

Государственное бюджетное профессиональное  
образовательное учреждение  
«Кунгурский колледж агротехнологий и управления»



**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ  
ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**ОУД.11 ФИЗИКА**


для студентов специальности

**23.02.04 Техническая эксплуатация подъёмно-транспортных, строительных,  
дорожных машин и оборудования  
(по отраслям)**

2023 г.

Рассмотрено и одобрено  
на заседании методической комиссии  
естественнонаучных дисциплин  
Протокол № \_\_1\_\_  
от 30.08. 2023 г.

Председатель МК

 \_\_\_\_\_ В.Н. Чернышёва

УТВЕРЖДАЮ  
Заместитель директора



Составитель: Волынкина.М.В., преподаватель ГБ ПОУ «Кунгурский колледж  
агротехнологий и управления»

## Содержание

Пояснительная записка.....	4
Практическая работа № 1 Перевод величин в систему СИ.....	6
Практическая работа № 2 Равномерное, равноускоренное движения по прямой, движение по окружности.....	7
Практическая работа № 3 Применение законов Ньютона, расчет сил, действующих на тело...8	
Практическая работа № 4 Закон сохранения импульса.....	10
Практическая работа № 5 Закон сохранения энергии.....	12
Практическая работа № 6 Основное уравнение МКТ.....	14
Практическая работа № 7 Уравнение состояние идеального газа.....	16
Практическая работа № 8 Графические задачи на газовые законы.....	18
Практическая работа № 9 Уравнение теплового баланса.....	20
Практическая работа № 10 Первое начало термодинамики.....	22
Практическая работа № 11 КПД тепловых машин.....	25
Практическая работа № 12 Определение влажности воздуха.....	27
Практическая работа № 13 Тепловое расширение твёрдых тел.....	33
Практическая работа № 14 Закон Кулона.....	37
Практическая работа № 15 Расчет ёмкости батареи конденсаторов.....	40
Практическая работа № 16 Закон Ома для участка цепи.....	42
Практическая работа № 17 Расчёт эквивалентного сопротивления.....	44
Практическая работа № 18 Работа и мощность тока.....	47
Практическая работа № 19 Расчёт КПД теплового нагревателя.....	49
Практическая работа № 20 Электрический ток в жидкостях.....	51
Практическая работа № 21 Электрический ток в полупроводниках.....	52
Практическая работа № 22 Расчёт силы Ампера.....	56
Практическая работа № 23 Расчёт силы Лоренца.....	58
Практическая работа № 24 Явление электромагнитной индукции.....	60
Практическая работа № 25 Самоиндукция. Энергия магнитного поля.....	62
Практическая работа № 26 Параметры колебательного движения.....	65
Практическая работа № 27 Ёмкость в цепи переменного тока.....	70.
Практическая работа № 28 Трансформатор.....	73
Практическая работа № 29 Законы отражения и преломления света.....	86
Практическая работа № 30 Измерение длины световой волны.....	94
Практическая работа № 31 Шкала эл. магнитных излучений.....	91
Практическая работа № 32 Свойства фотона.....	92
Практическая работа № 33 Фотоэффект.....	94
Практическая работа № 34 Радиоактивные превращения. Закон радиоактивного распада.....	100
Практическая работа № 35 Состав ядра атома. Энергия связи.....	102
Практическая работа № 36 Происхождение и эволюция Солнечной системы.....	104

### Пояснительная записка

Методические рекомендации к выполнению практических работ по дисциплине «Физика» предназначены для организации самостоятельной работы студентов первого курса очного отделения специальности 23.02.04 Техническая эксплуатация подъёмно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования

Согласно учебного плана обязательная аудиторная учебная нагрузка составляет 144 часов, в том числе 72 часа составляют практические занятия. В связи с практической направленностью дисциплины разработано 36 практических работ.

Практические работы позволяют закрепить, систематизировать и определить уровень знаний и умений по следующим темам дисциплины:

- Кинематика.
- Динамика.
- Молекулярно-кинетическая теория.
- Термодинамика.
- Механические колебания.
- Электромагнитные колебания и волны.
- Природа света.
- Волновые свойства света.
- Квантовая оптика.
- Физика атома.
- Физика атомного ядра.

Перед выполнением студентами практической работы преподаватель проводит инструктаж по выполнению задания, который включает цель задания, его содержание, время выполнения, ориентировочный объем работы, основные требования к результатам работы, критерии оценки теста и практического выполнения задания.

Время выполнения практической работы составляет от 45 до 90 минут.

Критерии оценивания при выполнении теста:

<b>% набранных баллов</b>	<b>Оценка</b>
91 – 100	5
71 – 90	4
51 – 70	3
0 – 50	2

Критерии оценивания при выполнении практического задания:

- *Оценка «5»* - ставится в том случае, если студент обнаруживает верное понимание сущности рассматриваемых операций, правильно и в полном объеме выполняет задания, заданий и предлагает наиболее рациональное решение.
- *Оценка «4»* - задания выполнены в полном объеме, но допущены незначительные неточности.

- Оценка «3» - при выполнении заданий обнаруживаются неточности, выполнено правильно не менее 60% заданий, предлагаемый вариант решения не рационален.
- Оценка «2» - учащийся не овладел основными умениями в соответствии с требованиями программы.

В процессе инструктажа преподаватель предупреждает студентов о возможных типичных ошибках, встречающихся при выполнении задания.

## Практическая работа № 1

### Перевод величин в систему СИ

#### Задание 1

Перевести в систему СИ следующие величины токов и напряжений:

№ вар	Электрические величины										
1	481 мВ	5,7 кВ	440 В	0,4 кВ	23 мВ	45 мкА	480 А	6,4 кА	40 мА	0,3 кА	0,8 мА
2	57 кВ	4400 В	54 кВ	681 мВ	0,9 кВ	400 мкА	32 кА	3,8 мА	4,5 мА	51 А	3,4 кА
3	4,8 мВ	6,75 кВ	4 В	1,4 кВ	230 мВ	5 мкА	11,8А	35 кА	400мА	1,3 кА	25 мА
4	5,7 кВ	4,4 мВ	54 В	6,1 мВ	12,9 кВ	78 мкА	151кА	0,8 мА	45 мА	5,1 кА	0,4 кА
5	481 мВ	5,7 кВ	440 В	0,4 кВ	23 мВ	45 мкА	480 А	6,4 кА	40 мА	0,3 кА	0,8 мА
6	518 мВ	0,75 кВ	4 кВ	1,45 кВ	2,3 мВ	125 мкА	1,8 кА	35 А	79 мА	135кА	2,5 мА
7	481 В	5,7мВ	1,4кВ	0,5 кВ	105 мВ	4,5 мкА	48 мА	0,1 кА	40 кА	0,3 мА	80мкА
8	481 мВ	5,7 В	40кВ	0,4 кВ	23 мВ	45 мкА	480 А	6,4 кА	40 мА	0,3 кА	0,8 мА
9	5,8 мВ	75 кВ	50кВ	1,5 кВ	789 мВ	725 мкА	0,04 А	35 кА	790мА	935кА	1,5 мА
10	1,8 мВ	254 кВ	0,15В	1,05 кВ	23 мВ	1,5 мкА	18 кА	35мкА	179мА	13 кА	2,5 кА
11	18 мВ	75 кВ	0,2 В	1 кВ	200 мВ	100 мкА	1 кА	3,5 А	790мА	535кА	2,5 мА
12	48 мВ	57 кВ	4 В	0,1 кВ	830 мВ	450 мкА	4,8 кА	2,2 кА	10 мА	3 кА	0,1 мА
13	81 мВ	56,7 кВ	0,1кВ	0,01 кВ	1 мВ	7,1 мкА	48 мА	6,0 кА	100мА	0,9 кА	100мА
14	41 мВ	100 В	40кВ	0,41 кВ	2,3 мВ	4,5 мкА	4,8 А	6,6кА	400мА	0,3 кА	8 мА
15	58 мВ	7,5 кВ	50 В	1,52 кВ	125 мВ	72 мкА	0,01 А	33 кА	190мА	985кА	15 мА
16	18 мВ	25,4 кВ	0,5В	1,05 кВ	74 мВ	15 мкА	1,8 кА	87мкА	17мА	12 кА	25 кА
17	180 мВ	0,75 кВ	2м В	10 кВ	250 мВ	180 мкА	4 кА	3,5 А	590мА	565кА	87 мА
18	0,4 мВ	5,7 кВ	40мВ	0,12 кВ	800 мВ	45 мкА	5,8 кА	22 кА	18 мА	9 кА	1,1 мА
19	8,1 мВ	9,7 кВ	0,3В	0,25 кВ	100 мВ	520 мкА	95 мА	1,5 кА	150мА	0,4 кА	190мА
20	50 мВ	0,8 кВ	20 В	0,3В	20 мВ	250 мкА	2,5 кА	45мкА	14 мА	5А	38мА
21	0,68мВ	30В	12кВ	0,02кВ	750мВ	20А	18 кА	35мкА	590мА	565кА	1,5 мА
22	485 В	5,07мВ	2,4кВ	1,5 кВ	155 мВ	25 мкА	1,04 А	25 кА	90мА	965кА	2,5 мА
23	181 мВ	66,7 кВ	0,1кВ	2,01 кВ	1 В	2,1 мкА	1,8 А	0,6кА	40мА	2,3 кА	59 мА
24	81 мВ	5,7 В	44 кВ	0,4 кВ	3 мВ	0,5 мкА	48 А	2,4 кА	4 мА	2,3 кА	8 мА
25	4 мВ	10 В	0,4кВ	1,41 кВ	0,3 мВ	45 мкА	48 А	2,6кА	40мА	1,3 кА	12 мА

#### Задание 2

Перевести в систему СИ следующие величины мощностей и сопротивлений:

№ вар	Электрические величины										
1	48 кВт	4,4 Вт	0,4 кВт	23 мОм	45 кОм	48 Ом	6,4 кОм	4 МОм	0,3 кОм	2МОм	
2	57 кВт	0,5кВт	0,3 Вт	0,9 Ом	400мОм	3 МОм	0,3кОм	4,5 Ом	51 кОм	4 кОм	
3	3,2кОм	6,4 Ом	40мОм	0,3 МОм	2кОм	0,8кОм	4,8 кВт	0,4 Вт	0,4 кВт	0,2МВт	
4	30кОм	0,4 Ом	4МОм	0,3 кОм	2кОм	1МОм	48 кВт	0,4 кВт	320 кВт	0,1МВт	
5	48 кОм	4,8кВт	0,4 Вт	23 МОм	45 Ом	48 кОм	6,9 кОм	1 МОм	300мОм	1кОм	
6	98 кВт	0,4 Вт	9,4 кВт	230 мОм	450 кОм	480 Ом	6,43 кОм	9МОм	0,83 кОм	2МОм	
7	32кОм	64 Ом	4мОм	0,1 МОм	200кОм	0,5кОм	4,82 кВт	0,44 Вт	0,45 кВт	0,1МВт	
8	45 Ом	48 кОм	6,9кОм	1 МОм	300мОм	1кОм	48 кВт	4,4 Вт	0,4 кВт	23мОм	
9	4МОм	0,3кОм	2кОм	0,3 МОм	2кОм	0,8кОм	4,8 кВт	5,4 кВт	3280 кВт	0,1МВт	
10	0,4 Вт	20кОм	45 Ом	32кОм	64 Ом	4мОм	98 кВт	4,45 Вт	0,32 кВт	03МВт	
11	1 МОм	30мОм	1кОм	48 кВт	450 кОм	480 Ом	6,43 кОм	9МОм	0,83 кОм	2МОм	
12	0,3 Вт	0,9 Ом	4МОм	3 МОм	0,3кОм	4,5 Ом	51 кОм	4 кОм	400мОм	30кВт	
13	45 Ом	48 кОм	6,9кОм	1 МОм	300мОм	1кОм	4,8кВт	0,4 Вт	3 МВт	10 кВт	

14	48 кОм	4,4к ВТ	0,4 Ом	23 ВТ	45 кВТ	48 Ом	6,4 кОм	4 МОм	0,3 кОм	2МОм
15	0,3 ВТ	0,9 Ом	40МОм	3 МОм	0,3кОм	48 кВТ	4,4 ВТ	0,4 кВТ	0,3 кОм	2МОм
16	40МОм	0,3кОм	2кОм	0,8кОм	2кОм	1МОм	48 кВТ	0,4 кВТ	320 кВТ	0,1МВТ
17	0,8кОм	4,8 кВТ	0,4 ВТ	0,4 кВТ	0,2МВТ	3,2кОм	6,4 Ом	40МОм	0,3 МОм	2кОм
18	0,3 ВТ	2кОм	0,8кОм	4,8 кВТ	30кОм	0,4 Ом	4МОм	50МОм	2кОм	32 кВТ
19	45 кОм	48 Ом	6,4кОм	4 МОм	0,3кОм	2МОм	48 кВТ	4,4 ВТ	0,4 кВТ	23 Ом
20	1МОм	1,3кОм	5Ом	1,3 МОм	5кОм	1,8кОм	4 кВТ	1,4 кВТ	328 кВТ	1,1МВТ
21	0,2 кВТ	0,4 ВТ	2,4 кВТ	2 мОм	4 кОм	4 Ом	2,4 кОм	9 МОм	0,2 кОм	1МОм
22	3 ВТ	0,1 Ом	5МОм	1 МОм	5,3кОм	2,5 Ом	20 кОм	9 кОм	457МОм	26кВТ
23	8 кОм	2,8кВТ	1,4 ВТ	93 МОм	5 Ом	33 кОм	6 кОм	3 МОм	320МОм	4кОм
24	4МОм	0,1кОм	4кОм	1,8кОм	5кОм	7МОм	22 кВТ	0,7 кВТ	120 кВТ	0,6МВТ
25	12кОм	54 Ом	7МОм	0,5 МОм	250кОм	1,5кОм	4,8 кВТ	0,22 ВТ	1,45 кВТ	0,2МВТ

### Задание 3

Записать сопротивление в кОм и МОм (округление до десятых долей)

№ вар	1	2	3	4	5	6	7
R, Ом	45621589	78459219	45621789	45621789	7854219154	124587912	1542682
№ вар	8	9	10	11	12	13	14
R, Ом	128579,6	78666232	456217,8	17856536	78542191,5	1245879,1	154268256
№ вар	15	16	17	18	19	20	21
R, Ом	5621589	1845921	6562579	1561789	585321914	12358752	6532682
№ вар	22	23	24	25	26	27	28
R, Ом	62859,6	8262232	25215,8	4734653	1832131,5	324579,1	35426256

## Практическая работа № 2

**Тема: *Равномерное, равноускоренное движения по прямой, движение по окружности***

**Цели:**

- иметь представление о пространстве, времени, траектории, пути, скорости и ускорении;
- знать способы задания движения точки;
- уметь составлять уравнения движения точки и уравнение траектории;
- знать обозначения, единицы измерения, взаимосвязь кинематических параметров движения, формулы для определения скоростей и ускорений, радиуса кривизны траектории.

### Краткая теория:

Последовательность действий при решении кинематических задач определяется необходимостью записать основные уравнения теории применительно к условиям конкретной задачи. Для этого следует:

- - выбрать систему отсчета, связать с ней систему координат, сделать чертеж;
- - записать основные уравнения теории для условий данной конкретной задачи;
- - выделить моменты времени, о которых есть информация в решаемой задаче, и применить к ним основные уравнения теории;
- - записать на математическом языке другие условия, содержащиеся в тексте задачи.

### Качественные задачи

1. Можно ли считать материальными точками тела, описанные в следующих предложениях?

- - Рассчитывают путь Земли при движении по орбите вокруг Солнца.
  - - Рассчитывают возможность столкновения спутника Земли с метеоритом.
  - - Для определения объема шарика его опускают в мензурку.
  - - Для измерения массы лимона его кладут на весы.
2. В каком случае выпавший из вагона предмет упадет на землю раньше: когда вагон стоит или когда он движется?
  3. Земля вращается с запада на восток. Почему, подпрыгивая вверх, мы попадаем на одно и то же место, а не смещаемся к западу?
  4. Может ли спортсмен на водных лыжах двигаться быстрее катера? Может ли катер двигаться быстрее лыжника?
  5. У каких часов линейная скорость конца минутной стрелки больше - у карманных или у больших, настенных? Ответьте на этот вопрос для угловой скорости.

### Примеры решения расчетных задач

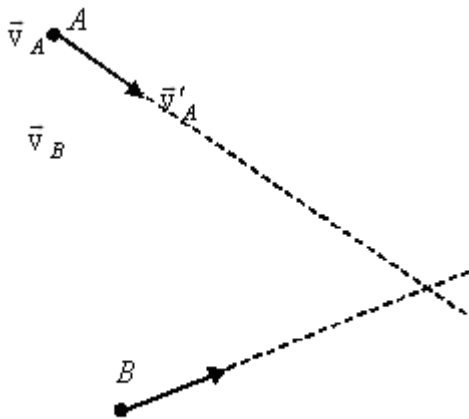


Рис. 1

**Задача 1.** Две машины А и В идут пересекающимися курсами (рис. 1) с заданными скоростями  $\vec{v}_A$  и  $\vec{v}_B$ . Определите графически наименьшее расстояние, на которое сближаются машины.

*Решение:*

Скорости  $\vec{v}_A$  и  $\vec{v}_B$  заданы относительно системы отсчета, связанной с Землей (рис. 1). Задача легко решается, если одна из машин покоится. В этом случае минимальное расстояние будет равно длине перпендикуляра, опущенного из точки, где находится покоящаяся машина, на направление движения другой машины.

Машина будет неподвижна в системе отсчета, связанной с этой машиной. Пусть система отсчета связана с машиной В. Тогда, согласно закону сложения скоростей, скорость машины А в системе отсчета, связанной с машиной В, будет складываться из скорости машины А относительно Земли  $\vec{v}_A$  и скорости  $\vec{v} = -\vec{v}_B$ , с которой Земля движется относительно машины В (рис. 2). Скорость машины А в системе отсчета, связанной с машиной В, находим по правилу сложения векторов. Искомое минимальное расстояние равно ВС.

*Ответ:* наименьшее расстояние, на которое сближаются машины, равно ВС.

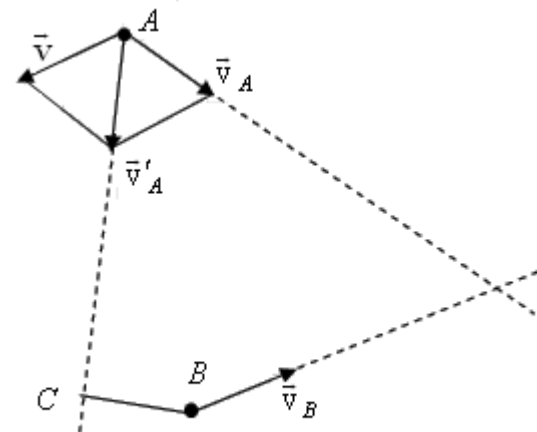


Рис. 2

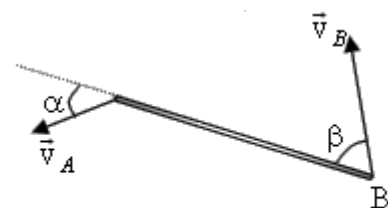


Рис. 3

**Задача 2.** Жесткий стержень движется в плоскости так, что скорость точки А стержня равна  $\vec{v}_A$  и направлена под углом  $\alpha$  к оси стержня, а скорость точки В направлена под углом  $\beta$  (рис. 3) Найдите скорость точки В.

*Решение:*

В системе отсчета, связанной с плоскостью, в которой движется стержень, его движение выглядит очень сложно: оно складывается из поступательного и вращательного движения. Задача сильно упростится, если систему отсчета связать с точкой А. В этой системе отсчета точка В будет двигаться по окружности, а значит скорость этой точки  $\vec{v}'_B$  будет перпендикулярна стержню (рис. 4). Согласно закону сложения скоростей

$$\vec{v}'_B = \vec{v}_B + \vec{v} \quad (1)$$

где  $\vec{v}$  - скорость, с которой плоскость движения стержня движется относительно точки А,  $\vec{v} = -\vec{v}_A$ .

Векторное равенство (1) целесообразно спроецировать на ось Х, направленную вдоль стержня. Тогда получим  $v_B \cos \beta - v_A \cos \alpha = 0$ ,

$$v_B = v_A \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$$

откуда

$$v_B = v_A \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$$

Ответ:

**Задача 3.** Концы стержня А и В скользят по сторонам прямого угла (рис. 5). Как зависит от угла  $\alpha$  ускорение середины стержня С, если конец В движется с постоянной скоростью  $\vec{v}_B$ ? Длина стержня  $l$ .

Решение:

В системе отсчета, связанной с Землей, точка А стержня будет двигаться вдоль вертикальной стороны прямого угла. Обозначим эту скорость  $v_A$ . Перейдем к системе отсчета, связанной с одним из концов стержня - с точкой В. В этой системе отсчета точка А будет вращаться по окружности с изменяющейся скоростью  $\vec{v}'_A$ , перпендикулярной к стержню (рис. 6). Согласно закону сложения скоростей

$$(2) \quad \vec{v}_A = \vec{v}'_A + \vec{v}_B$$

Так как  $\vec{v}_B = const$ , то ускорение точки А будет одинаковым в обеих системах отсчета. Спроецируем векторное равенство (2) на ось Х. Тогда получим

$$(3) \quad 0 = v_B - v'_A \sin \alpha$$

В системе отсчета, связанной с точкой В, нормальное ускорение точки А  $\vec{a}'_{An}$  будет направлено вдоль

$$a'_{An} = \frac{v'^2_A}{l}$$

стержня и равно по величине  $\vec{a}_A = \vec{a}'_A$ , то  $a'_{An} = a_A \sin \alpha$ . Следовательно,

$$a_A = \frac{a'_{An}}{\sin \alpha} = \frac{v'^2_A}{l \sin \alpha} = \frac{v_B^2}{l \sin^3 \alpha}$$

Из закона сложения скоростей следует, что ускорения в точке С будут одинаковыми в обеих

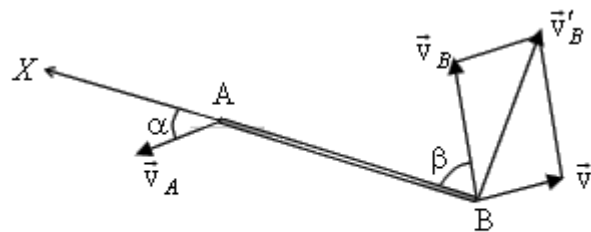


Рис. 4

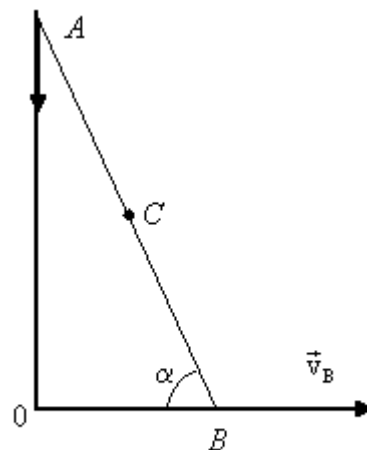


Рис. 5

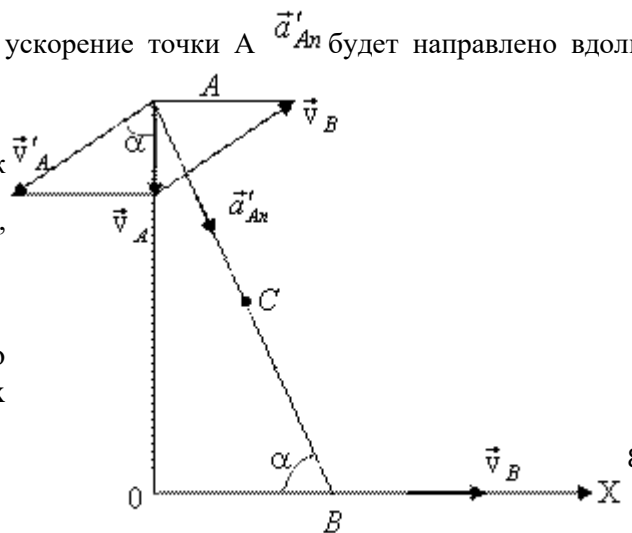


Рис. 6



системах отсчета  $\vec{a}_C = \vec{a}'_C$ . Так как все точки стержня движутся с одной и той же угловой скоростью, а линейная и угловая скорости связаны соотношением  $\mathbf{v} = \omega \vec{R}$ , где  $R$  - радиус окружности, по которой движется точка, то  $v'_A = 2v'_C$ . Следовательно, нормальное и тангенциальное ускорения в точке  $C$  будут в два раза меньше по модулю, чем в точке  $A$ , и

$$a_C = \frac{1}{2} a_A = \frac{v_B^2}{2l \sin^3 \alpha}.$$

Ответ:  $a_C = \frac{1}{2} a_A = \frac{v_B^2}{2l \sin^3 \alpha}.$

**Задача 4.** Скорость монеты  $\vec{v}$ , соскальзывающей с клина, стоящего на гладкой горизонтальной поверхности, изображена на рис. 7. Графическим построением найдите скорость клина.

Решение:

При движении монеты вдоль клина сам клин будет скользить по горизонтальной плоскости вправо со скоростью  $\vec{v}_0$  (рис. 8). Будем считать, что неподвижная система отсчета связана с плоскостью, на которой стоит клин, а подвижная - с клином. Тогда, согласно закону сложения скоростей, скорость монеты относительно плоскости, вдоль которой движется клин, запишется  $\vec{v} = \vec{v}'_1 + \vec{v}_0$ , где  $\vec{v}'_1$  - скорость движения монеты относительно клина, направленная вдоль наклонной плоскости.

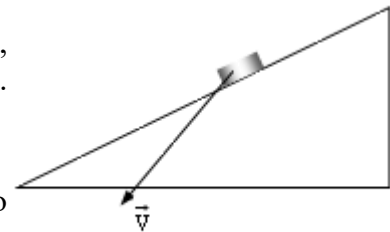


Рис. 7

Следовательно, вектор  $\vec{v}$  является диагональю параллелограмма, построенного на векторах  $\vec{v}'_1$  и  $\vec{v}_0$ , что и дает возможность найти  $\vec{v}_0$  из построения.

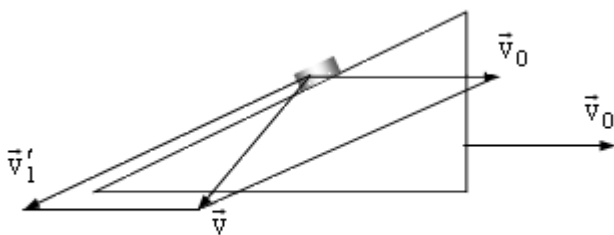


Рис. 8

**Задача 5.** Даны три бильярдных стола разной длины, но одинаковой ширины. От длинных бортов бильярдов одновременно посылаются шары с одинаковой по модулю и направлению скоростью. Одновременно ли вернутся шары после всех возможных отражений к тому же борту? Считать удар шара о борт бильярда абсолютно упругим.

Решение:

Возможные случаи движения шаров изображены на рис. 9. Движение шара происходит во всех случаях в плоскости стола, поэтому это движение можно представить в виде суммы движений вдоль длинной и короткой сторон стола. Все шары в начальный момент времени имеют одинаковые составляющие скорости, параллельные короткому борту. При ударе о короткий борт эта составляющая не меняется, а при ударе о длинный - меняет направление, но ее величина остается постоянной. Так как ширина всех бильярдов одинакова, все три шара вернутся к тому борту, от которого начиналось их движение, одновременно.

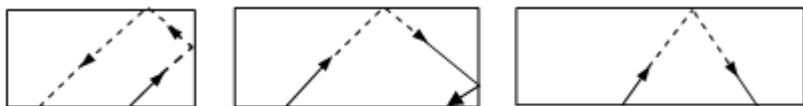


Рис. 9

Ответ: шары вернутся к борту, от которого начиналось их движение, одновременно.

**Задача 6.** Бильярдный шар находится в точке  $A$ . Размеры бильярда и расстояние шара от лузы  $B$  даны на рис. 10а. Под каким углом к короткому борту надо направить шар, чтобы попасть в лузу  $B$  после отражения шара от двух бортов? Считать, что удар шара о борт является абсолютно упругим, то есть угол падения равен углу отражения.

Решение:

Траектория, по которой будет двигаться шар, показана на рис. 10б. Шар движется в плоскости стола, поэтому его движение можно рассматривать как сумму независимых движений вдоль длинного и вдоль короткого борта. Обозначим скорость шара в начальный момент времени через  $\vec{v}$ . Тогда его скорость вдоль длинного борта будет равна  $v \sin \alpha$ , а вдоль короткого -  $v \cos \alpha$ . Вдоль длинного борта шар пройдет расстояние  $2b$ , а вдоль короткого -  $2a-c$ . Поскольку составляющие скорости вдоль длинного и короткого бортов по величине не меняются, можно записать

$$v t \cos \alpha = 2a - c,$$

$$v t \sin \alpha = 2b,$$

где  $t$  - время движения шара. Разделив одно уравнение на другое,

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{2a - c}{2b}.$$

Ответ: 
$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{2a - c}{2b}.$$

**Задача 7.** Два тела движутся по прямой навстречу друг другу с начальными скоростями  $v_1$  и  $v_2$  и постоянными ускорениями  $a_1$  и  $a_2$ , направленными противоположно соответствующим скоростям в начальный момент времени. При каком максимальном расстоянии между телами они встретятся в процессе движения?

Решение:

В системе отсчета, связанной с Землей, встреча двух тел может произойти либо при их движении навстречу друг другу, либо, если одно из тел изменило направление движения раньше, чем произойдет встреча, а другое тело его догонит.

Задачу удобно решать в системе отсчета, связанной с одним из движущихся тел. Тогда в момент встречи скорость второго тела должна обратиться в нуль. Скорость в начальный момент времени и ускорение движущегося тела будут соответственно равны  $v_1 + v_2$  и  $a_1 + a_2$ . Момент времени, когда произошла встреча, определится из условия, что скорость движущегося тела в этот момент обращается в нуль:

$$(4) \quad (v_1 + v_2) - (a_1 + a_2)t = 0.$$

Так как ускорение постоянно, то максимальное расстояние будет равно

$$(5) \quad S = (v_1 + v_2)t - \frac{(a_1 + a_2)t^2}{2}.$$

Решая совместно (4) и (5), получим

$$S = \frac{(v_1 + v_2)^2}{2(a_1 + a_2)}.$$

Ответ: 
$$S = \frac{(v_1 + v_2)^2}{2(a_1 + a_2)}.$$

**Задача 8.** С башни высотой  $H$  под углом  $\alpha$  к горизонту (вниз) бросают тело. Одновременно с поверхности Земли под углом  $\alpha$  к горизонту бросают второе тело навстречу первому. Определите,

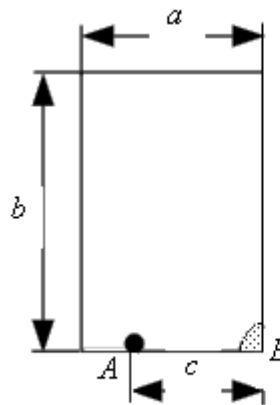


Рис. 10а

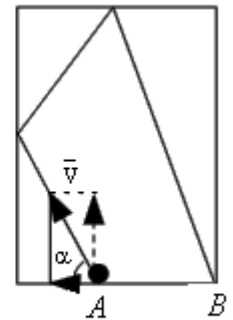


Рис. 10б

другое, получим

на каком расстоянии от подножия башни находится место бросания второго тела, если оба тела столкнулись в воздухе.

*Решение:*

Поскольку оба тела движутся в одной плоскости, то движение каждого из них можно представить в виде суммы независимых движений по горизонтали и вертикали. Выберем в качестве тела отсчета Землю. И с телом отсчета свяжем систему координат, имеющую две оси X и Y, начало которой находится у подножия башни (рис. 11).

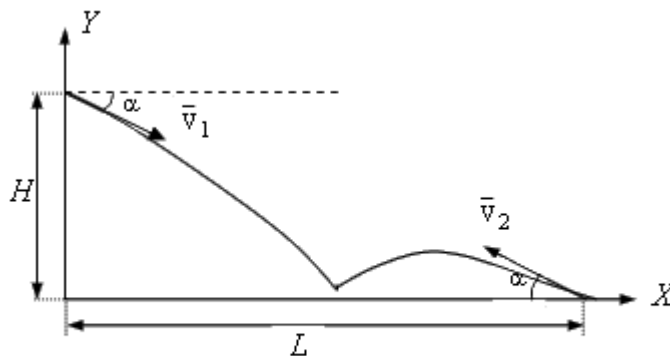


Рис. 11

Так как оба тела движутся под действием силы тяжести, направленной вертикально вниз, то движение по горизонтали будет равномерным, а по вертикали тела будут двигаться с постоянным ускорением, равным ускорению свободного падения. Обозначим скорость первого тела в начальный момент времени  $\vec{v}_1$ , а второго -  $\vec{v}_2$ . Координаты первого тела будут изменяться со временем по закону

$$x_1(t) = v_1 t \cos \alpha$$

$$y_1(t) = H - v_1 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2},$$

а второго тела - по закону

$$x_2(t) = L - v_2 t \cos \alpha$$

$$y_2(t) = v_2 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}.$$

В момент столкновения координаты этих тел совпадут:

$$x_1 = x_2,$$

$$y_1 = y_2.$$

Отсюда получим два уравнения:

$$v_1 t \cos \alpha = L - v_2 t \cos \alpha,$$

$$H - v_1 t \sin \alpha = v_2 t \sin \alpha,$$

которые можно переписать следующим образом:

$$L = t \cos \alpha (v_2 + v_1),$$

$$H = t \sin \alpha (v_2 + v_1).$$

Поделив первое уравнение на второе, получим  $L = H \operatorname{ctg} \alpha$ .

*Ответ:*  $L = H \operatorname{ctg} \alpha$ .

**Задача 9.** Мальчик держит один конец доски, а другой ее конец лежит на цилиндре (рис. 12).

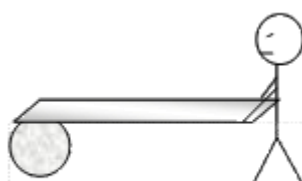


Рис. 12

Доска при этом горизонтальна. Затем мальчик двигает доску вперед, вследствие чего цилиндр катится без скольжения по горизонтальной плоскости, отсутствует также скольжение доски по цилиндру. Какой путь должен пройти мальчик, чтобы достичь цилиндра, если длина доски равна L?

*Решение:*

Если тело одновременно участвует во вращательном и поступательном движении, то для описания его движения удобно ввести мгновенную ось. Тогда тело в каждый момент времени будет поворачиваться относительно мгновенной оси как целое. Для цилиндра такой мгновенной осью является его образующая  $O$ , касающаяся плоскости, по которой он катится (рис. 13). Угловая скорость всех точек колеса относительно оси  $O$  будет одинаковой. Следовательно, линейная скорость точки, в которой доска соприкасается с цилиндром, будет в 2 раза больше линейной скорости, с которой движется ось цилиндра. Поэтому к тому времени, когда мальчик пройдет расстояние  $L$ , ось цилиндра переместится на расстояние  $L/2$ . Таким образом, чтобы дойти до цилиндра, мальчик должен

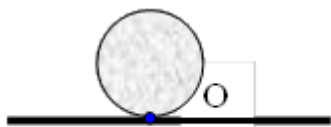


Рис. 13

пройти расстояние  $2L$ .

*Ответ:* мальчик должен пройти расстояние  $2L$ .

### Задачи для самостоятельной работы

#### 1 вариант

1. Автомобиль и мотоцикл движутся навстречу друг другу со скоростями соответственно равными 12 м/с и 24 м/с. Расстояние между ними в начальный момент времени равно 500 м. Считая, что автомобиль и мотоцикл движутся вдоль оси  $X$ , направленной в сторону движения автомобиля, запишите закон движения  $x(t)$  для автомобиля и мотоцикла. В начальный момент времени положение автомобиля совпадает с началом отсчета, и он движется в положительном направлении оси  $X$ .

*Ответ:*  $x_1=12t$ ;  $x_2=500-24t$

2. Пассажир поезда, идущего со скоростью 40 км/ч, видит в течение 3 с встречный поезд длиной 75 м. С какой скоростью идет встречный поезд?

*Ответ:*  $v = 50$  км/ч.

3. Тело бросают вертикально вверх. Промежуток времени между двумя моментами, когда тело проходит точку, находящуюся на высоте  $H$ , равен  $\Delta t$ . Найдите начальную скорость  $v_0$  и время движения.

*Ответ:*  $v_0 = \frac{g}{2} \sqrt{(\Delta t)^2 + \frac{8H}{g}}$ ;  $t = \sqrt{(\Delta t)^2 + \frac{8H}{g}}$ .

4. Камень бросают горизонтально с вершины горы, имеющей угол наклона, равный  $\alpha$ . С какой скоростью  $v$  должен быть брошен камень, чтобы он упал на расстоянии  $l$  (вдоль наклонной плоскости) от вершины? Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

*Ответ:*  $v = \sqrt{\frac{lg}{2 \sin \alpha (1 + tg^2 \alpha)}}$ .

5. Мальчик вращает камень, привязанный к веревке длиной  $l=0.55\text{ м}$  в вертикальной плоскости, делая число оборотов  $n=3\text{ об/с}$ . На какую высоту взлетел камень, если веревка оборвалась в тот момент, когда скорость была направлена вертикально вверх?

$$h = \frac{(2\pi n l)^2}{2g} \approx 4.5\text{ м.}$$

Ответ:

## 2 вариант

1. Из двух городов навстречу друг другу выехали два автобуса: один в 9 ч., другой в 9 ч. 30 мин. Первый двигался со скоростью 40 км/ч, второй - 60 км/ч. Длина пути равна 120 км. В какое время и на каком расстоянии от городов встретились автобусы?

Ответ: встреча произошла в 10 ч. 30 мин. на середине пути.

2. Колесо радиусом  $R = 10\text{ см}$  вращается так, что зависимость линейных скоростей точек, лежащих на ободе колеса, дается уравнением  $v=At+Bt^2$ , где  $A = 0,5\text{ см/с}^2$ ,  $B = 1\text{ см/с}^3$ . Найдите угол  $\alpha$ , составляемый вектором полного ускорения с радиусом колеса в момент времени  $t = 2,4\text{ с}$  после начала движения.

Ответ:  $\alpha=48^\circ$ .

3. По двум пересекающимся под углом  $30^\circ$  дорогам движутся два автомобиля: один со скоростью 54 км/ч, второй - со скоростью 26 км/ч. Через минуту после пересечения первым автомобилем перекрестка по другой дороге его пересек второй автомобиль. Определите наименьшее расстояние между автомобилями после пересечения перекрестка вторым автомобилем.

Ответ: 0,78 км.

4. Радиус рукоятки колодезного ворота в три раза больше радиуса вала, на который наматывается трос. Какова линейная скорость конца рукоятки при поднятии ведра с глубины 10 метров за 20 секунд?

Ответ:  $v = 1,6\text{ м/с}$ .

5. Колесо радиусом 50 см равномерно катится со скоростью 18 км/ч. Какова величина скорости  $v$  верхней точки колеса?

Ответ:  $v=10\text{ м/с}$ .

## Практическая работа № 3

**Тема: Применение законов Ньютона, расчет сил, действующих на тело, законы сохранения импульса и энергии**

**Цель: применять законы Ньютона, законы сохранения импульса и энергии при решении задач**

### Краткая теория:

**Первый закон Ньютона.** Если на тело не действуют силы или их действие скомпенсировано, то данное тело находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения.

Свойство тел сохранять свою скорость при отсутствии действия на него других тел называется **инерцией**. **Масса** тела – количественная мера его инертности. В СИ она измеряется в килограммах.

Системы отсчета, в которых выполняется первый закон Ньютона, называются **инерциальными**. Системы отсчета, движущиеся относительно инерциальных с ускорением, называются **неинерциальными**.

**Сила** – количественная мера взаимодействия тел. Сила – векторная величина и измеряется в ньютонах (Н). Сила, которая производит на тело такое же действие, как несколько одновременно действующих сил, называется **равнодействующей** этих сил.

**Второй закон Ньютона.** Ускорение тела прямо пропорционально равнодействующей сил, приложенных к телу, и обратно пропорционально его массе:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad \vec{F} = m \vec{a}.$$

или

Если два тела взаимодействуют друг с другом, то ускорения этих тел обратно пропорциональны их массам.

**Третий закон Ньютона.** Силы, с которыми тела взаимодействуют друг с другом, равны по модулю и направлены вдоль одной прямой в противоположные стороны.

**Закон сохранения импульса** — Векторная сумма импульсов двух тел до взаимодействия равна векторной сумме их импульсов после взаимодействия

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1^l + m_2 v_2^l$$

$$p_1 + p_2 = p_1^l + p_2^l$$

Докажем закон сохранения импульса.

Возьмем и обозначим массы двух тел  $m_1$  и  $m_2$  и скорости до взаимодействия  $\vec{v}_1, \vec{v}_2$ , а после взаимодействия (столкновения)  $\vec{v}_1^l, \vec{v}_2^l$

По третьему закону Ньютона силы, действующие на тела при их взаимодействии, равны по модулю и противоположны по направлению; поэтому их можно обозначить  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

Для изменений импульсов тел при их взаимодействии на основании Импульса силы можно записать так

Для первого тела:

$$\vec{F}t = m_1 \vec{v}_1^l - m_1 \vec{v}_1$$

Для второго тела:

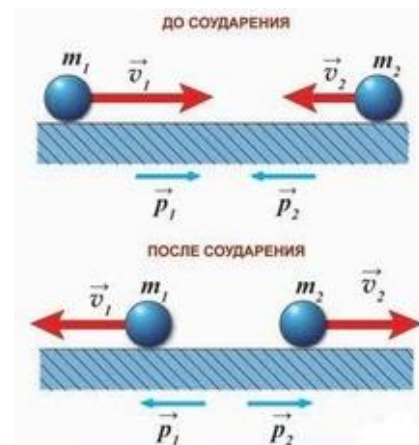
$$-\vec{F}t = m_2 \vec{v}_2^l - m_2 \vec{v}_2$$

И тогда у нас получается, что закон сохранения импульсов выглядит так:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1^l + m_2 v_2^l$$

Экспериментальные исследования взаимодействий различных тел — от планет и звезд до атомов и элементарных частиц — показали, что в любой системе взаимодействующих между собой тел при отсутствии действия сил со стороны других тел, не входящих в систему, или равны нулю, сумма импульсов тел остается неизменной.

Необходимым условием применимости **закона сохранения импульса** к системе взаимодействующих тел является использование инерциальной системы отсчета



В Формуле мы использовали :

$t$ — Время взаимодействия тел

$p_1 = m_1 v_1$ — Импульс 1 тела до взаимодействия

$p_2 = m_2 v_2$ — Импульс 2 тела до взаимодействия

$p_1^l = m_1 v_1^l$ — Импульс 1 тела после взаимодействия

$p_2^l = m_2 v_2^l$ — Импульс 2 тела после взаимодействия

### Вариант 1

1. Автомобиль движется равномерно и прямолинейно со скоростью  $v$  (рис. 1). Какое направление имеет равнодействующая всех сил, приложенных к автомобилю?

- А. 1. Б. 2. В. 3. Г. 4. Д.  $\vec{F} \square 0$ .



Рис. 1

2. На рисунке 2 представлены направления векторов скорости  $v$  и ускорения  $a$  мяча. Какое из представленных на рисунке 3 направлений имеет вектор равнодействующей всех сил, приложенных к мячу?

- А. 1. Б. 2. В. 3. Г. 4. Д. 5.

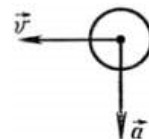


Рис. 2

3. Как будет двигаться тело массой 2 кг под действием силы 4 Н?

- А. Равномерно, со скоростью 2 м/с. Б. Равноускоренно, с ускорением 2 м/с<sup>2</sup>.  
В. Равноускоренно, с ускорением 0,5 м/с<sup>2</sup>. Г. Равномерно, со скоростью 0,5 м/с.  
Д. Равноускоренно, с ускорением 8 м/с<sup>2</sup>.

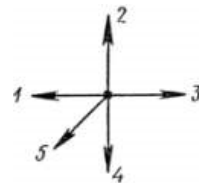


Рис. 3

4. Две силы  $F_1=3$  Н и  $F_2=4$  Н приложены к одной точке тела. Угол между векторами  $F_1$  и  $F_2$  равен 90°. Чему равен модуль равнодействующей этих сил?

- А. 7 Н. Б. 1 Н. В. 5 Н. Г. Н. Д. Среди ответов А—Г нет правильного.

5. Шар, подвешенный на нити, движется равномерно по окружности в горизонтальной плоскости (рис. 4). Какое направление имеет вектор равнодействующей всех приложенных к нему сил?

- А.  $\vec{F} \square 0$ . Б. 1. В. 2. Г. 3. Д. 4.

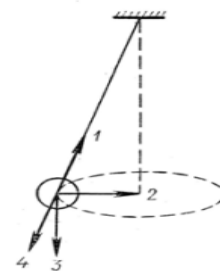


Рис. 4

6. На рисунке 5 показаны направление и точка приложения вектора силы  $F_1$ , действующей при ударе мяча. На каком из рисунков (рис. 6) правильно показаны направление и точка приложения силы  $F_2$ , возникающей при взаимодействии по третьему закону Ньютона?

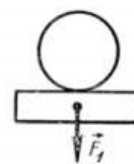


Рис. 5

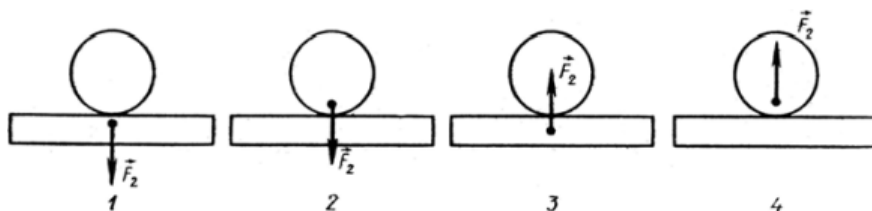


Рис. 6



А. 1. Б. 2. В. 3. Г. 4. Д. Среди рисунков 1—4 нет правильного.

7. У поверхности Земли (т. е. на расстоянии  $R$  от ее центра) на тело действует сила всемирного тяготения  $36\text{ Н}$ . Чему равна сила тяготения, действующая на это тело на расстоянии  $2R$  от центра Земли?

А.  $18\text{ Н}$ . Б.  $12\text{ Н}$ . В.  $4\text{ Н}$ . Г.  $9\text{ Н}$ . Д.  $36\text{ Н}$ .

8. Сила гравитационного взаимодействия между двумя шарами массами  $m_1=m_2=1\text{ кг}$  на расстоянии  $R$  равна  $F$ . Чему равна сила гравитационного взаимодействия между шарами массами  $2$  и  $1\text{ кг}$  на таком же расстоянии  $R$  друг от друга?

А.  $F$ . Б.  $3F$ . В.  $2F$ . Г.  $4F$ . Д.  $9F$ .

9. Под действием силы  $2\text{ Н}$  пружина удлинилась на  $4\text{ см}$ . Чему равна жесткость пружины?

А.  $2\text{ Н/м}$ . Б.  $0,5\text{ Н/м}$ . В.  $0,02\text{ Н/м}$ . Г.  $50\text{ Н/м}$ . Д.  $0,08\text{ Н/м}$ .

10. Брусок лежит неподвижно на горизонтальной платформе, движущейся равномерно и прямолинейно со скоростью  $v$  (рис. 7). Какое направление имеет вектор силы трения, действующей на брусок?

А.  $F_{тр} \neq 0$ . Б. 1. В. 2. Г. 3. Д. 4

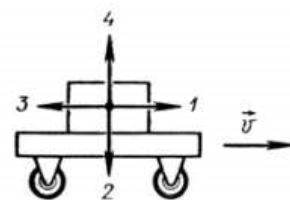


Рис. 7

11. Как изменится сила трения скольжения при движении бруска по горизонтальной поверхности, если при неизменном значении силы нормального давления площадь соприкасающихся поверхностей увеличить в  $2$  раза?

А. Не изменится. Б. Увеличится в  $2$  раза. В. Уменьшится в  $2$  раза.  
Г. Увеличится в  $4$  раза. Д. Уменьшится в  $4$  раза.

12. Один кирпич положили на другой и подбросили вертикально вверх. Когда сила давления верхнего кирпича на нижний будет равна нулю? Сопротивлением воздуха пренебречь.

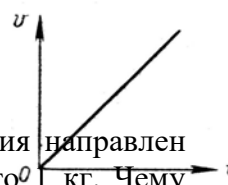
А. Только во время движения вверх. Б. Только во время движения вниз.  
В. Только в момент достижения верхней точки. Г. Во время всего полета не равна нулю.  
Д. Во время всего полета после броска равна нулю.

13. Модуль скорости тела, движущегося прямолинейно, изменялся со временем по закону, представленному графически на рисунке 8. Какой из графиков, приведенных на рисунке 9, выражает зависимость от времени модуля равнодействующей  $F$  всех сил, действующих на тело?

А. 1. Б. 2. В. 3. Г. 4. Д.  $F=0$ .

14. Какова должна быть начальная скорость  $v_0$  тела, направленная параллельно поверхности Земли в точке, находящейся за пределами атмосферы, чтобы оно двигалось вокруг Земли по траектории 2 (рис. 10)?

А.  $v_0 < 7,9\text{ км/с}$ . Б.  $v_0 \approx 7,9\text{ км/с}$ . В.  $7,9\text{ км/с} < v_0 < 11,2\text{ км/с}$ .  
Г.  $v_0 \approx 11,2\text{ км/с}$ . Д.  $v_0 > 11,2\text{ км/с}$ .



15. Лифт поднимается с ускорением  $1\text{ м/с}^2$ , вектор ускорения направлен вертикально вверх. В лифте находится тело, масса которого  $1\text{ кг}$ . Чему равен вес тела? Ускорение свободного падения принять равным  $10\text{ м/с}^2$ .

А.  $10\text{ Н}$ . Б.  $1\text{ Н}$ . В.  $11\text{ Н}$ . Г.  $9\text{ Н}$ . Д. Среди ответов А—Г нет правильного.

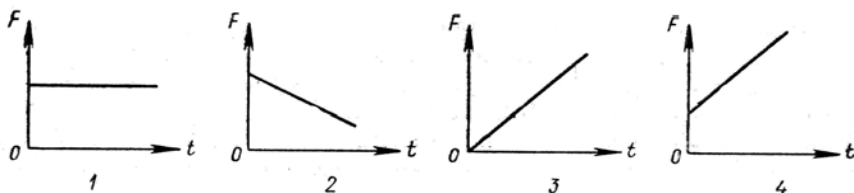


Рис. 9

## Вариант 2

1. При движении парашютиста сумма векторов всех сил, действующих на него, равна нулю. Какой из графиков зависимости модуля скорости парашютиста от времени (рис. 1) соответствует этому движению?

- А. 1.    Б. 2.    В. 3.    Г. 4.    Д. Среди графиков 1—4 такого нет.

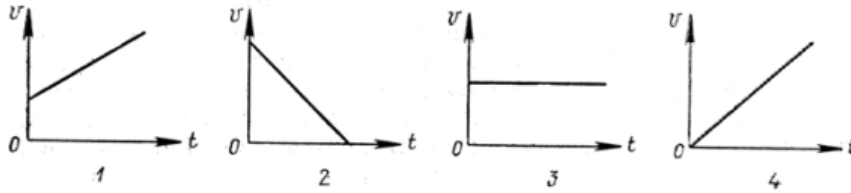


Рис. 1

2. На рисунке 2 представлены направления векторов, скорости  $v$  и ускорения  $a$  мяча. Какое из представленных на рисунке 3 направлений имеет вектор равнодействующей всех сил, приложенных к мячу?

- А. 1.    Б. 2.    В. 3.    Г. 4.    Д. 5.

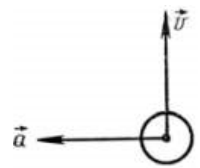


Рис. 2

3. Как будет двигаться тело массой 8 кг под действием силы 4 Н?  
 А. Равномерно, со скоростью 2 м/с.      Б. Равноускоренно, с ускорением 2 м/с<sup>2</sup>  
 В. Равноускоренно, с ускорением 0,5 м/с<sup>2</sup>.    Г. Равномерно, со скоростью 0,5 м/с.  
 Д. Равноускоренно, с ускорением 32 м/с<sup>2</sup>.

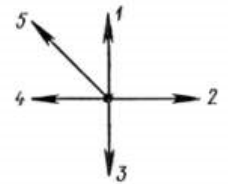


Рис. 3

4. Две силы  $F_1=2$  Н и  $F_2=4$  Н приложены к одной точке тела. Угол между векторами  $F_1$  и  $F_2$  равен  $0^\circ$ . Чему равен модуль равнодействующей этих сил?

- А. 6 Н.    Б. 2 Н.    В.    Н.    Г. 20 Н.    Д. Среди ответов А—Г нет правильного.

5. Самолет во время выполнения «мертвой петли» движется равномерно по окружности (рис. 4). Какое направление имеет вектор равнодействующей всех приложенных к нему сил?

- А.  $\vec{F} \square 0$ .    Б. 1.    В. 2.    Г. 3.    Д. 4.

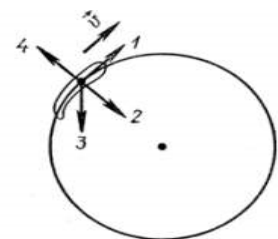


Рис. 4

6. На рисунке 5 показаны направление и точка приложения

вектора силы  $F_1$ , с которой Земля



Рис. 5

действует на Луну по закону всемирного тяготения. На каком из рисунков (рис. 6) правильно показаны направление и точка приложения силы  $F_2$ , возникающей при взаимодействии по третьему закону Ньютона?

- А. 1.      Б. 2.      В. 3.      Г. 4.      Д. Среди рисунков 1—4 нет правильного.

7. У поверхности Земли (т.е. на расстоянии  $R$  от ее центра) на тело действует сила всемирного тяготения 36 Н. Чему равна, сила тяготения, действующая на это тело на расстоянии  $2R$  от поверхности Земли?

- А. 9 Н. Б. 12 Н. В. 18 Н. Г. 36 Н. Д. 4 Н.

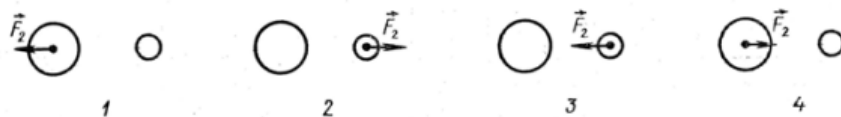


Рис. 6

8. Сила гравитационного взаимодействия между двумя шарами массами  $m_1=m_2=1$  кг на расстоянии  $R$  равна  $F$ . Чему равна сила гравитационного взаимодействия между шарами массами 3 и 4 кг на таком же расстоянии  $R$  друг от друга?

- А.  $7F$ .      Б.  $49F$ .      В.  $144F$ .      Г.  $F$ .      Д.  $12F$ .

9. Пружина жесткостью 100 Н/м растягивается силой 20 Н. Чему равно удлинение пружины?

- А. 5 см.      Б. 20 см.      В. 5 м.      Г. 0,2 см.      Д. Среди ответов А — Г нет правильного.

10. Брусок движется равномерно вверх по наклонной плоскости

(рис. 7). Какое направление имеет вектор силы трения?

- А. 1.      Б. 2.      В. 3.      Г. 4.      Д.  $F_{тр}=0$ .

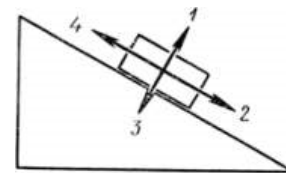


Рис. 7

11. Как изменится сила трения скольжения при движении бруска по горизонтальной поверхности, если силу нормального давления увеличить в 3 раза?

- А. Увеличится в 3 раза.      Б. Уменьшится в 3 раза.      В. Увеличится в 9 раз.

- Г. Уменьшится в 9 раз.      Д. Не изменится.

12. Космический корабль после выключения ракетных двигателей движется вертикально вверх, достигает верхней точки траектории и: затем движется вниз. На каком участке этой траектории сила давления космонавта на кресло имеет максимальное значение? Соппротивлением воздуха пренебречь.

А. При движении вверх.      Б. В верхней точке траектории.

В. При движении вниз.      Г. Во время всего полета сила давления одинакова и не равна нулю.

Д. Во время всего полета сила давления равна нулю.

13. Модуль скорости тела, движущегося прямолинейно, изменялся со временем по закону, график которого представлен на рисунке 8. Какой из графиков, приведенных на рисунке 9, выражает зависимость от времени модуля равнодействующей  $F$  всех сил, действовавших на тело?

А. 1. Б. 2. В. 3. Г. 4. Д.  $F=0$ .

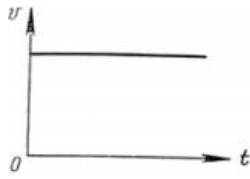


Рис. 8

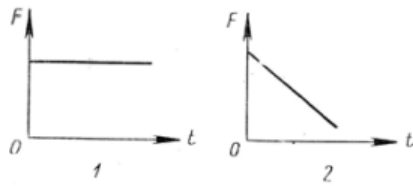


Рис.

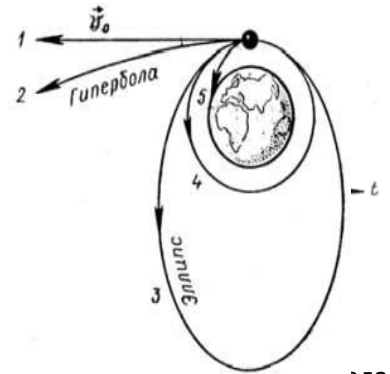


Рис. 10

элами

14. Какова должна быть начальная скорость  $\vec{v}_0$  поверхности Земли, в  $v_0$  тела, направленная параллельно атмосферы, чтобы оно двинулось по траектории 3 (рис. 10)?

- А.  $v_0 < 7,9$  км/с. Б.  $v_0 \approx 7,9$  км/с. В.  $7,9$  км/с  $< v_0 < 11,2$  км/с.  
 Г.  $v_0 \approx 11,2$  км/с. Д.  $v_0 > 11,2$  км/с.

15. Лифт опускается с ускорением  $10$  м/с<sup>2</sup> вертикально вниз. В лифте находится тело, масса которого  $1$  кг. Чему равен вес тела? Ускорение свободного падения принять равным  $10$  м/с<sup>2</sup>.

- А.  $0$  Н. Б.  $10$  Н. В.  $20$  Н. Г.  $1$  Н. Д. Среди ответов А—Г нет правильного.

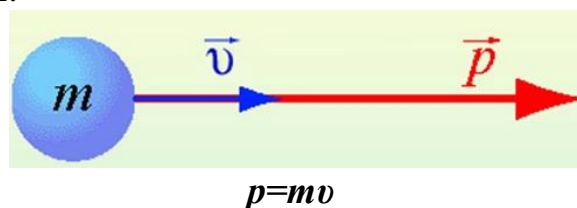
## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

**Тема:** Решение задач на использование закона сохранения импульса

**Цель:** применить справедливость закона сохранения импульса тел при прямом упругом соударении для решения задач

### Теория

Величина, равная произведению массы материальной точки на ее скорость, называется **импульсом**.



$p$  — импульс тела

$m$  — масса тела

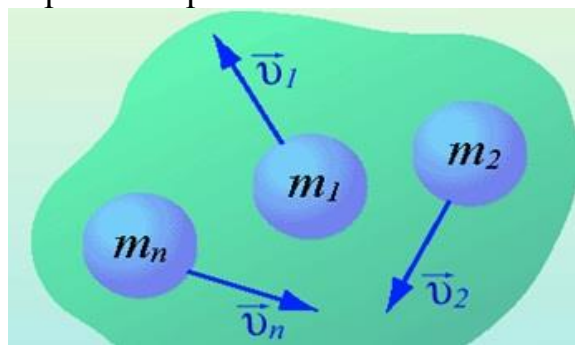
$v$  — скорость тела

Импульс тела **направлен в ту же сторону, что и скорость тела.**

**Единицей измерения импульса в СИ является  $1 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{с}$ .**

Изменение импульса тела происходит при взаимодействии тел, например, при ударах.

Для системы материальных точек полный импульс равен сумме импульсов. При этом следует иметь в виду, что импульс – это векторная величина, и поэтому в общем случае импульсы складываются как векторы, т.е. по правилу параллелограмма.



$$\vec{p}_{\text{сист}} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n$$

Если на систему тел не действуют внешние силы со стороны других тел, такая система называется замкнутой. **Замкнутая система** – это система тел, которые взаимодействуют только друг с другом.

**Закон сохранения импульса:** в замкнутой системе векторная сумма импульсов всех тел, входящих в систему, остается постоянной при любых взаимодействиях тел этой системы между собой.

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2$$

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2$$

$m_1, m_2$  — массы взаимодействующих тел, кг

$v_1, v_2$  — скорости тел до столкновения, м/с

$v'_1, v'_2$  — скорости тел после столкновения, м/с

**Задача 1:** Определите массу автомобиля, имеющего импульс  $p$  и движущегося со скоростью  $v$ .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$p$ , кг·м/с	$3,5 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$	$5,5 \cdot 10^4$	$6,5 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$	$5,9 \cdot 10^4$	$4,4 \cdot 10^4$	$6,6 \cdot 10^4$	$7,7 \cdot 10^4$	$8,8 \cdot 10^4$	$4,8 \cdot 10^4$	$6,3 \cdot 10^4$
$v$ , м/с	22	20	34	19	29	31	18	26	33	36	15	29	28

**Задача 2:** Снаряд массой  $m_1$ , летящий горизонтально вдоль железнодорожного пути со скоростью  $v_1$ , попадает в вагон с песком массой  $m_2$  и застревает в нём. Найти скорость вагона, если он движется со скоростью  $v_2$  навстречу снаряду.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$m_1$ , кг	90	110	120	130	145	155	160	150	180	170	175	190	200
$m_2$ , т	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
$v_1$ , м/с	300	400	340	190	290	310	180	260	330	360	150	290	280
$v_2$ , м/с	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

**Задача 3:** Снаряд массой  $m$ , летящий в горизонтальном направлении со скоростью 600 м/с, разрывается на две части с массами 30 кг и 20 кг. Большая часть стала двигаться в прежнем направлении со скоростью 900 м/с. Определить величину и направление скорости меньшей части снаряда.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$m$ , кг	45	55	60	70	65	75	80	85	90	95	100	105	110
$m_1$ , кг	25	35	40	40	45	45	60	50	70	70	75	70	60

$m_2$ , г	20	20	20	30	20	30	20	35	20	25	25	35	50
$v_1$ , м/с	800	700	740	790	990	910	780	860	830	760	950	890	880

**Задача 4:** Спусковую пружину игрушечного пистолета сжали на  $x$ , при вылете шарик массой  $m$  приобрел скорость  $v$ . Необходимо рассчитать жесткость пружины.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$x$ , см	4	4,5	6	7	6,5	7,5	8,0	8,5	4,9	5,9	4,4	3,5	5,5
$m$ , г	25	15	17	18	19	23	26	16	22	26	27	30	35
$v_1$ , м/с	1,5	1,6	1,7	2,2	1,8	2,3	2,5	3	3,5	3,4	2,8	2,9	3,1

**Задача 5:** На тележку массой 6 кг, движущуюся со скоростью 2 м/с, сверху вертикально вниз падает кирпич массой 2 кг. Какова будет скорость тележки сразу после падения кирпича?

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$m_1$ , кг	5	6,5	6	7	7,5	5,5	8,0	8,5	4,9	5,9	4,4	3,5	5,5
$m_2$ , кг	2,5	1,5	1,7	1,8	1,9	2,3	2,6	1,6	2,2	2,6	2,7	3,0	3,5
$v$ , м/с	1,5	1,6	1,7	2,2	1,8	2,3	2,5	3	3,5	3,4	2,8	2,9	3,1

### Контрольные вопросы

1. Что называется импульсом тела?
2. Сформулируйте закон сохранения импульса.
3. Сформулируйте закон сохранения энергии.

**Задача № 1.** Определите массу автомобиля, имеющего импульс  $2,5 \cdot 10^4$  кг·м/с и движущегося со скоростью 90 км/ч.

Дано:	СИ	$p = mv$
$p = 2,5 \cdot 10^4$ кгм/с	25 м/с	$m = \frac{p}{v}$
$v = 90$ км/ч		$m = \frac{2,5 \cdot 10^4}{25} = 0,1 \cdot 10^4$ (кг) = 1 (т)
$m = ?$		Ответ: 1 т

**Задача 2** Снаряд массой 100 кг, летящий горизонтально вдоль железнодорожного пути со скоростью 500 м/с, попадает в вагон с песком массой 10 т и застревает в нём. Найти скорость вагона, если он движется со скоростью 36 км/ч навстречу снаряду.

**Решение:**

Считая удар неупругим, запишем закон сохранения импульса:

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v$$

$$m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v_x$$

$$v_x = \frac{m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2}{(m_1 + m_2)}$$

$$v_x = \frac{100 \cdot 500 - 10000 \cdot 10}{100 + 10000} = \frac{50000 - 100000}{10100} = \frac{-50000}{10100} = -4,9 \frac{м}{с}$$

**Задача 3** Снаряд массой 50 кг, летящий в горизонтальном направлении со скоростью 600 м/с, разрывается на две части с массами 30 кг и 20 кг. Большая часть стала двигаться в прежнем направлении со скоростью 900 м/с. Определить величину и направление скорости меньшей части снаряда.

$$m \cdot v = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2$$

$$m \cdot v = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_{2x}$$

$$v_{2x} = \frac{m \cdot v - m_1 \cdot v_1}{m_2}$$

$$v_{2x} = \frac{50 \cdot 600 - 30 \cdot 900}{20} = \frac{30000 - 27000}{20} = \frac{3000}{20} = 150 \frac{м}{с}$$

**Задача 4** Спусковую пружину игрушечного пистолета сжали на 5 см, при вылете шарик массой 20 г приобрел скорость 2 м/с. Необходимо рассчитать, какова жесткость пружины.

Дано:  $x=5$  см= $0,05$  м;  $m=20$  г= $0,02$  кг;  $V=2$  м/с;  $k=?$

Решение

По закону сохранения энергии, потенциальная энергия упругодеформированной пружины перейдет в кинетическую энергию движения шарика:

$$E_k = E_p$$

$$\frac{k \cdot x^2}{2} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

упрощаем данное выражение:

$$k \cdot x^2 = m \cdot v^2$$

выражаем величину  $k$ :

$$k = \frac{m \cdot v^2}{x^2} = \frac{0,02 \cdot 2^2}{(0,05)^2} = 32 \left[ \frac{Н}{м} \right]$$

Ответ: жесткость пружины равна  $32 \left[ \frac{Н}{м} \right]$ .

**Задача 5:** На тележку массой 6 кг, движущуюся со скоростью 2 м/с, сверху вертикально вниз падает кирпич массой 2 кг. Какова будет скорость тележки сразу после падения кирпича?



Дано:

$m_T = 6 \text{ кг}$   
 $v_T = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$   
 $m_K = 2 \text{ кг}$   
 $v_T' = ?$

$v' = v_K' = v_T'$

$m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} = m_1 v_{1x}' + m_2 v_{2x}'$  — формула

$m_T v_{Tx} + m_K v_{Kx} = m_T v_{Tx}' + m_K v_{Kx}'$   
 $= 0$ , т.к.  $v_K \perp OX$

$m_T v_{Tx} = v_{Tx}' (m_T + m_K)$

$v_{Kx}' = \frac{m_T v_{Tx}}{m_T + m_K} = \frac{6 \text{ кг} \cdot 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{6 \text{ кг} + 2 \text{ кг}} = \frac{12 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}}{8 \text{ кг}} = 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$v' = |v_{Kx}'| = \underline{\underline{1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}}}$

## Практическая работа № 5

### Тема: Закон сохранения энергии

#### Цели:

- на примере конкретных задач рассмотреть понятия работы, потенциальной кинетической энергии;
- проанализировать границы применимости законов сохранения на конкретных примерах.

#### Качественные задачи

1. В каком случае расходуется меньше энергии при запуске спутника Земли: при запуске вдоль меридиана или вдоль экватора в сторону вращения Земли?
2. Два одинаковых тела падают с высоты  $H$ : одно в воздухе, другое – в вакууме. Одинаковы ли потенциальные энергии тел в начале падения? Одинаковы ли их кинетические энергии в конце падения?
3. Шофер автомобиля, едущего со скоростью  $v$ , внезапно увидел перед собой на расстоянии  $a$  широкую стену. Что ему выгоднее: затормозить или повернуть?
4. И свинец, и тяжелая вода практически не поглощают нейтроны. Почему же в атомных реакторах для торможения нейтронов тяжелую воду используют, а свинец – нет?
5. Как будут двигаться два одинаковых шарика после центрального упругого удара в отсутствие внешних сил, если один из них до удара покоился?
6. Почему при попадании пули в баллистический маятник нельзя применять закон сохранения механической энергии ко всему процессу в целом?

#### Примеры решения расчетных задач

**Задача 1.** Цепочка длиной  $l$  лежит на гладком горизонтальном столе, свешиваясь ровно наполовину. Цепочку без толчка отпускают. Найдите скорость цепочки в момент, когда ее верхний конец соскользнет со стола.

Решение:

Поскольку при движении цепочки сила трения отсутствует, то полная механическая энергия системы будет сохраняться. В качестве начального состояния выбираем цепочку в начальный момент времени, конечного – в момент, когда ее верхний конец соскользнет со стола. Будем считать потенциальную энергию цепочки в конечном состоянии равной нулю (рис. 1). Величина потенциальной энергии определяется положением центра массы тела. Поэтому в начальном состоянии полная механическая энергия системы

$$E_1 = \frac{m}{2} g \frac{l}{2} + \frac{m}{2} g \frac{l}{4} = \frac{3}{8} mgl$$

В конечном состоянии полная механическая энергия  $E_2 = \frac{mv^2}{2}$ , так как  $E_1 = E_2$ , то  $v = \sqrt{\frac{3gl}{4}}$ .

Ответ:  $v = \sqrt{\frac{3gl}{4}}$ .

**Задача 2.** Человек массы  $m$  переходит с одного конца лодки массой  $M$  на другой. Длина лодки равна  $l$ . Найдите перемещение лодки. Спротивлением воды движению лодки пренебречь.

*Решение:*

Поскольку система «лодка–человек» является замкнутой, то для решения задачи можно использовать закон сохранения импульса. В качестве тела отсчета выберем Землю. В начальный момент времени импульс системы «лодка–человек» равен нулю, следовательно, он будет таковым и во все последующие моменты времени:

$$m\vec{v}_ч + M\vec{v}_л = 0, \quad (1)$$

где  $\vec{v}_ч$  – скорость человека относительно берега, а  $\vec{v}_л$  – скорость лодки.

Согласно закону сложения скоростей  $\vec{v}_ч = \vec{v}'_ч + \vec{v}_л$ , где  $\vec{v}'_ч$  – скорость движения человека относительно лодки. Подставим  $\vec{v}_ч$  в (1):

$$m(\vec{v}'_ч + \vec{v}_л) + M\vec{v}_л = 0$$

Из последнего выражения

$$\vec{v}_л = -\frac{m}{M+m} \vec{v}'_ч$$

Обозначим время движения человека через  $t$ , тогда перемещение лодки относительно берега будет равно

$$\vec{L} = \vec{v}_л \cdot t = -\frac{m}{M+m} \vec{v}'_ч \cdot t = -\frac{m}{M+m} \vec{l}$$

где  $\vec{l}$  – перемещение человека вдоль лодки.

Ответ:  $\vec{L} = \vec{v}_л \cdot t = -\frac{m}{M+m} \vec{v}'_ч \cdot t = -\frac{m}{M+m} \vec{l}$ .

### Задачи для самостоятельной работы

1. На тело действуют две силы  $\vec{F}_1 = \{3, -1\}$  и  $\vec{F}_2 = \{-5, 3\}$ . Тело переместилось из точки с координатами  $(1, 0)$  в точку с координатами  $(-2, 3)$ . Определите работу, совершенную каждой силой. Все величины дайте в системе СИ.

Ответ:  $A_1 = -12$  Дж.  $A_2 = 24$  Дж.

2. Стоящий на льду человек массой  $M = 60$  кг ловит мяч массой  $m = 0,5$  кг, который летит горизонтально со скоростью  $v_1 = 20 \frac{м}{с}$ . На какое расстояние откатится человек с мячом по горизонтальной поверхности льда, если коэффициент трения  $\mu$  равен 0,03?

Ответ: 
$$S = \left( \frac{mv_1}{m+M} \right)^2 \frac{1}{2\mu g} \approx 4 \text{ см.}$$

3. Человек на Земле прыгает на высоту  $h_3 = 1 м$ . На какую высоту  $h_{л}$ , затратив ту же энергию, он прыгнет на Луне? Радиус Луны  $R_{л} = 0,27 R_3$ , а ее плотность  $\rho_{л} = 0,6 \rho_3$ .

Ответ: 
$$h_{л} = \frac{\rho_3 R_3}{\rho_{л} R_{л}} = 6,17 м$$

4. Тело массой  $m_1 = 1 кг$ , движущееся со скоростью  $v$ , налетает на покоящееся второе тело и после упругого столкновения отскакивает от него под углом  $\frac{\pi}{2}$  к первоначальному направлению со скоростью  $v_1 = \frac{2}{3} v$ . Найдите массу  $m_2$  второго тела.

Ответ: 
$$m_2 = \frac{13}{5} m_1 = 2,6 \text{ кг.}$$

5. Шарик массой  $m$  соскальзывает по желобу, имеющему на конце горизонтальный участок с высотой  $H = 1,4$  м. В конце желоба он сталкивается с таким же шариком, установленным на подставке на высоте  $h = 0,7$  м (рис. 5). Считая удар абсолютно упругим, определите дальность полета второго шарика.

Ответ: 
$$S = 2\sqrt{h(H-h)} = 1,4 \text{ м.}$$

6. На конце соломинки, лежащей на гладком столе, сидит маленький кузнечик массы  $m$ . С какой наименьшей скоростью относительно неподвижного наблюдателя должен прыгнуть кузнечик, чтобы попасть на другой конец соломинки? Масса соломинки  $M$ , ее длина  $l$ .

Ответ: 
$$v = \sqrt{\frac{M}{M+m}} gl$$

7. На группу из трех гладких одинаковых кубиков, лежащих на гладкой горизонтальной поверхности, как показано на рисунке, налетает со скоростью  $v$  гладкая шайба (рис. 6). Масса каждого кубика равна массе шайбы. Диаметр шайбы и ее высота равны ребру кубика. Определите скорости всех тел после соударения.

Ответ: после удара шайба останавливается, средний кубик остается неподвижным, крайние кубики будут двигаться со скоростью  $v_1 = v\sqrt{2}$  под углом  $45^\circ$  к направлению скорости движения шайбы.

8. Груз массой  $m_1$  падает на плиту массой  $m_2$ , укрепленную на пружине жесткостью  $k$ . Определите наибольшее сжатие пружины  $x_{max}$ , если в момент удара груз обладал скоростью  $v$ . Удар неупругий.

Ответ: 
$$x_{max} = \frac{g(m_1 + m_2)}{k}$$

9. Веревка длины  $l = 20\text{ м}$  переброшена через блок. В начальный момент веревка висит симметрично относительно вертикальной прямой, проходящей через ось блока, и покоится, а затем в результате незначительного толчка начинает двигаться по блоку. Будет ли движение веревки равноускоренным? Какова будет скорость веревки, когда она сойдет с блока? Массой и размерами блока пренебречь.

$$v = \sqrt{\frac{gl}{2}} \approx 10 \text{ м/с}$$

Ответ: движение веревки не будет равноускоренным.

10. В пробирке массы  $M$ , закрытой пробкой массы  $m$ , находится капля эфира. При нагревании пробирки пробка вылетает под давлением паров эфира. Пробирка подвешена на невесомом жестком стержне длины  $L$  (рис. 7). С какой минимальной скоростью должна вылететь пробка, чтобы пробирка сделала полный оборот вокруг точки подвеса?

Ответ: 
$$v = \frac{2M\sqrt{gL}}{m}$$

### Практическая работа № 5

**Цель работы:** закрепить умение применять формулы силы трения, силы тяжести, закон Гука и закон всемирного тяготения при решении задач; закрепить умение применять законы Ньютона при решении задач.

#### 1. Основные понятия и формулы

**Динамика** – это раздел механики, изучающий законы взаимодействия тел.

**Инерция** – явление сохранения скорости тела при отсутствии действия на него других тел.

**Масса** – это свойство тела, характеризующее его инертность.  $[m]=\text{кг}$

**Сила** – это количественная мера взаимодействия тел. Сила является причиной изменения скорости тела. Сила является **векторной величиной**. Векторная сумма всех сил, действующих на тело, называется **равнодействующей силой**.  $[F]=\text{Н}$

Сила в 1 Н сообщает телу массой 1 кг ускорение  $1 \text{ м/с}^2$

Для измерения сил используют пружины, называемые **динамометрами**.

#### 2. Задания для самостоятельного решения

**Задача 1. (вар.1-5)** К крючку динамометра прикрепили полоску резины жесткостью  $k$ . При растяжении полоски на длину  $x$  показания динамометра составили  $F$ . Определите значение величины, обозначенной «?». Как изменятся показания динамометра, если деформация полоски резины увеличится в  $\alpha$  раз?

**(вар.6-10)** Когда резиновая шайба находится на горизонтальной поверхности льда, то сила тяжести, действующая на шайбу уравновешивается силой реакции  $N$  со стороны поверхности льда. Если, ударив по шайбе, заставить ее скользить по поверхности льда, то возникнет сила трения скольжения  $F_{\text{тр}}$ . Коэффициент трения скольжения между шайбой и поверхностью льда равен  $\mu$ . Определите значение величины, обозначенной «?». Во сколько раз изменится сила трения скольжения, если сверху на шайбу положить  $n$  таких же шайб?

Вариант	1	2	3	4	5	Вариант	6	7	8	9	10
т						т					
$k, \text{ Н/м}$	?	60	70	?	50	$N, \text{ Н}$	?	1,5	1,6	?	1,6
$x, \text{ мм}$	20	?	40	50	?	$F_{\text{тр}}, \text{ Н}$	0,27	?	0,24	0,29	?
$F, \text{ Н}$	1,5	2	?	3	1,5	$\mu$	0,15	0,18	?	0,18	0,2
$\alpha$	1,2	1,3	1,4	1,5	1,2	$n$	1	2	3	2	3

**Задача 2.** Два тела массами  $m_1$  и  $m_2$ , находящиеся на расстоянии  $r$  друг от друга, взаимодействуют с силой гравитационного притяжения  $F$ . Определите значение величины, обозначенной «?». Как изменится сила гравитационного взаимодействия, если расстояние между телами увеличить в  $\beta$  раз?

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$m_1, 10^6 \text{ кг}$	2,5	?	3	4	1,5	?	2	2,5	3	?

$m_2, 10^6 \text{ кг}$	2	2,5	?	3	4	1,5	?	2	2,5	3
$r, \text{ м}$	100	150	200	?	150	200	250	?	200	250
$F, \text{ мН}$	?	0,8	0,9	0,7	?	0,9	0,7	0,8	?	0,7
$\beta$	3	2,5	2	1,5	3	2,5	2	1,5	3	2,5

**Задача 3.** Пассажирский лифт начинает движение из состояния покоя и двигаясь равноускоренно вверх (вниз), за время  $t$  проходит путь  $s$ . При таком движении лифта вес пассажира массой  $m$  равен  $P$ . Определите значение величины, обозначенной «?». Ускорение свободного падения примите равным  $10 \text{ м/с}^2$ .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Направление ускорения										
$t, \text{ с}$	8	5	6	?	6	8	5	?	5	6
$s, \text{ м}$	?	9	6,5	20	?	16	10	18	?	6
$m, \text{ кг}$	70	?	60	80	60	?	70	60	80	?
$P, \text{ Н}$	650	660	?	810	560	770	?	610	740	870

**Задача 4.** Тепловоз массой  $M$  тянет вагон массой  $m$  с ускорением  $a$ . Сила тяги тепловоза  $F_T$ , сила натяжения сцепки между тепловозом и вагоном  $F_H$ . Определите значения величин, обозначенных «?». Силой сопротивления можно пренебречь.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$M, \text{ т}$	150	180	160	180	?	?	160	180	150	160
$m, \text{ т}$	20	25	30	?	20	?	30	20	30	?
$a, \text{ м/с}^2$	0,2	?	?	0,2	0,3	0,25	0,3	?	?	0,25
$F_T, \text{ кН}$	?	41	?	40	60	50	?	44	?	50
$F_H, \text{ кН}$	?	?	6	?	?	7,5	?	?	9	?

**Задача 5.** По гладкой наклонной плоскости длиной  $L$  и высотой  $h$  небольшой брусок соскальзывает с ускорением  $a$ . Определите значения величин, обозначенных «?». Ускорение свободного падения примите равным  $10 \text{ м/с}^2$ .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$L, \text{ м}$	2	1,5	?	1,5	1	?	1	2	?	1,8
$h, \text{ см}$	40	?	50	30	?	40	20	?	60	20
$a, \text{ м/с}^2$	?	1,5	2	?	3	2	?	3	2,5	?

## Практическая работа № 6

**Тема:** Основное уравнение МКТ

**Цель:** применять основные формулы для решения задач, развивать логическое мышление

### 1. Основы молекулярно-кинетической теории. Газовые законы

#### 1.1 Количество вещества

$$\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A}$$

$m$  — масса;

$\mu$  — молярная масса вещества;

$N$  — число молекул;

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$  — число Авогадро

#### 1.2 Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа

$$p = \frac{1}{3} mn \langle v^2 \rangle$$

$p$  — давление идеального газа;

$m$  — масса одной молекулы;

$n = N/V$  — концентрация молекул;

$V$  — объем газа;

$N$  — число молекул;

$$\langle v^2 \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2$$

— среднее значение квадрата скорости молекул.

### 1.3 Средняя квадратичная скорость молекул идеального газа

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К — постоянная Больцмана;

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

$T = t + 273$  — абсолютная температура;

$t$  — температура по шкале Цельсия.

### 1.4 Средняя кинетическая энергия молекулы одноатомного газа

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{3}{2} kT$$

### 1.5 Давление идеального газа

$$p = nkT$$

$n$  — концентрация молекул;

$k$  — постоянная Больцмана;

$T$  — абсолютная температура.

### 1.6 Закон Бойля-Мариотта

$$pV = \text{const} \quad (t^\circ = \text{const})$$

$p$  — давление;

$V$  — объем газа.

### 1.7 Закон Шарля

$$p = p_0(1 + \alpha t^\circ) \quad (V = \text{const})$$

$p_0$  — давление газа при  $0^\circ\text{C}$ ;

$\alpha = 1/273^\circ\text{C}^{-1}$  — температурный коэффициент давления.

### 1.8 Закон Гей-Люссака

$$V = V_0(1 + \alpha t^\circ) \quad (p = \text{const})$$

$V_0$  — объем газа при  $0^\circ\text{C}$ .

### 1.9 Уравнение Менделеева-Клапейрона

$$pV = \nu RT$$

### 1.10 Объединенный закон газового состояния (уравнение Клапейрона)

$$\frac{pV}{T} = \text{const}$$

### 1.11 Закон Дальтона

$$p = \sum_{i=1}^n p_i$$

$p_i$  — парциальное давление  $i$ -й компоненты смеси газов.

## 2. Основы термодинамики

### 2.1 Внутренняя энергия идеального одноатомного газа

$$U = \frac{3}{2} \nu RT$$

$\nu$  — количество вещества;

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

$T$  — абсолютная температура.

2.2 Элементарная работа, совершаемая газом,  
при изменении объема на бесконечно малую величину  $dV$

$$\delta A = p dV$$

$p$  — давление газа.

При изменении объема от  $V_1$  до  $V_2$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

2.3 Первый закон термодинамики

$$\Delta Q = \Delta A + \Delta U$$

$\Delta Q$  — количество подведенной теплоты;

$\Delta A$  — работа, совершаемая веществом;

$\Delta U$  — изменение внутренней энергии вещества.

2.4 Теплоемкость идеального газа

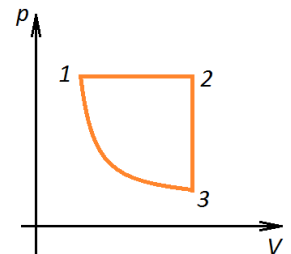
$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

$\Delta Q$  — количество переданной системе теплоты на участке процесса;

$\Delta T$  — изменение температуры на этом участке процесса.

### Вариант №1

- Каковы показания термометра по шкале Кельвина при температуре 200С?  
А) 273 К Б) 293 К В) 373 К Г) 20 К
- Как изменится давление идеального газа при увеличении температуры и объема газа в 4 раза? А) увеличится в 4 раза Б) уменьшится в 4 раза В) не изменится
- Определите, при какой температуре средняя квадратичная скорость молекул кислорода равна 500 м/с.
- Чему равна концентрация молекул кислорода, если давление его равно 0,2 МПа, а средняя квадратичная скорость молекул составляет 700 м/с?
- Объем пузырька газа, всплывающего на поверхность со дна озера, увеличился в 2 раза. Определить глубину озера. Температура воздуха на поверхности озера 27 °С, а на его дне 17 °С. Атмосферное давление нормальное.
- Сосуд, содержащий 5 л воздуха при давлении 100 кПа, соединяют с пустым сосудом вместимостью 4,5 л. Какое давление установится в сосудах, если температура не меняется?
- Назовите процессы, происходящие с газом и изобразите графики этих изопроцессов в координатах  $p, T$  и  $V, T$ .



### Вариант №2

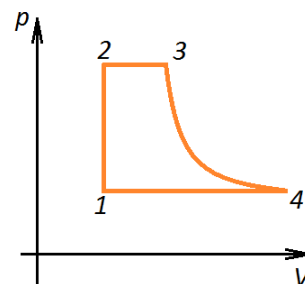
- Чему равны показания термометра по термодинамической шкале при температуре кипения воды?  
А) 273 К Б) 293 К В) 373 К Г) 100 К
- Как изменится давление идеального газа при уменьшении температуры и объема газа в 2 раза?  
А) увеличится в 2 раза Б) уменьшится в 2 раза В) не изменится
- Какова средняя квадратичная скорость молекул гелия при температуре 27 0С?

4. Вычислить массу одной молекулы сернистого газа  $\text{SO}_2$ , число молекул и количество вещества 1 кг этого газа при нормальных условиях.

5. Газ в сосуде находится под давлением 2 атм при температуре 127 °С. Определить давление газа после того, как половина массы газа выпущена из сосуда, а температура понижена на 50 °С.

6. Какое количество молекул воздуха выходит из комнаты объемом 120 м<sup>3</sup> при повышении температуры от 15 до 25 °С? Атмосферное давление нормальное.

7. Назовите процессы, происходящие с газом и изобразите графики этих процессов в координатах  $p, T$  и  $V, T$ .



### Практическая работа № 7

**Тема:** Уравнение состояния идеального газа

**Цель:**

– закрепить умения учащихся определять опытным путем параметры состояния газа, проверить знание уравнения состояния газа.

**Ответить на вопросы:**

1. Что такое идеальный газ?
2. Объясните с помощью модели «идеальный газ», почему газы легко сжимаются, оказывают давление на стенки сосудов любой формы и размера, занимают любой предоставленный объем
3. Чему равен абсолютный нуль по шкале Цельсия?
4. Назовите 3 макроскопических параметра, характеризующих состояние данной массы разреженного газа
5. Что такое температура и что она характеризует?
6. Какие физические величины входят в уравнение Менделеева – Клапейрона?

### Практические задачи

**Пользуясь уравнением Менделеева – Клапейрона, вычислите, чему равна масса воздуха, заполняющего стакан.**

- Какие данные нужны для этого расчета?
- Какие приборы потребуются для выполнения этой работы?

**Какова масса воздуха в кабинете физики?**

- Какие данные нужны для этого расчета?
- Какие приборы нужны для выполнения этой работы?
- До какой температуры надо нагреть воздух в комнате, чтобы половина массы воздуха вышла через открытую форточку?

Тест		Тест	
<i>1 вариант</i>	ответы	<i>2 вариант</i>	ответы
1. Какая из приведенных ниже величин не относится к макроскопическим параметрам?		1. Разность температуры тел указывает ...	
ение	1. Давл	1. ... на	
а молекулы	2. Масс	плотность тел	2. ...
	3. Объе	направление теплообмена между ними	



М температура	4. Темп		3. ... на объем тел	
2. При какой температуре прекращается движение молекул?		2. Чему равна температура по шкале Цельсия, если абсолютная температура равна 300К?		
	1. 273 К 2. -273 К 3. 0° К 4. 0 С		273° С	4. - 5. 0°С 6. 27° С 7. 300 К
III. Подставить недостающие величины в ...		3. Подставить недостающие величины в ...		
	1. ...t 2. ...v 3. ...T			8. ... m 9. ... v 10. ... M
4. Универсальная газовая постоянная - ...		IV. Степень нагретости тела характеризует ...		
	1. ... k = $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К 2. ... $N_A = 6,31 \cdot 10^{23}$ моль <sup>-1</sup> 3. ... R = 8,31 Дж/(моль·К)		работа молекула температура	11. ... 12. ... 13. ...
V.* Как изменится давление идеального газа при увеличении его объема в 2 раза и при уменьшении абсолютной температуры в 2 раза?		V.* Как изменится давление идеального газа при увеличении его объема в 4 раза и при уменьшении абсолютной температуры в 2 раза?		
	1. Уменьшится в 4 раза 2. Уменьшится в 2 раза 3. Останется неизменным 4. Увеличится в 4 раза		уменьшится в 8 раз уменьшится в 4 раз останется неизменным увеличится в 4 раза	1. Умень 2. Умень 3. Остане 4. Увели

### Практическое занятие №8

**Тема: Графическое представление газовых законов**

**Цель: Закрепить знания по теме «Основы термодинамики», сформировать умения и навыки решения графических задач.**

**Теория:** Количественные зависимости между двумя параметрами при фиксированном значении третьего называют *газовыми законами*.

Переход данной массы газа из одного состояния в другое при одном постоянном параметре называется *изопроцессом*.

Таких изопроцессов три: *изобарный* ( $P = const$ ),

*изохорный* ( $V = const$ ),

*изотермический* ( $T = const$ ),

Изображать графически процессы изменения состояния идеального газа можно с помощью диаграмм изменения состояния. Для этого нужно провести на плоскости две взаимно перпендикулярные оси и обозначить их двумя любыми параметрами состояния газа:  $(p, V)$ , или  $(p, T)$ , или  $(V, T)$ . Тогда каждая точка этой плоскости будет описывать состояние газа, характеризуясь тремя параметрами  $(p, V, T)$ .

Диаграмма изменения состояния газа при *постоянном давлении* в координатах  $V, T$  представляет собой прямую, проходящую через начало координат. Эта прямая называется *изобарой*.

Диаграмма изменения состояния газа при *постоянном объеме* в координатах  $p, V$  представляет собой прямую, проходящую через начало координат. Эта прямая называется *изохорой*.

Если изменение состояния идеального газа происходит при *постоянной температуре*, то диаграмма этого процесса в координатах  $p, V$  представляет собой кривую, называемую в математике *гиперболой*, а в естественных науках – *изотермой*. Если температура изотермического процесса выше предыдущего, то и описывающая его изотерма проходит выше.

Одновременно объяснить зависимость плотности газа от давления при изотермическом процессе.

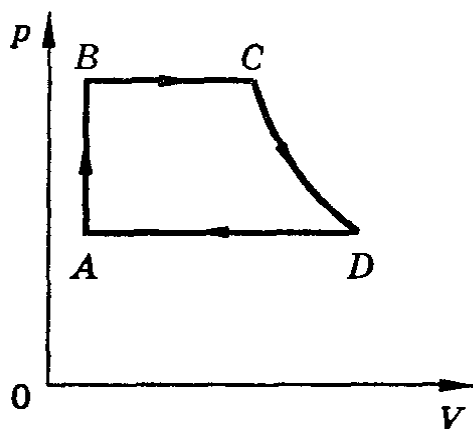
$$p = mRT / (VM) = \rho RT / M \quad \text{При}$$

Преобразуем уравнение Менделеева-Клайперона к виду:

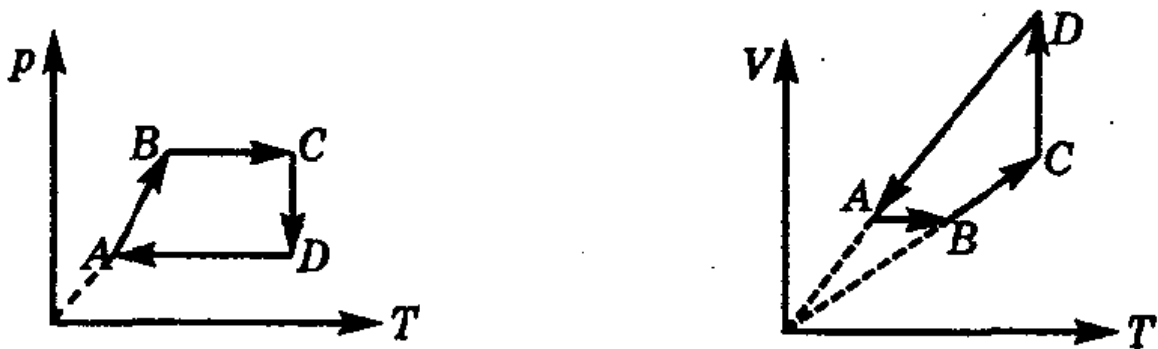
изотермическом процессе плотность газа изменяется прямо пропорционально его давлению:

$$\rho_1 / \rho_2 = p_1 / p_2.$$

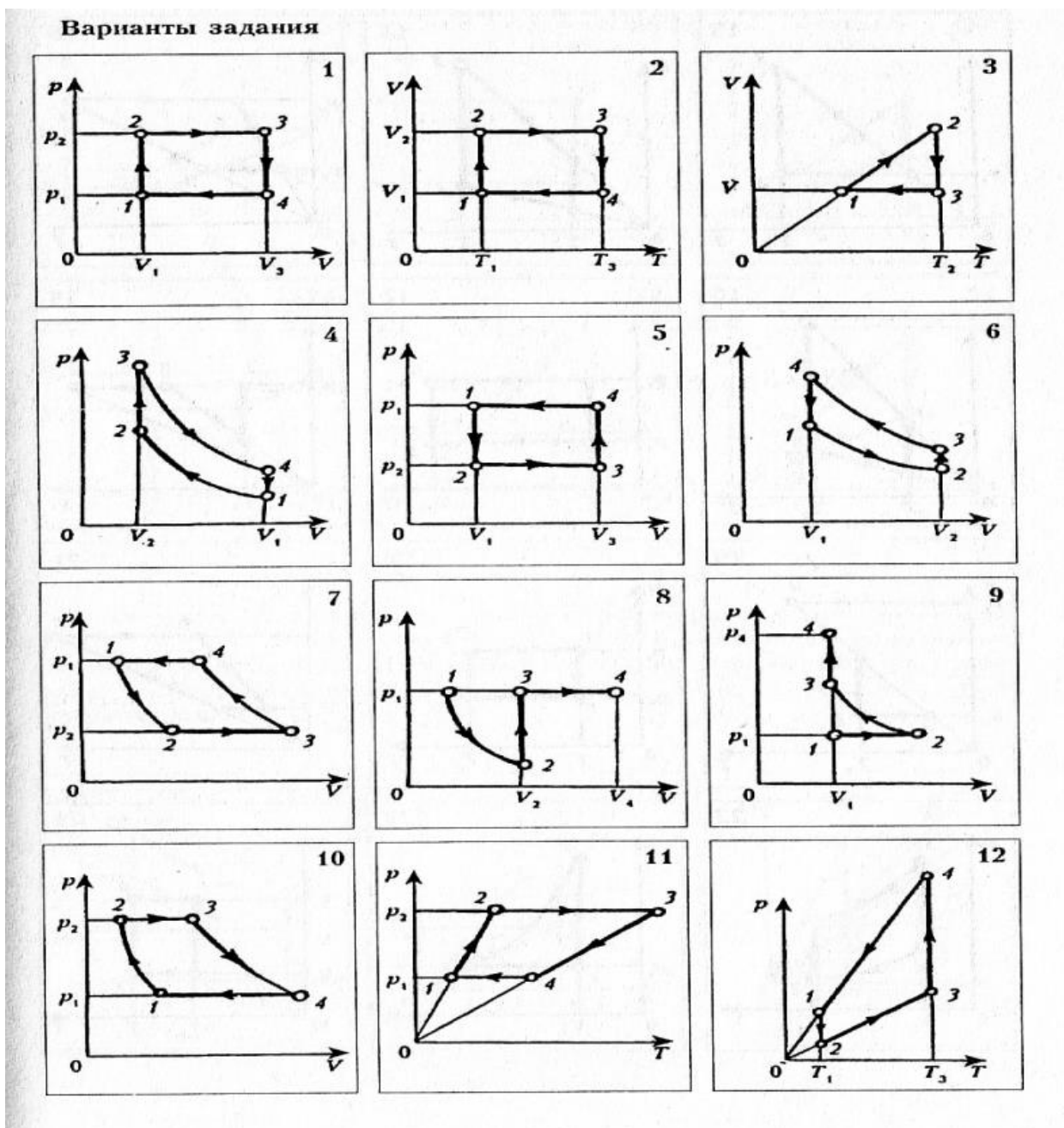
**Задача:** На рисунке представлен замкнутый цикл. Участок CD соответствует изотерме. Вычертить эту диаграмму в координатах  $p, T$ ;  $V, T$ .



**Решение:**



Задания: Построить заданную диаграмму в еще двух недостающих координатах.



### Практическое занятие № 9

Тема: Уравнение теплового баланса

Цель: Сформировать умения и навыки решения уравнений теплового баланса.

<i>Вещество</i>	<i>Удельная теплоемкость кДж/(кг·К)</i>
Алюминий	0,88
Медь	0,38
Свинец	0,13
Сталь	0,46
Вода	4,2
Спирт	2,4

**Задача 1.** Для приготовления ванны смешали 40 л холодной воды при 10°C с горячей водой при 60 °С. Какой объем горячей воды надо взять, чтобы температура установилась 40 °С?

**Задача 2.** В воду, объемом 0,5 л, температура которой 80 °С, опускают алюминиевую ложку массой 20 г. определить температуру алюминиевой ложки, если в результате теплообмена установилась температура 40 °С.

**Задача 3.** Смешали 100 г свинцовых опилок при температуре 50 °С с 50 г. алюминиевых опилок при температуре 70 °С. Какова температура получившейся смеси?

**Задача 4.** В сосуд, содержащий 1,5 кг воды при 15 °С, впускают 200 г водяного пара при 100 °С. Какая общая температура установится в результате этого?

**Задача 5.** В сосуд, содержащий 2,8 л воды при 20 °С, бросают кусок стали массой 3 кг, нагретый до 160 °С. Определите температуру, установившуюся в результате теплообмена.

**Задача 6.** В сосуд, содержащий 3,5 л воды, доливают 150 г спирта при температуре 20 °С. Определите температуру воды, если в результате смешивания установилась температура 18 °С.

## Практическая работа № 10

**Тема.** *Первый закон термодинамики*

**Цели:**

- *помочь учащимся осмыслить физическое содержание первого закона термодинамики;*
- *рассматривая качественные задачи, показать, что проявления действия первого закона термодинамики имеют место в окружающем мире;*
- *на примере решения конкретных расчетных задач научить учащихся применять первое начало термодинамики к описанию изопроцессов в идеальном газе.*

**Качественные задачи**

1. Можно ли передать системе некоторое количество теплоты, не вызывая при этом повышения ее температуры?
2. Почему при холостых выстрелах ствол пушки нагревается сильнее, чем при стрельбе снарядами?
3. После сильного шторма вода в море становится теплее. Почему?

4. Один поэт так писал о капле: "Она жила и по стеклу текла, но вдруг ее морозом оковало, и неподвижной льдинкой капля стала, а в мире поубавилось тепла". Вы согласны с поэтом?
5. Мука из жерновов выходит горячей, хлеб вынимают из печи также горячим. Чем вызывается увеличение энергии в каждом из этих случаев?
6. Почему климат островов умереннее и ровнее, чем климат материков?

**Примеры решения расчетных задач**

**Задача 1.**

Идеальный газ с показателем адиабаты  $\gamma$  расширили по закону  $P = \alpha V$ , где  $\alpha = \text{const}$ . Первоначальный объем газа  $V_1$ . В результате расширения объем увеличился в  $\eta$  раз. Найдите приращение внутренней энергии газа.

*Решение:*

Изменение внутренней энергии идеального газа равно

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{m}{\mu} C_V (T_2 - T_1) \quad (1)$$

Начальное состояние газа подчиняется уравнению

$$P_1 V_1 = \frac{m}{\mu} R T_1 \quad (2)$$

Конечное состояние - соответственно, уравнению

$$P_2 V_2 = \frac{m}{\mu} R T_2 \quad (3)$$

Принимая во внимание, что  $P = \alpha V$  и  $V_2 = \eta V_1$ , уравнения (2) и (3) можно записать в виде

$$\alpha V_1^2 = \frac{m}{\mu} R T_1 \quad (4)$$

$$\alpha \eta^2 V_1^2 = \frac{m}{\mu} R T_2 \quad (5)$$

Вычитая из (5) (4), находим

$$T_2 - T_1 = \frac{\alpha V_1^2 (\eta^2 - 1)}{\frac{m}{\mu} R} \quad (6)$$

Подставляя (6) в (1), получаем

$$\Delta U = \frac{C_V}{R} \alpha V_1^2 (\eta^2 - 1) \quad (7)$$

Найдем  $C_V$  через  $\gamma$ , используя соотношения

$$\frac{C_P}{C_V} = \gamma \quad (8)$$

$$\text{и } C_P = C_V + R \quad (9)$$

Из (8) и (9) для  $C_V$  находим

$$C_V = \frac{R}{\gamma - 1} \quad (10)$$

Подставляя (10) в (7), получаем

$$\Delta U = \frac{1}{\gamma - 1} \alpha V_1^2 (\eta^2 - 1) \quad (11)$$

$$\Delta U = \frac{1}{\gamma - 1} \alpha V_1^2 (\eta^2 - 1)$$

*Ответ:* изменение внутренней энергии равно

Очевидно, что  $\Delta U = U_2 - U_1 > 0$ , то есть внутренняя энергия газа в этом процессе увеличивается.

### Задача 2.

Газ, занимающий объем  $V_1 = 2 \text{ м}^3$  при давлении  $P_1 = 4 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , совершает круговой процесс, состоящий из нескольких этапов. Сначала газ изохорически охлаждается до температуры, при которой его давление равно  $P_2 = 10^5 \text{ Па}$ . Затем он изобарически охлаждается до состояния, из которого возвращается в начальное состояние таким образом, что его давление изменяется с изменением объема по закону  $P = \alpha V$  ( $\alpha$  - постоянная величина). Нарисуйте график данного кругового процесса на  $PV$ -диаграмме и найдите совершенную газом работу.

*Решение:*

Как следует из условия задачи, состояния газа 1 и 3 изображаются точками, лежащими на прямой  $P = \alpha V$ , проходящей через начало координат (рис. 1). Это означает, что

$$P_1 = \alpha V_1 \text{ и } P_3 = \alpha V_3$$

С учетом того, что  $P_2 = P_3$ , получаем

$$V_3 = \frac{P_2 V_1}{P_1} = 0,5 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Работа при круговом процессе численно равна площади фигуры, ограниченной графиком этого процесса, в данном случае - площади треугольника 123.

$$A = \frac{1}{2} (P_1 - P_2)(V_1 - V_3),$$

подставляя  $V_3$ , получаем

$$A = \frac{(P_1 - P_2)^2 V_1}{2P_1} = 2,25 \cdot 10^5 \text{ (Дж)}.$$

*Ответ:* работа в данном круговом процессе равна  $2,25 \cdot 10^5 \text{ Дж}$ .

### Задачи для самостоятельной работы

1. Над газом совершают два тепловых процесса, переводя его из одного и того же начального состояния и нагревая до одинаковой конечной температуры (рис. 5). При каком процессе газу сообщается большее количество теплоты?

*Ответ:* большее количество теплоты подводится в том процессе, где конечный объем газа больше.

2. Один моль идеального газа, находящийся при нормальных условиях, переводят из состояния 1 в состояние 2 двумя способами:  $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2$  и  $1 \rightarrow 4 \rightarrow 2$  (рис. 6). Найдите отношение количеств теплоты, которые необходимо сообщить 1 молю газа в этих двух процессах.

$$\text{Ответ: } \frac{Q_I}{Q_{II}} = \frac{13}{11}$$

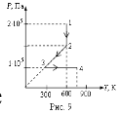
3. Некоторое количество одноатомного газа занимает объем  $V_1 = 0,1 \text{ м}^3$  при давлении  $P_1 = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Если газ переходит из этого состояния в конечное состояние 2 сначала при изобарическом, а затем при изохорическом нагревании, то он совершает работу  $A_1 = 4 \cdot 10^4 \text{ Дж}$ . Если же переход осуществляется непосредственно по прямой 1-2, то работа газа  $A_2 = 5 \cdot 10^4 \text{ Дж}$ . Найдите давление и объем газа в конечном состоянии 2, а также количества теплоты, полученные газом в обоих случаях (рис. 7).

*Ответ:*  $V=0,3(\text{м}^3)$ ,  $P=3 \cdot 10^5(\text{Па})$ ,  $Q_1=5,05 \cdot 10^4(\text{Дж})$ ,  $Q_2=6,05 \cdot 10^4(\text{Дж})$ .



4. Идеальный одноатомный газ, занимавший при давлении  $P_1 = 10^5$  Па объем  $V_1 = 2$  м<sup>3</sup>, расширяется таким образом, что график процесса расширения изображается на  $PV$ -диаграмме отрезком прямой (рис. 8). Найдите объем и давление газа в конце расширения, если известно, что газ в этом процессе получил количество теплоты  $Q = 3,5 \cdot 10^5$  Дж и совершил работу  $A = 1,1 \cdot 10^5$  Дж.

Ответ:  $P_2 = 1,2 \cdot 10^5$  Па,  $V_2 = 3$  м<sup>2</sup>.



5. Четыре моля газа совершают процесс, изображенный на рис. 9. На каком участке работа газа максимальна?

Ответ: работа газа максимальна на участке 3-4.

## Практическая работа № 11

**Тем.: КПД тепловых машин**

**Цели:**

- помочь учащимся сформулировать принципы работы тепловой машины, разобраться в ее принципиальном, с точки зрения физики, устройстве;
- научить вычислять полезную работу, совершенную тепловой машиной за цикл;
- освоить методы расчета к.п.д. тепловых двигателей.

**Качественные задачи**

1. Восходящий от поверхности земли поток воздуха представляет собой своеобразный тепловой двигатель. Укажите в нем основные части, присущие любому тепловому двигателю.
2. Что является нагревателем и холодильником в ракетном двигателе?
3. Станет ли к.п.д. тепловой машины равным 100 %, если трение в частях машины свести к нулю?
4. Какие пути вы можете указать для повышения к.п.д. тепловых двигателей?
5. Почему в качестве источников энергии затруднительно использовать внутреннюю энергию вод мирового океана и земной атмосферы?

**Примеры решения расчетных задач**

**Задача 1.**

Рабочее вещество, внутренняя энергия которого  $U$  связана с давлением  $P$  и объемом  $V$  соотношением  $U = kPV$ , совершает термодинамический цикл, состоящий из изобары, изохоры и адиабаты (рис. 1). Работа, совершенная веществом во время изобарного процесса, в  $m = 5$  раз превышает работу внешних сил по сжатию вещества, совершенную при адиабатическом процессе. К.п.д. цикла  $\eta = 1/4$ . Определите  $k$ .

Решение:

К.п.д. цикла по определению равен

$$\eta = \frac{A}{Q_1} \quad (1)$$

Полезная работа, совершенная веществом за цикл

$$A = A_{12} - A_{31} \quad (2)$$

где  $A_{12}$  - работа, совершаемая веществом на изобаре 1→2,  $A_{31}$  - работа, совершенная над

рабочим веществом на адиабате  $3 \rightarrow 1$  ( $A_{31} < 0$ ).

В данном цикле тепло  $Q_1$  подводится к рабочему веществу только на изобарическом участке цикла. Согласно 1-му началу термодинамики

$$Q_1 = \Delta U_{12} + A_{12} \quad (3)$$

где  $\Delta U_{12}$  - изменение внутренней энергии рабочего вещества на участке цикла  $1 \rightarrow 2$ .

Используя заданную в условии задачи связь внутренней энергии рабочего вещества с давлением и объемом на изобаре  $1 \rightarrow 2$ , можно записать

$$\Delta U_{12} = kP(V_2 - V_1) = kP\Delta V = kA_{12} \quad (4)$$

Тогда

$$Q_1 = (k + 1)A_{12} \quad (5)$$

Учитывая, что, согласно условию задачи,  $A_{31} = \frac{A_{12}}{m}$ , уравнение (2) можно представить в виде

$$A = A_{12} - \frac{A_{12}}{m} = \frac{(m-1)}{m} A_{12} \quad (6)$$

Подставляя (5) и (6) в (1) и решая относительно  $k$ , находим

$$k = \frac{m-1-\eta m}{\eta m} = 2,2$$

Ответ:  $k=2,2$ .

### Задача 2.

Рабочее вещество тепловой машины совершает цикл Карно между изотермами  $T$  и  $T_1$  ( $T_1 > T$ ) (рис. 2). Холодильником является резервуар, температура которого постоянна и равна  $T_2 = 200$  К ( $T_2 < T$ ). Теплообмен между рабочим веществом и холодильником осуществляется посредством теплопроводности. Количество теплоты, отдаваемое в единицу времени холодильнику,  $q = \alpha(T - T_2)$ , где  $\alpha = 1$  кВт/К. Теплообмен рабочего вещества с нагревателем происходит непосредственно при  $T_1 = 800$  К. Полагая, что продолжительность изотермических процессов одинакова, а адиабатических - весьма мала, найдите температуру "холодной" изотермы  $T$ , при которой мощность тепловой машины наибольшая. Определите наибольшую мощность тепловой машины.

Решение:

За время  $\tau$  холодильник получает количество теплоты

$$Q_x = \alpha(T - T_2)\tau \quad (1)$$

К.п.д. цикла Карно

$$\eta = \frac{Q_H - Q_x}{Q_H} = \frac{T_1 - T}{T_1} \quad (2)$$

Полезная работа тепловой машины за цикл равна

$$A = Q_H - Q_x = Q_H \left(1 - \frac{T}{T_1}\right) \quad (3)$$

Преобразуем (3), выразив  $Q_H$  через  $Q_x$ , используя (2):

$$A = Q_x \left(1 - \frac{T}{T_1}\right) \frac{T_1}{T} \quad (4)$$

Подставив в (4)  $Q_x$  из (1), получаем

$$A = \alpha(T - T_2)\tau \left(\frac{T_1}{T} - 1\right) \quad (5)$$

Полное время цикла, за которое совершается эта работа, равно  $2\tau$ , следовательно, мощность равна



$$N = \frac{A}{2\tau} = \frac{\alpha\tau(T - T_2)\left(\frac{T_1}{T} - 1\right)}{2\tau} = \frac{\alpha}{2}\left(T_1 - \frac{T_2 T_1}{T} - T + T_2\right) \quad (6)$$

$$N = N_{\max} \text{ при } \frac{dN}{dt} = 0 \text{ и } \frac{d^2N}{dt^2} < 0$$

$$\frac{dN}{dt} = \frac{T_2 T_1}{T^2} - 1 = 0 \quad (7)$$

Из (7) видно, что  $N = N_{\max}$  при  $T = \sqrt{T_2 T_1} = 400 \text{ К}$ .

$$N_{\max} = \frac{\alpha}{2}\left(T_1 - 2\sqrt{T_1 T_2} + T_2\right) = 100 \text{ кВт.}$$

*Ответ:* наибольшая мощность машины равна 100 кВт.

#### Задачи для самостоятельной работы

1. Тепловая машина имеет коэффициент полезного действия (к.п.д.)  $\eta = 20\%$ . Каким станет ее к.п.д., если количество теплоты, потребляемое за цикл, увеличится на 40%, а количество теплоты, отдаваемое холодильнику, уменьшится на 20%?

*Ответ:* к.п.д. машины стал  $\eta' \cong 0,54$ , то есть увеличился, и составляет примерно 54%.

2. Рассчитайте к.п.д. циклов, представленных на рис. 4.

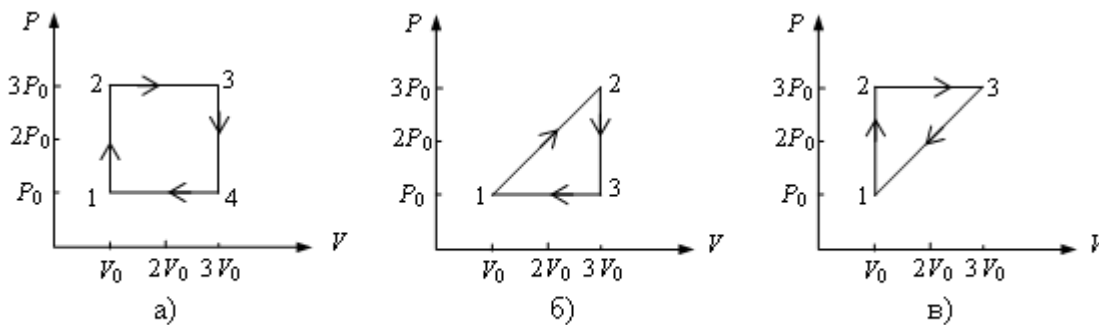


Рис. 4

$$\eta_1 = \frac{(3V_0 - V_0)(3P_0 - P_0)}{12P_0V_0 + 6P_0V_0} = 0,22 \quad \eta_1 = 22\%$$

$$\eta_2 = \frac{2P_0V_0}{16P_0V_0} = 0,125 \quad \eta_2 = 12,5\%$$

$$\eta_3 = \frac{2P_0V_0}{12P_0V_0 + 6P_0V_0} = \frac{2P_0V_0}{18P_0V_0} = \frac{1}{9} = 0,11 \quad \eta_3 = 11\%$$

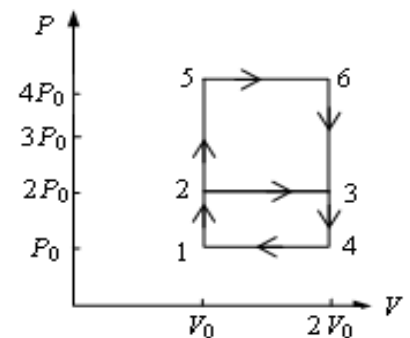


Рис. 5

3. На рис. 5 показаны два замкнутых термодинамических цикла, произведенных с идеальным одноатомным газом  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$  и  $1 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ . У какого из циклов коэффициент полезного действия выше? Во сколько раз?

*Ответ:* для второго цикла к.п.д. выше,  $\eta_1 = 0,74\eta_2$ .

4. Найдите к.п.д. цикла, состоящего из двух изохор и двух адиабат (рис. 6). Рабочим веществом является азот. Известно, что в пределах цикла объем газа изменяется в 10 раз, то есть  $V_{\max} / V_{\min} = 10$ .

*Ответ:* к.п.д. цикла равен 60%.

5. Определите к.п.д. цикла, показанного на рис. 7. Газ идеальный одноатомный. Участки 2→3 и 4→5 на чертеже представляют собой дуги окружностей с центрами в точках  $O_1$  и  $O_2$ .

Ответ: к.п.д. цикла равен 19 %.

## Практическая работа № 12

**Тема: Влажность воздуха**

**Цель:** применять формулы абсолютной и относительной влажности при решении задач

### Краткая теория:

Для того чтобы количественно оценить влажность воздуха, пользуются понятиями **абсолютной** и **относительной влажности**.

**Абсолютная влажность** — это количество граммов водяного пара, содержащееся в  $1 \text{ м}^3$  воздуха при данных условиях, т. е. это плотность водяного пара  $\rho$ , выраженная в  $\text{г/м}^3$ .

Относительная влажность воздуха  $\varphi$  — это отношение абсолютной влажности воздуха  $\rho$  к плотности  $\rho_0$  насыщенного пара при той же температуре. Относительную влажность выражают в процентах:

$$\varphi = (\rho/\rho_0) \cdot 100 \%$$

Концентрация пара связана с давлением ( $p_0 = nkT$ ), поэтому относительную влажность можно определить как процентное отношение **парциального давления  $p$**  пара в воздухе к давлению  $p_0$  насыщенного пара при той же температуре:

$$\varphi = (p/p_0) \cdot 100 \%$$

Под **парциальным давлением** понимают давление водяного пара, которое он производил бы, если бы все другие газы в атмосферном воздухе отсутствовали.

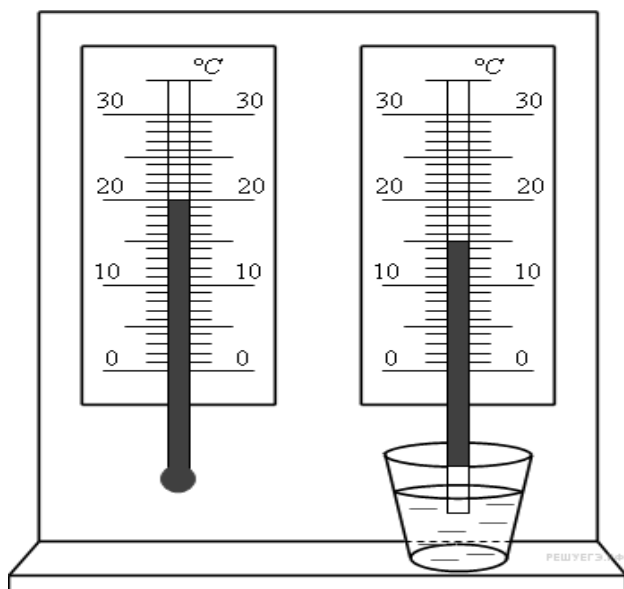
Если влажный воздух охлаждать, то при некоторой температуре находящийся в нем пар можно довести до насыщения. При дальнейшем охлаждении водяной пар начнет конденсироваться в виде росы.

### 1 вариант

1. На рисунке представлены два термометра, используемые для определения относительной влажности воздуха с помощью психрометрической таблицы, в которой влажность воздуха указана в процентах. Психрометрическая таблица представлена ниже.

	Разность показаний сухого и влажного термометров								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23
14	100	90	79	70	60	51	42	33	25
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32
18	100	91	82	73	64	56	48	41	34
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42

24	100	92	84	77	69	62	56	49	43
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44



Относительная влажность воздуха в помещении, в котором проводилась съемка, равна

2. Относительная влажность воздуха равна 42%, парциальное давление пара при температуре равно 980 Па. Давление насыщенного пара при заданной температуре равно (ответ округлить до целых)

3. Относительная влажность воздуха в цилиндре под поршнем равна 60%. Воздух изотермически сжали, уменьшив его объем в два раза. Относительная влажность воздуха стала:

4. В сосуде под поршнем находится ненасыщенный пар. Его можно перевести в насыщенный,

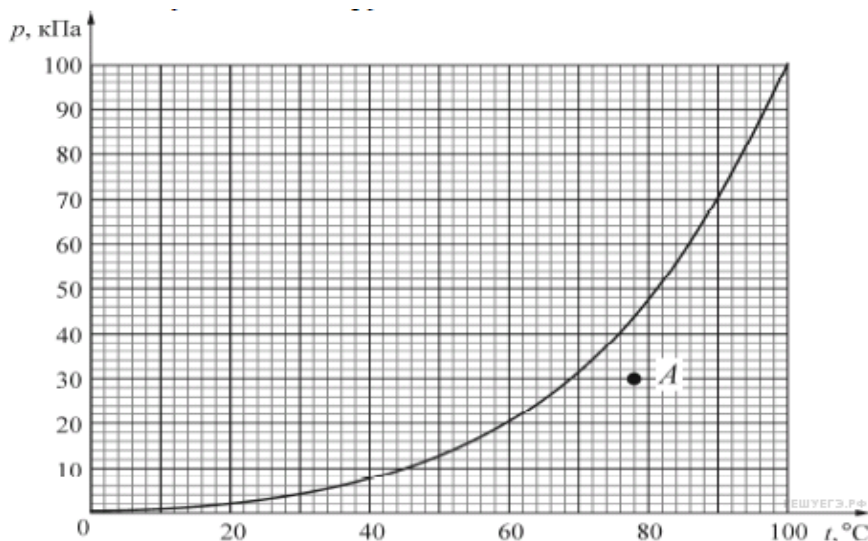
- 1) изобарно повышая температуру    2) добавляя в сосуд другой газ  
3) увеличивая объем пара            4) уменьшая объем пара

5. Относительная влажность воздуха в комнате равна 40%. Каково соотношение концентрации  $n$  молекул воды в воздухе комнаты и концентрации  $n_{н.п.}$  молекул воды в насыщенном водяном паре при той же температуре?

- 1)  $n$  меньше            в 2,5 раза            2)  $n$  больше            в 2,5 раза  
3)  $n$  меньше            на 40%                4)  $n$  больше            на 40%

6. Какова относительная влажность воздуха при температуре 20°C, если точка росы 12°C. Давление насыщенного водяного пара при 20°C равно 2,33 кПа, а при 12°C — 1,40 кПа. Ответ выразите в процентах и округлите до целых.

7. На рисунке изображена зависимость давления  $p$  насыщенного водяного пара от температуры  $T$ . Точкой  $A$  на этом графике обозначено состояние пара, находящегося в закрытом сосуде. Чему равна относительная влажность воздуха в этом сосуде? Ответ округлите до целого процента.



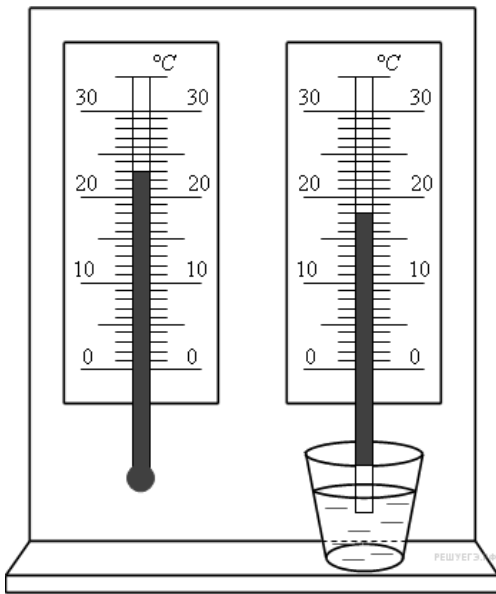
8. Относительная влажность воздуха в закрытом сосуде 30%. Какой будет относительная влажность, если объем сосуда при неизменной температуре уменьшить в 3 раза? (Ответ дать в процентах.)

9. Днем при температуре 19°C относительная влажность воздуха была 70%. Сколько воды в виде росы выделится из каждого кубического метра воздуха, если температура ночью понизилась до 7°C?

10. Относительная влажность водяного пара в сосуде при температуре  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  равна  $62\%$ . Какова плотность этого пара? (Ответ дать в  $\text{кг}/\text{м}^3$ , округлив до сотых долей.)

## 2 вариант

1. На рисунке представлены два термометра, используемые для определения относительной влажности воздуха с помощью психрометрической таблицы, в которой влажность указана в процентах. Психрометрическая таблица представлена ниже.



Какой была относительная влажность воздуха в тот момент, когда проводилась съемка? (Ответ дайте в процентах.)

	Разность показаний сухого и влажного термометров								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23
14	100	90	79	70	60	51	42	33	25
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32
18	100	91	82	73	64	56	48	41	34
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44

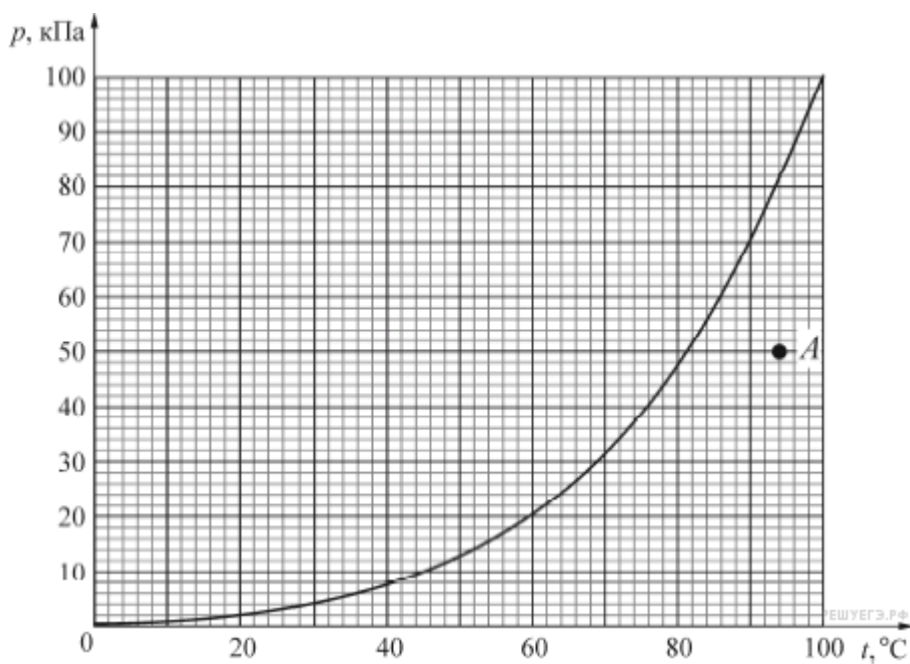
2. Давление насыщенного пара при температуре  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  равно  $1,71\text{ кПа}$ . Если относительная влажность воздуха равна  $59\%$  то каково парциальное давление пара при температуре  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? (Ответ дайте в паскалях.)

3. Относительная влажность воздуха в цилиндре под поршнем равна  $50\%$ . Воздух изотермически сжали, уменьшив его объем в 3 раза. Какова стала относительная влажность воздуха? (Ответ дать в процентах.)

4. В сосуде под поршнем находится ненасыщенный пар. Его можно перевести в насыщенный,

- 1) добавляя в сосуд другой газ
- 2) уменьшая объем пара
- 3) увеличивая объем пара
- 4) изобарно повышая температуру

5. Относительная влажность воздуха в комнате равна 40%. Чему равно отношение — концентрации молекул воды в воздухе комнаты к концентрации молекул воды в насыщенном водяном паре при той же температуре?
6. Какова относительная влажность воздуха при температуре 19 °С, если точка росы 7 °С? Давление насыщенного водяного пара при 19 °С равно 2,2 кПа, а при 7 °С — 1,00 кПа. Ответ выразите в процентах и округлите до целых.
7. Относительная влажность воздуха в закрытом сосуде 30 %. Какой станет относительная влажность, если объём сосуда при неизменной температуре уменьшить в 1,5 раза? (Ответ дать в процентах.)
8. В комнате при температуре 20 °С относительная влажность воздуха 20%. Сколько нужно испарить воды для увеличения влажности до 50%? Объем комнаты 40 м<sup>3</sup>.
9. Относительная влажность водяного пара в сосуде при температуре 100 °С равна 81 %. Какова плотность этого пара? Ответ выразите в кг/м<sup>3</sup> и округлите до сотых долей.
10. На рисунке изображена зависимость давления  $p$  насыщенного водяного пара от температуры  $T$ . Точкой А на этом графике обозначено состояние пара, находящегося в закрытом сосуде. Чему равна относительная влажность воздуха (в процентах) в этом сосуде? Ответ округлите до целого числа.



### Практическая работа № 13

**Тема:** Тепловое расширение тел

**Цели:** познакомить учащихся с основными типами задач и методами их решения.

**Ход занятия**

Прежде всего, рассматриваются силы взаимодействия атомов в твердом теле. Выясняется связь между потенциальной энергией и силами взаимодействия атомов. Вводятся понятия линейного и объемного коэффициентов расширения. Обсуждается необходимость учета теплового расширения при решении задач строительства, транспорта и машиностроения.

## Качественные вопросы

1. Почему атомы твердого тела находятся на вполне определенных расстояниях друг от друга?
2. Как объяснить расширение тел при нагревании?
3. Что такое коэффициент линейного расширения?
4. Что такое коэффициент объемного расширения?
5. Какова связь между коэффициентами линейного и объемного расширения?

## Примеры решения задач

**Задача 1.** Под действием подвешенного груза медная проволока диаметром 4 мм получила такое же удлинение, как при нагревании на 20 °С. Найти вес груза. Для меди:  $\alpha = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ;  $E = 10 \cdot 10^{10} \text{ Па}$ .

**Решение**

Удлинение, получаемое проволокой под действием веса груза, равно  $\Delta \ell = \frac{\ell P}{ES}$ ; удлинение, которое будет испытывать проволока при нагревании, равно  $\Delta \ell_1 = \alpha t \ell$ . По

условию  $\Delta \ell = \Delta \ell_1$ , тогда  $P = \alpha E S t = \frac{\pi d^2}{4} \alpha E t$ ;

$$P = \frac{3,14 \cdot (4 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot 10 \cdot 10^{10} \cdot 20 \cong 500 \text{ Н.}$$

**Ответ:**  $P = 500 \text{ Н}$ .

**Задача 2.** Железная линейка при 15 °С имеет длину 1 м. На сколько изменится длина линейки при охлаждении до -35 °С?  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

**Решение**

По закону линейного расширения

$$\ell_1 = \ell_0 [1 + \alpha(T_1 - T_0)], \quad (1)$$

$$\ell_2 = \ell_0 [1 + \alpha(T_2 - T_0)], \quad (2)$$

где  $\ell_2$  – длина линейки после ее охлаждения до температуры  $T_2$ ;  $\alpha$  – коэффициент расширения железа.

Тогда изменение длины линейки

$$\Delta \ell = \ell_1 - \ell_2 = \ell_0 [1 + \alpha(T_1 - T_0)] - \ell_0 [1 + \alpha(T_2 - T_0)] = \ell_0 \alpha (T_1 - T_2). \quad (3)$$

Найдя  $\ell_0$  из уравнения (1) и подставляя его в выражение (3), получаем

$$\Delta \ell = \frac{\alpha(T_1 - T_2)\ell_1}{1 + \alpha(T_1 - T_0)}. \quad (4)$$

Учитывая, что  $\alpha(T_1 - T_0) \ll 1$ , выражение (4) можно приближенно записать в виде

$$\Delta \ell \approx \alpha \ell_1 (T_1 - T_2) [1 - \alpha(T_1 - T_0)],$$

$$\Delta \ell \approx 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 1 \cdot (288 - 238) [1 - 1,2 \cdot 10^{-5} (288 - 273)] \approx 6 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

**Ответ:**  $6 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ .

**Задача 3.** Медная проволока, нагретая до температуры  $t_1 = 150^\circ \text{C}$ , натянута между двумя неподвижными стенками. При какой температуре, остывая, разорвется проволока (считать, что

закон Гука справедлив вплоть до разрыва проволоки)? Предел прочности меди  $\sigma_B = 2 \cdot 10^8$  Па.

Модуль Юнга  $E = 10 \cdot 10^{10}$  Па,  $\alpha = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$ .

**Решение**

Закон Гука для деформации растяжения:

$$\frac{\Delta \ell}{\ell_1} = \frac{1}{E} \sigma,$$

где  $\Delta \ell$  – удлинение проволоки при нагревании;  $\ell_1$  – ее первоначальная длина;  $E$  – модуль Юнга;  $\sigma$  – напряжение.

Для разрыва проволоки необходимо, чтобы  $\sigma \geq \sigma_B$ , где  $\sigma_B$  – предел прочности. Таким образом,

$$\frac{\Delta \ell}{\ell_1} = \frac{1}{E} \sigma_B. \quad (1)$$

При остывании длина проволоки изменяется по закону

$$\ell = \ell_1 (1 - \alpha \Delta t),$$

где  $\ell_1$  – длина проволоки при  $t_1 = 150^\circ \text{C}$ .

Отсюда

$$\Delta \ell = \ell_1 - \ell = \alpha \Delta t \ell_1;$$

$$\frac{\Delta \ell}{\ell_1} = \alpha \Delta t. \quad (2)$$

Приравнивая правые части (1) и (2), получаем

$$\frac{1}{E} \sigma_B = \beta \Delta t;$$

$$\Delta t = \frac{\sigma_B}{\alpha E} = \frac{2 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{11}} \approx 130^\circ \text{C}.$$

Температура, при которой разорвется проволока, равна

$$t = t_1 - \Delta t = 20^\circ \text{C}.$$

**Ответ:**  $t = t_1 - \Delta t = 20^\circ \text{C}$ .

**Задача 4.** На нагревание железного бруска израсходовано 1,68 МДж теплоты. Как изменился объем бруска?  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$ .

**Решение**

По закону объемного расширения,  $V = V_0 (1 + \beta \Delta T)$ , откуда

$$\Delta V = V - V_0 = V_0 \beta \Delta T \approx 3\alpha V_0 \Delta T.$$

Здесь  $\beta = 3\alpha$  – коэффициент объемного расширения железа, где  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения.

Количество теплоты, необходимое для нагревания бруска на  $\Delta T$ , равно

$$Q = cm\Delta T,$$

откуда  $\Delta T = Q/(cm)$ . Поскольку масса бруска  $m = \rho V_0$ , то

$$\Delta T = Q/(c\rho V_0).$$

Изменение объема бруска

$$\Delta V = \frac{V_0 3\alpha Q}{c\rho V_0} = \frac{3\alpha Q}{c\rho}; \quad \Delta V = \frac{3 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 1,68 \cdot 10^6}{0,46 \cdot 10^3 \cdot 7,8 \cdot 10^3} \text{ м}^3 \approx 1,69 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

**Ответ:**  $\Delta V \approx 1,69 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$

### ***Задания для самостоятельной работы***

#### Вариант 1

1. Насколько изменится длина кирпичного дома при повышении температуры на 80К, если первоначальная длина 100м и средний коэффициент линейного расширения кирпичной кладки равен  $6 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ ?
2. Внутри чугунной отливки имеется полость, объём которой при 10 °С равен 200см<sup>3</sup>. Найти объём этой полости при температуре 310 °С.
3. При отсутствии смазки и охлаждения двигателя внутреннего сгорания возможно заклинивание поршня в цилиндре. Объяснить это явление.

#### Вариант 2

1. Стеклянная капиллярная трубка имеет длину 50см при температуре 20<sup>0</sup> С. Определить длину этой трубки при температуре 60<sup>0</sup> С.
2. Внутри бронзовой отливки имеется полость, объём которой при 273 К равен 400см<sup>3</sup>. Определить объём этой полости при температуре 313К.
3. Почему металл не даёт трещин при резких колебаниях температуры, а камень при тех же условиях даёт трещины?

#### Вариант 3

1. Стальная трубка при температуре 273 К имеет длину 500мм. При нагревании её до 373К она удлинилась на 0,6мм. Определить средний коэффициент линейного расширения стали.
2. Площадь стекла, установленного в витрине магазина, равна 6 м<sup>2</sup> при температуре 273 К. На сколько увеличится площадь этого стекла при нагревании до 313К?
3. Почему не рекомендуется есть очень горячую пищу?

#### Вариант 4

1. Алюминиевая проволока при температуре 0 °С имеет длину 1м, насколько удлинится проволока при нагревании на 20 °С.
2. Площадь железной пластины при температуре 20 °С 0,5м<sup>2</sup>. Как изменится площадь этой пластины при температуре 30 °С.
3. Как изменится высота тона струны при повышении температуры окружающего воздуха?



## Практическая работа № 14

**Тема:** Закон Кулона

**Цель:** применять закон Кулона при решении задач

### Краткая теория:

#### Закон Кулона

Закон, который описывает силы электрического взаимодействия между зарядами, открыл в 1785 году **Шарль Кулон**, проводивший многочисленные опыты с металлическими шариками.

Одна из современных формулировок закона Кулона звучит следующим образом:

*«Сила взаимодействия между двумя точечными электрическими зарядами направлена вдоль прямой, соединяющей эти заряды, пропорциональна произведению их величин и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Если заряды разных знаков, то они притягиваются, а если одного – отталкиваются»*

Формула, иллюстрирующая данный закон:

---

$$\vec{F}_{12} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_{12}^2} \cdot \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}}$$

\*Второй множитель (в котором присутствует радиус-вектор) нужен исключительно для определения направления воздействия силы.

$F_{12}$  – сила, которая действует на 2-й заряд со стороны первого;

$q_1$  и  $q_2$ - величины зарядов;

$r_{12}$  – расстояние между зарядами;

$k$  – коэффициент пропорциональности:

$$k = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0}$$

$\epsilon_0$  – электрическая постоянная, иногда ее называют диэлектрической проницаемостью вакуума. Примерно равна  $8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м или Кл<sup>2</sup>/(Н·м<sup>2</sup>).

$\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды (для вакуума равна 1).

### Вариант 1

1. Как необходимо изменить расстояние между двумя точечными электрическими зарядами, если заряд одного из них увеличился в 2 раза? Сила их кулоновского взаимодействия осталась неизменной.

- 1) увеличить в 2 раза 3) увеличить в  $\sqrt{2}$  раз  
2) уменьшить в 2 раза 4) уменьшить в  $\sqrt{2}$  раз

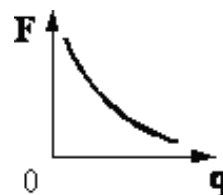
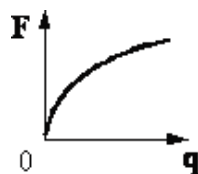
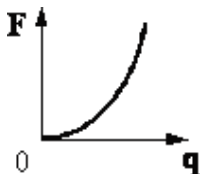
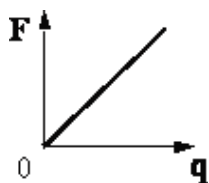
2. Какое утверждение о взаимодействии трех изображенных на рисунке заряженных частиц является правильным?



- 1) 1 и 2 отталкиваются, 2 и 3 притягиваются, 1 и 3 отталкиваются  
2) 1 и 2 притягиваются, 2 и 3 отталкиваются, 1 и 3 отталкиваются  
3) 1 и 2 отталкиваются, 2 и 3 притягиваются, 1 и 3 притягиваются  
4) 1 и 2 притягиваются, 2 и 3 отталкиваются, 1 и 3 притягиваются

3. Какой график соответствует зависимости силы взаимодействия  $F$  двух одинаковых точечных зарядов от модуля одного из зарядов  $q$  при неизменном расстоянии между ними?

1)



- 1)  
2)  
3)  
4)

4. Цинковая пластина, имеющая отрицательный заряд  $-10e$ , при освещении потеряла четыре электрона. Каким стал заряд пластины?

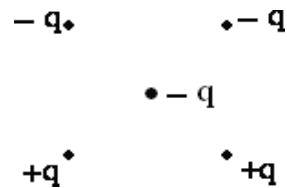
- 1)  $+6e$   
2)  $-6e$   
3)  $+14e$

4)  $-14e$

5. Как изменится сила кулоновского взаимодействия двух точечных зарядов, если расстояние между ними увеличить в 3 раза?

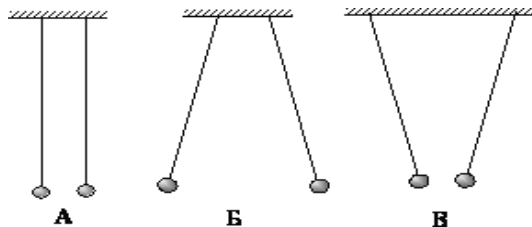
- 1) увеличится в 3 раза      3) уменьшится в 3 раза  
2) уменьшится в 9 раз      4) увеличится в 9 раз

6. Как направлена кулоновская сила  $\vec{F}$ , действующая на отрицательный точечный заряд, помещенный в центр квадрата, в вершинах которого находятся заряды:  $+q, +q, -q, -q$  (см. рисунок)?



- 1)  $\rightarrow$   
2)  $\leftarrow$   
3)  $\uparrow$   
4)  $\downarrow$

7. Два легких одинаковых шарика подвешены на шелковых нитях. Шарики зарядили разноименными зарядами. На каком из рисунков изображены эти шарики?



- 1) А      3) В  
2) Б      4) Б и В

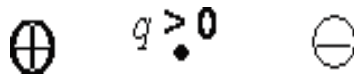
8. К стержню положительно заряженного электроскопа поднесли, не касаясь его, стеклянную палочку. Листочки электроскопа опали, образуя гораздо меньший угол. Такой эффект может наблюдаться, если палочка

- 1) заряжена положительно      3) имеет заряд любого знака  
2) заряжена отрицательно      4) не заряжена

9. Два точечных заряда действуют друг на друга с силой 12 Н. Какой будет сила взаимодействия между ними, если уменьшить величину каждого заряда в 2 раза, не меняя расстояния между ними?

- 1) 3 Н                    3) 24 Н  
2) 6 Н                    4) 48 Н

10. Точечный положительный заряд  $q$  помещен между разноименно заряженными шариками (см. рисунок). Куда направлена равнодействующая кулоновских сил, действующих на заряд  $q$ ?



- 1) →  
2) ↓  
3) ↑  
4) ←

### Вариант 2

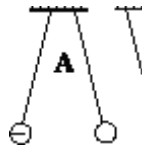
1. Расстояние между двумя точечными электрическими зарядами увеличили в 3 раза, а один из зарядов уменьшили в 3 раза. Сила электрического взаимодействия зарядов

- |    |                      |
|----|----------------------|
| 1) | не изменилась        |
| 2) | уменьшилась в 3 раза |
| 3) | увеличилась в 3 раза |
| 4) | уменьшилась в 27 раз |

2. Два точечных электрических заряда действуют друг на друга с силами 9 мкН. Какими станут силы взаимодействия между ними, если, не меняя расстояние между зарядами, увеличить модуль каждого из них в 3 раза?

- 1) 1 мкН  
2) 3 мкН  
3) 27 мкН  
4) 81 мкН

3. На рисунке изображены три пары одинаковых легких шариков, заряды которых равны по модулю. Шарики подвешены на шелковых нитях. Знак заряда одного из шариков каждой пары указан на рисунке. В каком(-их) случае(-ях) заряд другого шарика положителен?

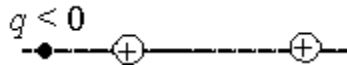


- 1) только А  
2) Б и В  
3) только Б  
4) А и В

4. Пылинка, имевшая отрицательный заряд  $-2e$ , потеряла один электрон. Каким стал заряд пылинки?

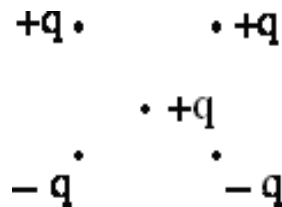
- 1)  $-3e$

- 2)  $+e$
- 3)  $-e$
- 4)  $+3e$



5. Точечный отрицательный заряд  $q$  помещён слева от неподвижных положительно заряженных шариков (см. рисунок). Куда направлена равнодействующая кулоновских сил, действующих на заряд  $q$ ?

- 1)  $\uparrow$
- 2)  $\downarrow$
- 3)  $\rightarrow$
- 4)  $\leftarrow$



6. Как направлена кулоновская сила  $\vec{F}$ , действующая на положительный точечный заряд, помещенный в центр квадрата, в вершинах которого находятся заряды:  $+q$ ,  $+q$ ,  $-q$ ,  $-q$  (см. рисунок)?

- 1)  $\rightarrow$
- 2)  $\leftarrow$
- 3)  $\uparrow$
- 4)  $\downarrow$

7. Сила кулоновского взаимодействия двух точечных зарядов

- 1) прямо пропорциональна расстоянию между ними
- 2) обратно пропорциональна расстоянию между ними
- 3) прямо пропорциональна квадрату расстояния между ними
- 4) обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними

8. Сила взаимодействия между двумя точечными зарядами равна  $F$ . Какой она будет, если величину каждого из зарядов увеличить в 3 раза и расстояние между ними также увеличить в 3 раза?

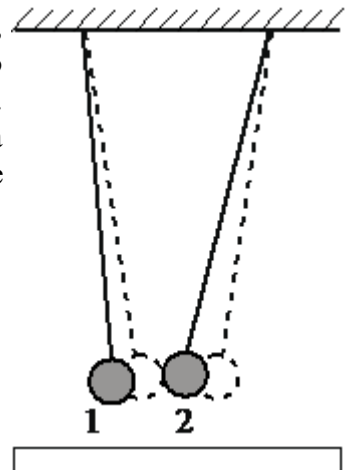
- 1)  $9F$
- 2)  $3F$
- 3)  $F$

4) 13 F

9. К шару положительно заряженного электрметра поднесли, не касаясь его, заряженную палочку. Стрелка электрметра повернулась так, что угол между ней и стержнем электрметра уменьшился. Такой эффект можно наблюдать, если палочка

- 1) заряжена отрицательно
- 2) заряжена положительно
- 3) имеет заряд любого знака
- 4) заряжена положительно и величина заряда палочки больше заряда электрметра

10. К двум одинаковым лёгким металлическим шарикам, подвешенным на изолирующих нитях, подносят снизу отрицательно заряженную широкую пластинку. В результате положение шариков изменяется так, как показано на рисунке (пунктирными линиями указано первоначальное положение нитей). Каковы знаки зарядов шариков?



- 1) Оба шарика заряжены положительно.
- 2) Оба шарика заряжены отрицательно.
- 3) Первый шарик заряжен положительно, а второй – отрицательно.
- 4) Первый шарик заряжен отрицательно, а второй – положительно.

## Практическая работа № 15

**Тема: Расчет ёмкости батареи конденсаторов**

**цель:-** изучить распределение напряжений, зарядов в схемах с последовательным и параллельным соединением конденсаторов

-определять эквивалентную ёмкость, заряд и энергию батареи конденсаторов по схеме. Определить напряжения и заряды на конденсаторах.

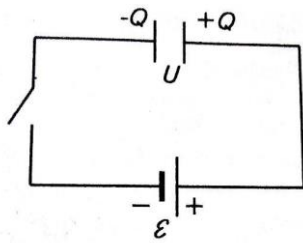
### Теоретическое обоснование

Конденсатор – система двух проводников (обкладок) разделённых слоем диэлектрика. Служит для накопления (конденсации) разделённых зарядов.

Плоский конденсатор – две плоские металлические пластины, расположенные параллельно и разделённые слоем диэлектрика. Обозначение конденсатора на электрических схемах соответствует его принципиальному устройству.

Ёмкость конденсатора показывает, как много заряда может «натечь» в конденсатор, подключённый к источнику, разделяющему заряды.

Если это источник ЭДС равный  $\mathcal{E}$ , то при соединении конденсатора и источника тока по схеме, рисунок 1, натекание заряда прекратиться,



когда напряжение на обкладках станет равно  $U = \varepsilon$

Коэффициент пропорциональности между зарядом на конденсаторе  $Q$  и разностью потенциалов  $U$  на его обкладках называется электрической ёмкостью конденсатора  $C$ . Заряд на обкладках конденсатора тем больше, чем больше ЭДС источника

Важнейшей характеристикой любого конденсатора является его электрическая ёмкость  $C$  – физическая величина, равная отношению заряда  $Q$  конденсатора к разности потенциалов  $U$

между его обкладками:  $C = \frac{Q}{U}$

Выражается в СИ в фарадах (Ф).

$$1 \text{ фарада} = 1 \text{ Ф} = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ В}}$$

Ёмкость реальных конденсаторов гораздо меньше, и для её измерения обычно используют более мелкие единицы: 1 микрофарада (мкФ),

1 нанофарада (нФ), 1 пикофарада (пФ)

Эквивалентной ёмкостью батареи конденсаторов называют такую ёмкость

$C_{\text{общ}}$  которая при подключении к тому же источнику тока принимает на себя такой же заряд, что и батарея конденсаторов.

Два конденсатора соединены параллельно, если обкладки обоих попарно соединены друг с другом, рисунок 2

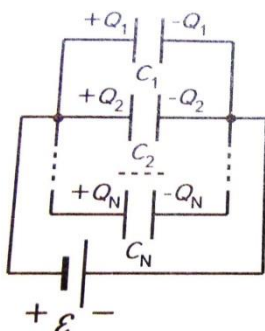
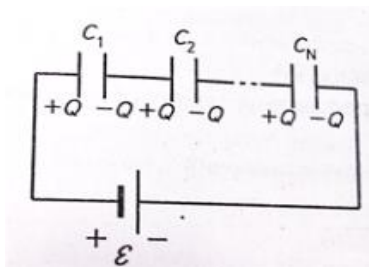


Рисунок 2 Рисунок 4

У параллельного соединения конденсаторов ёмкости и заряды складываются, рисунок 2:

$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + \dots + C_N$$

$$Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N$$

$$U_1 = U_2 = \dots = U_N$$

$$U_{\text{общ}} = U_1 + U_2 + \dots + U_N$$

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q_N$$

$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N}$$



Для последовательного соединения конденсаторов, рисунок 4.

На практике конденсаторы включают только параллельно, можно представить это так, как будто площади их пластин складываются, складываются и их ёмкости. Последовательное соединение не имеет практического смысла, знание сложения необходимо только при анализе цепей переменного тока.

**Энергия конденсатора.** При зарядке конденсатора между обкладками скапливаются разделённые заряды (энергия электрического поля)

$$W_C = \frac{CU^2}{2} = \frac{Q^2}{2C}$$

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

1. Что такое эквивалентная ёмкость батареи конденсаторов?
2. Что значит, если два конденсатора соединены параллельно, последовательно?
3. Как рассчитываются ёмкости и заряды при параллельном и последовательном соединении конденсаторов?
4. Как рассчитывается энергия конденсатора?
5. Что значит закоротить конденсатор?
6. В каком случае необходимо применять последовательное соединение конденсаторов?
7. Что является важной характеристикой конденсатора, как технического устройства?
8. Где используется конденсатор?
9. Виды конденсаторов.

**Задание 1**

Вычертить схему №1 с учётом данных в таблице для своего варианта.

Определить эквивалентную ёмкость  $C$ , заряд  $Q$  батареи и энергию  $W$ , накопленную батареей.

Вычислить напряжение и заряд на каждом конденсаторе. Как изменятся найденные величины, если один из конденсаторов закоротить? Напряжение на зажимах цепи  $U$ , взять из таблицы №1



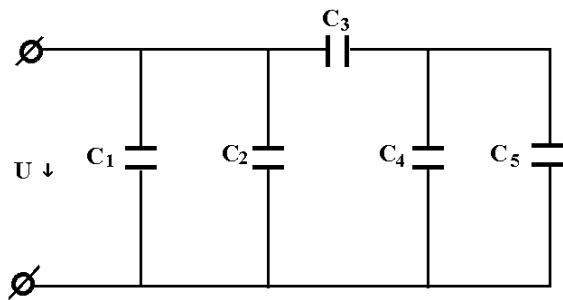


Схема №1

Таблица №1

№ варианта	U В	C <sub>1</sub> мкФ	C <sub>2</sub> мкФ	C <sub>3</sub> мкФ	C <sub>4</sub> мкФ	C <sub>5</sub> мкФ	Закоротить конденсатор
1	150	10	20	30	60	-	C4
2	60	20	-	90	15	30	C3
3	150	15	15	30	20	40	C5
4	60	-	20	90	40	5	C3
5	150	20	10	30	-	60	C5
6	60	10	10	90	45	-	C4
7	150	30	-	30	10	50	C3
8	60	-	20	90	25	20	C5
9	150	-	30	30	30	30	C4
10	60	15	20	90	-	45	C5
11	150	10	5	45	25	15	C3
12	60	15	45	15	10	20	C4

### Практическая работа № 16

**Тема:** Закон Ома для участка цепи. Расчёт сопротивления проводника

**Цель:** применять закон Ома для участка цепи и формулы сопротивления проводника при решении задач, развивать логическое мышление

#### Основные формулы:

Сила тока:  $I = \frac{q}{t}$ .

Плотность тока:  $j = \frac{I}{S}$ ,  $j = qnV$ .

Закон Ома для однородного участка цепи:  $I = \frac{U}{R}$ .

Сопротивление проводника:  $R = \rho \frac{\ell}{S}$ .

Зависимость удельного сопротивления от температуры:  $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$ .

$$I = \frac{(\phi_1 - \phi_2) \pm \varepsilon_{12}}{R + r}$$

Закон Ома для неоднородного участка цепи:

Сила тока короткого замыкания:  $I = \frac{\varepsilon}{r}$ .

Закон Ома для замкнутой цепи:  $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$ .

Работа электрического поля на участке цепи:  $A = IUt = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} t$ .

Закон Джоуля-Ленца:  $Q = I^2 Rt$ .

Мощность тока:  $P = I U$ .

Полная мощность, выделяемая в цепи:  $P = I \cdot \varepsilon$ .

Первый закон Кирхгофа:  $\sum I_i = 0$ .

Второй закон Кирхгофа:  $\sum I_i R_i = \sum \varepsilon_i$

### Вариант 1

1. Определите площадь поперечного сечения и длину никелинового провода, затраченного на изготовление реостата, если при допустимой плотности электрического тока  $5,0 \cdot 10^6$  А/м<sup>2</sup> он рассчитан на напряжение 12 В и силу тока 2,0 А.
2. Как изменится сопротивление проводника, если его длину и площадь поперечного сечения увеличить в 2 раза? Дать объяснение.
3. Определите силу тока в контактном проводе трамвайной сети, если за 5 с через поперечное сечение проводника проходит  $1,55 \cdot 10^{22}$  свободных электронов.
4. Что такое сопротивление проводника?
5. Определить напряжение в проводнике. Сопротивление 0,5 Ом, сила тока 5А.

### Вариант 2

1. Определите температуру накала вольфрамовой нити лампы, если при включении ее в сеть с напряжением 220 В через лампу проходит ток 0,67А. электрическое сопротивление нити накала этой лампы в холодном состоянии при 0°С равно 36 Ом..
2. Как изменится сопротивление проводника, если его длину и площадь поперечного сечения увеличить в 2 раза? Дать объяснение.
3. Определите силу тока в контактном проводе трамвайной сети, если за 5 с через поперечное сечение проводника проходит  $1,55 \cdot 10^{22}$  свободных электронов.
4. Что такое сопротивление проводника?
5. Определить напряжение в проводнике. Сопротивление 0,5 Ом, сила тока 5А.

### Вариант 3

1. Не разматывая с катушки покрытую изоляцией нихромовую проволоку, определите ее длину, если при включении катушки с напряжением 120 В, в ней возникнет ток 1,2А. сечение проволоки  $5,5 \cdot 10^{-7}$  м<sup>2</sup>.
2. Чему равна сила тока, протекающего по медному проводнику сечением  $1,0 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>, если скорость направленного движения электронов равна  $1,0 \cdot 10^{-4}$  м/с, а их концентрация составляет  $8,2 \cdot 10^{28}$  1/м<sup>3</sup>?
3. Через поперечное сечение проводника за 5 с проходит заряд электричества 30 Кл. определите величину силы тока.
4. Что такое электрический ток?
5. От чего зависит сопротивление проводника?

### Вариант 4

1. При температуре  $20^{\circ}\text{C}$  сопротивление обмотки двигателя, выполненной из медной проволоки равно  $0,15\ \text{Ом}$ . В процессе работы электродвигателя сопротивление обмотки увеличилось до  $0,17\ \text{Ом}$ . Определите, до какой температуры нагрелась обмотка двигателя.
2. От чего зависит удельное сопротивление проводника?
3. Определите величину заряда прошедшего через поперечное сечение проводника за час. Сила тока постоянная и равна  $10\text{А}$ .
4. Что такое явление сверхпроводимости?
5. что такое сопротивление проводника?

## Практическая работа № 17

**Тема:** Расчёт эквивалентного сопротивления разветвлённой цепи.

**Цель работы:** Определить общий ток и токи в ветвях при смешанном соединении приемников электрической энергии. Определить эквивалентное сопротивление. Проверить баланс мощности рассматриваемой цепи.

**Теория:**

**Неразветвленная электрическая цепь** это последовательное соединение приемников электрической энергии.

**Последовательным** называется такое соединение приемников электрической энергии, при котором по всем элементам протекает один и тот же ток.

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Эквивалентное сопротивление цепи равно сумме сопротивлений последовательно включенных резисторов :  $R_{\text{экв}} = R_1 + R_2 + R_3$

**Эквивалентным** называется такое сопротивление, которое будучи включенным вместо данных резисторов, не изменяет режима работы электрической цепи.

Закон Ома для всей замкнутой цепи имеет вид:

$$I = U / (R_1 + R_2 + R_3) \quad I = U / R_{\text{экв}}$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \text{ – уравнение баланса мощностей.}$$

Общая мощность равна сумме мощностей последовательно включенных резисторов.

Мощности на последовательно включенных резисторах распределяются прямо пропорционально сопротивлениям резисторов.

Напряжение на последовательно включенных резисторах распределяется прямо пропорционально сопротивлениям резисторов.

**Разветвленная электрическая цепь** это параллельное соединение приемников электрической энергии.

**Параллельным** называется такое соединение приемников электрической энергии, при котором на зажимах всех элементов имеется одно и то же напряжение.

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

Согласно первого закона Кирхгофа:  $I = I_1 + I_2 + I_3$

Обратная величина эквивалентного сопротивления равна сумме обратных величин сопротивлений резисторов, включенных параллельно:  $1/R_{\text{экв}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$

Величина обратная сопротивлению является проводимостью.

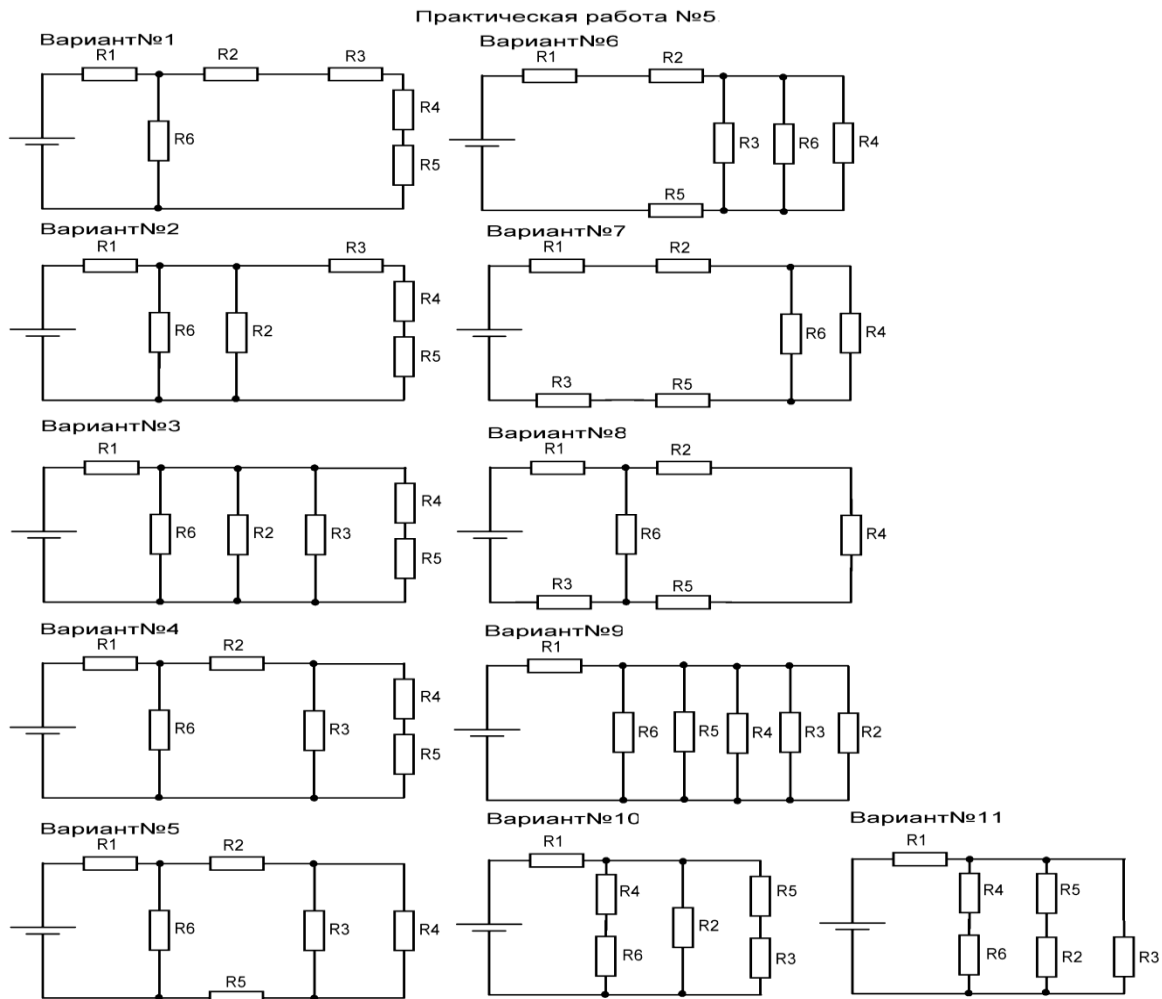
$$G_{\text{экв}} = 1/R_{\text{экв}} \quad G_{\text{экв}} = G_1 + G_2 + G_3$$

Эквивалентное сопротивление двух резисторов, включенных параллельно, определяется по формуле:  $R_{\text{экв}} = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$

**Смешанное соединение** – это такое соединение, при котором в электрической схеме имеются одновременно участки с последовательно и параллельно включенными элементами. К этим участкам применяются формулы последовательного и параллельного соединения приемников электрической энергии, а данный метод называется методом эквивалентного сопротивления или методом «свертывания».

**Задание:**

1. В практической работе необходимо определить общий ток и токи в ветвях при смешанном соединении приемников электрической энергии. Определить эквивалентное сопротивление. Проверить баланс мощности рассматриваемой цепи.
2. Начертить принципиальную схему своего варианта.



## Практическая работа № 18

### Тема: Работа и мощность тока

**Цель:** научиться применять формулы и законы изученной темы для решения задач, научиться оценивать реальность полученных результатов.

#### Выполните задания.

**Задание 1.** Ответьте на вопросы и выполните задания:

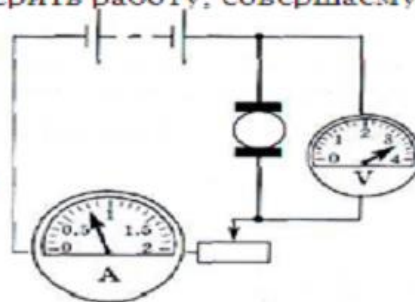
1. Как вычислить работу электрического тока?
2. Единицы работы в СИ\_
3. Что называют мощностью?

4. Как обозначают электрическую мощность? \_
5. Как вычислить мощность? \_
6. Единицы мощности в СИ\_
7. Существует ли прибор для измерения мощности? \_\_\_\_\_

**Задание 2.**

1. Как можно выразить работу через такие физические величины?  
 2. С помощью каких приборов можно измерить работу, совершаемую электрическим током?

3. Рассчитайте мощность тока в электродвигателе, используя показания приборов, изображенных на рисунке. Как она изменится при перемещении ползунка реостата вправо?



4. Запишите формулы для расчета мощности, в которые входят  
 а) сила тока и сопротивление;  
 б) напряжение и сопротивление.

5. В электрические цепи, изображенные на рисунке, включены одинаковые лампы, но в первой цепи — последовательно, а во второй — параллельно. При каком соединении этих ламп мощность тока в них будет больше? Напряжение на источнике тока в обеих цепях одинаково.



**Задание 3.** Решить задачи:

№1

Два проводника одинакового сопротивления соединены сначала последовательно, а потом параллельно и в обоих случаях включены под напряжение 4 В. В каком случае работа тока за 1 с будет больше и во сколько раз? \_

№2

В цепь напряжением 120 В включена электрическая лампа, сила тока в которой 0,5 А. Найдите мощность тока в лампе. \_

**Задание 4.**

1. Укажите формулу для расчета работы электрического тока?

А)  $A = F \cdot S$ ; Б)  $A = IUt$ ; В)  $N = \frac{A}{t}$ .

2. Укажите основную единицу измерения мощности электрического тока.

А) Ампер; Б) Джоуль; В) Ватт; Г) Вольт.

3. По какой формуле определяется мощность электрического тока?

А)  $A = IUt$ ; Б)  $P = IU$ ; В)  $I = \frac{U}{R}$ ; Г)  $Q = I^2 Rt$ .

4. Какая физическая величина определяется формулой  $Q = I^2 Rt$ ?

А) мощность электрического тока;

Б) количество теплоты, выделяющееся при прохождении электрического тока на участке цепи за время  $t$ ;

В) количество электрического заряда, протекающего в цепи за время  $t$ ;

Г) количество теплоты, выделяющееся за время  $t$ .

5. Во сколько раз увеличится или уменьшится количество теплоты, выделяемое в электрической плитке, если ток через ее спираль увеличить вдвое?

А) увеличится в 2 раза; Б) уменьшится в 2 раза;

В) увеличится в 4 раза; Г) уменьшится в 4 раза.

6. В елочной гирлянде последовательно включают несколько ламп. Затем в нее еще включают одну лампу последовательно. Как изменится работа электрического тока за один час?

А) увеличится; Б) не изменится; В) уменьшится.

7. Как включаются автоматы, отключающие при перегрузках электрическую сеть квартиры, последовательно или параллельно?

А) параллельно; Б) последовательно;

В) один последовательно, другой параллельно.

8. Какова мощность электрического тока в электроплите при напряжении 220 В и силе тока 2 А?

А) 100 Вт; Б) 440 Вт; В) 4 кВт; Г) 0,01 Вт.

9. Определите работу электрического тока в электроплите за 2 мин, если мощность 400 Вт.

А) 48 кДж; Б) 800 Дж; В) 200 Дж; Г) 3,3 Дж.

10. Электрический паяльник рассчитан на напряжение 127 В и силу тока 0,5 А. Вычислите работу тока за 10 мин.  
 А) 2 кДж; Б) 40 кДж; В) 38,1 кДж; Г) 1,5 кДж.
11. За какое время ток 4 А совершит работу 35,2 кДж при напряжении 220 В?  
 А) 2 с; Б) 40 с; В) 38 с; Г) 1,5 с.
12. Какую работу совершает стиральная машина за 2 часа работы, мощность электродвигателя которой 400 Вт?  
 А) 0,45 кВт · ч; Б) 100 кВт · ч; В) 0,8 кВт · ч; Г) 200 кВт · ч.
13. На паспорте электроплиты, включенной в электросеть, имеется надпись «0,56 кВт, 220 В». Чему равна сила тока в сети?  
 А) 2,55 А; Б) 58,4 А; В) 0,25 А; Г) 5 А.
14. В электрическом двигателе сила тока 30 А, мощность 3,6 кВт. Вычислите напряжение на клеммах двигателя.  
 А) 0,12 В; Б) 108 В; В) 108 кВт; Г) 120 В.
15. За какое время электроплита мощностью 800 Вт расходует 1 кВт · ч энергии?  
 А) 75 мин; Б) 100 мин; В) 10 мин; Г) 20 мин.
16. От каких физических величин зависят показания электросчетчика в квартире?  
 А) только от силы тока в цепи; Б) от силы тока и напряжения;  
 В) от силы тока, напряжения и времени прохождения тока; Г) от напряжения.
17. Определите стоимость израсходованной энергии при использовании телевизором в течение полутора часов. Потребляемая мощность 220 Вт, а стоимость 1 кВт · ч равна 20 руб.  
 А) 60 коп; Б) 30 коп; В) 20 коп; Г) 13,2 коп.

## Практическая работа № 19

**Тема:** КПД установки с электрическим нагревателем

**Цель работы:** рассчитать тепловую отдачу нагревателя

**Приборы и материалы:** сосуд с водой, внутренний сосуд от калориметра, спираль, измерительный цилиндр, термометр, часы, источник тока, амперметр, вольтметр.

**Указания к работе:**

1. В сосуд от калориметра налейте воду массой 100 г комнатной температуры и измерьте эту температуру. Затем опустите в воду спираль, включите ток и нагревайте воду в течение 10-15 минут. Определите показания амперметра и вольтметра, присоединённого к клеммам спирали.

2. Результаты всех измерений занесите в таблицу:

Масса воды $m$ , кг	Начальная температура воды $t_1$ , °C	Конечная температура воды $t_2$ , °C	Время нагревания $\tau$ , с	Сила тока $I$ , А	Напряжение $U$ , В	Мощность $P$ , Вт	Работа тока $A$ , Дж	Количество теплоты $Q$ , Дж	КПД, %
---------------------	---------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------	-------------------	--------------------	-------------------	----------------------	-----------------------------	--------

3. Используя данные таблицы, вычислите:

- мощность тока в спирали, зная силу тока и напряжение на ней;
- работу тока, зная мощность спирали и время нагревания;
- количество теплоты, полученное водой;
- тепловую отдачу нагревателя.

Тепловой отдачей нагревателя называют отношение количества теплоты, полученного водой, к работе, совершённой током. ( $\eta = \frac{Q}{A}$ )

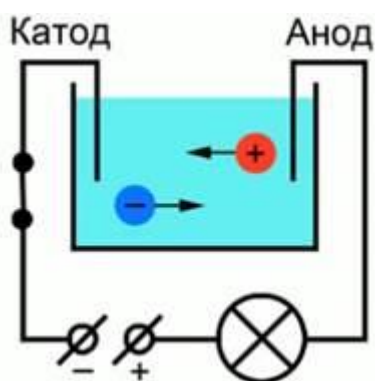
## Практическая работа № 20

**Тема: Электрический ток в жидкостях**

**цель:** создать условия для осознания и осмысления нового учебного материала средствами системы заданий и вопросов уровня характера для организации познавательной деятельности обучающихся.

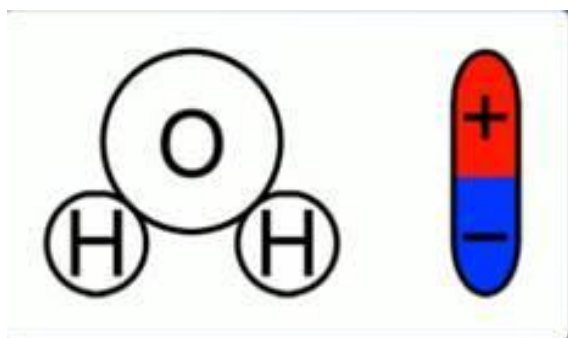
**Теоретический материал**

Для лучшего понимания процесса проводимости тока в жидкостях, можно представить следующий опыт: в ванну с дистиллированной водой поместим две металлические пластины (электроды: катод и анод), подключенные к источнику тока, в цепи в качестве индикатора тока можно взять лампочку. Если замкнуть такую цепь, лампа гореть не будет, что означает отсутствие тока, а это значит, что в цепи есть разрыв, и вода сама по себе ток не проводит. Оказывается, раствор сахара в воде тоже ток не проводит. Но если в ванную поместить некоторое количество NaCl – поваренной соли – и повторить замыкание, то лампочка загорится. Это значит, что в ванной между катодом и анодом начали упорядоченно двигаться свободные носители заряда (сл.1). Упорядоченное движение заряженных частиц называется электрическим током. В металлах заряженные частицы – электроны. Какие же заряженные частицы есть в растворе?



Откуда берутся свободные заряды?

Как было сказано в одном из предыдущих занятий, некоторые диэлектрики – полярные. Вода имеет как раз-таки полярные молекулы (сл. 2).



Полярность молекулы воды



При внесении в воду соли молекулы воды ориентируются таким образом, что их отрицательные полюса находятся возле натрия, положительные – возле хлора. В результате взаимодействий между зарядами молекулы воды разрывают молекулы соли на пары разноименных заряженных частиц. Такие частицы называются ионами. Ион - это заряженная частица, в которую превращается атом или молекула, потеряв (присоединив) один или несколько электронов. Ион натрия имеет положительный заряд, ион хлора – отрицательный (сл. 2). Именно эти ионы и будут двигаться между электродами под действием электрического поля.

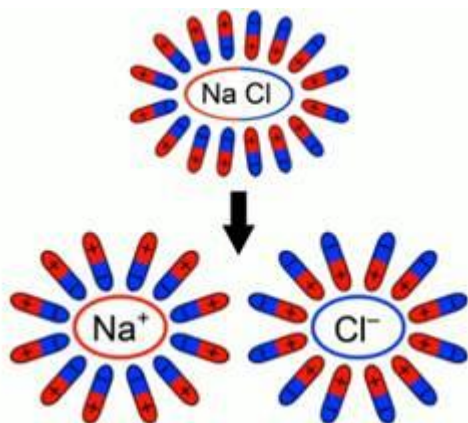


Схема образования свободных ионов

При подходе ионов натрия к катоду он получает свои недостающие электроны, ионы хлора при достижении анода отдают свои.

Проводят электрический ток не только водные растворы солей, но и щелочей и кислот. Вещества, растворы которых проводят электрический ток, называются электролитами.

**Значит, электролиты – это водные растворы солей, кислот, щелочей, а также расплавы некоторых солей и оснований, проводящие электрический ток**

**Носителями заряда в электролитах являются- положительные и отрицательные ионы.**

Ионы обоих знаков появляются в водных растворах солей, кислот и щелочей в результате расщепления части нейтральных молекул.

Это явление называется электролитической диссоциацией.

**Итак, процесс распада электролита на ионы под действием растворителя, называется электролитической диссоциацией.**

Растворы сахара, спирта, глюкозы и некоторых других веществ не проводят электрический ток.  
Вывод: ток в электролитах - это упорядоченное движение положительных и отрицательных ионов

При прохождении электрического тока через электролит наблюдается выделение веществ, входящих в электролит, на электродах.

**Электролиз - это явление выделения на электродах веществ, входящих в состав электролита, при протекании через него электрического тока.**

В 1834 г. английский физик Майкл Фарадей опытным путем установил, что за определенное время ток всегда выделяет из раствора электролита одно и то же количество данного химического элемента.

Таким образом, ученый сформулировал закон, который назвали первым законом Фарадея:  $m = k I \Delta t$ . Масса вещества, выделяющегося на электроде при электролизе, пропорциональна силе тока  $I$  и времени  $\Delta t$  его прохождения. Если вспомнить формулы из темы о постоянном токе:

$I = \Delta q / \Delta t$  То можно представить первый закон Фарадея в виде:  $m = k \Delta q$ . (масса  $m$  выделившегося на электроде вещества

пропорциональна прошедшему через электролит заряду  $\Delta q$  и времени  $\Delta t$  прохождения тока).

$$m = k I \Delta t = k \Delta q.$$

$k$  – электрохимический эквивалент вещества. Как вы думаете от чего он будет зависеть? В

$$[k] = \frac{[\Delta m]}{[q]} = \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$$

чем измеряется?

Если  $k$  зависит от вещества, где его можно найти? Откроем страницу 108 вашего учебника.

Чему равен  $k$  хлора, серебра, меди?

Второй закон Фарадея непосредственно касается измерения электрохимического эквивалента через другие константы для конкретно взятого электролита:

$$k = \frac{M}{e \cdot n \cdot N_A}$$

Здесь:  $M$  – молярная масса электролита ( $M = A \cdot 10^{-3}$  кг/моль, атомная масса);  $e$  – элементарный заряд;  $n$  – валентность электролита;  $N_A$  – число Авогадро.

$F = e N_A$  – **постоянная Фарадея**.

$$F = e N_A = 9,65 \cdot 10^4 \text{ Кл / моль.}$$

Исходя из второго закона Фарадея, первый закон можно представить в виде:

$$\Delta m = \frac{M}{e \cdot n \cdot N_A} \cdot I \cdot t$$

или  $m = \frac{M}{F n} \cdot I \cdot t$

### Задания для самостоятельной работы

#### 1 вариант

- 1) Какая из перечисленных жидкостей является электролитом?
  - А) Дистиллированная вода
  - Б) Расплавленный селен
  - В) Раствор кислоты
- 2) Выделение вещества на электроде при пропускании через электролит тока, называется.....
- 3) Как называется положительный электрод?
- 4) Сформулируйте 1 закон Фарадея. Запишите формулу.
- 5) Определите массу алюминия, выделившегося за 10ч на электроде, если сила тока в электролитической ванне равна 1А (электрохимический эквивалент алюминия равен  $0,093 \cdot 10^{-6}$  кг/Кл).
- 6) Сколько времени длилось хромирование, если на изделие осел слой хрома массой 0,864г? Сила тока равна 4А, электрохимический эквивалент хрома  $0,18 \cdot 10^{-6}$  кг/Кл.
- 7) В результате электролиза из раствора  $\text{CuSO}_4$  выделилось 1,65г меди (электрохимический эквивалент меди равен  $0,33 \cdot 10^{-6}$  кг/Кл). Чему равен электрический заряд, прошедший через раствор?

#### 2 вариант

1) Какая из перечисленных жидкостей является электролитом?

- А) Раствор соли
- Б) Расплавленный селен
- В) Дистиллированная вода

2) Распад молекул на ионы под действием растворителя, называется.....

3) Как называется отрицательный электрод?

4) Сформулируйте 2 закон Фарадея. Запишите формулу.

5) Определите массу цинка, выделившегося за 5ч на электроде, если сила тока в электролитической ванне равна 2А (электрохимический эквивалент цинка равен  $0,34 \cdot 10^{-6}$  кг/Кл).

6) Сколько времени длилось хромирование, если на изделие осел слой хрома массой 0,925г? Сила тока равна 3А, электрохимический эквивалент хрома  $0,18 \cdot 10^{-6}$  кг/Кл.

7) В результате электролиза из раствора  $\text{CuSO}_4$  выделилось 2,65г меди (электрохимический эквивалент меди равен  $0,33 \cdot 10^{-6}$  кг/Кл). Чему равен электрический заряд, прошедший через раствор?

## Практическая работа № 23

**Тема: Электрический ток в полупроводниках»**

**цель:** создать условия для осознания и осмысления нового учебного материала средствами системы заданий и вопросов уровня характера для организации познавательной деятельности обучающихся.

Задание №1 Найдите пару

Основной вопрос	Ответ
1. Собственная проводимость полупроводников...	а) Тем больше, чем меньше температура.
2. Сопротивление полупроводников...	б) Полупроводники n-типа
3. Донорная примесь позволяет получать...	в) Электронно-дырочная.
4. Акцепторная примесь позволяет получать...	г) Полупроводники p-типа
5. Электрический ток в полупроводниках - это...	д) Направленное движение электронов и дырок

Задание №2 Ответьте на два вопроса

Будет ли кремний сверхпроводящим, если его охладить до температуры, близкой к абсолютному нулю? Что можно сделать, чтоб увеличить проводимость кремния? Ответы обоснуйте.

3. Решите первую или вторую задачу или решите обе задачи.

Задача №1	Задача №2
В четырехвалентный кремний	Доказать рассуждением, что соединение InAs

добавили первый раз трехвалентный индий, а во второй раз трехвалентный индий, а во второй раз пятивалентный фосфор, каким типом проводимости в основном будет обладать полупроводник в каждом случае? Ответ обоснуйте.	(арсенид индия) в котором количества (в молях) индия и мышьяка одинаковы, обладает проводимостью типа собственной проводимости элементов четвертой группы (Ge, Si). Какого типа будет проводимость при увеличении концентрации индия? мышьяка? Ответы обоснуйте.
--	--

4. Выполните первое или второе задание, или выполните оба задания

Задание №1	Задание №2
- Почему сопротивление полупроводников сильно зависит от наличия примесей?  - Какую примесь надо ввести, чтобы получить полупроводник n-типа?	Изобразить связи между атомом мышьяка и соседними атомами кремния. Кремний 4-х валентен, а мышьяк 5-ти валентен. Свободным останется один электрон.

#### 5. Тест по теме: «Электрический ток в полупроводниках»

1. Выберите верные варианты ответов.

Какие существуют виды примесных полупроводников?

а) р-типа б) к-типа в) n-типа г) донорные и акцепторные

2. Выберите верный вариант ответа.

В чистых полупроводниках существуют следующие виды проводимости.

а) только дырочная б) только электронная в) дырочная и электронная г) d-типа

3. Выберите верный вариант ответа

В полупроводнике р-типа преобладает проводимость

а) только дырочная б) только электронная в) дырочная и электронная г) d-типа

4. Выберите правильные варианты ответов

Основными свойствами полупроводников являются

а) увеличение проводимости при наличии примесей б) уменьшение проводимости при нагревании

в) увеличение проводимости при освещении г) уменьшение сопротивления при охлаждении

5. Вставьте пропущенное слово:

Донорные примеси увеличивают число свободных \_\_\_\_\_.

6. Выберите верный вариант ответа

В четырехвалентный кремний в первый раз добавили трехвалентный индий, а во второй раз – пятивалентный фосфор. Каким типом проводимости в основном будет обладать полупроводник в каждом случае?

а) в первом – дырочной, во втором – электронной б) в первом – электронной, во второй – дырочной

в) в обоих случаях – электронной г) в обоих случаях – дырочной

### 7. Выберите верный вариант ответа

Основным свойством р-перехода является:

а) увеличение сопротивления при нагревании б) увеличение сопротивления при освещении

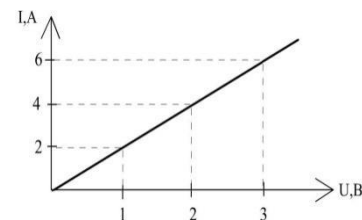
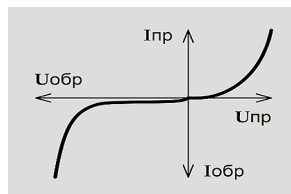
в) односторонняя проводимость г) среди ответов 1-3 нет правильного

8. Установите соответствие между графиками и физическими величинами, которым соответствуют эти зависимости. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные буквы под соответствующими цифрами

1)	2)

1)

2



а) вольт-амперная характеристика полупроводникового диода

б) вольт-амперная характеристика вакуумного диода

в) вольт-амперная характеристика газового разряда

г) зависимость силы тока в проводнике от напряжения на его концах

## Практическая работа № 22

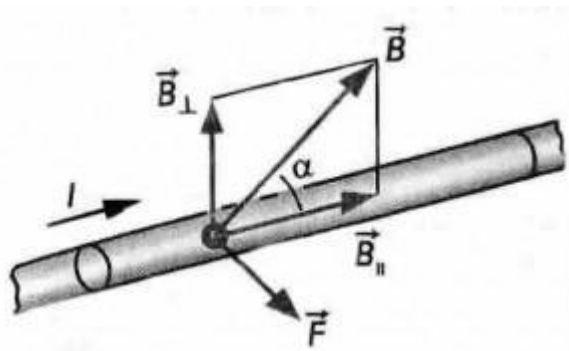
**Тема:** Расчёт силы Ампера и магнитной индукции

**Цель:** научиться применять закон Ампера и формулу силы Лоренца при решении задач.

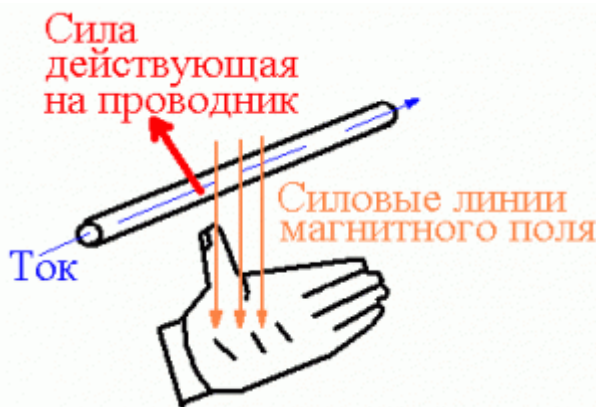
### Краткая теория:

Закон Ампера устанавливает, что на проводник с током, помещенный в однородное магнитное поле, индукция которого  $B$ , действует сила, пропорциональная силе тока и индукции магнитного поля:

$$F_A = I l B \sin \alpha$$



Сила Ампера направлена перпендикулярно плоскости, в которой лежат векторы  $d\vec{l}$  и  $\vec{B}$ . Для определения направления силы, действующей на проводник с током, помещенный в магнитное поле, применяется правило левой руки.



Силу, действующую на движущуюся заряженную частицу со стороны магнитного поля, называют силой Лоренца.

$$F_L = qvB \sin \alpha,$$

где  $q$  – модуль заряда,  $v$  – скорость движения заряженной частицы,  $\alpha$  – угол между вектором скоростью и вектором магнитной индукции.

### Вариант 1.

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  $\vec{B}$  и проводником равен а)  $90^\circ$ ; б)  $30^\circ$ .
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 6 Н. Рабочая длина проводника, помещенного в магнитное поле, составляет 60 см, а ток, протекающий в нем, равен 15 А.
5. Параллельно пластинам плоского конденсатора создано однородное магнитное поле индукцией  $B = 4$  мТл. Между пластинами перпендикулярно направлению магнитного поля и параллельно пластинам движется электрон со скоростью  $v = 5\,000$  км/с. Определите напряженность  $E$  электрического поля между пластинами.
6. Заряженная частица электрон влетает в однородное магнитное поле с индукцией 2 Тл в вакууме со скоростью  $10^5$  м/с перпендикулярно линиям магнитной индукции. Вычислим силу, действующую на электрон.
7. Проводник с током удерживается в магнитном поле, индукция которого равна 2 Тл, силой 4 Н. Определить длину проводника, если его сопротивление 3 Ом, разность потенциалов на концах составляет 20 В, а направление тока с линиями индукции образует угол, равный  $90^\circ$ .

8. В проводнике с длиной активной части 8 см сила тока равна 50 А. Он находится в однородном магнитном поле с индукцией 20 мТл. Какую работу совершил источник тока, если проводник переместился на 10 см перпендикулярно линиям индукции?

### Вариант 2.

1. По проводнику длиной 45 см протекает ток силой 20 А. Чему равна индукция магнитного поля, в которое помещен проводник, если на проводник действует сила 9 мН?

2. Сила тока в проводнике 4 А, длина активной части проводника 0.2 м, магнитное поле действует на проводник с силой 0.1 Н. Определите индукцию магнитного поля, если линии индукции поля и ток взаимно перпендикулярны.

3. Индукция магнитного поля, созданная прямолинейным проводником в точке, находящейся на расстоянии 20 см от проводника, равна  $2 \cdot 10^{-5}$  Тл. Какой ток проходит по проводнику?

4. С какой силой взаимодействуют два параллельных проводника длиной 1 м каждый, по которым текут токи силой 10 и 40 А в одном направлении, если они находятся в воздухе на расстоянии 0.5 м друг от друга?

5. На проводник длиной 50 см, находящийся в однородном магнитном поле с магнитной индукцией 0.1 Тл, действует сила 0.05 Н. Вычислите угол между направлением силы тока и вектором магнитной индукции, если сила тока равна 2 А.

6. С какой скоростью должен двигаться проводник длиной 20 см в магнитном поле с индукцией  $8 \cdot 10^{-2}$  Тл, чтобы в нем возникла ЭДС индукции 40 мВ. Проводник движется под углом  $90^\circ$  к вектору магнитной индукции.

7. Электрон движется в вакууме в однородном магнитном поле с индукцией  $5 \cdot 10^{-3}$  Тл. Радиус окружности, по которой он движется, равен 1 см. Определите модуль скорости движения электрона, если она направлена перпендикулярно к линиям индукции.

8. В однородном магнитном поле, индукция которого равна 0.5 Тл, движется равномерно проводник длиной 10 см. По проводнику течет ток в 2 А. Скорость движения проводника 20 см/с и направлена перпендикулярно к направлению магнитного поля. Найти работу перемещения проводника за 10 с движения.

## Практическая работа № 23

**Тема: Сила Лоренца.**

**Цель:**

*Научиться решать задачи, применять теоретические знания к объяснению физических процессов и решению задач.*

**Рекомендуемые информационные материалы:**

Учебники:

1. Основная литература: Дмитриева ВФ. Физика для профессий и специальностей технического профиля. Учебник для общеобразовательных учреждений начального и среднего профессионального образования./ВФ Дмитриева.- М.: Издательство центральная «Академия», 2018 (Э У)
2. Дополнительная литература: Мякишев, Г. Я., Буховцев Б. Б., Сотский, Н. Н. Физика: учебник для 10 кл. общеобразовательных учреждений. - М.: Просвещение, 2006.

**Указания к работе:**

Для выполнения данной практической работы Вам необходимо поработать с § 6 учебника. Стр. 270 – 278.

### Выполнение работы.

**Задание 1.**

Ответьте на вопросы:

1. Что называют силой Лоренца?
2. Чему равен модуль силы Лоренца?
3. Сформулируйте правило, позволяющее определить направление силы Лоренца.
4. Приведите примеры использования силы Лоренца.
5. Как движется заряженная частица в однородном магнитном поле, если начальная скорость частицы перпендикулярна линиям магнитной индукции?
6. Почему сила Лоренца меняет направление скорости частицы, но не меняет её модуль?
7. По какой формуле определяется радиус окружности, по которой движется заряженная частица в магнитном поле?
8. В каком случае электрическое поле разгоняет заряженную частицу, а в каком тормозит?
9. Каким методом можно определить скорость заряженных частиц?
10. Как с помощью магнитного поля можно узнать заряжена ли частица?

### **Задание 2.**

Решите задачи.

1. В однородном магнитном поле, индукция которого равна 2 Тл, движется электрон со скоростью  $10^5$  м/с перпендикулярно линиям магнитной индукции. Вычислите силу, действующую на электрон.
2. Электрон движется в вакууме в однородном магнитном поле с индукцией  $5 \cdot 10^{-3}$  Тл. Радиус окружности, по которой он движется, равен 1 см. определите модуль скорости электрона, если она направлена перпендикулярно к линиям индукции.
3. Вычислите силу Лоренца, действующую на протон, движущийся со скоростью  $10^6$  м/с в однородном магнитном поле с индукцией 0,3 Тл перпендикулярно линиям индукции.
1. Определите радиус окружности, по которой движется электрон в однородном магнитном поле с магнитной индукцией  $2 \cdot 10^{-2}$  Тл при скорости 5 Мм/с перпендикулярно линиям индукции.
2. Нейтрон и электрон влетают с одинаковыми скоростями 500 м/с в однородное магнитное поле перпендикулярно вектору магнитной индукции  $B = 0,1$  Тл. Определите силы, действующие на каждую частицу со стороны магнитного поля.

**Задание 3** Перечертить в тетрадь рисунки и добавить на каждом рисунке недостающую величину


## **Практическая работа № 24**

### ***Тема: Явление электромагнитной индукции***

#### ***Цели:***

- рассмотреть явление электромагнитной индукции;
- показать на нескольких примерах методы решения задач на использование законов электромагнитной индукции.

#### ***Качественные задачи***

1. В кольцо из диэлектрика вдвигают магнит. Что при этом происходит с кольцом?
2. В вертикальной плоскости подвешено на нити медное кольцо. Сквозь него в горизонтальном направлении вдвигается один раз стержень, а другой раз магнит (рис. 1). Повлияет ли движение стержня и магнита на положение кольца? 
3. После удара молнии иногда обнаруживается повреждение чувствительных электроизмерительных приборов, а также перегорание плавких предохранителей в осветительной сети. Почему?



4. Почему при включении электромагнита в электрическую цепь полная сила тока устанавливается не сразу?

5. Почему отключение от сети мощных электродвигателей производят плавно и медленно при помощи реостатов?

6. Одинаковое ли время потратит магнит на падение внутри узкой медной трубы и рядом с ней? В обоих случаях магнит не касается трубы.

*Ответ:* в трубе магнит будет падать дольше.

7. Вертикальный проводник перемещают в магнитном поле Земли с запада на восток. Будет ли в нем возбуждаться электродвижущая сила индукции?

*Ответ:* будет.

8. Изолированное сверхпроводящее кольцо, по которому течет ток, изгибается в две окружности в виде восьмерки и затем складывается вдвое. Как меняется ток в кольце?

9. Два круговых проводника расположены перпендикулярно друг другу, как показано на рис. 2. Будет ли возникать индукционный ток в горизонтальном проводнике при изменении тока в вертикальном проводнике?

*Ответ:* не будет.

10. Как будут зависеть от времени показания гальванометра, включенного в цепь расположенного горизонтально кругового контура, если вдоль оси этого контура будет падать заряженный шарик?

### **Примеры решения расчетных задач**

**Задача 1.** Как будут меняться показания амперметра, если соленоид быстро распрямить, потянув его за концы проволоки (рис. 3)?

**Решение:**

При распрямлении соленоида сцепленный с ним магнитный поток будет уменьшаться, а значит, в цепи возникнет электродвижущая сила индукции, которая, согласно правилу Ленца, будет препятствовать уменьшению магнитного потока. Следовательно, в цепи появится индукционный ток, направленный так же, как ток, создаваемый источником электродвижущей силы, включенным в цепь. Поэтому сила тока в цепи сначала будет возрастать, а спустя некоторое время станет равной первоначальному значению.

**Задача 2.** Имеются две катушки, расположенные коаксиально. В одной из катушек сила тока  $I_1$ , создаваемого внешним источником, изменяется со временем так, как показано на рис. 4. Вторая катушка замкнута накоротко. Изобразите график зависимости силы тока во второй катушке от времени.

**Решение:**

Для первой катушки индукция магнитного поля, создаваемого током  $I_1$ , пропорциональна силе тока ( $B \sim I_1$ ). Магнитный поток, создаваемый первой катушкой, пронизывает вторую катушку и при его изменении в ней появляется электродвижущая сила индукции, величина которой

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{S\Delta B}{\Delta t} \sim \frac{\Delta I_1}{\Delta t}.$$

Ток во второй катушке, согласно закону Ома для полной цепи,  $I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R}$ , где  $R$  - сопротивление второй катушки, то есть

$$I_2 \sim \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

Для  $t < t_1$   $\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$  будет постоянной величиной, а для  $t > t_2$  - равной нулю. Следовательно, зависимость силы тока  $I_2$  во второй катушке от времени будет иметь вид, представленный на рис. 5.



### Задачи для самостоятельной работы

1. Проволочный виток диаметром  $d = 5$  см и сопротивлением  $R = 0,02$  Ом находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,3$  Тл. Плоскость витка составляет угол  $\alpha = 40^\circ$  с линиями индукции. Какой заряд  $Q$  протечет по витку при выключении магнитного поля?

Ответ:  $Q = B \frac{\pi d^2}{4R} \sin \alpha = 0,019$  Кл.

2. Кольцо радиуса  $r = 50$  мм из тонкой проволоки поместили в однородное магнитное поле с индукцией  $B = 0,5$  мТл так, что плоскость его перпендикулярна вектору индукции. Индуктивность кольца  $L = 0,26$  мкГн. Кольцо охладили до сверхпроводящего состояния и выключили магнитное поле. Найдите ток в кольце.

Ответ:  $I = \frac{B \pi r^2}{L} = 15,104$  А.



3. По двум гладким медным шинам, установленным под углом  $\alpha$  к горизонту, скользит под действием силы тяжести медная перемычка массы  $m$  (рис. 8). Шины замкнуты на сопротивление  $R$ . Расстояние между шинами равно  $l$ . Система находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B$ , перпендикулярном к плоскости, в которой перемещается перемычка. Сопротивления шин, перемычки и скользящих контактов, а также самоиндукция контура пренебрежимо малы. Найдите установившуюся скорость перемычки.

Ответ:  $v = \frac{mgR \sin \alpha}{B^2 l^2}$ .

4. Горизонтально расположенный проводящий стержень, сопротивление которого  $R$  и масса  $m$ , может скользить без нарушения электрического контакта по двум вертикальным медным шинам. Расстояние между шинами  $l$ . Снизу их концы соединены с источником тока, электродвижущая сила которого равна  $\mathcal{E}$  (рис. 9). Перпендикулярно плоскости, в которой находятся шины, приложено однородное магнитное поле с индукцией  $\vec{B}$ . Найдите постоянную скорость, с которой будет подниматься стержень. Сопротивлением шин и источника тока, а также трением пренебречь.

Ответ:  $v = \frac{\mathcal{E}}{Bl} - \frac{Rmg}{B^2 l^2}$ .



5. На горизонтальных проводящих стержнях лежит металлическая перемычка массой  $m = 50$  г (рис. 10). Коэффициент трения между рельсами и перемычкой  $\mu = 0,15$ . Стержни замкнуты на резистор сопротивлением  $R = 5$  Ом. Система находится в магнитном поле, магнитная индукция которого направлена вертикально вверх, а ее модуль изменяется со временем по закону  $B = \alpha t$ , где  $\alpha = 5$  Тл/с. Определите момент



времени, в который переключатель начнет двигаться по стержням. Сопротивлением переключателя и проводящих стержней пренебречь. Геометрические размеры:  $l = 1$  м,  $h = 0,3$  м.

$$\text{Ответ: } t = \frac{\mu mgR}{\alpha^2 l^2 h} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ с.}$$

6. Металлическое кольцо, диаметр которого  $d$  и сопротивление  $R$ , расположено в однородном магнитном поле так, что плоскость кольца перпендикулярна вектору магнитной индукции  $\vec{B}$ . Кольцо вытягивают в сложенный вдвое отрезок прямой, при этом площадь, ограниченная контуром проводника, уменьшается равномерно. Определить заряд  $q$ , который пройдет по проводнику.

$$\text{Ответ: } q = \frac{B \pi d^2}{4R}.$$

7. Катушка индуктивностью  $L = 2$  мкГн и сопротивлением  $R_0 = 1,0$  Ом подключена к источнику постоянного тока с электродвижущей силой  $\mathcal{E} = 3,0$  В. Параллельно катушке включен резистор с сопротивлением  $R = 2,0$  Ом (рис. 11). Ключ  $K$  первоначально замкнут. После того как в катушке устанавливается постоянный ток, источник тока отключают, размыкая ключ. Определите количество теплоты  $Q$ , выделившееся в системе после размыкания ключа. Сопротивление источника тока и соединительных проводов пренебрежительно мало.

$$\text{Ответ: } Q = \frac{\mathcal{E}^2 RL}{2R_0(R + R_0)} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Дж.}$$



## Практическая работа № 25

### Тема: Самоиндукция. Индуктивность

**цель:** рассмотреть возникновение самоиндукции, как частный случай явления электромагнитной индукции.

Теоретическое обоснование

В 1831 г. английский физик Майкл Фарадей доказал, что изменяющееся магнитное поле «рождает» электрический ток. В 1864 г. Джеймс Максвелл его соотечественник пришёл к выводу, что переменное магнитное поле, которое возбуждается изменяющимся током, создаёт в окружающем пространстве электрическое поле, которое возбуждает магнитное поле. Теоретически доказал существование электромагнитных волн  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с.

В 1887 г. экспериментально электромагнитные волны были обнаружены Г. Герцем в Берлинском университете – вибратор Герца. Явление электромагнитной индукции лежит в основе устройства генераторов электростанций, превращающих механическую энергию в электрическую. ЭДС индукции в замкнутом контуре равна скорости изменения магнитного

потока, взятой со знаком «минус»:  $\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$  Знак «минус» обусловлен Правилем Ленца определяющим направление индукционного тока: магнитное поле индукционного тока в каждый момент времени противодействует изменению магнитного потока, породившего этот ток. Правило Ленца подтверждает ЗСЭ в электромагнитных процессах.

Важный частный случай электромагнитной индукции – самоиндукция.

При самоиндукции изменяющееся магнитное поле индуцирует ЭДС в том проводнике, по которому течёт ток, создающий это поле.

ЭДС самоиндукции прямо пропорциональна скорости изменения силы тока в проводнике:  
 $\varepsilon = L \Delta I / \Delta t$  Коэффициент пропорциональности  $L$  называют индуктивностью. Индуктивность зависит от размеров и формы проводника, от свойств среды, в которой находится проводник.

Магнитное поле без электрического, так же как электрическое без магнитного, могут существовать только в определённой системе отсчёта.

Они являются проявлением единого целого – электромагнитного поля особой формой материи. Фундаментальное свойство электромагнитного поля- изменяясь во времени, магнитное поле порождает переменное электрическое поле и наоборот.

Основные формулы

$$B = \frac{M_{\max}}{IS}$$

$B$  – модуль вектора магнитной индукции, Тл

$S$  - площадь контура, м<sup>2</sup>

$I$  - сила тока, А

$M_{\max}$  – максимальный момент силы, Н·м

$$W_m = \frac{LI^2}{2} \text{ энергия магнитного поля тока, Дж}$$

Задание 1. Ответить на вопросы:

1. В чём состоит явление электромагнитной индукции?
2. Сформулируйте закон электромагнитной индукции. Запишите его математическое выражение.
3. Сформулируйте правило Ленца. Приведите примеры его применения.
1. Какие токи называют вихревыми (или токи Фуко). Промышленное применение. Тормозящее действие вихревых токов. Гашение колебаний стрелок в измерительных приборах. В Индукционных печах для сильного нагревания или плавления металлов, детекторах металла на входах аэровокзалов, театров. В быту СВЧ- печи. Вред вихревых токов. Потери энергии, на выделение тепла.  
Какое явление называется самоиндукцией? Математическая запись ЭДС самоиндукции, единица измерения.
2. Что такое индуктивность контура? От чего она зависит.
3. Что такое магнитная проницаемость среды, что она характеризует?
4. Как математически записать ЭДС взаимной индукции? Единица измерения
5. От чего зависит коэффициент пропорциональности взаимной индукции контуров?
6. На каком явлении основано действие трансформатора?

Задание 2

Задача 1в

Определить индуктивность катушки, если при уменьшении в ней силы тока на 2,8А за 62мс среднее значение ЭДС самоиндукции составляет 14В (0,31Гн)

Задача 2в

Определить индуктивность катушки  $L$ , если при изменении в ней силы тока от 2 до 10А за 0.1с в катушке возникает ЭДС самоиндукции 40 В. (0,5Гн)

### Задача 3в

Сколько витков провода должна содержать обмотка на стальном сердечнике с поперечным сечением 150 см<sup>2</sup>, чтобы в ней при изменении магнитной индукции с 0,2 до 2,2 Тл в течение 15 мс возникла ЭДС, равная 200В?

## Практическая работа № 26

**Тема: Параметры колебательного движения. Свойства волн**

### Цель работы:

- закрепить умение применять формулы, описывающие колебательное движение при решении задач;
- способствовать развитию умения логического мышления;
- способствовать развитию познавательных способностей, самостоятельности, ответственности.

### Задание 1. Повторите основные понятия и формулы

**Колебания и волны** – раздел физики, изучающий закономерности колебательного движения и распространения волн.

**Механическими колебаниями** называют движения тел, повторяющиеся точно через одинаковые промежутки времени. Примерами простых колебательных систем могут служить груз на пружине или математический маятник. Для существования в системе гармонических колебаний необходимо, чтобы у нее было положение устойчивого равновесия, то есть такое положение, при выведении из которого на систему начала бы действовать возвращающая сила.

Механические колебания, как и колебательные процессы любой другой физической природы, могут быть свободными и вынужденными. Свободные колебания совершаются под действием внутренних сил системы, после того, как система была выведена из состояния равновесия. Колебания груза на пружине или колебания маятника являются свободными колебаниями. Колебания, происходящие под действием внешних периодически изменяющихся сил, называются вынужденными.

Простейшим видом колебательного процесса являются колебания, происходящие по закону синуса или косинуса, называемые **гармоническими колебаниями**.

Минимальный интервал времени, через который происходит повторение движения тела, называется периодом колебаний  $T$ . Если же количество колебаний  $N$ , а их время  $t$ , то период находится как:

$$T = \frac{t}{N}$$

Физическая величина, обратная периоду колебаний, называется частотой колебаний:

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{1}{T}$$

Частота колебаний  $\nu$  показывает, сколько колебаний совершается за 1 с. Единица частоты – Герц (Гц). Частота колебаний связана с циклической частотой  $\omega$  и периодом колебаний  $T$  соотношениями:

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$$

Следует обратить внимание на то, что:

- физические свойства колебательной системы определяют только собственную частоту колебаний  $\omega_0$  или период  $T$ .

- Такие параметры процесса колебаний, как амплитуда  $A = xm$  и начальная фаза  $\varphi_0$ , определяются способом, с помощью которого система была выведена из состояния равновесия в начальный момент времени, т.е. начальными условиями.
- При колебательном движении тело за время, равное периоду, проходит путь, равный 4 амплитудам. При этом тело возвращается в исходную точку, то есть перемещение тела будет равно нулю. Следовательно, путь равный амплитуде тело пройдет за время равное четверти периода.

Чтобы определить, когда в уравнение колебаний подставлять синус, а когда косинус, нужно обратить внимание на следующие факторы:

- Проще всего, если в условии задачи колебания названы синусоидальными или косинусоидальными.
- Если сказано, что тело толкнули из положения равновесия – берем синус с начальной фазой, равной нулю.
- Если сказано, что тело отклонили и отпустили – косинус с начальной фазой, равной нулю.
- Если тело толкнули из отклоненного от положения равновесия состояния, то начальная фаза не равна нулю, а брать можно и синус и косинус.

**Математическим маятником** называют тело небольших размеров, подвешенное на тонкой, длинной и нерастяжимой нити, масса которой пренебрежимо мала по сравнению с массой тела. Только в случае малых колебаний математический маятник является гармоническим осциллятором, то есть системой, способной совершать гармонические (по закону  $\sin$  или  $\cos$ ) колебания. Практически такое приближение справедливо для углов порядка  $5-10^\circ$ . Колебания маятника при больших амплитудах не являются гармоническими.

Циклическая частота колебаний математического маятника рассчитывается по формуле:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Период колебаний математического маятника:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Свободные колебания совершаются под действием внутренних сил системы после того, как система была выведена из положения равновесия. Для того, чтобы свободные колебания совершались по гармоническому закону, необходимо, чтобы сила, стремящаяся вернуть тело в положение равновесия, была пропорциональна смещению тела из положения равновесия и направлена в сторону, противоположную смещению. Таким свойством обладает сила упругости.

Таким образом, груз некоторой массы  $m$ , прикрепленный к пружине жесткости  $k$ , второй конец которой закреплен неподвижно, составляют систему, способную совершать в отсутствие трения свободные гармонические колебания. Груз на пружине называют **пружинным маятником**.

Циклическая частота колебаний пружинного маятника рассчитывается по формуле:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Период колебаний пружинного маятника:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

При свободных механических колебаниях кинетическая и потенциальная энергии периодически изменяются. При максимальном отклонении тела от положения равновесия его скорость, а, следовательно, и кинетическая энергия обращаются в нуль. В этом положении потенциальная энергия колеблющегося тела достигает максимального значения. Для груза на пружине потенциальная энергия – это энергия упругой деформации пружины. Для математического маятника – это энергия в поле тяготения Земли.

Когда тело при своем движении проходит через положение равновесия, его скорость максимальна. Тело проскакивает положение равновесия по инерции. В этот момент оно обладает максимальной кинетической и минимальной потенциальной энергией (как правило, потенциальную энергию в положении равновесия полагают равной нулю). Увеличение кинетической энергии происходит за счет уменьшения потенциальной энергии. При дальнейшем движении начинает увеличиваться потенциальная энергия за счет убыли кинетической энергии и так далее.

Таким образом, при гармонических колебаниях происходит периодическое превращение кинетической энергии в потенциальную и наоборот. Если в колебательной системе отсутствует трение, то полная механическая энергия при свободных колебаниях остается неизменной. При этом, максимальное значение кинетической энергии при механических гармонических колебаниях задаётся формулой:

$$E_{k \max} = \frac{mv_{\max}^2}{2} = \frac{mA^2\omega^2}{2}$$

Максимальное значение потенциальной энергии при механических гармонических колебаниях пружинного маятника:

$$E_{p \max} = \frac{kA^2}{2}$$

Взаимосвязь энергетических характеристик механического колебательного процесса (полная механическая энергия равна максимальным значениям кинетической и потенциальной энергий, а также сумме кинетической и потенциальной энергий в произвольный момент времени):

$$E = E_{k \max} = E_{p \max} = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2}$$

## Задание 2. Решите количественные задачи.

Задача 1. Точка колеблется с периодом  $T$  и частотой  $\nu$ . За период времени  $\Delta t$  она совершает количество полных колебаний  $N$ . Определите значение величин, обозначенных «?».

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T$ , с	5	?	4	?	0,2	?	2	?	4	?
$\nu$ , Гц	?	2	?	0,5	?	2	?	0,125	?	2,5
$\Delta t$ , с	125	?	132	?	85	?	116	?	148	?
$N$ , число колебаний	?	136	?	62	?	226	?	21	?	325

Задача 2. Точка колеблется с амплитудой  $X_m$ , частотой  $\nu$ , начальная фаза колебаний  $\varphi_0$ . Составьте уравнение колебательного движения. Циклическую частоту и начальную фазу представьте в радианах.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$X_m$ , см	30	25	10	5	15	40	20	30	45	32

$\nu$ , Гц	0,5	1	0,25	0,5	1	0,25	0,5	1	0,5	0,25
$\varphi_0$ , °	30	60	45	90	180	30	60	45	90	180
$X(t)$	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

Задача 3. Пружинный маятник с массой груза  $m$  и жесткостью пружины  $k$  колеблется с циклической частотой  $\omega_0$  и периодом  $T$ . Определите значение величин, обозначенных «?».

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$k$ , Н/м	19,7	?	300	?	1,476	?	31,52	?	19,68	?
$m$ , кг	?	5	?	0,4	?	0,05	?	2	?	2,5
$\omega_0$ , рад/с	$2\pi$	$\pi$	$10\pi$	$\pi$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{3}$	$2\pi$	$\pi$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{3}$
$T$ , с	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

Задача 4. Тело массой  $m$  колеблется на пружине с амплитудой  $Xm$  и максимальной скоростью  $v_{\max}$ , максимальным ускорением  $a_{\max}$ , максимальной кинетической энергией  $E_{k \max}$  и максимальной потенциальной энергией  $E_{п \max}$ . Определите значение величин, обозначенных «?».

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Xm$ , м	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
$\omega_0$ , рад/с	$\pi$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{3}$	$\pi$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{2}$	$\pi$	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$
$v_{\max}$ , м/с	3,14	0,628	12,56	31,4	3,14	12,56	6,28	12,56	3,14	3,14
$a_{\max}$ , м/с <sup>2</sup>	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
$m$ , кг	2	3	4	2	3	5	2	4	5	3
$E_{k \max}$ , Дж	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
$E_{п \max}$ , Дж	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

### Практическая работа № 27

**Тема:** Ёмкость в цепи переменного тока

**Цели:**

- рассмотреть методы решения задач на использование закона Ома в цепях переменного тока.

**Примеры решения расчетных задач**



**Задача 1.** Определите сдвиг фаз колебаний напряжения  $U = U_0 \sin(\omega t + \varphi)$  и силы тока  $I = I_0 \sin \omega t$  для электрической цепи, состоящей из последовательно включенных проводников с активным сопротивлением  $R = 1000$  Ом, катушки индуктивностью  $L = 0,5$  Гн и конденсатора емкостью  $C = 1$  мкФ. Определите мощность, которая выделяется в цепи, если амплитуда напряжения  $U_0 = 100$  В, а частота  $\nu = 50$  Гц.

**Решение:**

Сдвиг фаз между током и напряжением в цепях переменного тока определяется соотношением

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}, \quad (1)$$

здесь  $\omega = 2\pi\nu$  - циклическая частота. Следовательно,

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2\pi\nu L - \frac{1}{2\pi\nu C}}{R}.$$

Мощность, которая выделяется в цепи, определится по формуле

$$P = \frac{I_0 U_0}{2} \cos \varphi.$$

Для цепи переменного тока справедливо соотношение

$$I_0 = \frac{U_0}{Z},$$

где  $Z$  - полное сопротивление (импеданс) цепи:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

Следовательно, мощность, которая выделяется в цепи

$$P = \frac{U_0^2 \cos \varphi}{2 \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}. \quad (2)$$

Подставив численные значения в (1), получим  $\operatorname{tg} \varphi = -3$ ,  $\varphi \cong -72^\circ$  (минус означает, что напряжение отстает по фазе). Тогда  $\cos \varphi \cong 0,3$ . Подставив численные значения в (2), получим  $P = 0,5$  Вт.

$$\text{Ответ: } P = \frac{U_0^2 \cos \varphi}{2 \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = 0,5 \text{ Вт.}$$



**Задача 2.** Конденсатор неизвестной емкости, катушка с индуктивностью  $L$  и сопротивлением  $R$  подключены к источнику переменного напряжения  $\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \cos \omega t$

(рис. 1). Сила тока в цепи равна  $I = \frac{\mathcal{E}_0}{R} \cos \omega t$ . Определите амплитуду напряжения между обкладками конденсатора.

**Решение:**

Из условия задачи видно, что сила тока и напряжение в цепи меняются синфазно. Это означает, что совпадают индуктивное и емкостное сопротивления.

$$\frac{1}{\omega C} = \omega L. \quad (3)$$

Напряжение на конденсаторе будет равно

$$U_C = \frac{q}{C}. \quad (4)$$

Поскольку  $I = \frac{dq}{dt}$ , то

$$q = \frac{\mathcal{E}_0}{R\omega} \sin \omega t. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (4), получим:

$$U_C = \frac{\mathcal{E}_0}{R\omega C} \sin \omega t. \quad (6)$$

С учетом (3) соотношение (6) примет вид:

$$U_C = \frac{\mathcal{E}_0 \omega L}{R} \sin \omega t = U_{C0} \sin \omega t.$$

Поэтому амплитудное значение напряжения между обкладками конденсатора будет равно

$$U_{C0} = \frac{\mathcal{E}_0 \omega L}{R}.$$

Ответ:  $U_{C0} = \frac{\mathcal{E}_0 \omega L}{R}.$



**Задача 3.** Имеются два колебательных контура с одинаковыми катушками и конденсаторами. В катушку одного из контуров вставили железный сердечник, увеличивший ее индуктивность в  $n = 4$  раза. Найдите отношение резонансных частот контуров и их энергий, если максимальные заряды на конденсаторах одинаковы.

**Решение:**

Резонансные частоты контуров могут быть определены по формуле Томсона:

$$\nu_1 = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad \nu_2 = \frac{1}{\sqrt{nLC}}.$$

Отсюда

$$\frac{\nu_2}{\nu_1} = \sqrt{\frac{1}{n}} = \frac{1}{2}.$$

Ответ:  $\frac{\nu_2}{\nu_1} = \frac{1}{2}.$

### Задачи для самостоятельной работы

1. Три одинаковых резистора 1, 2, 3, имеющих сопротивление  $R$ , включены в цепь с диодом, как показано на рис. 4. Определите мощность, выделяющуюся на резисторе 3. Напряжение источника переменного тока равно  $U$ .

Ответ:  $P = \frac{U^2}{18R}.$

2. На какую длину волны настроен колебательный контур, если он состоит из катушки с индуктивностью  $L = 2 \cdot 10^{-3}$  Гн и плоского конденсатора? Расстояние между пластинками конденсатора  $d = 1$  см, диэлектрическая проницаемость вещества, заполнившего пространство между пластинами,  $\epsilon = 11$ . Площадь каждой пластины  $S = 800$  см<sup>2</sup>.

Ответ:  $\lambda = 2\pi c \sqrt{L \frac{\epsilon S}{4\pi k d}}. \lambda = 2,4 \cdot 10^3$  м, здесь  $c$  - скорость распространения электромагнитных волн в вакууме.



3. Электродпечь сопротивлением  $R = 22$  Ом питается от генератора переменного тока. Определите количество теплоты  $Q$ , выделяемое печью за время  $t = 1$  час, если амплитуда силы тока  $I_0 = 10$  А.

Ответ:  $Q = \frac{I_0^2 R t}{2} = 4 \cdot 10^6$  Дж.

4. Заряженный конденсатор емкостью  $C = 0,2$  мкФ подключили к катушке с индуктивностью  $L = 8$  мГн. Через какое время от момента подключения энергия электрического поля конденсатора станет равной энергии магнитного поля катушки?

Ответ:  $t = \frac{\pi\sqrt{LC}}{4} = 3 \cdot 10^{-5}$  с.

5. В колебательном контуре индуктивность катушки  $L = 2,5$  мГн, а емкости конденсаторов  $C_1 = 2,0$  мкФ,  $C_2 = 3,0$  мкФ. Конденсаторы зарядили до напряжения  $U = 180$  В и замкнули ключ  $K$  (рис. 5). Определите период  $T$  собственных колебаний и амплитудное значение силы тока  $I_0$  через катушку. Активное сопротивление контура пренебрежимо мало.

$$T = 2\pi\sqrt{L(C_1 + C_2)} = 0,7 \text{ мс,}$$

Ответ:  $I_0 = U\sqrt{\frac{C_1 + C_2}{L}} = 8,0$  А.



6. Колебательный контур через ключ  $K$  подключен к источнику электродвижущей силы с некоторым внутренним сопротивлением  $r$  (рис. 6). Первоначально ключ  $K$  замкнут. После установления стационарного режима ключ размыкают и в контуре возникают колебания с периодом  $T$ . При этом амплитуда напряжения на конденсаторе в  $n$  раз больше электродвижущей силы батареи. Определите индуктивность  $L$  катушки и емкость  $C$  конденсатора. Активное сопротивление контура пренебрежимо мало.

Ответ:  $L = \frac{Tnr}{2\pi}$ ;  $C = \frac{T}{2\pi nr}$ .



7. Заряженный конденсатор емкости  $C$  замыканием ключа  $K$  подключают к двум параллельно соединенным катушкам с индуктивностями  $L_1$  и  $L_2$  (рис.7). Максимальный ток, протекающий через катушку  $L_1$ , равен  $I_1$ . Определите первоначальный заряд  $q_0$  на конденсаторе. Сопротивление катушек и подводящих проводов пренебрежимо мало.

Ответ:  $q_0 = I_1\sqrt{\frac{L_1}{L_2}C(L_1 + L_2)}$ .



### Практическая работа № 28

**Тема:** Трансформаторы

**Цель работы:** изучить устройство, типы, принцип действия, назначение трансформатора.

**Оборудование:** учебная модель трансформатора, учебник Дмитриева В.Ф. Физика 11 класс, §15.12 стр 257.

Пользуясь параграфами учебника, дайте ответы на следующие вопросы и выполните задания.

1. Назначение, устройство, обозначение на схемах и принцип действия трансформатора.
2. Что такое коэффициент трансформации? Типы трансформаторов.
3. С какой целью магнитопровод трансформатора набирается из тонких изолированных пластин электротехнической стали?

4. С какой целью для передачи электроэнергии используют трансформатор?
5. Как осуществляется передача электроэнергии на большие расстояния?
6. По имеющимся данным выполните расчеты и заполните таблицу. Определите типы трансформатора.

		$N_2$	$U_1$	$U_2$	$I_1$	$I_2$	$k$
			220	660		15	
		1200	440	110	36		
		600	110			20	
		300	380		30		5
			35000			15	0,2
		5000		10000		20	4

### Практическая работа № 29

**Тема:** законы отражения и преломления света.

**Цель:** применять законы отражения и преломления света при решении задач.

#### Краткая теория

**Закон прямолинейного распространения света:** в оптически однородной среде свет распространяется прямолинейно.

**Закон отражения света:** падающий и отраженный лучи, а также перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости. Угол отражения  $\beta$  равен углу падения  $\alpha$ .

**Закон преломления света:** падающий и преломленный лучи, а также перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости.

Отношение синуса угла преломления к синусу угла падения  $\alpha$  есть величина, постоянная для двух данных сред:

$$n = \frac{\sin i}{\sin \beta}$$

Постоянную величину  $n_{21}$  называют *относительным показателем преломления* второй среды относительно первой. Показатель преломления среды относительно вакуума называют *абсолютным показателем преломления*.

**Абсолютный показатель преломления** – величина, равная отношению скорости распространения электромагнитной волны в вакууме к скорости распространения в данной среде:  $n = \frac{c}{v}$ , где  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с.

Абсолютный показатель преломления для некоторых веществ

Алмаз	2,42
Вода	1,33
Глицерин	1,47
Кварц	1,54
Лед	1,31

Плексиглас	1,50
Скипидар	1,47
Стекло	1,57

При некотором угле  $\alpha$ , стремящемся к  $\alpha_{\text{пр}}$  ( $\alpha_{\text{пр}}$  называется **предельным углом**), угол преломления стремится к  $90^\circ$ , а интенсивность преломленного луча практически равна нулю. При  $\alpha_{\text{пр}} < \alpha < 90^\circ$  происходит **полное отражение**.

Явление полного отражения имеет место только при падении света из среды оптически более плотной в среду оптически менее плотную.

Таблица значений основных тригонометрических функций

Функция	Аргумент $t$																
	0	$\frac{\pi}{6}$ 30°	$\frac{\pi}{4}$ 45°	$\frac{\pi}{3}$ 60°	$\frac{\pi}{2}$ 90°	$\frac{2\pi}{3}$ 120°	$\frac{3\pi}{4}$ 135°	$\frac{5\pi}{6}$ 150°	$\pi$ 180°	$\frac{7\pi}{6}$ 210°	$\frac{5\pi}{4}$ 225°	$\frac{4\pi}{3}$ 240°	$\frac{3\pi}{2}$ 270°	$\frac{5\pi}{3}$ 300°	$\frac{7\pi}{4}$ 315°	$\frac{11\pi}{6}$ 330°	$2\pi$ 360°
$\sin t$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0
$\cos t$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
$\operatorname{tg} t$	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	-	$-\sqrt{3}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	-	$-\sqrt{3}$	-1	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	0
$\operatorname{ctg} t$	-	$\sqrt{3}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	-1	$-\sqrt{3}$	-	$\sqrt{3}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	-1	$-\sqrt{3}$	-

**Задание для самостоятельной работы**

### Вариант 1

- $\alpha=60^\circ$  и  $\gamma=30^\circ$ . Определить показатель преломления вещества  $n$ .
- Чему равен угол падения, если он вместе с углом отражения составляет  $70^\circ$ ?
- Найти скорость распространения света в стекле.
- Луч света падает на плоское зеркало перпендикулярно. Определите, на какой угол повернется отраженный луч, если зеркало повернуть на  $30^\circ$ .
- Начертить ход лучей, которые падают на границу стекло-воздух под углом  $30^\circ$ .

### Вариант 2

- $\alpha=45^\circ$  и  $\gamma=30^\circ$ . Определить показатель преломления вещества  $n$ .
- Под каким углом должен падать луч на плоское зеркало, чтобы угол между отражённым и падающим лучами был равен  $86^\circ$ .
- Луч переходит из воды в стекло. Угол падения равен  $35^\circ$ . Найти угол преломления.
- Найти скорость распространения света в воде.
- Начертить ход лучей, падающих на границу воздух-лед под углом  $45^\circ$ .

**Контрольные вопросы**

1. Сформулируйте законы отражения и преломления света.
2. Что показывает абсолютный показатель преломления?
3. Что показывает относительный показатель преломления?
4. На дне чашки, наполненной водой, находится монета. Почему, глядя на монету, она кажется приподнятой?
5. Может ли наблюдаться полное отражение при падении света из глицерина в алмаз, из алмаза – в воду, из стекла – в воду? Ответ пояснить.

### Практическая работа № 30

**Тема: Измерение длины световой волны**

**Оборудование:**

1. Дифракционная решетка с периодом 1/100 мм.
2. Измерительная установка.

Подготовка к работе:

- 1) Подготовим бланк отчета.
- 2) Собираем измерительную установку, установив экран на расстоянии 40 см от решетки.
- 3) Снимаем показания.

Для расчетов используем формулу:  $\lambda = d \cdot b / (k \cdot a)$

где  $d$  – период дифракционной решетки;

$b$  – расстояние до центра спектральной линии;

$a$  – расстояние от решетки до экрана;

$k$  – порядок спектра.

4. Делаем вывод.

Цвет	d, м	b, м	k	a, м	$\lambda$ , нм
Фиолетовый					
Красный					

Пример заполнения таблицы.

Цвет	d, м	b, м	k	a, м	$\lambda$ , нм
Фиолетовый	0,00001	0,017	1	0,4	425
Красный	0,00001	0,027	1	0,4	675

### Практическая работа № 31

**Тема: Шкала электромагнитных волн**

**Цель:**

- повторение и закрепление знаний по теме «Электромагнитные волны».
- Повторить, обобщить и систематизировать знания учащихся по теме " Электромагнитные волны " .
- Доказать единство материального мира.
- Показать, что материальные объекты имеют множество различных физических свойств, которые имеют количественные и качественные изменения, связанные друг с другом;

### 1Задание. “Ключ”

- 1) Способ передачи тепла с помощью инфракрасных волн (из ответа возьмите вторую букву и запишите ее в первую клетку ключа). (Излучение.)
- 2) Цвет, стоящий в спектре рядом с жёлтым цветом (из ответа возьмите пятую букву и запишите её во вторую клетку ключа). (Зелёный)
- 3) Как называется учение о свете? (из ответа возьмите шестую букву и запишите её в третью клетку ключа). (Оптика)
- 4) Учёный, открывший явление дисперсии света (из ответа возьмите первую букву и запишите её в четвёртую клетку ключа). (Ньютон)
- 5) Явление, огибания волнами препятствий (из ответа возьмите вторую букву и девятую буквы и запишите их в пятую и шестую клетки ключа). (Дифракция)

### Задание 2. заполнить таблицу.

Вид излучения	источник	приемник	диапазон	свойства	применение
Радиоволны	Открытый колебательный контур	Антенна	3кГц- $3 \cdot 10^{12}$ Гц	Несет информацию, отражается от ионосферы	Радиосвязь
Инфракрасное		Болометр, тепловизор	$10^{12}$ Гц - $10^{14}$ Гц		Сушка, приборы ночного видения
Видимое	Нагретое тело	Глаз	$4 \cdot 10^{14}$ Гц	Нагревает поверхность	Оптические приборы
Ультрафиолетовое	Нагретое тело до 800С	Фотопластинки	8* $10^{14}$ Гц	Вызывает зрительные образы	Медицина, дактилоскопия
Рентгеновское			$10^{14}$ Гц - $10^{16}$ Гц		
Гамма излучение	Солнце, кварцевые лампы	Фотопленка Дозиметры, счетчик Гейгера	$10^{15}$ - $10^{20}$ Гц	Ионизация, загар, дезинфекция, фотосинтез	Диагностика, лечение
	Рентгеновская трубка		Высокая проникающая способность	Диагностика, лечение, астрономия	
	Радиоактивные ядра		Наибольшая проникающая способность		

Деление электромагнитных излучений по диапазонам условное. Четкой границы между областями нет. Названия областей сложились исторически, они лишь служат удобным средством классификации источников излучений.

Все диапазоны шкалы электромагнитных излучений имеют общие свойства:

- Физическая природа всех излучений одинакова
- Все излучения распространяются в вакууме с одинаковой скоростью, равной  $3 \cdot 10^8$  м/с
- Все излучения обнаруживают общие волновые свойства (отражение, преломление, интерференцию, дифракцию, поляризацию)

### 3. качественные задачи:

1. Каким образом ориентируются змеи в темноте? Удивительным органом обладают змеи. Это - две ямки на голове, внешне напоминающие вторую пару ноздрей. Когда биологи занялись их изучением, оказалось, что это исключительно чувствительный орган, при помощи которого гремучая змея "видит" инфракрасные лучи. А зоркость такова, что змея улавливает разницу в тысячную долю градуса. Достаточно появиться ночью полевой мыши на расстоянии в 200 метрах от змеи, и ее чувствительный прибор подскажет присутствие мыши.
2. Каково воздействие ультрафиолетовых лучей на человека? В ткани организма ультрафиолет проникает на глубину от 0,1 до 1 мм, но вызывают при этом химическую реакцию, следствием

которой является покраснение кожи. Биологическое действие зависит от длины волны. Волны длиной от 400 до 350 мкм отличаются укрепляющим, закаливающим действием на организм. Поэтому эти волны используются в оздоровительных целях. Излучения с длиной волны от 315 до 280 мкм используют в лечебных целях (в основном для людей которые живут на севере). Волны длиной 280-200 мкм убивают бактерий, поэтому это излучение используют для дезинфекции.

3. Не так давно датская фирма "Лего" стала добавлять в свою продукцию сульфат бария, хорошо заметный в рентгеновских лучах. Для чего? **Чтобы при рентгеновском исследовании обнаружить игрушку, проглоченную малышом.**

4. Как используют ультрафиолет для определения качества продуктов? **Некоторые продукты под действием ультрафиолетовых лучей люминесцируют в затемненном помещении разным цветом** (с.205 А.И.Семке Нестандартные задачи по физике)

#### 4.Тест

**1. Инфракрасное излучение имеет длину волны:**

- А. Меньше  $4 \cdot 10^{-7}$  м.
- Б. Больше  $7,6 \cdot 10^{-7}$  м
- В. Меньше  $10^{-8}$  м

**2. Ультрафиолетовое излучение:**

- А. Возникает при резком торможении быстрых электронов.
- Б. Интенсивно испускается нагретыми до высокой температуры телами.
- В. Испускается любым нагретым телом.

**3. Каков диапазон длин волн видимого излучения?**

- А.  $4 \cdot 10^{-7}$  -  $7,5 \cdot 10^{-7}$  м.
- Б.  $4 \cdot 10^{-7}$  -  $7,5 \cdot 10^{-7}$  см.
- В.  $4 \cdot 10^{-7}$  -  $7,5 \cdot 10^{-7}$  мм.

**4. Наибольшую проникающую способность имеет:**

- А. Видимое излучение
- Б. Ультрафиолетовое излучение
- В. Рентгеновское излучение

**5. Изображение предмета в темноте получают при помощи:**

- А. Ультрафиолетового излучения.
- Б. Рентгеновского излучения.
- В. Инфракрасного излучения.

**6. Кем впервые было открыто  $\gamma$ -излучение?**

- А. Рентгеном
- Б. Вилларом
- В. Юнгом

**7. С какой скоростью распространяется инфракрасное излучение?**

- А. Больше чем  $3 \cdot 10^8$  м/с
- Б. Меньше чем  $3 \cdot 10^8$  м/с
- В.  $3 \cdot 10^8$  м/с

**8. Рентгеновское излучение:**

- А. Возникает при резком торможении быстрых электронов
- Б. Испускается твердыми телами, нагретыми до большой температуры
- В. Испускается любым нагретым телом

**9. Какие излучения используются в медицине?**

- 1. Инфракрасное излучение
- 2. Ультрафиолетовое излучение
- 3. Видимое излучение
- 4. Рентгеновское излучение

А. 1,2,4    Б. 1,3    В. Все излучения

**10. Обычное стекло практически не пропускает:**



- А. Видимое излучение.  
 Б. Ультрафиолетовое излучение.  
 В. Инфракрасное излучение

**Правильные ответы:**

Вопрос	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	Б	Б	А	В	В	Б	В	А	В	Б

### Практическая работа № 32

**Тема: Свойства фотонов**

В вакууме распространяется электромагнитное излучение с частотой  $\nu$  и длиной волны  $\lambda$ . Его фотоны имеют энергию  $E$ , массу  $m$  и импульс  $p$ . Определить неизвестные характеристики электромагнитного излучения. Считайте постоянную Планка  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  Дж·с, скорость света в вакууме  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с. Ответы округлите до сотых.

Вариант	$\nu$ , $10^{15}$ Гц	$\lambda$ , нм	$E$ , $10^{-19}$ Дж	$m$ , $10^{-35}$ кг	$p$ , $10^{-27}$ кг
1.	1	?	?	?	?
1.	?	150	?	?	?
1.	?	?	19,8	?	?
1.	?	?	?	2,93	?
1.	?	?	?	?	11
1.	6	?	?	?	?
1.	?	40	?	?	?
1.	?	?	52,8	?	?
1.	?	?	?	7,04	?
1.	?	?	?	?	22
1.	11,7	?	?	?	?
1.	?	25	?	?	?
1.	?	?	85,8	?	?
1.	?	?	?	10,27	?
1.	?	?	?	?	33

1.	16	?	?	?	?
1.	?	17,65	?	?	?
1.	?	?	118,8	?	?
1.	?	?	?	13,93	?
1.	20	?	?	?	?
1.	?	14,29	?	?	?
1.	?	?	145,2	?	?
1.	?	?	?	16,87	?
1.	?	?	?	?	52,8
1.	25	?	?	?	?
1.	?	11,54	?	?	?
1.	?	?	178,2	?	?
1.	?	?	?	20,53	?
1.	?	?	?	?	63,8
1.	30	?	?	?	?

**Ответы**

<b>Вариант</b>	<b><math>\nu</math>, <math>10^{15}</math> Гц</b>	<b><math>\lambda</math>, нм</b>	<b><math>E</math>, <math>10^{-19}</math> Дж</b>	<b><math>m</math>, <math>10^{-35}</math> кг</b>	<b><math>p</math>, <math>10^{-27}</math> кг</b>
1.	1	300	6,6	0,73	2,2
1.	2	150	13,2	1,47	4,4
1.	3	100	19,8	2,2	6,6
1.	4	75	26,4	2,93	8,8
1.	5	60	33	3,67	11
1.	6	50	39,6	4,4	13,2
1.	7,5	40	49,5	5,5	16,5
1.	8	37,5	52,8	5,87	17,6
1.	9,6	31,25	63,36	7,04	21,12
1.	10	30	66	7,33	22
1.	11,7	25,64	77,22	8,58	25,74

1.	12	25	79,2	8,8	26,4
1.	13	23,08	85,8	9,53	28,6
1.	14	21,43	92,4	10,27	30,8
1.	15	20	99	11	33
1.	16	18,75	105,6	11,73	35,2
1.	17	17,65	112,2	12,47	37,4
1.	18	16,67	118,8	13,2	39,6
1.	19	15,79	125,4	13,93	41,8
1.	20	15	132	14,67	44
1.	21	14,29	138,6	15,4	46,2
1.	22	13,64	145,2	16,13	48,4
1.	23	13,04	151,8	16,87	50,6
1.	24	12,5	158,4	17,6	52,8
1.	25	12	165	18,33	55
1.	26	11,54	171,6	19,07	57,2
1.	27	11,11	178,2	19,8	59,4
1.	28	10,71	184,8	20,53	61,6
1.	29	10,34	191,4	21,27	63,8
1.	30	10	198	22	66

### Практическая работа № 33

**Тема:** *Фотоэффект*

**Цель:** *повторить законы фотоэффекта, уметь решать задачи на использование формулы Эйнштейна.*

#### Краткая теория:

**Фотоэффектом** (внешним) называется явление испускания веществом электронов под действием света. Фотоэффект был открыт Генрихом Герцем в 1887 году. Первые экспериментальные исследования фотоэффекта были проведены русским ученым Столетовым.

В эвакуированный баллон помещены два электрода – анод А и катод К. При освещении катода ультрафиолетовыми лучами (через кварцевое окошко) из него вырываются фотоэлектроны и перемещаются под действием электрического поля к аноду. Изменяя напряжение между анодом и катодом с помощью потенциометра П можно получить зависимость силы фототока от напряжения – вольт-амперную характеристику (ВАХ).

### **Законы фотоэффекта:**

**Первый закон** Максимальная скорость фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего излучения, а зависит только от его частоты. С увеличением частоты скорость фотоэлектронов возрастает. **Число электронов, выбиваемых за 1с из вещества пропорционально интенсивности света, падающего на вещество.**

**Второй закон.** Кинетическая энергия фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего света, а зависит от его частоты. Если к освещенному электроду подключить положительный полюс батареи, то при некотором  $U$  фототок прекратится. Это явление не зависит от величины светового потока.

По закону сохранения энергии:  $mv^2/2 = U_{\text{з.е.}}$

**Кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света.**

**Третий закон.** Для каждого металла существует красная граница фотоэффекта – предельная наименьшая частота  $\nu_{\text{min}}$  (или наибольшая длина волны  $\lambda_{\text{max}}$ ), при которой еще возможен фотоэффект. Частоту  $\nu_{\text{min}}$  называют **красной границей фотоэффекта.**

При меньшей частоте ни при какой интенсивности волны падающего света на фотокатод фотоэффект не произойдет.

### **Четвертый закон.**

**Фотоэффект практически безынерционен.** ( $t = 10^{-9}\text{с}$ )

## **1. Теория фотоэффекта.**

Эйнштейн, развив теорию Планка (1905) показал, что законы фотоэффекта могут быть объяснены при помощи квантовой теории.

Явление фотоэффекта экспериментально доказывает **свет имеет прерывистую структуру.**

Излученная порция  $E = h \nu$  сохраняет свою индивидуальность и поглощается веществом только целиком.

На основании закона сохранения энергии:  $h \nu = A + mv^2/2$  – уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.

Не все кванты энергии падающего излучения поглощаются электронами. Из тысячи поглощенных квантов энергии в среднем лишь один вызывает фотоэффект, оставшаяся часть энергии излучения идет на нагревание металла.

**2. Из уравнения Эйнштейна** следует, что для наблюдения фотоэффекта необходимо, чтобы энергия кванта была хотя бы равна работе выхода, иначе нельзя вырвать электрон из металла, то есть  $h \nu_{\text{min}} = A_{\text{вых}}$ . **Отсюда**

$$\nu_{\text{min}} = A_{\text{вых}} / h.$$

**Это и есть красная граница фотоэффекта.**

**3. Фотон** – это элементарная частица, энергия которой  $h \nu$ . Из формулы теории относительности  $E = mc^2$ , можно найти массу фотона  $mc^2 = h \nu$ .  
 $m = h \nu / c^2$ .

Фотон не обладает **массой покоя**. Фотон **существует только в движении** со скоростью  $c$ .

**Импульс** фотона равен  $p = h/\lambda$ . Направление импульса фотона совпадает с направлением распространения света, которое характеризуется волновым вектором  $k$ , его численное значение определяется выражением  $k = 2\pi/\lambda$ .

**4. Внутренний фотоэффект** – явление увеличения концентрации свободных зарядов в полупроводнике (электронов и дырок) под действием облучения.

Используя табличные данные определить:

1. Импульс, массу, энергию фотона для \_\_\_\_\_ цвета

2. Определить длину волны электрона для \_\_\_\_\_ металла, если скорость \_\_\_\_\_
3. Определить работу выхода при частоте \_\_\_\_\_ и напряжении \_\_\_\_\_ В
4. Определить скорость вырывания электронов для \_\_\_\_\_ металла для \_\_\_\_\_ цвета
5. Определить напряжение для \_\_\_\_\_ металла для \_\_\_\_\_ цвета

Красный	Оранжевый	Жёлтый	Зелёный	Голубой	Синий	Фиолетовый	Цвет
625—740	590—625	565—590	500—565	485—500	440—485	380—440	Диапазон длин волн, нм
480—400	510—480	530—510	600—530	620—600	680—620	790—680	Диапазон частот, ТГц

Работа выхода электронов из металлов

скорость

Скорости Металл

W, эВ

Алюминий	4,25
Вольфрам	4,54
Железо	4,31
Медь	4,4
Никель	4,5
Олово	4,39
Платина	5,32
Серебро	4,3
Цинк	4,24

	М\с
1.	1.6*10 <sup>6</sup>
2.	2*10 <sup>6</sup>
3.	2.2*10 <sup>6</sup>
4.	2.6*10 <sup>6</sup>
5.	2.1*10 <sup>6</sup>
6.	1.8*10 <sup>6</sup>
7.	2.5*10 <sup>6</sup>
напряжение	
1.	2В
2.	5 В
3.	2.5В
4.	4В
5.	3В
6.	1.8В
7.	4.5 В

Например:

№	цвет	Работа выхода	скорость	напряжени е	Длин а волн ы	частот а
1	красный	алюмини я	1.6*10 <sup>6</sup>	2В	625н м	480ТГ ц

### Практическая работа № 34

**Тема:** Радиоактивные превращения. Закон радиоактивного распада

**Цель:** Привить умение применять закон радиоактивного распада при решении расчетных и графических задач

#### Краткая теория:

В феврале 1896г, французский физик Анри Беккерель обнаружил самопроизвольное излучение солей урана <sup>238</sup>U, однако он не понимал природы этого излучения.

В 1898г супруги Пьер и Мария Кюри открыли новые, ранее неизвестные элементы – полоний  $^{209}\text{Po}$  и радий  $^{226}\text{Ra}$ , у которых излучение, аналогичное излучению урана, было значительно более сильным. Радий – редкий элемент; чтобы получить 1 грамм чистого радия, надо переработать не менее 5 тонн урановой руды; его радиоактивность в несколько миллионов раз выше радиоактивности урана.

Самопроизвольное излучение некоторых химических элементов было названо по предложению П.Кюри радиоактивностью, от латинского *radio* «излучать». Неустойчивые ядра превращаются в устойчивые.

Химические элементы с номера 83 являются радиоактивными, то есть самопроизвольно излучают, причем, степень излучения не зависит от того, в состав какого соединения они входят

Изучением природы радиоактивного излучения занимался великий физик начала 20 века Эрнест Резерфорд.

В 1899 г Эрнест Резерфорд обнаружил неоднородность излучения:

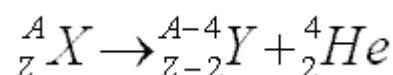
Исследуя излучение радия в магнитном поле, он обнаружил, что поток радиоактивного излучения имеет сложную структуру: состоит из трех самостоятельных потоков, названных  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -лучами. При дальнейших исследованиях оказалось, что  $\alpha$ -лучи представляют из себя потоки ядер атомов гелия,  $\beta$ -лучи – потоки быстрых электронов, а  $\gamma$ -лучи есть электромагнитные волны с малой длиной волны.

Но эти потоки различались еще и своими проникающими способностями.

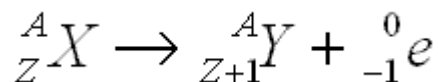
Превращение атомных ядер часто сопровождается испусканием  $\alpha$ -,  $\beta$ -лучей. Если одним из продуктов радиоактивного превращения является ядро атома гелия, то такую реакцию называют  $\alpha$ -распадом, если же – электрон, то  $\beta$ -распадом.

Эти два распада подчиняются правилам смещения, которые впервые сформулировал английский ученый Ф.Содди. Давайте посмотрим, как выглядят эти реакции.

1. При  $\alpha$ -распаде ядро теряет положительный заряд  $2e$  и его масса убывает на 4 а.е.м. В результате  **$\alpha$ -распада** элемент смещается на две клетки к началу периодической системы Менделеева:



2. При  **$\beta$ -распаде** из ядра вылетает электрон, что увеличивает заряд ядра на  $1e$ , масса же остается почти неизменной. В результате  $\beta$ -распада элемент смещается на одну клетку к концу периодической таблицы Менделеева.



Кроме альфа- и бета-распадов радиоактивность сопровождается гамма-излучением. При этом из ядра вылетает фотон.

3.  $\gamma$ -излучение – не сопровождается изменением заряда; масса же ядра меняется ничтожно мало.

Ядра, которые возникли в результате радиоактивного распада, в свою очередь также могут быть радиоактивны. Возникает цепочка радиоактивных превращений. Ядра, связанные с этой цепочкой, образуют радиоактивный ряд или радиоактивное семейство. В природе существует три радиоактивных семейства: урана, тория и актиния. Семейство урана заканчивается свинцом. Измеряя количество свинца в урановой руде, можно определить возраст этой руды.

Резерфорд опытным путём установил, что активность радиоактивных веществ убывает с течением времени. Для каждого радиоактивного вещества существует интервал времени, на

протяжении которого активность убывает в 2 раза. Это время называется периодом полураспада  $T$ .

**Закон радиоактивного распада** установлен Ф. Содди. По формуле находят число не распавшихся атомов в любой момент времени. Пусть в начальный момент времени число радиоактивных атомов  $N_0$ . По истечении периода полураспада их будет  $N_0/2$ . Спустя  $t = nT$  их останется  $N_0/2^n$ .

**Период полураспада** – основная величина, определяющая скорость радиоактивного распада. Чем меньше период полураспада, тем меньше времени живут атомы, тем быстрее происходит распад. Для разных веществ период полураспада имеет разные значения.

Одинаково опасными являются как быстро, так и медленно распадающиеся ядра. Быстро распадающиеся ядра интенсивно излучают за малый промежуток времени, а медленно распадающиеся ядра радиоактивны на большом интервале времени. С различными уровнями радиации человечество встречается как в естественных условиях, так и в искусственно созданных обстоятельствах.

Радиоактивность имеет как отрицательное, так и положительное значение для всего живого на планете Земля.

## Примеры решения задач

**Задача 1.** Период полураспада изотопа кислорода  $^{14}_8\text{O}$  составляет 71с. Какая доля от исходного большого количества этих ядер остаётся нераспавшейся через интервал времени, равный 142 с?

**Решение.**

Формула радиоактивного распада имеет вид:

$$N = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}} = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}},$$

где  $T = 71$  - период полураспада;  $t$  - время распада;  $N_0$  - начальная концентрация изотопа (масса изотопа). Чтобы найти долю нераспавшихся ядер, нужно найти отношение

$$\frac{N}{N_0} \cdot 100\% = 2^{-\frac{t}{T}} \cdot 100\%$$

, получим:

$$\frac{N}{N_0} \cdot 100 = 2^{-\frac{142}{71}} \cdot 100 = 0,25 \cdot 100 = 25 \%$$

**Задача 2.** Период полураспада  $T$  изотопа висмута  $^{210}_{83}\text{Bi}$  равен пяти дням. Какая масса этого изотопа осталась через 15 дней в образце, содержавшем первоначально 80 мг  $^{210}_{83}\text{Bi}$  ?

**Решение.**

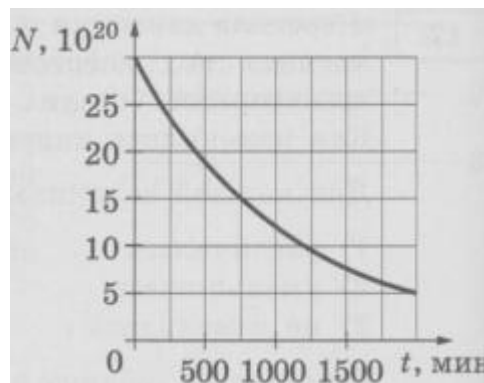
Закон радиоактивного распада изотопа имеет вид:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

где  $N_0 = 80$  мг – начальный объем изотопа;  $t=15$  дней – период распада;  $T=5$  дней – период полураспада. Таким образом, получаем, что через 15 дней останется

$$N = 80 \cdot 2^{-\frac{15}{5}} = \frac{80}{8} = 10 \text{ мг.}$$

**Задача 3.** Дан график зависимости числа нераспавшихся ядер висмута  ${}_{83}^{203}\text{Bi}$  от времени. Чему равен период полураспада этого изотопа висмута?

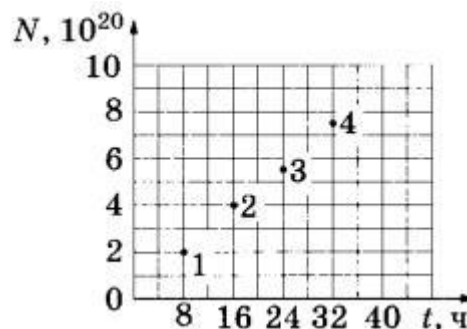


**Решение.**

Период полураспада – это время, за которое распадается ровно половина начального объема ядер изотопа. Из графика видно, что начальное число ядер равно  $N_0 = 30 \cdot 10^{20}$ . Половина от этого числа соответствует моменту времени  $t=750$  мин, следовательно, это и есть период полураспада.

**Ответ:** 750.

**Задача 4.** Из ядер эрбия  ${}_{68}^{171}\text{Er}$  при  $\beta^-$ -распаде с периодом полураспада 8 ч образуются ядра тулия с периодом полураспада 2 года. В момент начала наблюдения в образце содержится  $8 \cdot 10^{20}$  ядер эрбия. Через какую из точек, кроме начала координат, пройдет график зависимости от времени числа ядер тулия (см. рисунок)?



**Решение.**

Изначально, число ядер тулия равно 0. Затем, при ядерном распаде эрбия с периодом полураспада  $T$  за время  $t$  получаем число ядер тулия равное:



$$N_0 - N = N_0 - N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} = N_0 \cdot \left(1 - 2^{-\frac{t}{T}}\right)$$

Найдем следующую точку для ядер тулия на графике. Рассмотрим точку 1. Для нее  $t=8$  и число ядер тулия равно

$$8 \cdot 10^{20} \cdot \left(1 - 2^{-\frac{8}{8}}\right) = \frac{8 \cdot 10^{20}}{2} = 4 \cdot 10^{20}$$

$$8 \cdot 10^{20} \cdot \left(1 - 2^{-\frac{16}{8}}\right) = 8 \cdot 10^{20} \cdot 0,75 = 6 \cdot 10^{20}$$

Данная точка не подходит. Далее: для точки 2,  $t=16$

$$8 \cdot 10^{20} \cdot \left(1 - 2^{-\frac{24}{8}}\right) = 8 \cdot 10^{20} \cdot \frac{7}{8} = 7 \cdot 10^{20}$$

Для точки 3,  $t=24$

Для точки 4,  $t=32$

$$8 \cdot 10^{20} \cdot \left(1 - 2^{-\frac{32}{8}}\right) = 8 \cdot 10^{20} \cdot \frac{15}{16} = 7,5 \cdot 10^{20}$$

Из всех результатов подходит точка 4.

### Задания для самостоятельной работы

Вариант 1.

1. Опишите состав атома урана  $^{238}_{92}\text{U}$
2. Что происходит с веществом при радиоактивном распаде?
3. Напишите реакции альфа- и бета- распада берклия  $^{247}_{97}\text{Bk}$
4. Период полураспада ядер радиоактивного изотопа висмута 19 минут. Через какое время распадется 75% ядер висмута в исследуемом образце?

Вариант 2.

1. Опишите состав атома фермия  $^{257}_{100}\text{Fm}$
2. Ядра каких атомов наиболее устойчивы?
3. Напишите реакции альфа- и бета- распада  $^{257}_{100}\text{Fm}$
4. Период полураспада радона 3,8 дня. Через какое время масса радона уменьшится в 64 раза?

Вариант 3

1. Опишите состав атома нобелия  $^{255}_{102}\text{No}$
2. Какая доля от большого количества радиоактивных атомов останется нераспавшейся

через промежуток времени, равный двум периодам полураспада? (ЕГЭ 2009)

3. Напишите реакции альфа- и бета- распада нобелия  $^{255}_{102}\text{No}$

4. Период полураспада радиоактивного вещества 2 суток. Сколько по массе радиоактивного вещества останется по истечении трех суток, если вначале его было 100 г?

### Практическая работа № 35

*Тема: Состав ядра атома. Энергия связи ядра атома*

*Цель: повторить состав ядра атома, уметь решать задачи на использование формулы связи ядра атома*

Краткая теория:

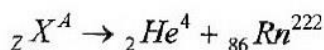
Название величины	Обозначение	Единица измерения	Формула
Масса протона	$m_p$	а.е.м	$m_p = 1,00728$
Масса нейтрона	$m_n$	а.е.м	$m_n = 1,00867$
Число протонов	$Z$		
Число нейтронов	$N$		
Масса ядра	$M_{\text{я}}$	а.е.м	
Дефект масс	$\Delta m$	а.е.м, кг	$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - M_{\text{я}}$
Энергия связи ядра	$\Delta E_0$	Дж	$\Delta E_0 = \Delta mc^2$
Скорость света	$c$	м/с	$c = 3 \cdot 10^8$

#### ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача № 1. Определите число электронов, протонов и нейтронов в атоме кислорода  $^{17}_8\text{O}$ .

<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
${}^8\text{O}^{17}$	$Z = 8; e = 8; N = A - Z = 17 - 8 = 9$
$Z - ?$	<i>Ответ:</i> 8 электронов, 8 протонов, 9 нейтронов.
$N - ?$	
$e - ?$	

Задача № 2. В результате  $\alpha$ -распада ядро некоторого элемента превратилось в ядро радона  ${}_{86}\text{Rn}^{222}$ . Что это был за элемент?



По закону сохранения массы и заряда:  $A = 4 + 222 = 226$ ;  $Z = 2 + 86 = 88$ . В таблице Менделеева порядковый номер 88 имеет радий. Следовательно — это  ${}_{88}\text{Ra}^{226}$ .

Задача № 3. На сколько уменьшилась энергия атома, если при переходе из одного энергетического состояния в другое атом излучил свет длиной волны  $6,56 \cdot 10^{-7}$  м?

<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
$\lambda = 6,56 \cdot 10^{-7}$ м	$E = h \cdot \nu; \nu = \frac{c}{\lambda}; E = \frac{hc}{\lambda};$
$h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с	
$c = 3 \cdot 10^8$ м/с	
$E - ?$	$E = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{6,56 \cdot 10^{-7} \text{ м}} \approx 3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$

Энергия атома уменьшится на  $3 \cdot 10^{-19}$  Дж.

Задача № 4. В какое ядро превращается торий  ${}_{90}^{230}\text{Th}$  после трех последовательных  $\alpha$ -распадов?

*Решение.* При  $\alpha$ -распаде исходное ядро теряет два протона и два нейтрона, поэтому его массовое число уменьшается на 4, а зарядовое — на 2. Из правила смещения для  $\alpha$ -распада следует, что:



Ответ:  ${}_{84}^{218}\text{Po}$ .

*Решение.* При  $\beta$ -распаде в исходном ядре один нейтрон превращается в протон, поэтому зарядовое число уменьшается на единицу, а массовое — остается неизменным, так как общее число нуклонов в ядре не изменяется. Из правила смещения для  $\beta$ -распада следует, что:



Задача № 5. В какое ядро превращается сурьма  $^{123}_{51}\text{Sb}$  после четырех  $\beta$ -распадов?

Ответ:  $^{123}_{55}\text{Cs}$

Задача № 6. Каким образом можно осуществить давнюю мечту алхимиков средневековья — превратить ртуть в золото?

*Решение.* Путем осуществления, например, следующей ядерной реакции:  $^{198}_{80}\text{Hg} + {}^1_0n \rightarrow {}^{199}_{80}\text{Hg} \rightarrow {}^{198}_{79}\text{Au} + {}^1_1\text{H}$ .

В природе существует один стабильный изотоп золота ( $^{197}_{79}\text{Au}$ ) и семь изотопов ртути ( $^{196}_{80}\text{Hg}$ ,  $^{198}_{80}\text{Hg}$ ,  $^{199}_{80}\text{Hg}$ ,  $^{200}_{80}\text{Hg}$ ,  $^{201}_{80}\text{Hg}$ ,  $^{202}_{80}\text{Hg}$ ,  $^{204}_{80}\text{Hg}$ ). Значит, в ходе ядерной реакции необходимо «всего лишь» уменьшить число протонов на единицу и, возможно, изменить число нейтронов.

Однако, вследствие редкого попадания нейтронов в ядра ртути количество полученного золота ничтожно мало. Так как затрата энергии при этом огромна, то процесс экономически невыгоден.

Задача № 8. Выделяется или поглощается энергия при следующей ядерной реакции:  
 $^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H} ?$

Ответ: энергия поглощается.

*Решение.* Найдем разность  $\Delta m$  суммарной массы ядер и частиц до реакции и после реакции. Энерговыделение при ядерной реакции равно:  $\Delta E = (m_{\text{N}} + m_{\text{He}} - m_{\text{O}} - m_{\text{H}})c^2$ . Если  $\Delta E > 0$ , реакция идет с выделением энергии. Если  $\Delta E < 0$ , реакция идет с поглощением энергии. Проверка единиц измерения:

$$[\Delta E] = \text{а.е.м.} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{а.е.м.}} \cdot \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2 = \text{Дж.}$$

Вычисления:  $\Delta E = (14,00307 + 4,00260 - 16,99913 - 1,00783) \times 1,661 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = -1,93 \cdot 10^{-13} \text{ (Дж)}$ .

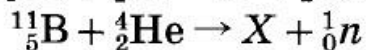
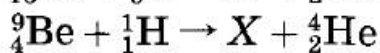
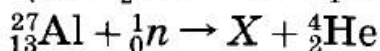
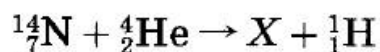
Так как  $\Delta E < 0$ , то энергия поглощается.

Задача № 9

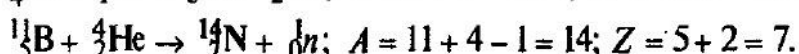
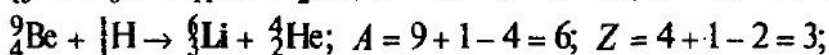
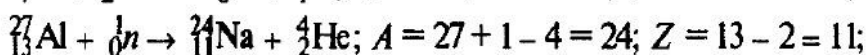
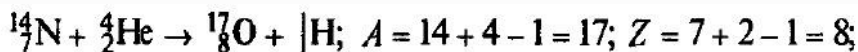
Вычислите энергию связи ядра лития  ${}^7_3\text{Li}$ . Масса ядра равна 7,01436 а.е.м.

<p><b>Дано:</b>  <math>{}_3\text{Li}^7</math>  <math>M_x = 7,01436</math> а.е.м.  <math>m_p = 1,00728</math> а.е.м.  <math>m_n = 1,00867</math> а.е.м.</p> <hr/> <p><math>\Delta E_0 - ?</math></p>	<p><b>Решение:</b>  <b>1)</b> <math>Z = 3; N = 4</math>  <b>2)</b> <math>\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - M_x</math>  <math>\Delta m = (3 \cdot 1,00728 + 4 \cdot 1,00867) - 7,01436 = 0,04216</math> (а.е.м.)  <b>3)</b> <math>\Delta m = 0,04216 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27}</math> (кг) = <math>0,07 \cdot 10^{-27}</math> (кг)  <b>4)</b> <math>\Delta E_0 = \Delta mc^2 = 0,07 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 0,21 \cdot 10^{-11}</math> (Дж) =  <math>= 2,1 \cdot 10^{-12}</math> (Дж)</p> <p><b>Ответ:</b> <math>2,1 \cdot 10^{-12}</math> Дж</p>
---	---

Задача № 10. Определите неизвестный продукт X каждой из ядерных реакций:



**Решение:**



**Алгоритм решения задачи на расчет энергии связи атомного ядра:**

1. Определить количество протонов и нейтронов в ядре атома.
2. Вычислить дефект масс в атомных единицах массы.
3. Перевести атомные единицы массы в килограммы:  $1$  а.е.м. =  $1,6605 \cdot 10^{-27}$  кг.
4. Вычислить энергию связи; ответ записать в стандартном виде.

Важные

замечания:

1. Вычисления сложные, поэтому лучше их производить с помощью микрокалькулятора.
2. В ходе вычисления дефекта масс нельзя ничего округлять, иначе дефект масс обратится в ноль. Округлить можно только результат.

### Вариант 1

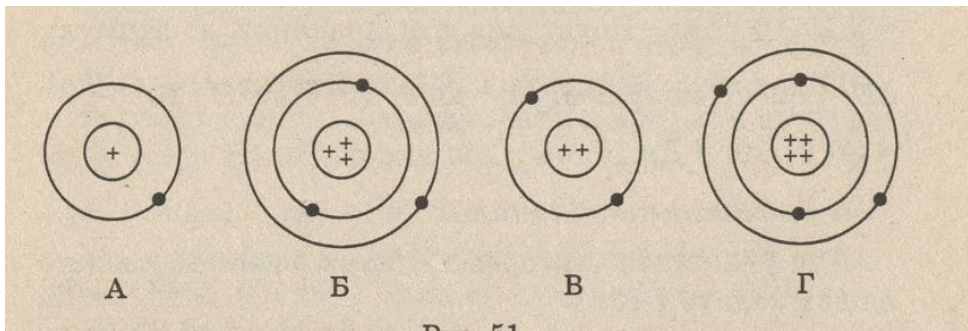
1. **Явление радиоактивности, открытое Беккерелем, свидетельствует о том, что...**

- А. Все вещества состоят из неделимых частиц-атомов.
- Б. В состав атома входят электроны.
- В. Атом имеет сложную структуру.
- Г. Это явление характерно только для урана.

2. **Кто предложил ядерную модель строения атома?**

- А. Беккерель. Б. Гейзенберг. В. Томсон. Г. Резерфорд.

3. **На рисунке изображены схемы четырёх атомов. Чёрные точки- электроны. Какая схема соответствует атому  ${}^4_2\text{He}$ ?**



4. **В состав атома входят следующие частицы:**
- Только протоны.
  - нуклоны и электроны.
  - протоны и нейтроны.
  - Нейтроны и электроны.
5. **Чему равно массовое число ядра атома марганца  ${}_{25}^{55}\text{Mn}$ ?**
25. Б. 80. В. 30. Г. 55.
6. **В каких из следующих реакций нарушен закон сохранения заряда?**
- ${}_{8}^{15}\text{O} \rightarrow {}_{1}^{1}\text{H} + {}_{8}^{14}\text{O}$ .
  - ${}_{3}^{6}\text{Li} + {}_{1}^{1}\text{H} \rightarrow {}_{2}^{4}\text{He} + {}_{2}^{3}\text{He}$ .
  - ${}_{2}^{3}\text{He} + {}_{2}^{3}\text{He} \rightarrow {}_{2}^{4}\text{He} + {}_{1}^{1}\text{H} + {}_{1}^{1}\text{H}$ .
  - ${}_{3}^{7}\text{Li} + {}_{2}^{4}\text{He} \rightarrow {}_{5}^{10}\text{B} + {}_{0}^{1}\text{n}$ .
7. **Атомное ядро состоит из протонов и нейтронов. Между какими парами частиц внутри ядра действуют ядерные силы?**
- Протон- протон
  - Протон- нейтрон.
  - Нейтрон- нейтрон.
  - Во всех парах А- В.
8. **Массы протона и нейтрона...**
- Относятся как 1836:1.
  - Приблизительно одинаковы.
  - Относятся как 1:1836.
  - Приблизительно равны нулю.
9. **В ядре атома кальция  ${}_{20}^{40}\text{Ca}$  содержится...**
- 20 нейтронов и 40 протонов.
  - 40 нейтронов и 20 электронов.
  - 20 протонов и 40 электронов.
  - 20 протонов и 20 нейтронов.
10. **В каком приборе след движения быстрой заряженной частицы в газе делается видимым ( в результате конденсации пересыщенного пара на ионах)?**
- В счетчике Гейгера.
  - В камере Вильсона.
  - В сцинтилляционном счетчике.
  - В пузырьковой камере.
11. **Определить второй продукт X в ядерной реакции:  ${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_{0}^{1}\text{n} \rightarrow {}_{11}^{24}\text{Na} + \text{X}$ .**
- Альфа- частица. Б. нейтрон. В. протон. Г. электрон

12. Атомное ядро состоит из  $Z$  протонов и  $N$  нейтронов. Масса свободного нейтрона  $m_n$ , свободного протона  $m_p$ . Какое из приведенных ниже условий выполняется для массы ядра  $m_g$ ?

А.  $m_g = Zm_p + Nm_n$

Б.  $m_g < Zm_p + Nm_n$ .

В.  $m_g > Zm_p + Nm_n$ .

Г. Для стабильных ядер условие А, для радиоактивных ядер условие В.

13. Рассчитать  $\Delta m$  (дефект масс) ядра атома  ${}^7_3\text{Li}$  ( в а.е.м.).

$m_p = 1,00728$ ;  $m_n = 1,00866$ ;  $m = 7,01601$ .

А.  $\Delta m \approx 0,04$ . Б.  $\Delta m \approx -0,04$ . В.  $\Delta m = 0$ . Г.  $\Delta m \approx 0,2$ .

14 В каких единицах должно быть выражено значение массы при вычислении энергии связи атомных ядер с использованием формулы  $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$ ?

А. В килограммах.

Б. В граммах.

В. В атомных единицах массы.

Г. В джоулях.

15. Что называется критической массой в урановом ядерном реакторе?

А. Масса урана в реакторе, при которой он может работать без взрыва.

Б. Минимальная масса урана, при которой в реакторе может быть осуществлена цепная реакция.

В. Дополнительная масса урана, вносимая в реактор для его запуска.

Г. Дополнительная масса вещества, вносимого в реактор для его остановки в критических случаях.

15. Какой вид радиоактивного излучения наиболее опасен при внешнем облучении человека?

А. Бета- излучение.

Б. гамма- излучение.

В. Альфа- излучение.

Г. Все три вида излучения: альфа, бета, гамма.

#### Дополнительное задание.

15. Все химические элементы существуют в виде двух или большего количества изотопов. Определите отличие в составе ядер изотопов  ${}^{35}_{17}\text{Cl}$  и  ${}^{37}_{17}\text{Cl}$ .

А. изотоп  ${}^{35}_{17}\text{Cl}$  имеет в ядре на 2 протона больше, чем  ${}^{37}_{17}\text{Cl}$ .

Б. изотоп  ${}^{37}_{17}\text{Cl}$  имеет в ядре на 2 протона меньше, чем  ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ .

В. изотоп  ${}^{37}_{17}\text{Cl}$  имеет в ядре на 2 нейтрона больше, чем  ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ .

Г. изотоп  ${}^{37}_{17}\text{Cl}$  имеет в ядре на 2 нейтрона меньше, чем  ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ .

18. При альфа- распаде атомных ядер...

А. Масса ядра остается практически неизменной, поэтому массовое число сохраняется, а заряд увеличивается на единицу.

Б. Массовое число уменьшается на 4, а заряд остается неизменным.

В. Массовое число уменьшается на 4, а заряд увеличивается на 2.

Г. Массовое число уменьшается на 4, заряд также уменьшается на 2.

19. Выделяется или поглощается энергия в ядерной реакции  ${}^6_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow 2{}^4_2\text{He} + 2{}^3_2\text{He}$ ? Массы ядер и частиц в а. м. соответственно равны:  $m_{{}^6_3\text{Li}} = 6,01513$ ,  $m_{{}^1_1\text{H}} = 1,00728$ ,  $m_{{}^4_2\text{He}} = 4,00260$ ,  $m_{{}^3_2\text{He}} = 3,01602$ .

А. Поглощается, т.к.  $\Delta m < 0$ .

Б. Выделяется, т.к.  $\Delta m < 0$ .

В. Поглощается, т.к.  $\Delta m > 0$ .

Г. Выделяется, т.к.  $\Delta m > 0$ .

20. При бомбардировке изотопа  ${}^5_{10}\text{B}$  нейтронами из образовавшегося ядра выбрасывается альфа-частица. Пользуясь законами сохранения массового числа и заряда, а также периодической системой элементов, запишите ядерную реакцию.

### Вариант 2

**1. В состав радиоактивного излучения могут входить...**

А. Только электроны.

Б. Только нейтроны.

В. Только альфа-частицы.

Г. Бета- частицы, альфа-частицы, гамма-кванты.

**2. С помощью опытов Резерфорд установил, что...**

А. Положительный заряд распределён равномерно по всему объёму атома.

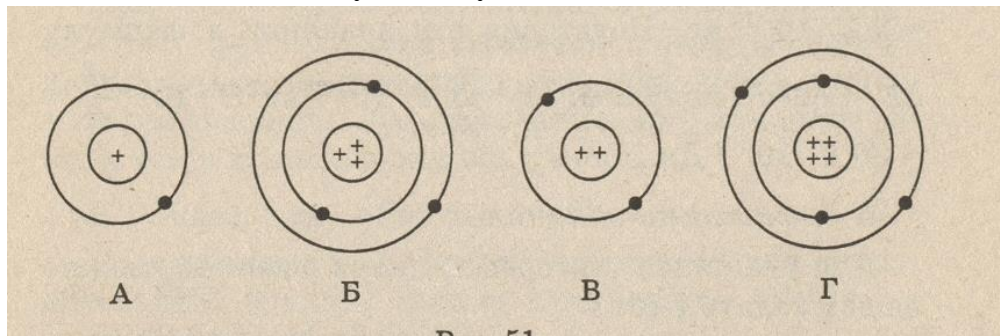
Б. Положительный заряд сосредоточен в центре атома и занимает очень малый объём.

В. В состав атома входят электроны.

Г. Атом не имеет внутренней структуры.

3. На рисунке изображены схемы четырёх атомов. Электроны изображены в виде чёрных точек.

Какая схема соответствует атому  ${}^7_3\text{Li}$ ?



3. В состав ядра входят следующие частицы:

А. Только протоны.

Б. Протоны и электроны.

В. Протоны и нейтроны

Г. Нейтроны и электроны.

**5. Чему равен заряд ядра атома стронция  ${}^{88}_{38}\text{Sr}$ ?**

А. 88 Б. 38 В. 50 Г. 126.

3. В каком из приведённых ниже уравнений ядерных реакций нарушен закон сохранения массового числа?

А.  ${}^4_9\text{Be} + {}^2_4\text{He} \rightarrow {}^6_{12}\text{C} + {}^0_1\text{H}$

Б.  ${}^7_{14}\text{N} + {}^2_4\text{He} \rightarrow {}^8_{17}\text{O} + {}^1_1\text{H}$

В.  ${}^7_{14}\text{N} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^5_{11}\text{B} + {}^2_4\text{He}$

Г.  ${}_{92}^{239}\text{U} \rightarrow {}_{93}^{239}\text{Np} + {}_{-1}^0\text{e}$

**6. Ядерные силы, действующие между нуклонами ...**

А. Во много раз превосходят гравитационные силы и действуют между заряжёнными частицами.

Б. Во много раз превосходят все виды сил и действуют на любых расстояниях.

В. Во много раз превосходят все другие виды сил, но действуют только на расстояниях, сравнимых с размерами ядра.

Г. Во много раз превосходят гравитационные силы и действуют между любыми частицами.



7. **Массы протона и электрона...**

- А. Относятся как 1836 : 1.
- Б. Приблизительно одинаковы.
- В. Относятся как 1 : 1836.
- Г. Приблизительно равно нулю.

**8. В ядре атома железа  ${}_{26}^{56}\text{Fe}$  содержится:**

- А. 26 нейтронов и 56 протонов.
- Б. 56 нейтронов и 26 протонов.
- В. 26 протонов и 56 электронов.
- Г. 26 протонов и 30 нейтронов.

9. **В каком приборе происхождение ионизирующей частицы регистрируется по возникновению импульса электрического тока в результате возникновения самостоятельного разряда в газе?**

- А. В камере Вильсона.
- Б. В счётчике Гейгера.
- В. В сцинтилляционном счётчике.
- Г. В пузырьковой камере.

9. **Определите второй продукт X ядерной реакции:**



- А. Альфа-частица ( ${}_2^4\text{He}$ ).
- Б. Нейтрон.
- В. Протон.
- Г. Электрон.

**12. Атомное ядро состоит из Z протонов и N нейтронов. Масса свободного нейтрона  $m_n$ , свободного протона  $m_p$ . Какое из приведённых ниже условий выполняется для массы ядра  $m_{\text{я}}$ ?**

- А.  $m_{\text{я}} < Z \cdot m_p + N \cdot m_n$ ; Б.  $m_{\text{я}} > Z \cdot m_p + m_n$ ; В.  $m_{\text{я}} = Z \cdot m_p + N \cdot m_n$
- Г. Для стабильных ядер условие А, для радиоактивных - условие Б.

**13. Рассчитать дефект масс ( $\Delta m$ ) в а. е. м. Ядра атома  ${}^3\text{He}$ . Массы частиц и ядра, выраженные в а. е. м., соответственно равны:  $m_n = 1,00866$ ;  $m_p = 1,00728$ ;  $m_{\text{я}} = 3,01602$ .**

- А.  $\Delta m \approx 0,072$  Б.  $\Delta m \approx 0,0072$  В.  $\Delta m \approx -0,0072$  Г.  $\Delta m \approx 0$

**14. В каких единицах будет получено значение энергии при вычислении энергии связи атомных ядер с использованием формулы  $\Delta E = m \cdot c^2$ ?**

- А. В электрон-вольтах (эВ).
- Б. В мегаэлектрон-вольтах (МэВ)
- В. В джоулях.
- Г. В а. е. м.

**15. В ядерном реакторе в качестве так называемых замедлителей используются такие вещества, как графит или вода. Что они должны замедлять и зачем?**

- А. Замедляют нейтроны для уменьшения вероятности осуществления ядерной реакции деления.
- Б. Замедляют нейтроны для увеличения вероятности осуществления ядерной реакции деления.
- В. Замедляют осуществление цепной реакции деления, чтобы легче было управлять реактором.
- Г. Замедляют осколки ядер, образовавшихся в результате деления урана, для практического использования их кинетической энергии.

**16. Какой вид радиоактивного излучения наиболее опасен при внутреннем облучении человека?**

- А. Бета-излучение.
- Б. Гамма-излучение.
- В. Альфа-излучение.
- Г. Все три вида излучения: альфа, бета, гамма.

**Дополнительное задание.**

17. Все химические элементы существуют в виде двух или большего количества изотопов.

Определите отличие в составе ядер изотопов  $_{10}^{20}\text{Ne}$  и  $_{10}^{22}\text{Ne}$

- А. изотоп  $_{10}^{20}\text{Ne}$  имеет в ядре на 2 протона больше, чем  $_{10}^{22}\text{Ne}$
- Б. изотоп  $_{10}^{20}\text{Ne}$  имеет в ядре на 2 протона меньше, чем  $_{10}^{22}\text{Ne}$
- В. изотоп  $_{10}^{22}\text{Ne}$  имеет в ядре на 2 нейтрона больше, чем  $_{10}^{20}\text{Ne}$
- Г. изотоп  $_{10}^{22}\text{Ne}$  имеет в ядре на 2 нейтрона меньше, чем  $_{10}^{20}\text{Ne}$

18. При бета-распаде атомных ядер...

А. Масса ядра остается практически неизменной, поэтому массовое число сохраняется, а заряд увеличивается.

Б. Массовое число увеличивается на 1, а заряд уменьшается на 1.

В. Массовое число сохраняется, а заряд уменьшается на 1.

Г. Массовое число уменьшается на 1, заряд сохраняется.

19. Выделяется или поглощается энергия в ядерной реакции  $_{7}^{14}\text{N} + _{2}^{4}\text{He} \rightarrow _{8}^{17}\text{O} + _{1}^{1}\text{H}$ ?  
Массы ядер и частиц (в а. м.) соответственно равны:  $m_{7}^{14}\text{N} = 14,00307$ ,  $m_{2}^{4}\text{He} = 4,00260$ ,  $m_{8}^{17}\text{O} = 16,99913$ ,  $m_{1}^{1}\text{H} = 1,00728$ .

А. Поглощается, т.к.  $\Delta m < 0$ .

Б. Выделяется, т.к.  $\Delta m < 0$ .

В. Поглощается, т.к.  $\Delta m > 0$ .

Г. Выделяется, т.к.  $\Delta m > 0$ .

20. Пользуясь законами сохранения массового числа и заряда, а также периодической системой элементов, написать ядерную реакцию, происходящую при бомбардировке  $_{5}^{11}\text{B}$  альфа-частицами и сопровождаемую выбиванием нейтронов

**Таблица перевода числа правильных ответов на обязательные вопросы в оценку по пятибалльной шкале.**

Число правильных ответов	0-6	7-10	11-13	14-15	16-20
Оценка в баллах	1	2	3	4	5

**Практическая работа № 36**

**Тема: Происхождение Солнечной системы (гипотеза О. Ю. Шмидта)**

Вселенная настолько грандиозна, что в ней почетно играть даже скромную роль

Х а р л о у Ш е п л и

## **Законспектировать основные моменты гипотезы О.Ю.Шмидта о происхождении Солнечной системы**

### **Часть 1: Космогония**

Космогония — наука, изучающая происхождение и развитие небесных тел, например планет и их спутников, Солнца, звёзд, галактик. Астрономы наблюдают космические тела на различной стадии развития, образовавшиеся недавно и в далёком прошлом, быстро «стареющие» или почти «застывшие» в своём развитии. Сопоставляя многочисленные данные наблюдений с физическими процессами, которые могут происходить при различных условиях в космическом пространстве, учёные пытаются объяснить, как возникают небесные тела. Единой, завершённой теории образования звёзд, планет или галактик пока не существует. Проблемы, с которыми столкнулись учёные, подчас трудно разрешимы. Решение вопроса о происхождении Земли и Солнечной системы в целом значительно затрудняется тем, что других подобных систем мы пока не наблюдаем. Нашу солнечную систему не с чем пока ещё сравнивать, хотя системы, подобные ей, должны быть достаточно распространены и их возникновение должно быть не случайным, а закономерным явлением

В настоящее время при проверке той или иной гипотезы о происхождении Солнечной системы в значительной мере основывается на данных о химическом составе и возрасте пород Земли и других тел Солнечной системы. Наиболее точный метод определения возраста пород состоит в подсчёте отношения количества радиоактивного урана к количеству свинца, находящегося в данной породе. Скорость этого процесса известна точно, и её нельзя изменить никакими способами. Самые древние горные породы имеют возраст несколько миллиардов лет. Земля в целом, очевидно, возникла несколько раньше, чем земная кора.

В середине XVIII века немецкий философ И. Кант предложил свою теорию образования Солнечной системы, основанную на законе всемирного тяготения. Она предполагала возникновение Солнечной системы из облака холодных пылинок, находящихся в беспорядочном хаотическом движении. В 1796 году французский учёный П. Лаплас подробно описал гипотезу образования Солнца и планет из уже вращающейся газовой туманности. Лаплас учёл основные характерные черты Солнечной системы, которые должна была объяснить любая гипотеза о её происхождении. В данный период наиболее разработанной является гипотеза О. Ю. Шмидта, разработанная в середине века.

### **Часть 2: Туманность**

Давайте перенесемся в далекое прошлое, примерно на 7 миллиардов лет назад. Современная наука, как говорят ученые, с достаточной степенью

вероятности позволяет нам представить происходившие тогда события. Одним словом мы «висим» в космосе и наблюдаем за жизнью одной из газовой-пылевой, водородно-гелиевых (с примесью тяжелых элементов) туманностей. Той, которая в будущем даст начало нашей Солнечной системе, Солнцу, Земле и нам с вами. Туманность темна и непрозрачна, как дым. Зловещей невидимкой медленно ползет она на фоне чёрной бездны, и о ее рваных, размытых очертаниях можно только догадываться по тому, как постепенно тускнеют и гаснут за ней далекие звезды. Через некоторое время мы обнаруживаем, что туманность медленно поворачивается вокруг своего центра, еле заметно вращается. Мы замечаем так же, что она постепенно сжимается, сжимается, очевидно уплотняясь при этом. Действует тяготение, собирая к центру частицы туманности. Вращение туманности при этом ускоряется. Если вы хотите понять механику этого явления, вспомните простой земной пример — вращающегося на льду спортсмена-фигуриста. Не делая никакого добавочного толчка, он ускоряет свое вращение лишь тем, что руки, до этого распахнутые в стороны, прижимает к телу. Работает «Закон сохранения количества движения». Идет время. Туманность вращается все быстрее. А от этого возникает и увеличивается центробежная сила, способная бороться с тяготением. Центробежная сила нам хорошо знакома. Она, например, «работает» в любом автобусе, когда на крутом завороте валит стоящих пассажиров. Борьба двух сил, тяготения и центробежной, начинается в туманности при ускорении её вращения. Тяготение сжимает туманность, а центробежная сила стремится раздуть её, разорвать. Но тяготение тянет частицы к центру со всех сторон одинаково. А центробежная сила отсутствует на «полюсах» туманности и сильнее всего проявляется на её «экваторе». Поэтому именно на «экваторе» она оказывается сильнее тяготения и раздувает туманность в стороны. Туманность, продолжая вращаться все быстрее, сплющивается, из шара превращается в плоскую «лепешку», похожую на спортивный диск. Наступает момент, когда на наружных краях «диска» центробежная сила уравнивается, а потом и пересиливает тяготение. Ключья туманности здесь начинают отделяться. Центральная часть её продолжает сжиматься, все ускоряя свое вращение, и от внешнего края продолжают отходить все новые и новые ключья, отдельные газопылевые облака.

### Часть 3: Рождение Солнца

И вот туманность приобрела совсем другой вид. В середине величаво вращается огромное темное, чуть сплющенное облако, а вокруг него на разных расстояниях плывут по круговым орбитам, расположенным примерно в одной плоскости, оторвавшиеся от него небольшие «облака-спутники». Последим за центральным облаком. Оно продолжает уплотняться. Но теперь с силой тяготения начинает бороться новая сила — сила газового давления. Ведь в середине облака накапливается все больше частиц вещества. Там возникает «страшная теснота» и «невероятная толчея»

частиц. Они мечутся, все сильнее ударяя друг друга. На языке физиков — в центре повышаются температура и давление. Сначала там становится тепло, потом жарко. Снаружи мы этого не замечаем: облако огромно и непрозрачно. Тепло наружу не выходит. Но вот что-то внутри произошло! Облако перестало сжиматься. Могучая сила возросшего от нагрева газового давления остановила работу тяготения. Резко пахнуло нестерпимым жаром, как из жерла внезапно открывшейся печи! В глубине черной тучи стали слабо просвечивать рвущиеся наружу клубы тусклого красного пламени. Они всё ближе и ярче. Шар величаво кипит, перемешивая вырвавшийся огонь ядра с черным туманом своих окраин. Испепеляющий жар заставляет нас отпрянуть еще дальше назад. Однако, вырвавшись наружу, горячий газ ослабил противодействие тяготению. Облако снова стало сжиматься. Температура в его центре опять начала расти. Она дошла уже до сотен тысяч градусов! В этих условиях вещество не может быть даже газообразным. Атомы разваливаются на свои части. Вещество переходит в состояние плазмы. Но и плазма — бешенная толчея атомных ядер и электронов — не может выносить нагрев до бесконечности. Когда её температура поднимется выше десяти миллионов градусов, она как бы «воспламеняется». Удары частиц друг о друга становятся так сильны, что ядра атомов водорода уже не отскакивают друг от друга, как мячики, а врезаются, вдавливаются друг в друга и сливаются друг с другом. Начинается «ядерная реакция». Из каждых четырех ядер атомов водорода образуется одно ядро гелия. При этом выделяется огромная энергия. Такое вот «ядерное горение» водорода началось и в наше раскаленное шаре. Этот «пожар» теперь уже не остановить. «Плазма» разбушевалась. Газовое давление в центре заработало с удесятенной силой. Плазма рвется наружу, как пар из котла. С чудовищной силой она давит изнутри на внешние слои шара и приостанавливает их падение к центру.

Установилось равновесие. Плазме не удастся разорвать шар, разбросать его обрывки в стороны. А тяготению не удастся сломить давление плазмы и продолжить сжатие шара. Ослепительно светящийся бело-желтым светом шар перешел в устойчивую стадию. Он стал звездой. Стал нашим Солнцем! Теперь оно будет миллиардами лет, не меняя размера, не охлаждаясь и не перегреваясь, светить одинаково ярким бело-желтым светом. Пока внутри не выгорит весь водород. А когда он весь превратится в гелий, исчезнет «подпорка» внутри Солнца, оно сожмется. От этого температура в его недрах снова повысится. Теперь уже до сотен миллионов градусов. Но тогда «воспламенится» гелий, превращаясь в более тяжелые элементы. И сжатие снова прекратится.

Есть в запасе у звезд еще несколько ядерных реакций, требующих для своего начала все более высоких давлений и температур. В них «варятся» ядра все более сложных и тяжелых элементов. В конце концов, все возможные реакции будут исчерпаны. Звезда сожмется, станет крохотным

«белым карликом». Потом постепенно остынет, потускнеет. Наконец, погаснет совсем. Молчаливой невидимкой будет плыть в космосе «чёрный карлик» — холодная «головешка», оставшаяся от некогда бушевавшего мощного костра. Как видим из исходного материала — водорода — в недрах звезд, в ядерных реакциях синтеза «варятся» ядра атомов всех элементов. И пожалуй, можно сказать, что именно там, в недрах звезд, закладывается начало жизни. Ведь именно там возникают ядра «атома жизни» углерода. А за ними ядра атомов всех других необходимых для жизни элементов таблицы Менделеева. Не обязательно это ценное «варево» оказывается потом похороненным в остывших «чёрных карликах». Во многих звездах, образовавшихся из более крупных сгустков туманностей, ядерное горение проходит слишком бурно. Газовое давление оказывается намного сильнее тяготения. Оно раздувает звезду, рвет её в клочья, разбрасывая во все стороны. Эти грандиозные взрывы в звездном мире иногда наблюдаются с Земли и называются вспышками «сверхновых звезд». В результате взрыва звезда рассеивается в межзвездном пространстве, обогащая его тяжелыми элементами. Это основной источник той таинственной, жизненно важной примеси, о которой мы говорили раньше. Теперь о выделении этой примеси.

#### Часть 4: Образование планет

Вернемся к спутникам нашего Солнца, к тем обрывкам туманности, которые оторвались от центрального сгустка под действием центробежной силы и начали кружиться вокруг него. Именно здесь создаются условия, способствующие разделению легких и тяжелых частиц туманности. Происходит нечто похожее на наш древний способ добычи золота промывкой из золотоносного песка или на провеивание зерна в молотилках. Струя воды или воздуха уносит легкие частицы, оставляя тяжелые. Облака-спутники находятся на очень разных расстояниях от Солнца. Далекое оно почти не греет. Зато в близких — его жар испаряет все способное испариться. А его ослепительный ярчайший свет, работая как своеобразный «ветер», выдувает из них все испарившееся, вообще все легкое, оставляя лишь то, что потяжелее, что «не сдвинешь с места». Поэтому здесь почти не остается легких газов — водорода и гелия, основной составляющей газопылевой туманности. Мало остается и других «летучих» веществ. Все это уносится горячим «ветром» вдаль. В результате через некоторое время химический состав облаков-спутников становится совершенно разным. В далеких — он почти не изменился. А в тех, что кружатся вблизи источающего жар и свет Солнца, остался лишь «прокаленный» и «обдутый» материал — выделенная «драгоценная жизненно важная примесь» тяжелых элементов. Материал для создания обитаемой планеты готов. Начинается процесс превращения «материала» в «изделие», частиц туманности — в планеты.

а) Этап первый — слипание частиц.

В далеких облаках-спутниках многочисленные молекулы легких газов и редкие легкие пылинки понемногу собираются в огромные рыхлые шары малой плотности. В дальнейшем это планеты группы Юпитера. В облаках-спутниках, близких к Солнцу, тяжелые пылинки слипаются в плотные каменистые комки. Они объединяются в огромные массивные скалистые глыбы, чудовищными серыми угловатыми громадами плывущие по орбитам вокруг своей звезды. Двигаясь по разным, иногда пересекающимся орбитам, эти «астероиды», размером в десятки километров каждый, сталкиваются. Если на небольшой относительной скорости, то как бы «вдавливаются» один в другой, «нагромождаются», «налипают» один на другой. Объединяются в более крупные. Если на большой скорости, то мнут, крошат друг друга, порождая новую «мелочь», бесчисленные обломки, осколки, которые вновь проходят долгий путь объединения. Сотни миллионов лет идет этот процесс слияния мелких частиц в крупные небесные тела. По мере увеличения своих размеров они становятся все более шарообразными. Растет масса — возрастает сила тяжести на их поверхности. Верхние слои давят на внутренние. Выступающие части оказываются грузом более тяжелым и постепенно погружаются в толщу нижележащих масс, раздвигая их под собой. Те, отходя в стороны, заполняют собой впадины. Грубый «ком» постепенно сглаживается. В результате вблизи Солнца образуются несколько сравнительно небольших по размеру, но очень плотных, состоящих из очень тяжелого материала, планет земной группы. Среди них — Земля. Все они резко отличаются от планет группы Юпитера богатством химического состава, обилием тяжелых элементов, большим удельным весом. Теперь посмотрим на Землю. На звездном фоне, освещенный с одной стороны яркими солнечными лучами, плывет перед нами огромный каменный шарик. Он ещё не гладкий не ровный. Ещё торчат кое-где выступы слепивших его глыб. Ещё «читаются» не полностью заплывшие «швы» между ними. Пока это еще «грубая работа». Но вот что интересно. Уже есть атмосфера. Чуть мутноватая, очевидно, от пыли, но без облаков. Это выдавленные из недр планеты водород и гелий, которые в свое время прилипли к каменистым частицам и каким-то чудом уцелели, не были «сдуты» солнечными лучами. Первичная атмосфера Земли. Долго она не продержится. «Не мытьем, так катаньем» Солнце уничтожит её. Легкие подвижные молекулы водорода и гелия под действием нагрева солнечными лучами будут постепенно улетучиваться в космос. Этот процесс называется «диссипацией»

б) Этап второй — разогревание.

Внутри планеты, в смеси с другими оказываются зажатыми, «запертыми» радиоактивные вещества. Они отличаются тем, что непрерывно выделяют тепло, чуть заметно нагреваются. Но в толще планеты этому теплу некуда выйти, нет вентиляции, нет омывающей влаги. Над ними — мощная «шуба» из вышележащих слоев. Тепло накапливается. От этого радиоактивного

разогрева начинается размягчение всей толщи планеты. В размягченном виде вещества, в свое время хаотично, бессистемно слепившие её, начинают теперь распределяться по весу. Тяжелые постепенно опускаются, тонут к центру. Легкие выдавливаются ими, поднимаются выше, всплывают все ближе к поверхности. Постепенно планета приобретает строение, подобное теперешней нашей Земле, в центре, сжатой чудовищным весом навалившихся сверху слоев, тяжелое ядро. Оно окружено «мантией» — толстым слоем вещества полегче весом. И наконец, снаружи совсем тонкая, толщиной всего в несколько десятков километров, «кора», состоящая из наиболее легких горных пород. Радиоактивные вещества в основном содержатся в легких породах. Поэтому теперь они скопились в «коре», греют её. Основное тепло с поверхности планеты уходит в космос, от планеты «чуть повеяло теплом». А на глубине десятков километров тепло сохраняется, разогревая горные породы.

в) Этап третий — вулканическая деятельность.

В некоторых местах недра планеты накаляются докрасна. Потом даже больше. Камни плавятся, превращаются в раскаленную, светящуюся оранжево-белым светом огненную кашу — «магму». В толще коры ей тесно. В ней полно сжатых газов, которые готовы были бы взорвать, разбросать всю эту магму во все стороны огненными брызгами. Но сил для этого не хватает. Слишком крепка и тяжела окружающая и придавившая сверху кора планеты. И огненная магма, пытаясь хоть как-нибудь вырваться наверх, на свободу, нащупывает между сжимающимися её глыбами слабые места, протискивается в щели, подплавляя их стенки своим жаром. И понемногу с годами, столетиями набирая силу, поднимается из глубин к поверхности планеты. И вот победа! «Канал» пробит! Сотрясая скалы, с грохотом вырывается из недр столб огня. Клубы дыма и пара вздымаются к небу. Летят вверх камни и пепел. Огненная магма, которая называется теперь «лава», выливается на поверхности планеты, растекается в стороны. Происходит извержение вулкана. Таких «пробитых изнутри дырок» на планете много. Они помогают молодой планете «бороться с перегревом». Через них она освобождается от накопившейся огненной магмы, «выдыхает» распирающие её горячие газы — в основном углекислый газ и водяной пар, а с ними — разные примеси, такие, как метан, аммиак. Постепенно в атмосфере почти исчезли водород и гелий, и она стала состоять в основном из вулканических газов. Кислорода в ней пока нет и в помине. Для жизни эта атмосфера совершенно непригодна. Очень важно, что вулканы выбрасывают на поверхность большое количество водяного пара. Он собирается в облака. Из них на поверхность планеты льются дожди. Вода стекает в низины, накапливается. И понемногу на планете образуются озера, моря, океаны, в которых может развиваться жизнь.

Здесь надо оговориться. Из нескольких гипотез происхождения жизни наиболее распространенную, кажущуюся нам наиболее обоснованной,



гипотезу самопроизвольного зарождения жизни предложил академик А. И. Опаркин.

## Часть 5: Почему именно Земля?

А пока — о Земле, идеально подготовленной к тому, чтобы стать нашей колыбелью. Нам повезло. На земле совпало несколько благоприятных для жизни обстоятельств. Далекое не каждая звезда становится Солнцем, окруженным планетами. Стоило туманности медленнее вращаться, не возникла бы центробежная сила, не оторвались бы клочки от центрального сгустка, не возникли бы планеты. И плыла бы такая одинокая «бездетная» звезда в чёрной бездне, бесплодно расточая своё тепло и свет... Далекое не всякая звезда, породившая планеты, способна создать на них условия, пригодные для зарождения жизни. Для зарождения и развития жизни нужно очень много времени, миллиарды лет. Всё это время звезда должно гореть ровно, спокойно, одинаково. Тогда условия на планете будут постоянными — и жизнь сможет к ним приспособиться. А ведь звезды далеко не такие не все такие спокойные, как наше Солнце. Молодые звезды иногда вспыхивают. Волна испепеляющего жара обрушивается на окружающие планеты, сжигая, испаряя все, что способно гореть и кипеть. Жизнь на планете после такого огненного урагана, безусловно, погибнет, и на пустом голом шаре надо будет начинать все сначала. Для развития жизни нужна спокойная звезда. Наше Солнце — спокойная звезда. Но поставьте нашу Землю ближе к Солнцу, например, на место Меркурия или Венеры. От нестерпимой жары на Земле даже не смогут образоваться океаны. Вода сразу выкипит. Какая уж тут жизнь. Отодвиньте Землю дальше от Солнца, куда-нибудь в район Юпитера. Тоже жизнь не возникнет. Вода — основа жизни будет там всегда замерзшей. Нам повезло ещё в том, что орбита Земли круговая, а ведь могла быть эллиптическая. Вот представьте себе, что Земля то приближается к Солнцу так близко, что вода с её поверхности вся испаряется, то удаляется так далеко, что вода, выпав из атмосферы обратно на Землю, промерзает насквозь. Через «комфортное» место, где температуры «в самый раз», она проносится дважды в год с такой стремительностью, что «ничего не успеть сделать». Для зарождения и развития жизни просто нет времени. Подобный жар-холод может быть не только от эллиптичности орбиты. Бывают «двойные звезды». Тогда при любой орбите планета не может всегда быть на равном расстоянии от источника тепла. То одно солнце близко, то другое, то оба далеко. Нам повезло и в смысле размера нашей планеты. Будь она меньше, например, размером с Луну, не удержат её на себе атмосферу. А значит, и воду, склонную испаряться, переходя в атмосферу. Сколько бы вулканы не подбрасывали все новые и новые порции газов и воды, всё это быстро улетучится в космос. На Луне поэтому и нет ни атмосферы, ни воды, ни жизни. Неудобна для жизни и Земля, размером, скажем с Юпитер. Неудобна из-за слишком сильного притяжения. Такая большая «Земля» будет держать

на себе слой очень густой атмосферы, содержащей к тому же водород и гелий, неблагоприятные для возникновения жизни. Толстый слой очень плотных облаков создаст на такой планете вечный мрак. А без живительных солнечных лучей какая может быть жизнь? Одним словом, когда мы глядим на небо, усыпанное звездами, не надо забывать, что, во-первых, вероятно, далеко не все звезды имеют планеты, а во-вторых, далеко не все планеты пригодны для жизни. Но... звезд в нашей галактике примерно 100 миллиардов, и уж наверное, в ней достаточно планет, похожих на Землю.