	$E = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{6,4 \cdot 10^{-7}} = 3,1 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

Ответ:  $3,1 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

2. На поверхность вольфрама, работа выхода электрона из которого равна  $7,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ , падают лучи длиной волны 250 нм. Определите кинетическую энергию фотоэлектрона.

	Решение:
	$h\nu = A_{\text{вых}} + E_{\text{к}}$
	$E_{\text{к}} = h\nu - A_{\text{вых}}$
Дано:	Энергия фотона выражается формулой:
$\lambda = 250 \text{ нм} = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$	$E = h\nu$
$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}$	Частоту выражаем через длину волны и скорость
$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$	$E = \frac{hc}{\lambda}$
$A_{\text{вых}} = 7,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$	$E = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{2,5 \cdot 10^{-7}} = 8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
$E = ?$	Тогда найдем кинетическую энергию фотоэлектрона:
	$E_{\text{к}} = h\nu - A_{\text{вых}}$
	$E_{\text{к}} = 8 \cdot 10^{-19} - 7,2 \cdot 10^{-19} = 0,8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

Ответ:  $0,8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

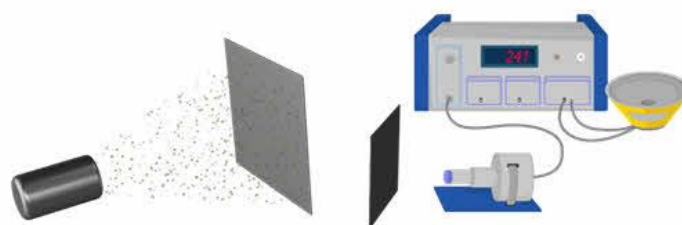
## Практическое занятие № 24

Ядерные реакции. Ядерная энергетика. Энергетический выход ядерных реакций.

Искусственная радиоактивность. Деление тяжелых ядер.

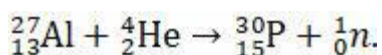
Изучить теоретическое описание. Выполнить задание.

Спустя 38 лет после открытия Беккереля французские учёные Фредерик и Ирен Жолио-Кюри провели один очень интересный опыт. Они поместили вблизи источника быстрых альфа-частиц алюминиевую фольгу и подвергли её облучению в течение нескольких минут. Затем они удалили источник и поднесли к фольге счётчик Гейгера. Какого же было удивление учёных, когда они обнаружили, что алюминиевая фольга стала радиоактивной: она испускала позитроны в течение некоторого времени.



Фредерик Жолио-Кюри (1900—1958)  
Ирен Жолио-Кюри (1897—1956)

Дальнейшие исследования показали, что при облучении, ядра алюминия захватывают альфа-частицы и превращаются в ядра изотопа фосфора-тридцать с испусканием нейтрона:



Полученный искусственно изотоп фосфора радиоактивен. Поэтому он в течение очень короткого промежутка времени самопроизвольно испускает позитрон и превращается в стабильный изотоп кремния-тридцать:



Так было открыто явление искусственной радиоактивности, за которое супруги Жолио-Кюри в 1935 году были удостоены Нобелевской премии по химии.

Искусственная радиоактивность — это распад изотопов, полученных искусственным путём (то есть в результате ядерных реакций).

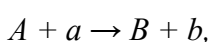
Ядерными реакциями мы с вами будем называть превращение атомных ядер при их взаимодействии с элементарными частицами или друг с другом.

Ядерные реакции происходят лишь тогда, когда частицы приближаются друг к другу настолько, что попадают в зону действия ядерных сил.

Сразу обратим ваше внимание на то, что в любой ядерной реакции выполняются законы сохранения энергии и импульса. При этом, что важно, сумма зарядовых и массовых чисел ядер и частиц, вступающих в ядерную реакцию, равна сумме зарядовых и массовых чисел ядер и частиц, получающихся в результате реакции.

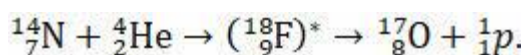
Действие законов сохранения ограничивает возможные варианты ядерных реакций и позволяет предсказать возможные пути (механизмы) ядерных превращений.

Чаще всего символически ядерные реакции записываются, как:



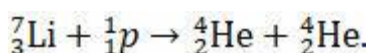
где  $A$  — это исходное ядро,  $a$  — бомбардирующая частица. Соответственно,  $B$  — это конечное ядро, а  $b$  — испускаемая частица.

Для осуществления ядерной реакции под действием положительно заряженной частицы необходимо, чтобы частица обладала кинетической энергией, достаточной для преодоления сил кулоновского отталкивания. Например, в исторически первой ядерной реакцией, в результате которой в 1919 году Эрнестом Резерфордом был открыт протон, лишь одна из примерно 50 000 альфа-частиц захватывалась ядром азота с последующим испусканием протона:

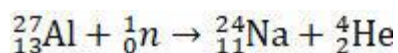


Поэтому для осуществления таких ядерных реакций необходимо заряженным частицам сообщать достаточно большую кинетическую энергию, например, в ускорителях. В них заряженные частицы разгоняются электрическим полем, двигаясь по замкнутым орбитам или спирали, где они удерживаются с помощью магнитного поля. В современных ускорителях заряженные частицы или ядра атомов разгоняются от десятков мегаэлектронвольт до сотен гигаэлектронвольт.

Первая ядерная реакция на быстрых протонах была осуществлена в 1932 году. В ней удалось расщепить ядро лития-7 на две альфа-частицы:

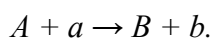


Открытие нейтрона дало новый импульс в исследовании ядерных реакций. Поскольку у нейтронов нет электрического заряда, то они могут беспрепятственно проникать в атомные ядра и вызывать их изменение. Например, если нейтрон влетит в ядро алюминия, то образуется изотоп натрия и альфа-частица:



Великий итальянский физик Энрико Ферми первым начал изучать реакции, вызываемые нейтронами. Он обнаружил, что ядерные превращения вызываются не только быстрыми нейтронами (с энергией в несколько мегаэлектронвольт), но и медленными (десятые доли электронвольта). Причём медленные нейтроны во многих случаях более эффективны, чем быстрые, так как они более вероятно вступают в реакции с данной мишенью.

Как вы могли заметить, в большинстве ядерных реакций, которые называют прямыми ядерными взаимодействиями, участвуют два ядра и две частицы. Первая пара «ядро — частица» называется исходной, а вторая — конечной:



В таких реакциях энергия, вносимая в ядро, передаётся преимущественно одному или небольшой группе нуклонов. Такой механизм реакции является основным при больших энергиях бомбардирующих частиц.

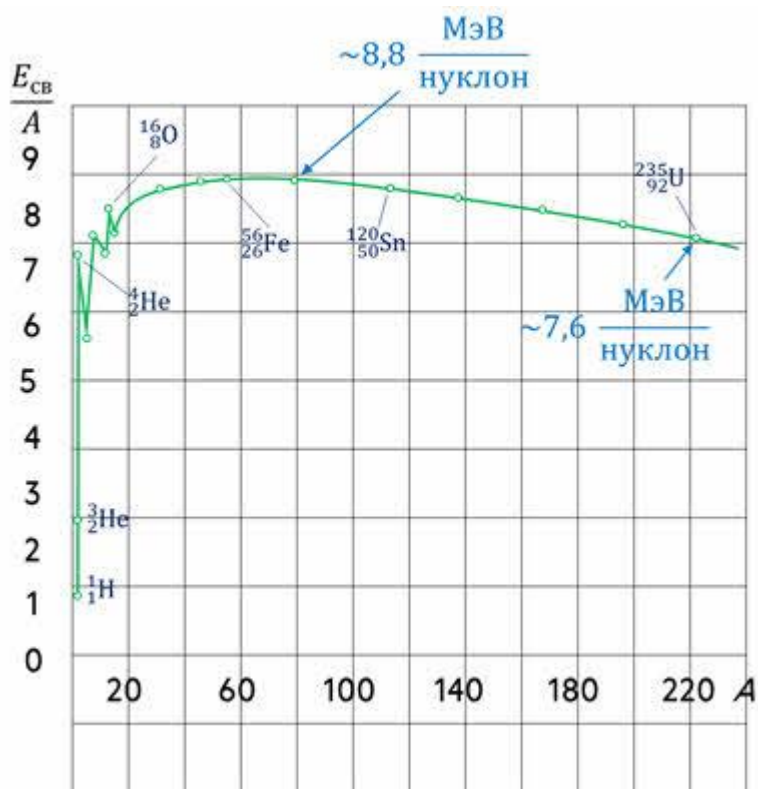
При малых энергиях бомбардирующих частиц наряду с прямыми ядерными реакциями в соответствии с представлениями, развитыми Нильсом Бором, осуществляются также реакции, происходящие в два этапа, с образованием составного ядра:



На первом этапе ядро поглощает (то есть захватывает) частицу и образуется составное ядро в возбуждённом состоянии. Энергия поглощённой частицы распределяется между всеми нуклонами составного ядра, причём энергия, приходящаяся на каждый нуклон, меньше удельной энергии связи. На втором этапе вследствие обмена энергией между нуклонами на одном или нескольких из них может сконцентрироваться энергия, достаточная для преодоления ядерных сил и вылета из составного ядра. В результате составное ядро превращается в конечное с испусканием частицы или гамма-кванта и высвобождением избытка энергии.

Особый тип ядерных реакций представляют реакции деления элементов, расположенных в конце Периодической системы химических элементов. В результате таких реакций

выделяется огромное количество энергии. Почему это происходит? Обратимся к графику удельной энергии связи нуклонов.



Итак, для тяжёлых ядер, например таких, как уран-235, удельная энергия связи, приходящаяся на нуклон, составляет примерно 7,6 МэВ. Ядра химических элементов из середины периодической системы элементов Менделеева обладают максимальной удельной энергией связи — до 8,8 МэВ на нуклон. Таким образом, при расщеплении тяжёлого ядра на два три более лёгких осколка энергия связи, приходящаяся на каждый нуклон, увеличится на величину порядка одного мегаэлектронвольта. А исходя из закона сохранения энергии, такое же количество энергии выделится при делении ядра. Следовательно, в ходе ядерной реакции, приводящей к появлению ядер с большей удельной энергией связи, должна выделяться энергия.

Напомним, что ядерная реакция, сопровождающаяся выделением энергии, называется экзотермической. Если же наоборот, ядерная реакция происходит за счёт поглощения энергии, то её называют эндотермической.

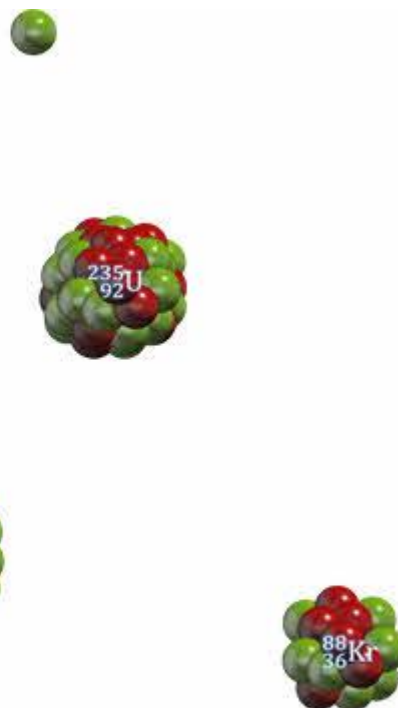
Процессы, происходящие при ядерных реакциях, очень сложны, но их энергетический выход вычислить довольно просто благодаря великой формуле Эйнштейна. Для этого необходимо знать только массы всех компонентов ядерной реакции:

$$E = (m_{\text{исх}} - m_{\text{пр}})c^2.$$

Интересно, что распад тяжёлых ядер на более лёгкие элементы долгое время считался невозможным (вплоть до 1938 года). В этом году немецкие учёные Отто Ган и Фриц Штрассман при поиске трансурановых элементов (элементов, расположенных за ураном в таблице Менделеева) облучали уран нейтронами и в продуктах реакции нашли следы бария. 17 декабря 1938 года они провели решающий опыт, на основании которого Ган заключил, что ядро урана «лопается», распадаясь на более лёгкие элементы.



Лиза Мейтнер  
1904—1979

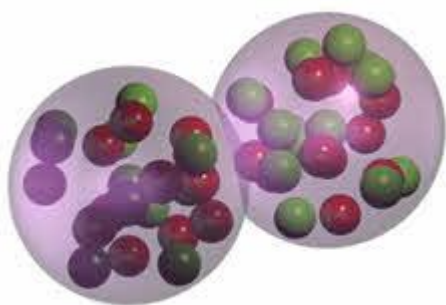


В 1939 году австрийский физик Лиза Мейтнер и её племянник Отто Роберт Фриш дали верную интерпретацию это явления. По мнению учёных, при попадании нейтрона в тяжёлое ядро урана происходит деление последнего на две примерно равные части. Поскольку в дочерних относительно лёгких ядрах оказывается избыток нейтронов, то вероятен ещё и вылет нескольких нейтронов.

Фриш незамедлительно сообщил об открытии Нильсу Бору, который на знаменитой конференции по теоретической физике в Вашингтоне 26 января 1939 года сообщил об открытии деления урана. Интересно, что многие физики, принимавшие участие в этой конференции, не дожидаясь конца доклада, один за другим стали покидать заседание, чтобы проверить сообщение в своих лабораториях. Так было открыто расщепление ядра.

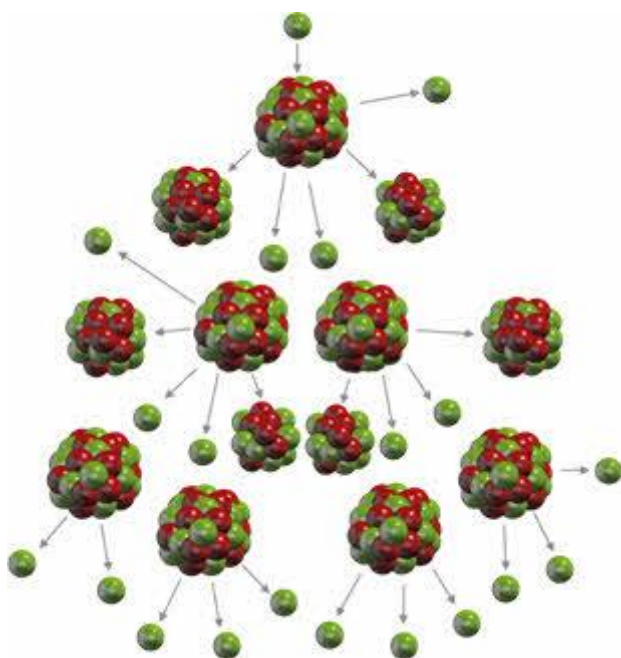
В том же году Фредерик Жолио-Кюри, Ханс Халбан и Лев Николаевич Коварский показали, что действительно при делении одного ядра урана на два осколка освобождается два или три нейтрона и выделяется около 200 МэВ энергии.

Чтобы понять, почему ядро урана под действием нейтрона начинает делиться, представим его себе в виде капли заряженной жидкости (капельная модель ядра). Согласно этой модели, нейтрон при поглощении ядром передаёт ему дополнительную энергию, которая распределяется между всеми входящими в состав ядра нуклонами. Образуется новое промежуточное ядро, находящееся в возбуждённом состоянии. Ядерная «жидкость» начинает совершать колебания и ядро приобретает удлинённую форму типа гантели. И как только крайние части ядра во время колебаний отдаляются на расстояние, где ядерные силы уменьшаются, тогда ядро и разделяется на два осколка, испуская при этом два — три нейтрона.



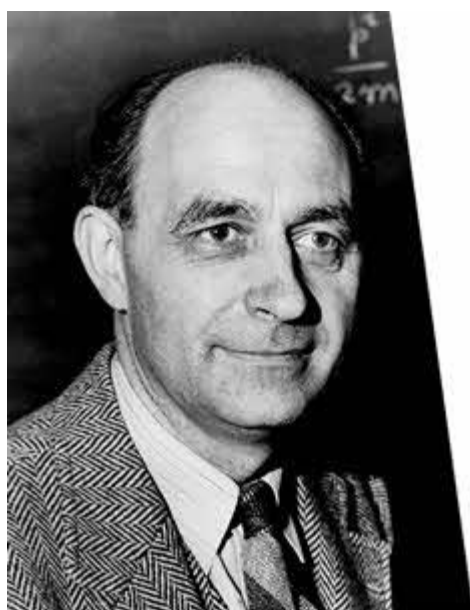
А теперь представим, что у нас есть некоторое количество ядер урана-двести тридцать пять. Образовавшиеся в результате первого деления нейтроны смогут разделить новые ядра урана образовав новые нейтроны. Так, при определённых условиях процесс, начавшись однажды с одного нейтрона, может принять характер цепной реакции.

Ядерная реакция деления, в которой частицы, вызывающие реакцию, образуются как продукты этой же реакции, называется цепной.



Интересно, что первым, кто заметил, что процесс ядерного деления может породить цепную реакцию и привести к большим выбросам энергии, была Лиза Мейтнер. Её заявление вызвало сенсацию в научной среде. Но знания, при помощи которых можно было создать оружие невероятной силы, могли оказаться в немецких руках. Американские учёные убедили Альберта Эйнштейна написать предупреждающее письмо президенту США Франклину Рузвельту, после чего был создан проект «Манхэттен» по разработке ядерного оружия. Будучи по убеждениям пацифисткой, Мейтнер отказалась работать в этом проекте, заявив: «Я не буду делать бомбу!» Но было поздно — бомбу смогли сделать и без неё.

Первая управляемая цепная ядерная реакция была осуществлена Энрико Ферми в США в 1942 году. А в СССР первая цепная реакция была осуществлена Игорем Васильевичем Курчатовым в 1946 году.



Макет первого атомного реактора  
«Чикагская поленица-1» (1942 г.)



Энрико Ферми  
1901—1954

Скорость цепной реакции деления ядер характеризуется коэффициентом размножения нейтронов.

Коэффициент размножения нейтронов равен отношению числа нейтронов в теле в данном поколении цепной реакции к их числу в следующем поколении:

$$k = \frac{N_{i+1}}{N_i}.$$

Цепная ядерная реакция будет самоподдерживающейся, если количество нейтронов в каждом следующем поколении не уменьшается (то есть коэффициент размножения нейтронов будет равен единице). Если же коэффициент размножения нейтронов будет

меньше единицы, то реакция будет затухающей, если же больше единицы — то скорость реакции нарастает со временем, что может привести к ядерному взрыву.

### Задание практической работы.

#### Вариант 1

1. Напишите уравнения следующих ядерных реакций:

1. алюминий ( $^{27}_{13}\text{Al}$ ) захватывает нейтрон и испускает  $\alpha$ -частицу;
2. азот ( $^{14}_7\text{N}$ ) бомбардируется  $\alpha$ -частицами и испускает протон.

2. Закончите уравнение ядерных реакций:

1.  $^{35}_{17}\text{Cl} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^1_1\text{p} +$
2.  $^{13}_6\text{C} + ^1_1\text{p} \rightarrow$
3.  $^7_3\text{Li} + ^1_1\text{p} \rightarrow 2$
4.  $^{10}_5\text{B} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^1_0\text{n} +$
5.  $^{24}_{12}\text{Mg} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{27}_{14}\text{Si} +$
6.  $^{56}_{26}\text{Fe} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{56}_{25}\text{Mn} +$

Ответы: а)  $^{13}_7\text{N}$ ; б)  $^1_1\text{p}$ ; в)  $^1_0\text{n}$ ; г)  $^{14}_7\text{N}$ ; д)  $^4_2\text{He}$ ; е)  $^{35}_{16}\text{S}$

3. Определите энергетический выход реакций:

1.  $^7_3\text{Li} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^4_2\text{He} + 13\text{H}$ ;
2.  $^9_4\text{Be} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^1_0\text{n} + ^{13}_6\text{C}$ .

#### Вариант 2

1. Напишите уравнения следующих ядерных реакций:

1. фосфор ( $^{31}_{15}\text{P}$ ) захватывает нейтрон и испускает протон;
2. алюминий ( $^{27}_{13}\text{Al}$ ) бомбардируется протонами и испускает  $\alpha$ -частицу.

2. Закончите уравнение ядерных реакций:

1.  $^{18}_8\text{O} + ^1_1\text{p} \rightarrow ^1_0\text{n} +$
2.  $^{11}_5\text{B} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^1_0\text{n} +$
3.  $^{14}_7\text{N} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{17}_8\text{O} +$
4.  $^{12}_6\text{C} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^9_4\text{Be} +$
5.  $^{27}_{13}\text{Al} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{30}_{15}\text{P} +$
6.  $^{24}_{11}\text{Na} \rightarrow ^{24}_{12}\text{Mg} + ^0_{-1}\text{e} +$

Ответы: а)  $^4_2\text{He}$ ; б)  $^{18}_9\text{F}$ ; в)  $^{14}_7\text{N}$ ; г)  $^1_0\text{n}$ ; д)  $\gamma$ ; е)  $^1_1\text{p}$

3. Определите энергетический выход реакций:

1.  $^6_3\text{Li} + ^1_1\text{p} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^3_2\text{He}$ ;
2.  $^{19}_9\text{F} + ^1_1\text{p} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^{16}_8\text{O}$ .

Практическое занятие № 25

Контрольная работа по разделу квантовая физика.

Вариант 1

**A1.** Внешний фотоэффект — это явление

- 1) почернения фотоэмульсии под действием света
- 2) вылета электронов с поверхности вещества под действием света
- 3) свечения некоторых веществ в темноте
- 4) излучения нагретого твердого тела

**A2.** Какой заряд имеет свет с частотой  $4,5 \cdot 10^{15}$  Гц?

- 1) 0 Кл
- 2)  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл
- 3)  $3,2 \cdot 10^{-19}$  Кл
- 4)  $4,5 \cdot 10^{15}$  Кл

**A3.** Излучение лазера — это

- 1) тепловое излучение
- 2) вынужденное излучение
- 3) спонтанное (самопроизвольное) излучение
- 4) люминесценция

**A4.** Изотоп ксенона  $^{112}_{54}\text{Xe}$  после спонтанного  $\alpha$ -распада превратился в изотоп

- 1)  $^{108}_{52}\text{Te}$
- 2)  $^{110}_{50}\text{Sn}$
- 3)  $^{112}_{55}\text{Cs}$
- 4)  $^{113}_{54}\text{Xe}$

**A5.** Какая из строчек таблицы правильно отражает структуру ядра  $^{48}_{20}\text{Ca}$ ?

	$p$ — число протонов	$n$ — число нейтронов
1)	48	68
2)	48	20
3)	20	48
4)	20	28

**В1.** Сколько квантов содержится в 1 Дж излучения с длиной волны 0,5 мкм?

**В2.** Ядро атома претерпевает спонтанный  $\alpha$ -распад. Как изменяются перечисленные ниже характеристики атомного ядра при таком распаде? К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите выбранные цифры под соответствующими буквами.

### ВЕЛИЧИНЫ

- А) масса ядра
- Б) заряд ядра
- В) число протонов в ядре

### ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ

- 1) не изменяется
- 2) увеличивается
- 3) уменьшается

**С1.** При какой температуре газа средняя энергия теплового движения атомов одноатомного газа будет равна энергии электронов, выбиваемых из металлической пластинки с работой выхода  $A_{\text{вых}} = 2$  эВ при облучении монохроматическим светом с длиной волны 300 нм? Учтите:  $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ .

### Вариант 2

**А1.** В своих опытах Столетов измерял максимальную силу тока (ток насыщения) при освещении электрода ультрафиолетовым светом. Сила тока насыщения при увеличении интенсивности источника света и неизменной его частоте будет

- 1) увеличиваться
- 2) уменьшаться
- 3) неизменной
- 4) сначала увеличиваться, затем уменьшаться

**А2.** Де Бройль выдвинул гипотезу, что частицы вещества (например, электрон) обладают волновыми свойствами. Эта гипотеза впоследствии была

- 1) опровергнута путем теоретических рассуждений
- 2) опровергнута экспериментально
- 3) подтверждена в экспериментах по дифракции электронов
- 4) подтверждена в экспериментах по выбиванию электронов из металлов при освещении

**А3.** Выберите верное утверждение.

- А. Излучение лазера является спонтанным
- Б. Излучение лазера является индуцированным

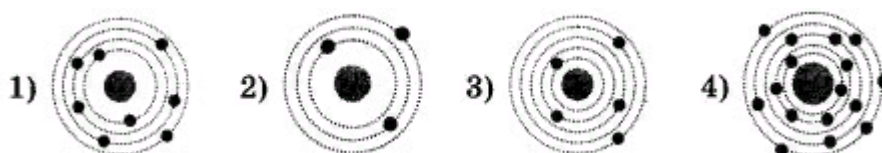
- 1) только А
- 2) только Б

- 3) и А, и Б  
4) ни А, ни Б

**А4.** Ядро  $^{214}_{83}\text{Bi}$  испытывает  $\beta$ -распад, при этом образуется элемент  $X$ . Этот элемент можно обозначить как

- 1)  $^{214}_{82}X$   
2)  $^{214}_{84}X$   
3)  $^{213}_{83}X$   
4)  $^{210}_{84}X$

**А5.** На рисунке изображены схемы четырёх атомов. Черными точками обозначены электроны. Атому  $^{16}_8\text{O}$  соответствует схема



**В1.** Источник света мощностью 100 Вт испускает  $5 \cdot 10^{20}$  фотонов за 1 с. Найдите среднюю длину волны излучения.

**В2.** Ядро атома претерпевает спонтанный  $\beta$ -распад. Как изменяются перечисленные ниже характеристики атомного ядра при таком распаде? К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите выбранные цифры под соответствующими буквами.

### ВЕЛИЧИНЫ

- А) масса ядра  
Б) заряд ядра  
В) число протонов в ядре

### ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ

- 1) не изменяется  
2) увеличивается  
3) уменьшается

**С1.** В вакууме находятся два покрытых кальцием электрода, к которым подключен конденсатор емкостью  $C = 8$  нФ. При длительном освещении катода светом с частотой  $\nu = 10^{15}$  Гц фототок, возникающий вначале, прекращается. Работа выхода электронов из кальция  $A_{\text{вых}} = 4,4 \cdot 10^{-19}$  Дж. Какой заряд  $Q$  при этом оказывается на обкладках конденсатора? Заряд электрона  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Вариант 3

**А1.** При фотоэффекте число электронов, выбиваемых монохроматическим светом из металла за единицу времени, **не** зависит от

- А) частоты падающего света
- Б) интенсивности падающего света
- В) работы выхода электронов из металла

Какие утверждения правильные?

- 1) А и В
- 2) А, Б, В
- 3) Б и В
- 4) А и Б

**А2.** Какой энергией обладает свет с частотой  $5 \cdot 10^{14}$  Гц?

- 1)  $3,96 \cdot 10^{-40}$  Дж
- 2)  $3,3 \cdot 10^{-19}$  Дж
- 3)  $4,5 \cdot 10^{31}$  Дж
- 4) 0

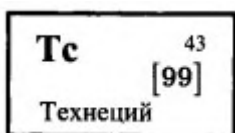
**А3.** В настоящее время широко распространены лазерные указки, авторучки, брелоки. При неосторожном обращении с таким (полупроводниковым) лазером можно

- 1) вызвать пожар
- 2) прожечь костюм и повредить тело
- 3) получить опасное облучение организма
- 4) повредить сетчатку глаза при прямом попадании лазерного луча в глаз

**А4.** Как изменится число нуклонов в ядре атома радиоактивного элемента, если ядро испустит  $\gamma$ -квант?

- 1) увеличится на 2
- 2) не изменится
- 3) уменьшится на 2
- 4) уменьшится на 4

**А5.** По данным таблицы химических элементов Д.И. Менделеева определите число нуклонов в ядре технеция.



- 1) 43
- 2) 56
- 3) 99
- 4) 142

**В1.** Ртутная лампа имеет мощность 125 Вт. Сколько квантов света испускается ежесекундно при излучении с длиной волны  $5,79 \cdot 10^{-1}$  м?

**В2.** Ядро атома претерпевает спонтанный  $\gamma$ -распад. Как изменяются перечисленные ниже характеристики атомного ядра при таком распаде? К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите выбранные цифры под соответствующими буквами.

### ВЕЛИЧИНЫ

- А) масса ядра
- Б) заряд ядра
- В) число протонов в ядре

### ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ

- 1) не изменяется
- 2) увеличивается
- 3) уменьшается

**С1.** Плоский алюминиевый электрод освещается светом длиной волны 83 нм. На какое максимальное расстояние от поверхности электрода может удалиться фотоэлектрон, если вне электрода имеется задерживающее электрическое поле напряженностью 150 В/м? Красная граница фотоэффекта 332 нм. Заряд электрона  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Вариант 4

**А1.** При исследовании фотоэффекта Столетов выяснил, что

- 1) энергия фотона прямо пропорциональна частоте света
- 2) вещество поглощает свет квантами
- 3) сила фототока прямо пропорциональна частоте падающего света
- 4) фототок возникает при частотах падающего света, превышающих некоторое значение

**А2.** Электрон и протон движутся с одинаковыми скоростями. У какой из этих частиц большая длина волны де Бройля?

- 1) у электрона
- 2) у протона
- 3) длины волн этих частиц одинаковы
- 4) частицы нельзя характеризовать длиной волны

**А3.** Интерференцию света с помощью лазерной указки показать легче, чем с обычным источником, так как пучок света, даваемый лазером, более

- 1) мощный
- 2) когерентный
- 3) расходящийся
- 4) яркий

**А4.** Какой заряд  $Z$  и какое массовое число  $A$  будет иметь ядро элемента, получившегося из ядра изотопа  ${}^{238}_{92}\text{U}$  после одного  $\alpha$ -распада и двух  $\beta$ -распадов?

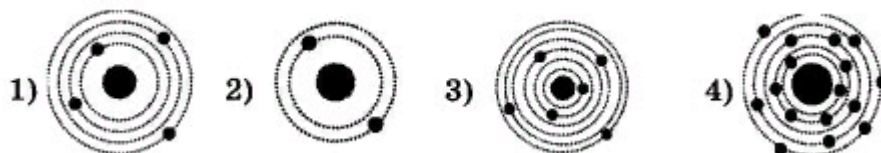
1)  $Z = 234, A = 92$

1)  $Z = 92, A = 234$

1)  $Z = 88, A = 234$

1)  $Z = 234, A = 94$

**A5.** На рисунке изображены схемы четырех атомов. Черными точками обозначены электроны. Атому  $^{12}_6\text{C}$  соответствует схема



**B1.** Детектор полностью поглощает падающий на него свет частотой  $\nu = 6 \cdot 10^{14}$  Гц. За время  $t = 5$  с на детектор падает  $N = 3 \cdot 10^5$  фотонов. Какова поглощаемая детектором мощность? (Полученный ответ умножьте на  $10^{14}$  и округлите до десятых.)

**B2.** Ядро атома захватило электрон и испустило протон. Как изменяются перечисленные ниже характеристики атомного ядра при такой ядерной реакции? К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите выбранные цифры под соответствующими буквами.

### ВЕЛИЧИНЫ

А) масса ядра

Б) заряд ядра

В) число нейтронов в ядре

### ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ

1) не изменяется

2) увеличивается

3) уменьшается

**C1.** Фотокатод, покрытый кальцием (работа выхода  $A_{\text{вых}} = 4,4 \cdot 10^{-19}$  Дж), освещается светом с длиной волны  $\lambda = 300$  нм. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле индукцией  $B = 8,3 \cdot 10^{-4}$  Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля. Каков максимальный радиус окружности  $R$ , по которой движутся электроны? Масса электрона  $9,1 \cdot 10^{-31}$  кг, модуль его заряда  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Вариант 5

**A1.** При фотоэффекте работа выхода электрона из металла, зависит от

1) частоты падающего света

2) интенсивности падающего света

3) химической природы металла

4) кинетической энергии вырываемых электронов

**A2.** Определите импульс фотона, обладающего энергией  $4 \cdot 10^{-19}$  Дж.

- 1)  $4,44 \cdot 10^{-36}$  кг · м/с
- 2)  $3,6 \cdot 10^{-2}$  кг · м/с
- 3)  $1,33 \cdot 10^{-21}$  кг · м/с
- 4)  $1,2 \cdot 10^{-10}$  кг · м/с

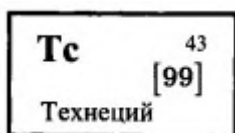
**A3.** Средняя мощность лазерного излучения равна  $P$ , длина волны  $\lambda$ . Число фотонов, ежесекундно излучаемых лазером, в среднем равно

- 1)  $P/\lambda$
- 2)  $P^{\lambda}/c$
- 3)  $Pc/h\lambda$
- 4)  $P^{\lambda}/hc$

**A4.** Радиоактивный изотоп урана  $^{238}_{92}\text{U}$  после двух  $\alpha$ -распадов и двух  $\beta$ -распадов превращается в изотоп

- 1)  $^{234}_{91}\text{Pa}$
- 2)  $^{230}_{90}\text{Th}$
- 3)  $^{238}_{92}\text{U}$
- 4)  $^{229}_{88}\text{Ra}$

**A5.** По данным таблицы химических элементов Д.И. Менделеева определите число нейтронов в ядре технеция.



- 1) 43
- 2) 56
- 3) 99
- 4) 142

**B1.** Детектор полностью поглощает падающий на него свет длиной волны  $\lambda = 500$  нм. Поглощаемая мощность равна  $P = 3,3 \cdot 10^{-14}$  Вт. Сколько фотонов падает на детектор за время  $t = 3$  с? Полученный ответ разделите на  $10^5$ .

**B2.** Ядро атома захватило нейтрон и испустило электрон. Как изменяются перечисленные ниже характеристики атомного ядра при такой реакции? К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите выбранные цифры под соответствующими буквами.

### ВЕЛИЧИНЫ

- А) масса ядра
- Б) заряд ядра
- В) число нейтронов в ядре

### ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ

- 1) не изменяется
- 2) увеличивается
- 3) уменьшается

**С1.** Фотокатод, покрытый кальцием (работа выхода  $4,4 \cdot 10^{-19}$  Дж), освещается светом с частотой  $2 \cdot 10^{15}$  Гц. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции этого поля и движутся по окружностям максимального радиуса 5 мм. Чему равен модуль индукции магнитного поля? Заряд электрона  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл, его масса  $9,1 \cdot 10^{-31}$  кг.

### **Ответы на контрольную работу Квантовая физика**

#### **Вариант 1**

- A1-2
- A2-1
- A3-2
- A4-1
- A5-4
- B1.  $2,5 \cdot 10^{18}$
- B2. 333
- C1. 16 425 К

#### **Вариант 2**

- A1-1
- A2-3
- A3-2
- A4-2
- A5-1
- B1.  $9,9 \cdot 10^{-7}$  м
- B2. 122
- C1.  $11 \cdot 10^{-9}$  Кл

#### **Вариант 3**

- A1-1
- A2-2
- A3-4
- A4-2
- A5-3
- B1.  $3,7 \cdot 10^{20}$
- B2. 111
- C1. 7,45 см

#### **Вариант 4**

- A1-4
- A2-1
- A3-2
- A4-2
- A5-3
- B1. 2,4
- B2. 332

С1. 4,76 мм

**Вариант 5**

A1-3

A2-3

A3-4

A4-2

A5-2

B1. 2,5

B2. 221

С1. 1,58 мТл

Практическое занятие № 26

Солнечная система: планеты и малые тела, система Земля—Луна.

Цель: изображение в масштабе плана Солнечной системы с отображением реального положения планет на дату проведения работы.

Приборы и материалы: циркуль, «Школьный астрономический календарь» на текущий учебный год.

Ход работы:

1. Используя приложения в конце учебника заполните таблицу:

Планета	Размер орбиты планеты, км	Размер орбиты планеты в масштабе 1:3 000 000 000 000
Меркурий		
Венера		
Земля		
Марс		

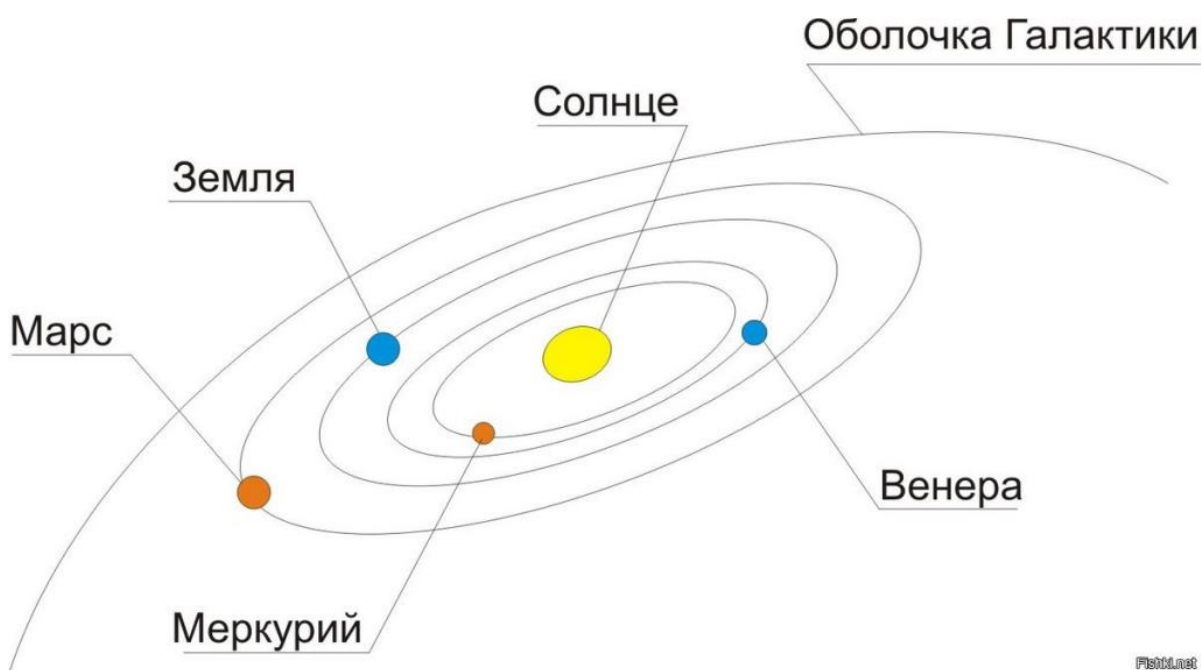
Для определения размера орбиты откройте приложения на 215 стр. там можно определить все нужные параметры.

- На отдельном листе в центре расположите Солнце как точечный источник света. Приняв орбиты планет за окружности нарисуйте орбиты четырех планет: Меркурия, Венеры, Земли и Марса в указанном масштабе.
- Используя «Школьный астрономический календарь» заполните следующие таблицы:

Планета	Меркурий	Венера	Земля	Марс
Эксцентриситет				
Планета	Дата прохождения через перигелий		Дата прохождения через афелий	
Меркурий				

Венера			
Земля			
Марс			
Планета	Меркурий	Венера	Марс
Верхнее соединение, дата			
Нижнее соединение, дата			
Противостояние, дата			

Когда будете рисовать орбиты планет, то у вас получится что-то похожее на :



только орбиты чертите циркулем. Эллипсы выстраивать не надо.

### Практическое занятие № 27

Строение и эволюция Солнца и звёзд. Классификация звёзд. Звёзды и источники их энергии.

Галактика. Современные представления о строении и эволюции Вселенной.

Изучите текст, выполните опорный конспект и задание по тексту.

Звезда – раскалённый газовый шар;

Светимость звезды – энергия, которую излучает звезда за 1 секунду по всем направлениям;

Фотосфера Солнца – ближайший к поверхности, нижний слой атмосферы Солнца;

Ядро Солнца – центральная часть шара, в которой протекают термоядерные реакции;  
Протуберанец – выплёскивающаяся с поверхности Солнца в атмосферу струя;  
Протозвезда – звезда на раннем этапе своей эволюции;  
Нейтронная звезда – звезда сверхбольшой плотности порядка плотности атомного ядра;  
Чёрная дыра – звезда с таким соотношением массы и радиуса, что ни одно тело из сферы действия его гравитации и даже свет не могут покинуть его;

### **Основные характеристики Солнца.**

Первая величина, которая легко вычисляется для Солнца – это его радиус.

Угол, под которым видно Солнце с Земли, равен 16 секундам. Расстояние от Земли до Солнца - значение большой полуоси орбиты Земли. Радиус Солнца равен 700000 км.

Массу Солнца определим, используя третий обобщённый закон Кеплера:

$(a^3/T^2) = (G \cdot M)/4\pi^2$  подставив значения большой полуоси орбиты Земли, гравитационной постоянной и периода вращения Земли вокруг Солнца.

Масса Солнца равна  $2 \cdot 10^{30}$  кг

Зная, что на  $1 \text{ м}^2$  за  $1 \text{ с}$  приходится  $1370 \text{ Дж}$  энергии, можно найти светимость Солнца:

$$L = E \cdot S = 1370 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} 4\pi R^2 = 4 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$$

Химический состав Солнца: примерно 70% водорода, 29 % гелия;

Температура на поверхности Солнца 6000 К. Атмосфера Солнца. Нижний слой, называющийся фотосферой, имеет небольшую высоту. Внешняя часть, называющаяся короной, простирается на несколько радиусов Солнца. В структуре фотосферы выделяют гранулы, протуберанцы, темные пятна. С поверхности Солнца постоянно идёт поток заряженных частиц, называемый солнечным ветром. Временами на Солнце происходят вспышки, увеличивающий поток частиц и всевозможные излучения Солнца.

### **Основные характеристики звёзд.**

Основные характеристики звёзд. Изучение звёзд затруднено тем, что они находятся далеко и освещённость, которую они создают на Земле очень мало. Проблему наблюдения за звёздами решают при помощи больших телескопов

Измерения температур поверхности звёзд показывают, что есть прямая связь между температурой звезды и видом её спектра.

В результате все звёзды разнесены по звёздным классам: O, B, A, F, G, K,

Обозначение	Цвет	Темпера -тура, К
O	Голубой	30000-60000
B	Голубовато-белый	10000-30000
A	Белый	7500-10000
F	Желтовато-белый	6000-7500
G	Жёлтый	5000-6000
K	Оранжевый	3500-5000
M	Красный	2000-3500

Э.Герцшпрунг и Г.Рессел составили диаграмму зависимости светимости всех известных звёзд от их спектрального класса. По этой диаграмме все звёзды расположились в четырёх группах. Главная последовательность диаграммы дает расположение большинства звёзд. Солнце является звездой данной группы звёзд. Плотности звёзд данной группы примерно равны плотности Солнца. Вторая и третья группы звёзд данной диаграммы – гиганты и сверх - гиганты. Группа звёзд гигантов – звёзды красного цвета со светимостью примерно в сто раз больше Солнца, а размеры в десятки раз больше. Сверх – гиганты также звёзды со светимостью в сотни тысяч раз больше солнечной, а размерами в сотни раз больше. Плотность сверх – гиганта Бетельгейзе составляет одну миллионную долю плотности воздуха. Белые карлики – это группа звёзд, которая располагается на диаграмме внизу слева. Светимость белых карликов в сотни и тысячи раз меньше солнечной и по размерам сравнимы с планетами. Однако, плотность достигает огромных значений.

### **Источник энергии Солнца и звёзд.**

Источником энергии Солнца и звёзд является ядерная энергия, которая выделяется при синтезе ядер гелия из ядер водорода. Это - так называемая термоядерная реакция. Доказательством верности наших представлений о строении Солнца является результаты поиска и регистрации нейтрино, которые сопровождают термоядерные реакции в недрах Солнца и легко проникают от места реакции до самой Земли.

### **Эволюция звёзд.**



Анализ утверждения 2): На нижней линии диаграммы указаны спектральные классы звёзд, на верхней линии - соответствующие температуры. Классу F соответствует температура ниже, чем классу A.

Утверждение 2) верно.

Анализ утверждения 3): Звезда с температурой 4100 К относится к классу K, что противоречит утверждению.

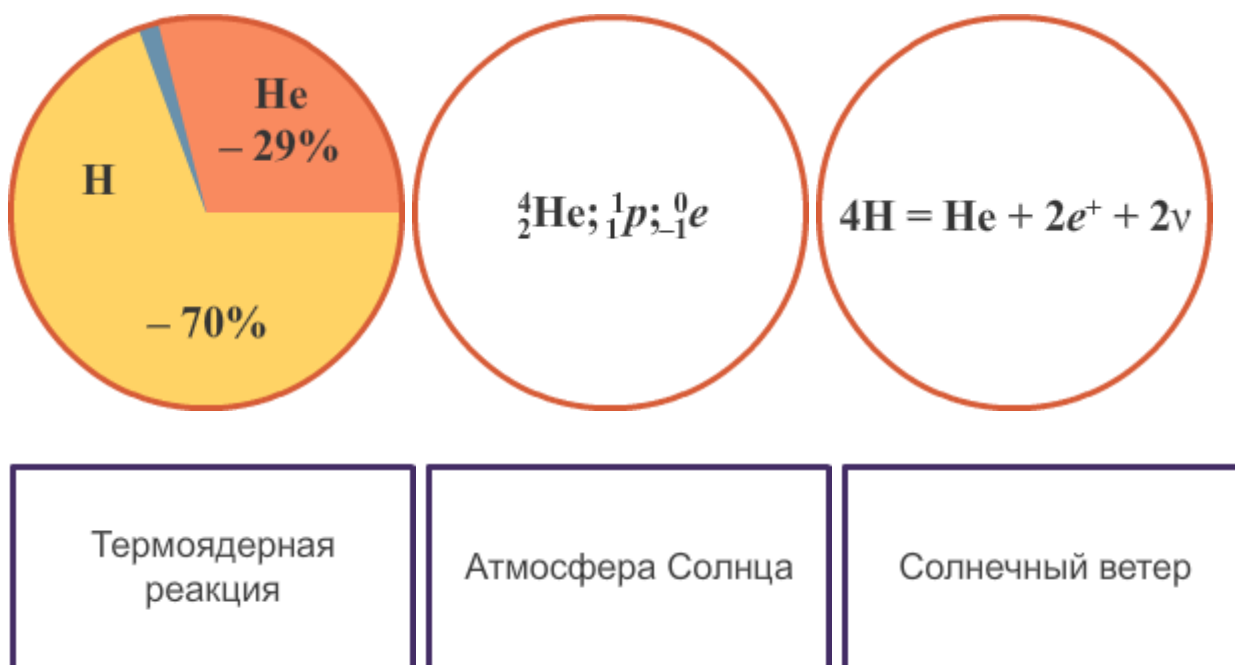
Утверждение 3) неверно.

Анализ утверждения 4): Белые карлики имеют рекордно высокую плотность. Это противоречит утверждению.

Утверждение 4) неверно.

Ответ: Верное утверждение – 2)

2. Установите соответствие между элементами



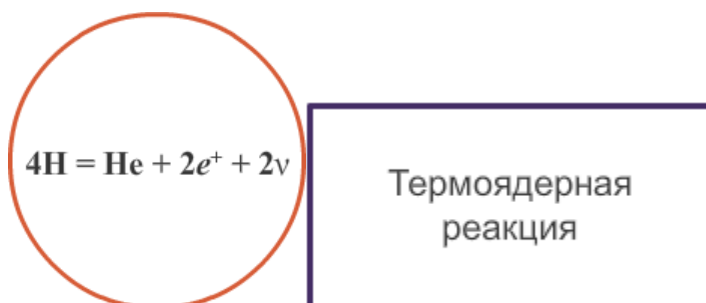
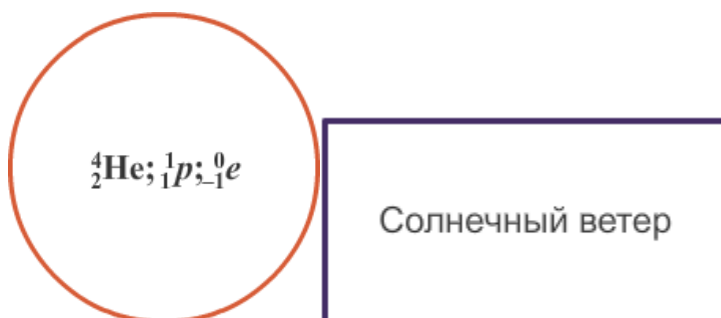
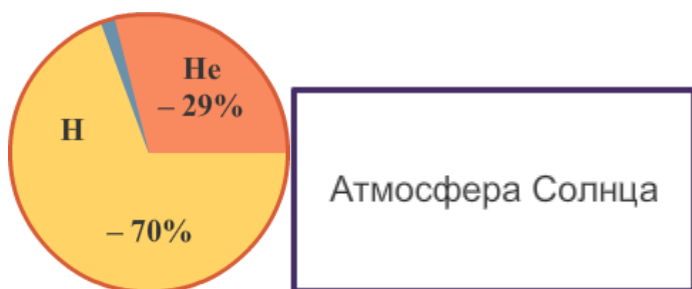
Решение.

1. Термоядерная реакция, протекающая в ядре Солнца – реакция синтеза ядер гелия из 4 ядер водорода с образованием 2-х позитронов и 2-х нейтрино.

2. Атмосфера Солнца состоит на 70% из водорода, около 30% из гелия.

3. Солнечный ветер – это поток заряженных частиц с фотосферы Солнца: ядра гелия, водорода, электроны и незначительное количество ионов.

Ответ:



### Практическое занятие № 28

#### Изучение карты звездного неба.

Цель работы: Использование подвижной карты при изучении звездного неба.

Пособия: подвижная карта звездного неба с сеткой экваториальных координат и названиями созвездий (планшет 9); малый звездный атлас Л. Л. Михайлова.

Подвижная карта звездного неба служит пособием для общей ориентировки по небу и, в частности, для определения расположения созвездий относительно истинного горизонта.

На карте изображены сетка небесных экваториальных координат и основные созвездия, состоящие из сравнительно ярких звезд и потому хорошо выделяющиеся на небе своими характерными фигурами.

Если карта представляет собой стереографическую проекцию северной и частично южной небесной полусферы на плоскость небесного экватора, то центром проекции является южный полюс мира. Пусть (рис. 9)  $P$  - северный полюс мира,  $P'$  - южный полюс мира,  $QQ'$  - небесный экватор,  $AB$  и  $KL$  - небесные параллели,  $PMM'P'$  - круг склонения двух точек  $M$  и  $M'$  небесной сферы. Плоскость  $XY$  является плоскостью небесного экватора  $QQ'$  и одновременно плоскостью карты, на которую проектируются точки небесной сферы при составлении карты звездного неба в стереографической проекции. Южный полюс мира  $P'$  принимается за центр проекции и из него проводятся лучи к различным точкам небесной сферы, например, к северному полюсу мира  $P$ , к точкам кругов  $AB$ ,  $QQ'$ ,  $KL$ ,  $PMM'P'$  и т. д. Эти лучи ( $P'P$ ,  $P'A$ ,  $P'B$ ,  $P'K$ ,  $P'L$ ,  $P'Q$ ,  $P'Q'$ ,  $P'M$ ,  $P'M'$ ) пересекают плоскость  $XY$  небесного экватора в точках, которые являются проекциями соответствующих точек небесной сферы на этой плоскости. В результате, на плоскости карты, являющейся плоскостью небесного экватора, северный полюс мира  $P$  изобразится точкой  $p$ , небесный экватор  $QQ'$  - кругом  $QQ'$  (без каких-либо искажений), небесные параллели  $AB$  и  $KL$  —соответственно кругами  $ab$  и  $kl$ , круг склонения  $PMM'P'$  - лучом  $pmm'$ . Проекциями точек  $M$  и  $M'$  сферы будут точки  $m$  и  $m'$  на карте. Следовательно, на звездной карте, составленной в стереографической проекции на плоскости небесного экватора, все небесные параллели изображаются концентрическими окружностями, центром которых является точка  $p$  — проекция северного полюса мира, а круги склонения — лучами, выходящими из этой точки. На подвижной карте звездного неба (рис. 10) северный полюс мира находится в центре карты, в точке пересечения двух диаметров, изображающих четыре круга склонения. Рядом с ним находится обозначенная греческой буквой  $\alpha$  главная звезда созвездия Малой Медведицы, называемая Полярной звездой. Круги склонения изображены радиусами, проведены через  $30^\circ$  ( $2h$ ) и оцифрованы в часовой мере по внутреннему обрезу карты. Круги склонения  $0h$ ,  $6h$ ,  $12h$  и  $18h$  доведены до северного полюса мира. Остальные круги склонения до него не доведены с тем, чтобы не загружать околополярной области карты лишними линиями. Небесный экватор и три небесных параллели, с интервалом в  $30^\circ$ , изображены концентрическими окружностями и оцифрованы в точках пересечения с начальным кругом склонения ( $=0h$ ) и с диаметрально противоположным ему кругом склонения ( $=12h$ ). Оцифровка кругов склонения и небесных параллелей позволяет грубо оценивать значения экваториальных координат небесных светил.

Эксцентрический овал, пересекающийся с небесным экватором в двух диаметрально противоположных точках, изображает эклиптику. Точки пересечения небесного экватора с эклиптикой, называемые точками равноденствий, обозначены

знаками (точка весеннего равноденствия:  $\delta = 0^\circ$ ) и (точка осеннего равноденствия:  $\delta = 0^\circ$ ).

Область карты, заключенная внутри небесного экватора, представляет северную небесную полусферу; остальная часть карты изображает пояс южной небесной полусферы, заключенный между небесным экватором и небесной параллелью со склонением  $\delta = -45^\circ$ . Одним из следствий стереографической проекции является сильное искажение вида областей южной небесной полусферы, небесные параллели которой изображаются на карте окружностями большего радиуса, нежели небесный экватор.

Изображения созвездий южной полусферы чрезвычайно растянуты и резко отличаются от привычного вида тех же созвездий на небе. Поэтому, современные подвижные карты выполняются в проекции А. А. Михайлова, в которой центр проекции находится вне сферы, на расстоянии одного ее радиуса от южного полюса мира. В этой проекции южные созвездия изображаются с меньшим искажением.

Ввиду мелкого масштаба подвижной карты на ней изображены лишь яркие звезды. По этой же причине созвездия, состоящие из слабых звезд, на карте не показаны.

По наружному обрезу карты, называемому лимбом дат, нанесены календарные числа и названия месяцев года.

Накладной круг, прилагаемый к карте, позволяет установить вид звездного неба для любого времени суток произвольного дня года. Для этой цели внешний обрез круга, называемый часовым лимбом, разделен на 24 часа, по числу часов в сутках; часы от 0 до 12Ч обозначают время первой половины суток (от полуночи до полудня), а часы от 12 до 24Ч (до 0ч) - время второй половины суток (от полудня до полуночи). Поэтому моменты времени второй половины суток выражаются числами более 12-ти. Например, момент времени 3 часа дня обозначен на часовом лимбе числом 15Ч, момент времени 7 часов вечера обозначен числом 19ч и т. д. Штрихи на часовом лимбе нанесены через каждые 10 минут, Часовой лимб оцифрован в гражданской (местной) системе счета времени и, строго говоря, это обстоятельство должно учитываться при пользовании подвижной картой. Однако в самом начале изучения звездного неба можно, с некоторой погрешностью, полагать, что часовой лимб оцифрован в декретной системе счета времени, по которой живет Советский Союз. По изучении же систем счета времени нужно пользоваться часовым лимбом в системе гражданского (местного) времени.

В накладном круге имеется овальный вырез, положение которого определяется географической широтой места наблюдения. Он вырезается по тому овалу (из числа начерченных на накладном круге), который оцифрован значением географической широты, близкой к географической широте места наблюдения. Контур овального выреза

изображает истинный или математический горизонт и на нем нанесены названия четырех его главных точек - точек юга, запада, севера и востока. Между точками юга и севера полезно натянуть нить, изображающую небесный меридиан, т. е, большой круг небесной сферы, проходящий через полюс мира и зенит и пересекающийся с истинным горизонтом в точках севера и юга. Центр этой нити в первом, весьма грубом, приближении может быть принят за зенит. Точное же положение зенита на нити определяется точкой ее пересечения с небесной параллелью, склонение которой равняется географической широте места наблюдения ( ). В частности, если овал в накладном круге карты вырезан для широты  $\varphi$ , то нужно наметить на карте небесную параллель с  $\varphi$  и отметить на нити точку ее пересечения с этой небесной параллелью. При монтаже карты полезно заклеить вырезанный овал накладного круга прозрачной пленкой, на которую нанести небесный меридиан, северный полюс мира и зенит. В этом случае северный полюс мира накладного круга скрепляется кнопкой с северным полюсом мира карты, что обеспечивает свободное вращение накладного круга и его симметричное расположение относительно карты звездного неба.

У овального выреза (горизонта) накладного круга проставлена оцифровка в градусах – лимб азимутов, по которому можно приближенно оценивать азимуты небесных светил.

Подвижная карта звездного неба позволяет приближенно решать ряд задач практической астрономии. Так, для определения вида звездного неба в некоторый момент времени  $T$  заданного дня года (даты)  $n$ , нужно наложить накладной круг симметрично на звездную карту таким образом, чтобы часовой лимб совместился с лимбом дат и чтобы штрих часового лимба, указывающий данный момент времени  $T$ , совпал со штрихом заданной даты  $n$  (рис. 10). Нужно следить за тем, чтобы накладной круг всегда был расположен симметрично относительно карты, а небесный меридиан (нить) — всегда проходил через северный полюс мира. Тогда в асимметрично расположенном овальном вырезе окажутся те звезды, которые в заданный момент времени  $T$  видны над горизонтом. Звезды, находящиеся под горизонтом (и, следовательно, недоступные наблюдениям), будут закрыты накладным кругом. В середине овального выреза располагаются созвездия, находящиеся вблизи зенита. По направлениям от зенита к разным точкам истинного горизонта можно установить области небосвода, в которых находятся те или иные созвездия (южная, северо-восточная, юго-западная области и т. д.). При ориентировочной оценке допустимо делить небосвод на четыре области — восточную, южную, западную и северную, причем границами этих областей являются направления от зенита на точки северо-востока, юго-востока, юго-запада и северо-запада, лежащие на истинном горизонте.

Светила, которые окажутся на нити, проходят в данный момент времени  $T$  через небесный меридиан (кульминируют). В верхней кульминации, т. е. к югу от северного полюса мира, находятся те светила, которые располагаются на нити между северным полюсом мира и точкой юга. Одни из них проходят через небесный меридиан к югу от зенита (между зенитом и точкой юга), другие — к северу от зенита (между зенитом и северным полюсом мира).

Те светила, которые располагаются на нити между северным полюсом мира и точкой севера (а также под ней), находятся в данный момент времени  $T$  в нижней кульминации, т. е. проходят небесный меридиан к северу от северного полюса мира.

Созвездия, восходящие в заданный момент времени над горизонтом или заходящие за горизонт, следует искать, соответственно, на восточной или западной половине истинного горизонта. Восточной половиной является дуга истинного горизонта от точки севера, через точку востока, до точки юга. Западной половиной является дуга истинного горизонта от точки юга, через точку запада, до точки севера.

По подвижной карте звездного неба можно приблизительно указать день года (дату)  $n$ , в который то или иное светило восходит, кульминирует или заходит в заданный момент времени  $T$  суток. В этом случае, поворачивая накладной круг, устанавливают его на карте так, чтобы выбранное светило заняло заданное положение (восход, кульминация, заход). Тогда штрих часового лимба, обозначающий заданный момент времени  $T$ , совпадет с искомым днем  $n$  на лимбе дат.

Аналогично по заданной дате  $n$  можно определить приближенные моменты времени суток  $T$  интересующих явлений (обратная задача).

Многие звезды в момент нижней кульминации оказываются под горизонтом и их закрывает накладной круг карты. В этом случае для определения  $n$  к  $T$  накладной круг из своего нормального, симметричного положения сдвигается в направлении невидимой звезды до ее появления в точке севера. Нить (небесный меридиан) проводится через эту звезду и северный полюс мира и затем весь накладной круг аккуратно сдвигается вдоль нити в обратном направлении, в сторону точки юга, до прежнего симметричного расположения (данная звезда опять окажется под горизонтом), и уже после этого с часового лимба и с лимба дат снимаются необходимые отсчеты.

Конечно, определение дат  $n$  и моментов времени  $T$  по подвижной карте звездного неба является весьма приближенным, но вполне достаточным для уяснения общей картины явлений. Точные же их определения производятся соответствующими вычислениями.

Определяя по подвижной карте вид звездного неба в различные моменты суток, можно выяснить условия видимости созвездий, т. е. установить, все ли созвездия восходят над горизонтом и заходят за горизонт данного места Земли.

Следует предупредить о том, что подвижная карта звездного неба, необходимая для общей приближенной ориентировки по звездному небу, не пригодна для подробного изучения созвездий, как из-за ограниченного числа звезд на ней, так и из-за искажений вида созвездий. Поэтому изучать созвездия на небе следует только по картам звездных атласов, на которых имеется достаточное число звезд и практически отсутствует искажение вида созвездий.

### ЗАДАНИЕ

1. Установить подвижную карту звездного неба на заданный преподавателем день и час, и указать расположение созвездий на небесном своде, отдельно отметив восходящие и заходящие в это время созвездия.
2. Изучить контуры созвездий Большой Медведицы, Малой Медведицы, Кассиопеи, Лебеда, Льва, Пегаса, Волопаса и Ориона.
3. Установить подвижную карту звездного неба последовательно на 0ч, 6ч, 12ч и 18ч 1 октября, указать расположение в эти моменты времени созвездий Большой Медведицы, Кассиопеи, Ориона и Лебеда и сформулировать вывод о характере и причине изменения вида звездного неба в течение суток.
4. Найти на подвижной карте звездного неба созвездия (и определить их названия), граничащие с созвездием: 1) Лебеда; 2) Ориона; 3) Льва; 4) Пегаса; 5) Большой Медведицы; 6) Кассиопеи; 7) Волопаса; 8) Малой Медведицы.
5. Определить день года, в который в 8ч 30м вечера в верхней кульминации находится звезда: 1) Вега; 2) Альдебаран; 3) Арктур; 4) Денеб; 5) Капелла; 6) Алголь; 7) Спика; 8) Регул.
6. Определить дату, в которую та же звезда, в тот же момент суток находится в нижней кульминации.
7. В дни 21 марта, 22 июня, 23 сентября и 22 декабря найти моменты времени восхода, верхней кульминации, захода и нижней кульминации звезды: 1) Альтаира; 2) Сириуса; 3) Поллукса; 4) Ригеля; 5) Антареса; 6) Бетельгейзе; 7) Прокциона; 8) Кастора.
8. Определить дни года, в которые та же звезда восходит, кульминирует и заходит в 5ч 50м утра и в 5ч 50м вечера.
9. Определить время восхода и захода Большой Медведицы и Кассиопеи в произвольно выбранный день года.

10. Из анализа результатов пунктов 5—9 сформулировать выводы:

- а) о продолжительности промежутка времени между моментами верхней и нижней кульминации одних и тех же звезд в пределах суток;
- б) об изменении моментов времени восхода, кульминаций и захода звезд на протяжении года, указав направление и величину этого изменения за полгода, за месяц, за полмесяца и за сутки.
- в) об условиях видимости различных созвездий в данном месте Земли.

Приложение 1

Практическая работа рассчитана на выполнение в течение двух учебных часов.

*Примерный план решения задачи:*

1. Работа над условием:

- краткая запись условия и выяснение смысла терминов (рисунки, чертежи);
- анализ физических явлений, процессов, описанных в задаче.

2. Поиск необходимых уравнений, связывающих физические величины, которые характеризуют рассматриваемое явление, процесс.

3. Решение задачи в общем виде.

4. Анализ полученного результата (действие с наименованиями, проверка на частных случаях, решение другим способом).

5. Приведение всех данных к СИ (если это необходимо).

6. Получение числового ответа.

В процессе, выполнения практической работы, обучающиеся в отчёт должны внести:

- название практической работы;
- цель работы;
- решение выполненных заданий практической работы.

Оценка за выполнение практических работ выставляется по пятибалльной системе и учитывается как показатель текущей успеваемости обучающихся.