

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
«Северо-Кавказский федеральный университет»

Невинномысский технологический институт (филиал) СКФУ  
Отделение среднего профессионального образования

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**к практическим занятиям**

по (учебной) дисциплине	СОО.02.03 Физика
Специальность	38.02.03 Операционная деятельность в логистике
Форма обучения	очная

Невинномысск, 2026

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Физика» составлены в соответствии с требованиями ФГОС СПО и предназначены для студентов, обучающихся по специальности: 38.02.03 Операционная деятельность в логистике.

Методические указания для учебной дисциплины разработаны:  
Сыроватской В.И., канд. пед. наук доцент кафедры ГиМД, НТИ(филиал) СКФУ

## Предисловие

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Физика» разработаны в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования и предназначены для студентов, обучающихся по специальности 38.02.03 «Операционная деятельность в логистике».

Цель данных методических указаний — формирование у обучающихся устойчивых практических навыков решения физических задач, развитие логического мышления, а также закрепление теоретических знаний через применение их к реальным и профессионально ориентированным ситуациям.

Содержание практических занятий охватывает основные разделы курса физики: механику, молекулярную физику и термодинамику, электродинамику, квантовую физику и элементы астрофизики. Каждое занятие включает задания трёх уровней сложности:

- уровень А — базовый;
- уровень В — повышенный;
- уровень С — высокий.

Такое построение позволяет реализовать дифференцированный подход к обучению и учитывать индивидуальные особенности студентов.

Задачи подобраны с учётом профессиональной направленности подготовки, что способствует формированию компетенций, необходимых будущим специалистам в области логистики.

Дополнительные графические материалы и иллюстрации направлены на визуализацию физических процессов, облегчение понимания учебного материала и развитие навыков анализа графиков и схем.

Методические указания могут использоваться как на аудиторных занятиях под руководством преподавателя, так и для самостоятельной работы студентов.

## Практическое занятие №1. Расчёт кинематических характеристик движения

### Уровень А

1. Автопогрузчик движется равномерно со скоростью 1,2 м/с. Какой путь он проедет за 25 с?  
**Ответ:** 30 м.
2. Электрокар разгоняется из состояния покоя с ускорением 0,5 м/с<sup>2</sup>. Какая скорость через 8 с?  
**Ответ:** 4 м/с.
3. Тележка скатывается с горки с ускорением 0,8 м/с<sup>2</sup>. Какой путь она пройдёт за первые 3 с?  
**Ответ:** 3,6 м.
4. Лента конвейера движется со скоростью 0,6 м/с. Сколько времени потребуется, чтобы переместить груз на 12 м?  
**Ответ:** 20 с.
5. Автомобиль тормозит с 10 м/с до полной остановки за 5 с. Найти ускорение.  
**Ответ:** -2 м/с<sup>2</sup>.
6. Мотоциклист движется равномерно по окружности радиусом 20 м со скоростью 10 м/с. Найти центростремительное ускорение.  
**Ответ:** 5 м/с<sup>2</sup>.
7. Ролик конвейера вращается с частотой 120 об/мин. Радиус ролика 0,05 м. Найти линейную скорость точки на ободу.  
**Ответ:** 0,628 м/с.
8. Поезд метро отъезжает от станции с ускорением 0,3 м/с<sup>2</sup>. Через сколько секунд его скорость станет 6 м/с?  
**Ответ:** 20 с.
9. Тело брошено вертикально вверх с начальной скоростью 15 м/с. На какой высоте его скорость уменьшится вдвое? ( $g = 10 \text{ м/с}^2$ )  
**Ответ:** 8,44 м.
10. Грузовик движется со скоростью 54 км/ч. Выразите скорость в м/с. **Ответ:** 15 м/с.

### Уровень В

11. Теплоход проходит по течению 48 км за 2 ч, а против течения – 42 км за 3 ч. Найти скорость течения.  
**Ответ:** 5 км/ч.
12. Автомобиль, двигаясь равноускоренно, за 10 с увеличил скорость с 5 до 15 м/с. Найти ускорение и пройденный путь.  
**Ответ:** 1 м/с<sup>2</sup>; 100 м.
13. С каким ускорением должен затормозить локомотив, идущий со скоростью 72 км/ч, чтобы остановиться через 200 м?  
**Ответ:** -1 м/с<sup>2</sup>.
14. Два автомобиля выезжают одновременно из одного пункта в одном направлении. Первый – равномерно 20 м/с, второй – равноускоренно 0,5 м/с<sup>2</sup> из состояния покоя. Через сколько секунд они поравняются?  
**Ответ:** 80 с.
15. Колесо радиусом 0,3 м делает 300 оборотов за 1 мин. Найти угловую скорость и линейную скорость точки на ободу.  
**Ответ:** 31,4 рад/с; 9,42 м/с.
16. Тело брошено под углом 30° к горизонту со скоростью 20 м/с. Найти время полёта и дальность ( $g = 10$ ).  
**Ответ:** 2 с; 34,6 м.

17. Свободно падающее тело за последнюю секунду прошло 35 м. С какой высоты падало тело?  
**Ответ:** 80 м.
18. Эскалатор метро поднимает неподвижно стоящего пассажира за 1 мин. По неподвижному эскалатору пассажир поднимается за 3 мин. За какое время он поднимется на движущемся эскалаторе, идя по нему?  
**Ответ:** 45 с.
19. Автомобиль первую половину пути ехал со скоростью 60 км/ч, вторую – 40 км/ч. Найти среднюю скорость.  
**Ответ:** 48 км/ч.
20. Поезд длиной 240 м движется по мосту равномерно со скоростью 36 км/ч. Мост длиной 360 м. Сколько времени поезд будет проходить мост?  
**Ответ:** 60 с.
- Уровень С**
21. Два тела брошены вертикально вверх с интервалом 1 с с одинаковой скоростью 20 м/с. Через сколько секунд они встретятся?  
**Ответ:** 1,5 с.
22. Материальная точка движется по закону  $x(t) = 2 + 3t - 0,5t^2$ . Найти начальную скорость, ускорение, координату и скорость через 2 с.  
**Ответ:** 3 м/с;  $-1 \text{ м/с}^2$ ; 6 м; 1 м/с.
23. Тело брошено горизонтально с высоты 45 м со скоростью 10 м/с. Найти дальность полёта и угол падения к горизонту.  
**Ответ:** 30 м;  $\approx 71,6^\circ$ .
24. Шкив вращается с частотой 5 об/с. После выключения он останавливается через 20 с, вращаясь равнозамедленно. Сколько оборотов он сделал до остановки?  
**Ответ:** 50 об.
25. С высоты 100 м свободно падает тело. Одновременно с поверхности земли бросают другое тело вертикально вверх со скоростью 30 м/с. Когда и где они встретятся?  
**Ответ:** через 3,33 с на высоте 55,5 м.
26. Автомобиль трогается с места с ускорением  $2 \text{ м/с}^2$  и через некоторое время начинает тормозить с ускорением  $3 \text{ м/с}^2$  до остановки, пройдя всего 200 м. Найти максимальную скорость и время движения.  
**Ответ:** 21,9 м/с;  $\approx 18,3 \text{ с}$ .
27. Два поезда идут навстречу друг другу со скоростями 72 и 54 км/ч. Пассажир в первом поезде замечает, что второй поезд проходит мимо него за 14 с. Какова длина второго поезда?  
**Ответ:** 490 м.
28. Камень брошен с высоты 2 м горизонтально и упал на расстоянии 7 м от основания. С какой скоростью брошен камень?  
**Ответ:** 11 м/с.
29. Диск радиусом 0,5 м вращается согласно уравнению  $\varphi = 4t + 0,3t^2$ . Найти угловую скорость, угловое ускорение и линейную скорость точки на краю через 2 с.  
**Ответ:** 5,2 рад/с;  $0,6 \text{ рад/с}^2$ ; 2,6 м/с.
30. Точка движется по окружности радиусом 0,2 м с постоянным тангенциальным ускорением  $0,05 \text{ м/с}^2$ . Через сколько времени после начала движения нормальное ускорение станет равным тангенциальному?  
**Ответ:** 2 с.

## Практическое занятие №2. Законы Ньютона и силы в механике

### Уровень А

1. Тело массой 2 кг под действием силы 8 Н движется по гладкой поверхности. Найти ускорение.  
**Ответ:** 4 м/с<sup>2</sup>.
2. Груз массой 5 кг лежит на столе. Чему равна сила тяжести? ( $g = 10$ )  
**Ответ:** 50 Н.
3. Пружина жёсткостью 500 Н/м растянута на 2 см. Найти силу упругости.  
**Ответ:** 10 Н.
4. Человек массой 70 кг неподвижно стоит в лифте. Чему равен его вес? **Ответ:** 700 Н.
5. Сила 12 Н сообщает телу ускорение 3 м/с<sup>2</sup>. Какова масса тела?  
**Ответ:** 4 кг.
6. Коэффициент трения скольжения ящика о пол 0,2. Масса ящика 50 кг. Найти силу трения.  
**Ответ:** 100 Н.
7. Тело движется равномерно под действием силы 20 Н. Чему равна сила трения?  
**Ответ:** 20 Н.
8. На тело действуют две силы: 5 Н и 12 Н в противоположные стороны. Найти равнодействующую.  
**Ответ:** 7 Н (в сторону большей).
9. Шарик массой 100 г падает с ускорением 9 м/с<sup>2</sup>. Найти силу сопротивления воздуха.  
**Ответ:** 0,08 Н.
10. Автомобиль массой 1 т разгоняется с ускорением 1,5 м/с<sup>2</sup>. Какова сила тяги (трение 200 Н)?  
**Ответ:** 1700 Н.

### Уровень В

11. Брусок массой 2 кг тянут по столу с силой 12 Н горизонтально. Коэффициент трения 0,3. Найти ускорение.  
**Ответ:** 3,06 м/с<sup>2</sup>.
12. Два груза (2 кг и 3 кг) связаны нитью, перекинутой через блок. Найти ускорение системы и силу натяжения нити.  
**Ответ:** 2 м/с<sup>2</sup>; 24 Н.
13. Тело скользит по наклонной плоскости с углом 30° без трения. Найти ускорение.  
**Ответ:** 4,9 м/с<sup>2</sup>.
14. Тот же угол, но коэффициент трения 0,2. Найти ускорение.  
**Ответ:** 3,2 м/с<sup>2</sup>.
15. Груз массой 10 кг поднимают на тросе с ускорением 0,5 м/с<sup>2</sup> вверх. Найти силу натяжения троса.  
**Ответ:** 103 Н.
16. Лифт движется вниз с ускорением 1,2 м/с<sup>2</sup>. Масса пассажира 60 кг. Найти вес.  
**Ответ:** 516 Н.
17. Автомобиль массой 1200 кг движется по вогнутому мосту радиусом 50 м со скоростью 72 км/ч. Найти силу давления в нижней точке.  
**Ответ:** 21360 Н.
18. Тело массой 0,5 кг вращается на нити длиной 0,4 м в горизонтальной плоскости с частотой 2 об/с. Найти силу натяжения.

**Ответ:** 31,6 Н.

19. Два тела массами 3 кг и 5 кг лежат на гладкой горизонтальной поверхности и связаны пружиной. К первому приложена сила 40 Н. Найти ускорение системы и силу упругости пружины.

**Ответ:** 5 м/с<sup>2</sup>; 25 Н.

20. Санки массой 10 кг скатываются с горки длиной 20 м, высотой 5 м. Коэффициент трения 0,1. Найти скорость у подножия. **Ответ:** 9,4 м/с.

### Уровень С

21. Система из двух брусков ( $m_1 = 1$  кг на столе,  $m_2 = 0,5$  кг свисает) через блок. Коэффициент трения стола 0,2. Найти ускорение.

**Ответ:** 2,18 м/с<sup>2</sup>.

22. Тело массой 1 кг лежит на наклонной плоскости с углом 45°. Коэффициент трения 0,4. Какую горизонтальную силу нужно приложить, чтобы тело двигалось равномерно вверх?

**Ответ:**  $\approx 16,8$  Н.

23. Два груза (3 и 2 кг) перекинуты через блок, причём второй лежит на наклонной плоскости 30° с коэффициентом трения 0,2. Найти ускорение.

**Ответ:** 2,17 м/с<sup>2</sup>.

24. Автомобиль массой 1,5 т движется по горизонтальной дороге со скоростью 72 км/ч и тормозит до остановки за 5 с. Найти силу торможения.

**Ответ:** 6000 Н.

25. К потолку лифта на пружине жёсткостью 100 Н/м подвешен груз массой 1 кг. Лифт начинает подниматься с ускорением 2 м/с<sup>2</sup>. Найти удлинение пружины.

**Ответ:** 0,118 м.

26. Три бруска (1, 2, 3 кг) связаны нитями, к первому приложена сила 30 Н. Найти натяжения нитей (трения нет).

**Ответ:**  $T_{12} = 25$  Н,  $T_{23} = 15$  Н.

27. Цепочка массой 0,5 кг и длиной 1 м лежит на столе, свешиваясь на 0,2 м. Найти скорость, с которой цепочка соскользнёт со стола (трения нет).

**Ответ:**  $\approx 1,26$  м/с.

28. Шарик массой 50 г, привязанный к нити длиной 1 м, вращается в вертикальной плоскости. В нижней точке сила натяжения 2,5 Н. Найти скорость в верхней точке.

**Ответ:** 4,24 м/с.

29. Клин с углом 30° и массой 2 кг стоит на гладком столе. На клин положили брусок массой 0,5 кг. Трение между бруском и клином отсутствует. Найти ускорение клина.

**Ответ:** 1,44 м/с<sup>2</sup>.

30. Человек массой 70 кг поднимается по верёвочной лестнице, привязанной к воздушному шару массой 30 кг. С какой скоростью поднимается человек относительно земли, если лестница неподвижна относительно шара, а шар поднимается с ускорением 0,2 м/с<sup>2</sup>?

**Ответ:**  $\approx 0,48$  м/с<sup>2</sup> (относительное ускорение).

### Практическое занятие №3. Законы сохранения импульса и энергии

#### Уровень А

1. Импульс тела массой 4 кг равен 20 кг·м/с. Найти скорость.

**Ответ:** 5 м/с.

2. Кинетическая энергия автомобиля массой 1000 кг при скорости 10 м/с.

**Ответ:** 50 000 Дж.

3. Тело массой 2 кг подняли на 3 м. Найти потенциальную энергию.

**Ответ:** 60 Дж.

4. Мальчик массой 40 кг бежит со скоростью 3 м/с и запрыгивает на неподвижную тележку массой 20 кг. Найти скорость тележки с мальчиком.

**Ответ:** 2 м/с.

5. Ракета массой 2 т выбрасывает 50 кг газов со скоростью 800 м/с. Найти скорость ракеты.

**Ответ:** 20 м/с.

6. Шар массой 1 кг движется со скоростью 4 м/с и сталкивается с неподвижным шаром массой 3 кг. Удар неупругий. Найти скорость после удара.

**Ответ:** 1 м/с.

7. Какую работу совершает сила 50 Н на пути 8 м?

**Ответ:** 400 Дж.

8. Мощность двигателя 5 кВт. Какую работу он совершит за 30 с?

**Ответ:** 150 000 Дж.

9. Тело падает с высоты 10 м. Найти скорость в момент удара о землю (без учёта сопротивления).

**Ответ:** 14 м/с.

10. Пружину жёсткостью 200 Н/м сжали на 0,05 м. Найти потенциальную энергию пружины.

**Ответ:** 0,25 Дж.

### **Уровень В**

11. Вагон массой 20 т, движущийся со скоростью 0,5 м/с, сцепляется с неподвижным вагоном массой 30 т. Найти скорость после сцепки и потерю кинетической энергии.

**Ответ:** 0,2 м/с; потеря 1500 Дж.

12. Пуля массой 10 г, летящая со скоростью 400 м/с, попадает в деревянный брусок массой 2 кг, лежащий на льду, и застревает. Найти скорость бруска.

**Ответ:** 1,99 м/с.

13. Тело массой 1 кг брошено вертикально вверх со скоростью 20 м/с. Найти максимальную высоту и работу силы тяжести за всё время полёта.

**Ответ:** 20 м; работа 0.

14. Человек массой 70 кг прыгает с неподвижной лодки массой 140 кг со скоростью 2 м/с относительно лодки. Найти скорость лодки.

**Ответ:** 0,67 м/с (противоположно).

15. Снаряд массой 20 кг, летящий горизонтально со скоростью 500 м/с, разрывается на два осколка массами 5 и 15 кг. Скорость меньшего осколка 800 м/с в том же направлении. Найти скорость большего.

**Ответ:** 400 м/с.

16. Шар массой 2 кг, движущийся со скоростью 3 м/с, упруго ударяется о неподвижный шар массой 1 кг. Найти скорости после удара.

**Ответ:** 1 м/с и 4 м/с.

17. Тело соскальзывает с высоты 5 м по наклонной плоскости длиной 10 м. Коэффициент трения 0,2. Найти скорость внизу.

**Ответ:** 7,2 м/с.

18. Груз массой 0,5 кг привязан к нити длиной 1 м и вращается в вертикальной плоскости. В нижней точке скорость 6 м/с. Найти силу натяжения в нижней точке.

**Ответ:** 23 Н.

19. Пружинный пистолет стреляет шариком массой 10 г. Жёсткость пружины 200 Н/м, сжатие 5 см. Найти скорость вылета.

**Ответ:** 7,07 м/с.

20. Автомобиль массой 1 т разгоняется из состояния покоя до 20 м/с за 10 с. Найти среднюю мощность двигателя (без потерь).

**Ответ:** 20 кВт.

### Уровень С

21. Шар массой 2 кг налетает со скоростью 4 м/с на покоящийся шар массой 3 кг. Удар центральный, абсолютно упругий. Найти скорости после удара.

**Ответ:**  $-0,8$  м/с и  $3,2$  м/с.

22. Два шара массами 1 кг и 2 кг движутся навстречу друг другу со скоростями 5 м/с и 4 м/с. Происходит неупругий удар. Найти количество выделившегося тепла.

**Ответ:** 54 Дж.

23. Ракета стартует вертикально вверх. Масса оболочки 200 кг, топлива 100 кг. Скорость истечения газов 1 км/с. Найти скорость ракеты после сгорания всего топлива (без учёта силы тяжести).

**Ответ:** 405 м/с.

24. Груз массой 1 кг подвешен на пружине жёсткостью 100 Н/м. Груз поднимают так, чтобы пружина была нерастянута, и отпускают. Найти максимальное растяжение пружины.

**Ответ:** 0,196 м.

25. Тело массой 0,2 кг брошено под углом  $45^\circ$  к горизонту со скоростью 20 м/с. Найти изменение импульса за время полёта.

**Ответ:** 5,66 кг·м/с (вниз).

26. Пуля массой 10 г пробивает доску толщиной 5 см, при этом её скорость уменьшается с 400 до 200 м/с. Найти среднюю силу сопротивления.

**Ответ:** 12 000 Н.

27. Небольшое тело скользит по гладкой сферической поверхности радиусом 1 м. На какой высоте оно оторвётся от поверхности, если начало движение из верхней точки?

**Ответ:** 0,667 м.

28. Два одинаковых шара подвешены на нитях длиной 1 м в одной точке. Один отклонили на  $60^\circ$  и отпустили. Найти высоту подъёма после абсолютно упругого удара.

**Ответ:** 0,25 м.

29. Конькобежец массой 60 кг, стоя на льду, бросает камень массой 2 кг горизонтально со скоростью 10 м/с. Камень ударяется о стену и возвращается с той же скоростью. Какую скорость приобретёт конькобежец после того, как поймает камень?

**Ответ:** 0,645 м/с.

30. Цепь длиной 2 м и массой 1 кг лежит на гладком столе, свешиваясь на 0,5 м. Какую работу нужно совершить, чтобы втянуть всю цепь на стол?

**Ответ:** 0,6125 Дж.

### Практическое занятие №4. Анализ газовых законов и изопроцессов

#### Уровень А

1. При постоянной температуре объём газа увеличили с 2 до 4 л. Давление было 300 кПа. Каким стало давление?

**Ответ:** 150 кПа.

2. Газ нагрели изобарно от  $27^\circ\text{C}$  до  $127^\circ\text{C}$ . Начальный объём 3 л. Найти конечный объём.

**Ответ:** 4 л.

3. Баллон с газом нагрели от  $10^\circ\text{C}$  до  $30^\circ\text{C}$  при постоянном объёме. Начальное давление 200 кПа. Найти конечное давление.

**Ответ:** 214,1 кПа.

4. Какой объём займёт газ при  $0^{\circ}\text{C}$ , если при  $100^{\circ}\text{C}$  он занимал 5 л (давление постоянно)?

**Ответ:** 3,66 л.

5. Газ в сосуде сжали изотермически от 0,05 до 0,02 м<sup>3</sup>. Давление стало 400 кПа. Найти начальное давление.

**Ответ:** 160 кПа.

6. При температуре 300 К давление газа 100 кПа. Каким станет давление при 450 К в том же объёме?

**Ответ:** 150 кПа.

7. Идеальный газ занимает 2 м<sup>3</sup> при давлении 150 кПа. Какова температура, если количество вещества 100 моль? ( $R = 8,31$ )

**Ответ:** 361 К.

8. Построить изохору для 1 моль газа при объёме 0,02 м<sup>3</sup> (две точки – при 200 К и 400 К).

**Ответ:**  $p_1 = 83,1$  кПа,  $p_2 = 166,2$  кПа.

9. Газ изобарно расширился, совершив работу 200 Дж. Давление 100 кПа. Найти изменение объёма.

**Ответ:** 0,002 м<sup>3</sup>.

10. При изотермическом сжатии объём уменьшился в 3 раза. Во сколько раз увеличилось давление?

**Ответ:** в 3 раза.

### Уровень В

11. В сосуде объёмом 10 л находится газ под давлением 150 кПа при  $20^{\circ}\text{C}$ . Какой объём займёт этот газ при нормальных условиях ( $0^{\circ}\text{C}$ , 101,3 кПа)?

**Ответ:** 13,8 л.

12. Газ занимает объём 5 л при  $27^{\circ}\text{C}$  и давлении 200 кПа. При нагревании до  $127^{\circ}\text{C}$  его объём увеличился до 6 л. Найти конечное давление.

**Ответ:** 222,2 кПа.

13. В баллоне вместимостью 0,05 м<sup>3</sup> находится газ под давлением 1,2 МПа при  $25^{\circ}\text{C}$ . После откачки давление снизилось до 0,8 МПа, а температура до  $15^{\circ}\text{C}$ . Какая масса газа удалена? Молярная масса 28 г/моль.

**Ответ:** 0,236 кг.

14. Постройте изотерму для 0,5 моль идеального газа при  $T = 400$  К для объёмов 0,005; 0,01; 0,02 м<sup>3</sup>.

**Ответ:**  $p_1 = 332,4$  кПа,  $p_2 = 166,2$  кПа,  $p_3 = 83,1$  кПа.

15. Газ, занимавший объём 10 л при  $0^{\circ}\text{C}$ , нагрели до  $100^{\circ}\text{C}$  при постоянном давлении. Найти работу расширения (давление 100 кПа).

**Ответ:** 366 Дж.

16. В цилиндре под поршнем находится газ при 300 К. Расстояние от поршня до дна 0,2 м. Газ нагревают до 400 К, поршень может двигаться без трения. На какое расстояние переместится поршень?

**Ответ:** 0,0667 м.

17. Газ в сосуде сжали изотермически, совершив над ним работу 500 Дж. Какое количество теплоты отдал газ?

**Ответ:** 500 Дж.

18. В баллоне объёмом 0,04 м<sup>3</sup> при  $20^{\circ}\text{C}$  находится газ под давлением  $5 \cdot 10^5$  Па. Какое количество вещества в баллоне?

**Ответ:** 8,2 моль.

19. При изохорном охлаждении давление газа уменьшилось с 200 до 150 кПа, а температура понизилась на 50 К. Найти начальную температуру.

**Ответ:** 200 К.

20. Газ расширяется изобарно от 0,01 до 0,03 м<sup>3</sup>, давление 300 кПа. Найти работу газа и изменение внутренней энергии, если газу передано 8 кДж теплоты.

**Ответ:**  $A = 6000$  Дж,  $\Delta U = 2000$  Дж.

### Уровень С

21. Смесь газов состоит из 2 г водорода и 4 г гелия. Найти молярную массу смеси и давление при температуре 300 К в объёме 0,05 м<sup>3</sup>.

**Ответ:**  $M = 3,33$  г/моль;  $p = 498,6$  кПа.

22. Газ переходит из состояния 1 ( $p_1 = 100$  кПа,  $V_1 = 0,02$  м<sup>3</sup>) в состояние 2 ( $p_2 = 200$  кПа,  $V_2 = 0,04$  м<sup>3</sup>) сначала изобарно, затем изохорно. Найти работу газа за весь процесс.

**Ответ:** 6000 Дж.

23. Идеальный одноатомный газ в количестве 2 моль сначала изобарно нагрели от 300 до 400 К, затем изохорно охладили до 350 К. Найти общее количество теплоты, полученное газом.

**Ответ:** 2908,5 Дж.

24. В сосуде объёмом 0,01 м<sup>3</sup> находится влажный воздух при 30°C. Давление насыщенного пара при 30°C – 4,24 кПа. Относительная влажность 60%. Найти парциальное давление водяного пара и массу воды в воздухе.

**Ответ:**  $p = 2,544$  кПа;  $m = 0,185$  г.

25. Газ в количестве 1 моль расширяется по закону  $pV^2 = \text{const}$  от  $V_1 = 0,01$  м<sup>3</sup> до  $V_2 = 0,02$  м<sup>3</sup>, начальное давление 200 кПа. Найти работу газа.

**Ответ:** 2000 Дж.

26. В вертикальном цилиндре под поршнем массой 10 кг и площадью 0,005 м<sup>2</sup> находится газ. Атмосферное давление 100 кПа. Газ нагревают, поршень поднимается на 0,1 м. Найти работу газа.

**Ответ:** 59,05 Дж.

27. Теплоизолированный сосуд разделён перегородкой на две равные части ( $V = 0,01$  м<sup>3</sup> каждая). В одной части – 1 моль гелия при 300 К, в другой – вакуум. Перегородку убирают. Найти конечную температуру и изменение внутренней энергии.

**Ответ:**  $T = 300$  К,  $\Delta U = 0$ .

28. Газ расширяется так, что его давление меняется по закону  $p = a/V$ , где  $a = 100$  Дж. Начальный объём 0,1 м<sup>3</sup>, конечный 0,2 м<sup>3</sup>. Найти работу газа.

**Ответ:** 69,3 Дж.

29. В сосуде объёмом 0,02 м<sup>3</sup> находится газ при давлении 400 кПа и температуре 27°C. Газ выпускают через клапан, пока давление не упадёт до 200 кПа, а температура не станет 17°C. Какая масса газа вышла?  $M = 29$  г/моль.

**Ответ:** 28,6 г.

30. Два сосуда объёмом 2 л и 3 л соединены трубкой с краном. В первом – азот под давлением 200 кПа, во втором – кислород под давлением 300 кПа, температура одинакова. Кран открывают. Найти парциальные давления и общее давление.

**Ответ:**  $p(\text{N}_2) = 80$  кПа,  $p(\text{O}_2) = 180$  кПа,  $p = 260$  кПа.

## Практическое занятие №5. Расчёт тепловых процессов: работа газа, внутренняя энергия, КПД

### Уровень А

1. Газ при постоянном давлении 200 кПа расширился, совершив работу 800 Дж. Найти изменение объёма газа.

**Ответ:**  $0,004 \text{ м}^3$ .

2. Одноатомному идеальному газу передано  $1000 \text{ Дж}$  теплоты, и он совершил работу  $300 \text{ Дж}$ . Найти изменение внутренней энергии.

**Ответ:**  $700 \text{ Дж}$ .

3. Тепловой двигатель получает от нагревателя  $1200 \text{ Дж}$  и отдаёт холодильнику  $800 \text{ Дж}$ . Найти КПД.

**Ответ:**  $33,3\%$ .

4. Газ изобарно расширяется при давлении  $300 \text{ кПа}$ , его объём увеличивается на  $0,02 \text{ м}^3$ . Найти работу газа.

**Ответ:**  $6000 \text{ Дж}$ .

5. Внутренняя энергия газа увеличилась на  $400 \text{ Дж}$ , при этом газ совершил работу  $200 \text{ Дж}$ . Какое количество теплоты получил газ?

**Ответ:**  $600 \text{ Дж}$ .

6. Идеальная тепловая машина имеет КПД  $40\%$ . Температура холодильника  $300 \text{ К}$ . Найти температуру нагревателя.

**Ответ:**  $500 \text{ К}$ .

7. При изохорном процессе газ получил  $800 \text{ Дж}$  теплоты. Как изменилась его внутренняя энергия?

**Ответ:** увеличилась на  $800 \text{ Дж}$ .

8. Газ расширяется адиабатно, совершая работу  $500 \text{ Дж}$ . Найти изменение внутренней энергии.

**Ответ:** уменьшилась на  $500 \text{ Дж}$ .

9. КПД теплового двигателя  $25\%$ , полезная работа  $1000 \text{ Дж}$ . Найти количество теплоты, полученное от нагревателя.

**Ответ:**  $4000 \text{ Дж}$ .

10. При изобарном нагревании газ совершил работу  $300 \text{ Дж}$ . Давление газа  $150 \text{ кПа}$ . Найти изменение объёма.

**Ответ:**  $0,002 \text{ м}^3$ .

### **Уровень В**

11. Идеальный одноатомный газ в количестве  $2 \text{ моль}$  изобарно нагрели от  $300 \text{ К}$  до  $400 \text{ К}$ . Найти работу газа, изменение внутренней энергии и количество теплоты. ( $R = 8,31$ )

**Ответ:**  $A = 1662 \text{ Дж}$ ,  $\Delta U = 2493 \text{ Дж}$ ,  $Q = 4155 \text{ Дж}$ .

12. Тепловая машина работает по циклу Карно. Температура нагревателя  $500 \text{ К}$ , холодильника  $300 \text{ К}$ . За один цикл машина получает  $2000 \text{ Дж}$  от нагревателя. Найти КПД, работу за цикл и теплоту, отданную холодильнику.

**Ответ:**  $\eta = 40\%$ ,  $A = 800 \text{ Дж}$ ,  $Q_2 = 1200 \text{ Дж}$ .

13. Газ расширяется от объёма  $0,01 \text{ м}^3$  до  $0,03 \text{ м}^3$  при давлении  $200 \text{ кПа}$ . Затем его изохорно охлаждают, уменьшая давление до  $100 \text{ кПа}$ . Найти работу газа за весь процесс.

**Ответ:**  $4000 \text{ Дж}$ .

14. В цилиндре под поршнем находится газ при давлении  $150 \text{ кПа}$  и температуре  $300 \text{ К}$ . Газ нагревают изобарно до  $450 \text{ К}$ , затем изохорно охлаждают до  $300 \text{ К}$ . Начальный объём  $0,02 \text{ м}^3$ . Найти работу газа и количество теплоты, полученное на каждом участке (для одноатомного газа).

**Ответ:**  $A_{12} = 1500 \text{ Дж}$ ,  $Q_{12} = 5250 \text{ Дж}$ ;  $Q_{23} = -3000 \text{ Дж}$ .

15. Двигатель внутреннего сгорания имеет КПД  $30\%$ . При сгорании топлива выделяется  $30 \text{ МДж}$  теплоты. Какую полезную работу совершает двигатель?

**Ответ:**  $9 \text{ МДж}$ .

16. Газ совершает цикл, состоящий из изотермического расширения (300 К), изохорного охлаждения до 200 К и изобарного сжатия до начального объёма. Найти КПД цикла, если объём в конце изотермы в 2 раза больше начального.

**Ответ:**  $\approx 13,4\%$ .

17. При адиабатном расширении 1 моль одноатомного газа его температура понизилась с 400 К до 300 К. Найти работу, совершённую газом.

**Ответ:** 1246,5 Дж.

18. Тепловая машина за цикл получает от нагревателя 800 Дж, а отдаёт холодильнику 600 Дж. Найти КПД. Если температуру нагревателя увеличить на 20%, а холодильника оставить прежней, на сколько процентов изменится КПД?

**Ответ:**  $\eta = 25\%$ ; увеличится на 6,25%.

19. Газ, занимающий объём 0,02 м<sup>3</sup> при давлении 400 кПа, изотермически расширяется до объёма 0,05 м<sup>3</sup>. Найти работу газа.

**Ответ:** 7320 Дж.

20. Водяной пар массой 0,5 кг при 100°C конденсируется, а затем образовавшаяся вода охлаждается до 20°C. Найти общее количество выделившейся теплоты. ( $L = 2,3 \cdot 10^6$  Дж/кг,  $c = 4200$  Дж/(кг·К))

**Ответ:** 1,318 МДж.

### Уровень С

21. Идеальный одноатомный газ в количестве 3 моль совершает цикл: изобарное расширение от  $V_1 = 0,02$  м<sup>3</sup> до  $V_2 = 0,04$  м<sup>3</sup> при  $p_1 = 200$  кПа, затем изохорное охлаждение до  $p_3 = 100$  кПа, затем изобарное сжатие до  $V_4 = 0,02$  м<sup>3</sup> и изохорное нагревание до начального состояния. Найти КПД цикла.

**Ответ:**  $\approx 12,5\%$ .

22. Тепловой двигатель работает по циклу, состоящему из адиабаты, изобары и изохоры. Параметры в начальной точке:  $p_1 = 100$  кПа,  $V_1 = 0,01$  м<sup>3</sup>,  $T_1 = 300$  К. После адиабатного расширения объём становится 0,02 м<sup>3</sup>, затем изобарное сжатие до 0,01 м<sup>3</sup> и изохорное нагревание. Найти КПД (газ одноатомный).

**Ответ:**  $\approx 9,7\%$ .

23. Холодильная машина работает по обратному циклу Карно. Температура в морозильной камере  $-10^\circ\text{C}$ , температура радиатора  $+27^\circ\text{C}$ . Какая работа требуется для отвода 1000 Дж теплоты из морозильной камеры?

**Ответ:** 143 Дж.

24. Газ ( $\nu=1$  моль) расширяется по закону  $pV^3 = \text{const}$  от  $V_1 = 0,01$  м<sup>3</sup> до  $V_2 = 0,02$  м<sup>3</sup>. Начальное давление 200 кПа. Найти работу газа.

**Ответ:** 500 Дж.

25. В цилиндре под поршнем находится 0,5 моль идеального газа. Газ нагревают так, что его объём увеличивается пропорционально квадрату абсолютной температуры:  $V = kT^2$ . Начальная температура 300 К, конечная 600 К. Найти работу газа.

**Ответ:** 3739 Дж.

26. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из двух изотерм и двух изохор. Температуры нагревателя и холодильника 500 К и 300 К. Объёмы в начале и конце изотермического расширения: 0,01 м<sup>3</sup> и 0,02 м<sup>3</sup>. Количество вещества 1 моль. Найти КПД и работу за цикл.

**Ответ:**  $\eta = 40\%$ ,  $A = 1150$  Дж.

27. Азот массой 0,2 кг расширяется адиабатно, совершая работу 30 кДж. Начальная температура 400 К. Найти конечную температуру. ( $M = 28$  г/моль,  $C_V = 5R/2$ )

**Ответ:** 296 К.

28. В сосуде объёмом  $0,02 \text{ м}^3$  находится газ при давлении  $500 \text{ кПа}$  и температуре  $300 \text{ К}$ . Газ выпускают через маленькое отверстие, пока давление не упадёт до  $200 \text{ кПа}$ , причём процесс можно считать адиабатным (для газа  $\gamma = 1,4$ ). Найти конечную температуру и массу оставшегося газа.

**Ответ:**  $T_2 = 230 \text{ К}$ ,  $m_2 \approx 0,6m_1$ .

29. Тепловой насос (обратный цикл Карно) поддерживает в доме температуру  $22^\circ\text{C}$  при уличной температуре  $-5^\circ\text{C}$ . Мощность компрессора  $5 \text{ кВт}$ . Какое количество теплоты передаётся дому за 1 час?

**Ответ:**  $22,3 \text{ МДж}$ .

30. Газ ( $\nu=2$  моль) совершает цикл, состоящий из изотермического расширения ( $300 \text{ К}$ , объём увеличивается в 3 раза), изохорного нагревания до  $450 \text{ К}$  и изобарного сжатия до начального объёма. Найти КПД цикла.

**Ответ:**  $\approx 10,6\%$ .

### Практическое занятие №6. Определение влажности воздуха, парообразование, плавление

#### Уровень А

1. При температуре  $20^\circ\text{C}$  абсолютная влажность воздуха  $10 \text{ г/м}^3$ , а плотность насыщенного пара  $17,3 \text{ г/м}^3$ . Найти относительную влажность.

**Ответ:**  $57,8\%$ .

2. Сколько теплоты нужно, чтобы превратить  $2 \text{ кг}$  воды при  $100^\circ\text{C}$  в пар? ( $L = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ )

**Ответ:**  $4,6 \text{ МДж}$ .

3. Для плавления  $5 \text{ кг}$  льда при  $0^\circ\text{C}$  затрачено  $1,66 \text{ МДж}$ . Найти удельную теплоту плавления льда.

**Ответ:**  $332 \text{ кДж/кг}$ .

4. Сколько тепла выделится при конденсации  $0,5 \text{ кг}$  водяного пара при  $100^\circ\text{C}$ ?

**Ответ:**  $1,15 \text{ МДж}$ .

5. Влажность воздуха  $80\%$ , температура  $20^\circ\text{C}$ . Плотность насыщенного пара при  $20^\circ\text{C}$  –  $17,3 \text{ г/м}^3$ . Найти абсолютную влажность.

**Ответ:**  $13,84 \text{ г/м}^3$ .

6. Какое количество теплоты необходимо для нагревания  $2 \text{ кг}$  воды от  $10^\circ\text{C}$  до кипения? ( $c = 4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$ )

**Ответ:**  $756 \text{ кДж}$ .

7. Для испарения  $100 \text{ г}$  эфира потребовалось  $38 \text{ кДж}$  теплоты. Найти удельную теплоту парообразования эфира.

**Ответ:**  $380 \text{ кДж/кг}$ .

8. Какая масса льда при  $0^\circ\text{C}$  расплавится, если ей сообщить  $33,2 \text{ кДж}$  теплоты? ( $\lambda = 332 \text{ кДж/кг}$ )

**Ответ:**  $0,1 \text{ кг}$ .

9. Относительная влажность вечером при  $16^\circ\text{C}$  равна  $70\%$ . Выпадет ли роса, если ночью температура понизится до  $10^\circ\text{C}$ ? (Давление насыщенного пара при  $10^\circ\text{C}$  –  $1,23 \text{ кПа}$ , при  $16^\circ\text{C}$  –  $1,81 \text{ кПа}$ )

**Ответ:**  $\varphi = 70\% \rightarrow p = 1,27 \text{ кПа} > 1,23 \text{ кПа} \rightarrow$  роса выпадет.

10. Какая энергия выделится при кристаллизации  $1 \text{ кг}$  олова, взятого при температуре плавления? ( $\lambda = 60 \text{ кДж/кг}$ )

**Ответ:**  $60 \text{ кДж}$ .

### Уровень В

11. В комнате объёмом  $60 \text{ м}^3$  при  $22^\circ\text{C}$  относительная влажность  $60\%$ . Найти массу водяного пара в комнате. Давление насыщенного пара при  $22^\circ\text{C}$  –  $2,64 \text{ кПа}$ .

**Ответ:**  $0,77 \text{ кг}$ .

12. Для приготовления чая в стакан положили  $10 \text{ г}$  льда при  $0^\circ\text{C}$  и налили  $200 \text{ г}$  воды при  $90^\circ\text{C}$ . Какая температура установится? Теплоёмкостью стакана пренебречь.

**Ответ:**  $78,5^\circ\text{C}$ .

13. Сколько теплоты потребуется, чтобы превратить  $200 \text{ г}$  льда, взятого при  $-10^\circ\text{C}$ , в пар при  $100^\circ\text{C}$ ? ( $c_{\text{л}} = 2100 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ ,  $\lambda = 332 \text{ кДж}/\text{кг}$ ,  $c_{\text{в}} = 4200$ ,  $L = 2,3 \text{ МДж}/\text{кг}$ )

**Ответ:**  $612 \text{ кДж}$ .

14. Влажный термометр психрометра показывает  $15^\circ\text{C}$ , сухой –  $20^\circ\text{C}$ . Найти относительную влажность (используя психрометрическую таблицу).

**Ответ:**  $\approx 59\%$ .

15. В калориметр, содержащий  $500 \text{ г}$  воды при  $20^\circ\text{C}$ , впускают  $100 \text{ г}$  водяного пара при  $100^\circ\text{C}$ . Какая температура установится?

**Ответ:**  $72,4^\circ\text{C}$ .

16. Определить массу льда, который можно получить из  $5 \text{ кг}$  воды при  $10^\circ\text{C}$ , если отвести  $2 \text{ МДж}$  теплоты. (Температура замерзания  $0^\circ\text{C}$ )

**Ответ:**  $3,67 \text{ кг}$ .

17. Относительная влажность воздуха в комнате  $40\%$ , температура  $24^\circ\text{C}$ . Давление насыщенного пара при  $24^\circ\text{C}$  –  $2,98 \text{ кПа}$ . Найти точку росы.

**Ответ:**  $\approx 9,5^\circ\text{C}$ .

18. Сколько теплоты выделится при конденсации  $50 \text{ г}$  водяного пара при  $100^\circ\text{C}$  и последующем охлаждении полученной воды до  $40^\circ\text{C}$ ?

**Ответ:**  $128 \text{ кДж}$ .

19. Для охлаждения  $2 \text{ кг}$  воды от  $30^\circ\text{C}$  до  $10^\circ\text{C}$  в неё бросают лёд при  $0^\circ\text{C}$ . Сколько льда потребуется?

**Ответ:**  $0,48 \text{ кг}$ .

20. В сосуде находится смесь воды и льда при  $0^\circ\text{C}$ . Масса воды  $0,5 \text{ кг}$ , льда  $0,2 \text{ кг}$ . В сосуд впускают  $50 \text{ г}$  пара при  $100^\circ\text{C}$ . Какая температура установится? **Ответ:**  $18,3^\circ\text{C}$ .

### Уровень С

21. В комнате объёмом  $50 \text{ м}^3$  при  $18^\circ\text{C}$  относительная влажность  $50\%$ . Сколько воды нужно испарить, чтобы повысить влажность до  $70\%$ , если температура постоянна? Давление насыщенного пара при  $18^\circ\text{C}$  –  $2,06 \text{ кПа}$ .

**Ответ:**  $21,3 \text{ г}$ .

22. Лёд массой  $0,5 \text{ кг}$  при  $-10^\circ\text{C}$  поместили в калориметр, содержащий  $1 \text{ кг}$  воды при  $60^\circ\text{C}$ . Теплоёмкость калориметра  $200 \text{ Дж}/\text{K}$ . Найти конечную температуру.

**Ответ:**  $21,2^\circ\text{C}$ .

23. Пар массой  $200 \text{ г}$  при  $100^\circ\text{C}$  впускают в лёд массой  $1 \text{ кг}$  при  $0^\circ\text{C}$ . Найти конечное состояние системы (массу льда и воды).

**Ответ:** весь лёд растает, вода при  $100^\circ\text{C}$  ( $0,2 \text{ кг}$  пара сконденсируется, вода станет  $1,2 \text{ кг}$  при  $100^\circ\text{C}$ ).

24. Определить относительную влажность воздуха, если показания сухого и влажного термометров  $25^\circ\text{C}$  и  $20^\circ\text{C}$ . Давление насыщенного пара при  $20^\circ\text{C}$  –  $2,34 \text{ кПа}$ , при  $25^\circ\text{C}$  –  $3,17 \text{ кПа}$ . (Психрометрическая формула:  $p = p_{\text{нас}}(t_{\text{вл}}) - A p_0(t_{\text{с}} - t_{\text{вл}})$ ,  $A \approx 6,5 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ ,  $p_0 = 101,3 \text{ кПа}$ )

**Ответ:**  $\varphi \approx 62\%$ .

25. В калориметр, содержащий 200 г льда при  $-5^{\circ}\text{C}$ , вливают 100 г воды при  $80^{\circ}\text{C}$ . Теплоёмкость калориметра 50 Дж/К. Что будет в калориметре?

**Ответ:** лёд не растает полностью, конечная температура  $0^{\circ}\text{C}$ , масса льда  $\approx 0,227$  кг.

26. Сколько нужно сжечь керосина, чтобы превратить 10 кг льда при  $-20^{\circ}\text{C}$  в пар при  $100^{\circ}\text{C}$ ? КПД нагревателя 40%. ( $q_{\text{кер}} = 46$  МДж/кг)

**Ответ:** 1,61 кг.

27. В комнате объёмом  $75\text{ м}^3$  при  $20^{\circ}\text{C}$  относительная влажность 80%. Температуру повысили до  $25^{\circ}\text{C}$ . Какая стала относительная влажность? Давление насыщенного пара при  $20^{\circ}\text{C} - 2,34$  кПа, при  $25^{\circ}\text{C} - 3,17$  кПа.

**Ответ:**  $\varphi_2 = 59\%$ .

28. Лёд массой 0,5 кг при  $0^{\circ}\text{C}$  опускают в 1 кг воды при  $90^{\circ}\text{C}$ . После установления теплового равновесия температура воды стала  $40^{\circ}\text{C}$ . Найти теплоёмкость калориметра.

**Ответ:** 105 Дж/К.

29. Влажный воздух при  $30^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности 70% охлаждают до  $15^{\circ}\text{C}$ . Какая масса воды сконденсируется из  $1\text{ м}^3$  воздуха? Давление насыщенного пара при  $30^{\circ}\text{C} - 4,24$  кПа, при  $15^{\circ}\text{C} - 1,71$  кПа.

**Ответ:** 0,0147 кг.

30. В калориметр, содержащий 100 г льда при  $0^{\circ}\text{C}$ , вливают 200 г воды при  $50^{\circ}\text{C}$ . После таяния льда температура воды стала  $10^{\circ}\text{C}$ . Найти удельную теплоту плавления льда.

**Ответ:**  $\lambda \approx 314$  кДж/кг.

### Практическое занятие №7. Расчёт напряжённости и потенциала электростатического поля. Конденсаторы

#### Уровень А

1. Точечный заряд 4 нКл находится в вакууме. Найти напряжённость поля на расстоянии 0,1 м.

**Ответ:** 3600 Н/Кл.

2. Потенциал поля на расстоянии 0,5 м от заряда равен 180 В. Найти величину заряда.

**Ответ:** 10 нКл.

3. Площадь пластин конденсатора  $0,02\text{ м}^2$ , расстояние между ними 1 мм, диэлектрик – воздух ( $\epsilon = 1$ ). Найти ёмкость.

**Ответ:** 177 пФ.

4. Конденсатор ёмкостью 100 мкФ заряжен до напряжения 50 В. Найти энергию поля.

**Ответ:** 0,125 Дж.

5. Между двумя пластинами, расположенными на расстоянии 2 см, разность потенциалов 400 В. Найти напряжённость поля.

**Ответ:** 20 кВ/м.

6. Два точечных заряда по 10 нКл каждый находятся на расстоянии 0,2 м. Найти силу их взаимодействия.

**Ответ:**  $2,25 \cdot 10^{-5}$  Н.

7. Как изменится ёмкость плоского конденсатора, если расстояние между пластинами увеличить в 3 раза?

**Ответ:** уменьшится в 3 раза.

8. Заряд конденсатора 2 мкКл, напряжение 100 В. Найти ёмкость.

**Ответ:** 20 нФ.

9. Найти потенциал поля точечного заряда 5 нКл на расстоянии 0,2 м.

**Ответ:** 225 В.

10. Два конденсатора ёмкостью 10 мкФ и 20 мкФ соединены последовательно. Найти общую ёмкость.

**Ответ:** 6,67 мкФ.

### Уровень В

11. Электрическое поле создано двумя точечными зарядами  $q_1 = +2$  нКл и  $q_2 = -2$  нКл на расстоянии 0,2 м друг от друга. Найти напряжённость поля в точке, лежащей посередине между зарядами.

**Ответ:** 3600 Н/Кл (в сторону отрицательного).

12. Плоский воздушный конденсатор ёмкостью 20 пФ зарядили до напряжения 100 В, затем отключили от источника и заполнили диэлектриком с  $\varepsilon = 5$ . Найти новое напряжение и энергию конденсатора.

**Ответ:** 20 В;  $2 \cdot 10^{-8}$  Дж.

13. Конденсатор ёмкостью 50 мкФ заряжен до 200 В. Его соединяют параллельно с незаряженным конденсатором ёмкостью 30 мкФ. Найти напряжение на батарее и энергию, перешедшую в тепло.

**Ответ:** 125 В; 0,1875 Дж.

14. Заряд 5 нКл перемещается в электростатическом поле из точки с потенциалом 300 В в точку с потенциалом 100 В. Найти работу поля.

**Ответ:**  $10^{-6}$  Дж.

15. Электрон влетает в однородное электростатическое поле с напряжённостью 1000 В/м вдоль силовых линий со скоростью  $10^6$  м/с. Какое расстояние пролетит электрон до остановки? ( $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг,  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл)

**Ответ:** 2,84 мм.

16. Две металлические пластины площадью 0,01 м<sup>2</sup> каждая расположены на расстоянии 5 мм. Между ними – слюда ( $\varepsilon = 7$ ). Конденсатор заряжен до 500 В. Найти ёмкость, заряд и энергию.

**Ответ:**  $C = 124$  пФ,  $q = 62$  нКл,  $W = 1,55 \cdot 10^{-5}$  Дж.

17. Найти напряжённость поля, создаваемого сферой радиусом 0,1 м с зарядом 1 мКл на расстоянии 0,05 м от центра и на расстоянии 0,2 м от центра.

**Ответ:** 0 (внутри);  $2,25 \cdot 10^5$  Н/Кл.

18. Конденсаторы ёмкостью 10, 20 и 30 мкФ соединены последовательно. Напряжение на батарее 100 В. Найти заряд каждого конденсатора и напряжение на каждом.

**Ответ:**  $q = 5,45 \cdot 10^{-4}$  Кл;  $U_1 = 54,5$  В,  $U_2 = 27,3$  В,  $U_3 = 18,2$  В.

19. Работа по переносу заряда 2 мКл между двумя точками поля равна  $4 \cdot 10^{-5}$  Дж. Найти разность потенциалов между этими точками.

**Ответ:** 20 В.

20. В однородном поле с напряжённостью 500 В/м перемещают заряд 10 нКл вдоль силовой линии на 5 см. Найти работу поля.

**Ответ:**  $2,5 \cdot 10^{-7}$  Дж.

### Уровень С

21. Электрическое поле создано бесконечной равномерно заряженной плоскостью с поверхностной плотностью заряда  $\sigma = 10^{-6}$  Кл/м<sup>2</sup>. На расстоянии 0,1 м от плоскости находится точечный заряд  $q = 2$  нКл. Найти силу, действующую на точечный заряд.

**Ответ:**  $1,13 \cdot 10^{-4}$  Н.

22. Конденсатор ёмкостью 100 мкФ заряжен до 100 В и отключён от источника. Затем его соединяют параллельно с незаряженным конденсатором неизвестной ёмкости. После перераспределения зарядов напряжение стало 40 В. Найти ёмкость второго конденсатора и потерю энергии.

**Ответ:**  $C_2 = 150$  мкФ;  $\Delta W = 0,15$  Дж.

23. Два точечных заряда  $q$  и  $-2q$  находятся на расстоянии  $d$  друг от друга. Найти точку на прямой, проходящей через заряды, в которой напряжённость поля равна нулю.

**Ответ:** на расстоянии  $d(\sqrt{2} + 1)$  за меньшим зарядом (со стороны  $-2q$ ).

24. Металлический шар радиусом 5 см имеет заряд 20 нКл. Шар окружён концентрической металлической оболочкой радиусом 10 см, заземлённой. Найти напряжённость поля в точках на расстояниях 3 см, 8 см и 15 см от центра.

**Ответ:**  $E = 0$  (внутри шара);  $E = 2,81 \cdot 10^4$  Н/Кл (между);  $E = 8 \cdot 10^3$  Н/Кл (снаружи оболочки).

25. Электрон, пройдя разность потенциалов 1000 В, влетает в однородное электростатическое поле, направленное противоположно его скорости. Напряжённость поля 500 В/м. На какое расстояние проникнет электрон до остановки?

**Ответ:** 2 м.

26. Плоский конденсатор заполнен диэлектриком с  $\epsilon = 3$  и подключён к источнику 200 В. Затем его отключают и удаляют диэлектрик. Найти новое напряжение и изменение энергии. Площадь пластин  $0,01$  м<sup>2</sup>, расстояние 1 мм.

**Ответ:**  $U_2 = 600$  В;  $\Delta W = 1,06 \cdot 10^{-5}$  Дж.

27. Два маленьких шарика массой по 0,1 г подвешены на нитях длиной 0,5 м в одной точке. После сообщения одинаковых зарядов они разошлись так, что нити образовали угол  $60^\circ$ . Найти заряд каждого шарика.

**Ответ:**  $q \approx 1,8 \cdot 10^{-7}$  Кл.

28. В вершинах квадрата со стороной 0,1 м находятся одинаковые положительные заряды по 1 нКл. Найти напряжённость и потенциал в центре квадрата.

**Ответ:**  $E = 0$ ,  $\varphi = 509$  В.

29. Конденсатор ёмкостью 20 мкФ заряжен до 300 В и отключён. К нему подключают катушку индуктивности (идеальную). Найти максимальный ток в катушке, если  $L = 0,1$  Гн. **Ответ:** 0,424 А.

30. Между пластинами плоского конденсатора (расстояние 1 см) находится в равновесии капелька масла массой  $10^{-8}$  г, несущая заряд 2 электрона. Найти напряжение на конденсаторе. **Ответ:** 306 В.

**Практическое занятие №8. Расчёт электрических цепей с последовательным и параллельным соединением (законы Ома, Джоуля–Ленца)**

**Уровень А**

1. Два резистора 10 Ом и 15 Ом соединены последовательно. Напряжение на первом резисторе 20 В. Найти ток в цепи и общее напряжение. **Ответ:** 2 А; 50 В.

2. Резисторы 6 Ом и 12 Ом соединены параллельно. Найти общее сопротивление. **Ответ:** 4 Ом.

3. Через резистор сопротивлением 50 Ом протекает ток 0,2 А. Найти напряжение. **Ответ:** 10 В.

4. Электрический утюг сопротивлением 40 Ом работает при напряжении 220 В в течение 5 минут. Найти количество теплоты.

**Ответ:** 363 кДж.

5. В узел входят токи 2 А, 3 А и выходят 4 А и  $I$ . Найти  $I$ . **Ответ:** 1 А.

6. Четыре резистора по 20 Ом соединены параллельно. Найти общее сопротивление.

**Ответ:** 5 Ом.

7. Лампочка сопротивлением 100 Ом включена в сеть 220 В. Найти мощность лампочки.

**Ответ:** 484 Вт.

8. Два резистора 30 Ом и 60 Ом соединены последовательно. Напряжение на всей цепи 90 В. Найти ток и напряжение на каждом.

**Ответ:** 1 А; 30 В и 60 В.

9. К источнику с ЭДС 12 В и внутренним сопротивлением 1 Ом подключена нагрузка 5 Ом. Найти ток в цепи и напряжение на нагрузке. **Ответ:** 2 А; 10 В.

10. Какое количество теплоты выделится в резисторе 10 Ом за 10 с при токе 2 А?

**Ответ:** 400 Дж.

### Уровень В

11. Три резистора: 4 Ом, 6 Ом и 12 Ом соединены параллельно. Найти общее сопротивление и токи в каждом, если общий ток 6 А.

**Ответ:**  $R_{\text{общ}} = 2 \text{ Ом}$ ;  $I_1 = 3 \text{ А}$ ,  $I_2 = 2 \text{ А}$ ,  $I_3 = 1 \text{ А}$ .

12. Цепь состоит из источника с ЭДС 24 В и внутренним сопротивлением 2 Ом и двух параллельных резисторов 10 Ом и 15 Ом. Найти ток в цепи и напряжение на резисторах.

**Ответ:**  $I_{\text{общ}} = 2 \text{ А}$ ;  $U = 20 \text{ В}$ ;  $I_{10} = 2 \text{ А}$ ,  $I_{15} = 1,33 \text{ А}$ .

13. Определить показания амперметра и вольтметра в схеме: источник 12 В,  $r = 1 \text{ Ом}$ , последовательно с ним резистор 5 Ом, и параллельно этой ветви – резистор 20 Ом.

**Ответ:** ток через источник 1,71 А, напряжение на параллельном участке 8,55 В.

14. Найти мощность, выделяемую в каждом из резисторов:  $R_1 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 6 \text{ Ом}$ , все соединены параллельно, общее напряжение 12 В.

**Ответ:**  $P_1 = 72 \text{ Вт}$ ,  $P_2 = 48 \text{ Вт}$ ,  $P_3 = 24 \text{ Вт}$ .

15. Две лампы мощностью 60 Вт и 100 Вт рассчитаны на напряжение 220 В. Их соединили последовательно и включили в сеть 220 В. Какая лампа будет гореть ярче? Найти фактические мощности.

**Ответ:** ярче 60 Вт;  $P_{60} = 37,5 \text{ Вт}$ ,  $P_{100} = 22,5 \text{ Вт}$ .

16. Аккумулятор с ЭДС 12 В и внутренним сопротивлением 0,2 Ом заряжается от источника с напряжением 15 В через резистор 1 Ом. Найти ток зарядки и мощность, расходуемую на нагрев аккумулятора.

**Ответ:** 2,5 А; 1,25 Вт.

17. В цепи:  $R_1 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 30 \text{ Ом}$ , соединены последовательно. Напряжение на  $R_2$  равно 40 В. Найти общее напряжение и ток.

**Ответ:**  $I = 2 \text{ А}$ ;  $U_{\text{общ}} = 120 \text{ В}$ .

18. К источнику с ЭДС 20 В и внутренним сопротивлением 1 Ом подключены параллельно два резистора 4 Ом и 6 Ом. Найти ток в каждом резисторе и КПД источника.

**Ответ:**  $I_4 = 3,64 \text{ А}$ ,  $I_6 = 2,42 \text{ А}$ ;  $\eta = 86,7\%$ .

19. Электродвигатель питается от сети 220 В, потребляет ток 5 А, его КПД 80%. Найти механическую мощность на валу и сопротивление обмотки.

**Ответ:**  $P_{\text{мех}} = 880 \text{ Вт}$ ;  $R = 8,8 \text{ Ом}$ .

20. Две батареи с ЭДС 6 В и 4 В и внутренними сопротивлениями 0,5 Ом и 0,3 Ом соединены параллельно одноимёнными полюсами. Найти ток через каждую батарею и через нагрузку 2 Ом.

**Ответ:**  $I_1 = 0,77 \text{ А}$ ,  $I_2 = -0,38 \text{ А}$  (заряжается),  $I_R = 0,385 \text{ А}$ .

### Уровень С

21. В цепи:  $R_1 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 4 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 6 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 3 \text{ Ом}$ .  $R_1$  и  $R_2$  последовательно, эта ветвь параллельна  $R_3$ , и всё это последовательно с  $R_4$ . Напряжение на  $R_4$  равно 12 В. Найти общее напряжение и токи.

**Ответ:**  $U_{\text{общ}} = 20 \text{ В}$ ;  $I_4 = 4 \text{ А}$ ,  $I_1 = I_2 = 2,4 \text{ А}$ ,  $I_3 = 1,6 \text{ А}$ .

22. Два источника:  $E_1 = 10$  В,  $r_1 = 1$  Ом;  $E_2 = 8$  В,  $r_2 = 2$  Ом. Соединены последовательно согласно и нагружены на резистор 5 Ом. Найти ток, напряжение на каждом источнике и мощность, отдаваемую каждым.

**Ответ:**  $I = 2$  А;  $U_1 = 8$  В (отдаёт 16 Вт),  $U_2 = 4$  В (отдаёт 8 Вт).

23. В схеме:  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = 20$  Ом,  $R_3 = 30$  Ом,  $R_4 = 40$  Ом.  $R_1$  и  $R_2$  параллельно, к ним последовательно  $R_3$ , и вся цепь параллельна  $R_4$ . Общее напряжение 100 В. Найти ток через  $R_3$  и  $R_4$ .

**Ответ:**  $I_3 = 1,5$  А,  $I_4 = 2,5$  А.

24. Мостовая схема:  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = 20$  Ом,  $R_3 = 30$  Ом,  $R_4 = 15$  Ом. Между точками подключения источника (между  $R_1$ - $R_3$  и  $R_2$ - $R_4$ ) подано напряжение 50 В. Найти ток через диагональ моста (между  $R_1$ - $R_2$  и  $R_3$ - $R_4$ ).

**Ответ:** мост сбалансирован ( $R_1/R_2 = R_3/R_4$ ), ток = 0.

25. Три резистора  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = 15$  Ом,  $R_3 = 30$  Ом соединены:  $R_1$  параллельно  $R_2$ , и эта группа последовательно с  $R_3$ . Напряжение на  $R_3$  равно 60 В. Найти мощность, выделяемую на  $R_2$ .

**Ответ:**  $P_2 = 40$  Вт.

26. Источник с ЭДС 24 В и  $r = 2$  Ом нагружен на резистор  $R$ . При каком  $R$  мощность на нагрузке максимальна? Найти эту мощность и КПД в этом режиме.

**Ответ:**  $R = 2$  Ом;  $P_{max} = 72$  Вт;  $\eta = 50\%$ .

27. В цепи:  $E_1 = 12$  В,  $r_1 = 1$  Ом;  $E_2 = 9$  В,  $r_2 = 2$  Ом;  $R = 5$  Ом. Источники соединены параллельно разноимёнными полюсами. Найти ток через каждый источник и через нагрузку.

**Ответ:**  $I_1 = 1,8$  А,  $I_2 = 0,3$  А,  $I_R = 1,5$  А.

28. Найти сопротивление между точками А и В бесконечной цепочки, состоящей из одинаковых резисторов  $R_0 = 10$  Ом, включённых в виде лестницы (каждое звено: горизонтальный  $R_0$  и вертикальный  $R_0$ ).

**Ответ:**  $R_{AB} = R_0(1 + \sqrt{3}) \approx 27,3$  Ом.

29. Электрическая цепь:  $R_1 = 6$  Ом,  $R_2 = 12$  Ом,  $R_3 = 4$  Ом,  $R_4 = 8$  Ом.  $R_1$  и  $R_2$  параллельно, к ним последовательно  $R_3$ , и всё это параллельно  $R_4$ . Напряжение на  $R_4$  24 В. Найти ток через  $R_2$  и общую мощность.

**Ответ:**  $I_2 = 2$  А;  $P_{общ} = 144$  Вт.

30. Два аккумулятора:  $E_1 = 6$  В,  $r_1 = 0,2$  Ом;  $E_2 = 4$  В,  $r_2 = 0,3$  Ом. Соединены последовательно встречно и нагружены на резистор 1 Ом. Найти ток и напряжение на зажимах каждого аккумулятора.

**Ответ:**  $I = 1,33$  А;  $U_1 = 5,73$  В,  $U_2 = 4,4$  В (второй заряжается).

## Практическое занятие № 9. Решение задач на электролиз, газовый разряд, полупроводниковые приборы

### Уровень А

1. При электролизе медного купороса за 20 минут на катоде выделилось 1,5 г меди. Электрохимический эквивалент меди  $k = 3,29 \cdot 10^{-7}$  кг/Кл. Найти силу тока.

**Ответ:** 3,8 А.

2. Напряжение зажигания неоновой лампы 80 В, ток 0,5 мА. Найти мощность разряда.

**Ответ:** 0,04 Вт.

3. Кремниевый диод имеет прямое падение напряжения 0,7 В при токе 10 мА. Найти сопротивление диода в прямом направлении.

**Ответ:** 70 Ом.

4. Катод лампы нагрет до 2000 К, работа выхода электрона 2,5 эВ. Определить максимальную кинетическую энергию вылетевших электронов (качественно).

**Ответ:**  $E_k = h\nu - A_{\text{вых}}$  (для данной температуры).

5. При обратном напряжении 10 В через диод протекает обратный ток 1 мкА. Найти обратное сопротивление.

**Ответ:** 10 МОм.

6. Сколько серебра выделится на катоде за 1 час при токе 2 А?  $k_{Ag} = 1,118 \cdot 10^{-6}$  кг/Кл.

**Ответ:** 8,05 г.

7. Для получения 1 кг алюминия электролизом требуется 12 часов при токе 5000 А. Найти электрохимический эквивалент алюминия.

**Ответ:**  $4,63 \cdot 10^{-7}$  кг/Кл.

8. Газовый разряд в трубке происходит при напряжении 200 В и токе 0,1 А. Какое количество тепла выделится за 5 минут?

**Ответ:** 6000 Дж.

9. В собственном полупроводнике концентрация электронов  $n_i = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ , подвижность электронов  $\mu_n = 0,4 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ . Найти удельную проводимость при  $T = 300 \text{ К}$ .

**Ответ:** 1,6 См/м.

10. Вольт-амперная характеристика диода: при прямом напряжении 0,6 В ток 5 мА. Найти дифференциальное сопротивление в этой точке.

**Ответ:** 120 Ом.

### Уровень В

11. Через раствор медного купороса пропускают ток 4 А в течение 30 минут. Найти массу выделившейся меди. ( $k_{Cu} = 3,29 \cdot 10^{-7}$  кг/Кл)

**Ответ:** 2,37 г.

12. При электролизе воды ( $k_H = 1,04 \cdot 10^{-8}$  кг/Кл,  $k_O = 8,29 \cdot 10^{-8}$  кг/Кл) за 20 минут выделилось 0,5 г водорода. Найти ток и массу выделившегося кислорода.

**Ответ:**  $I = 40 \text{ А}$ ;  $m_O = 4 \text{ г}$ .

13. Туннельный диод имеет участок отрицательного сопротивления. При  $U_1 = 0,1 \text{ В}$   $I_1 = 5 \text{ мА}$ , при  $U_2 = 0,15 \text{ В}$   $I_2 = 2 \text{ мА}$ . Найти дифференциальное сопротивление на этом участке.

**Ответ:**  $-16,7 \text{ Ом}$ .

14. Для полупроводника n-типа концентрация доноров  $N_d = 10^{22} \text{ м}^{-3}$ , подвижность электронов  $\mu_n = 0,3 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ . Найти удельную проводимость.

**Ответ:** 480 См/м.

15. В газоразрядной трубке с плоскими электродами (расстояние 1 см) зажигание происходит при напряжении 300 В. Найти напряжённость поля пробоя.

**Ответ:** 30 кВ/м.

16. Электролитическая ванна для никелирования работает при токе 5 А. Сколько времени потребуется для покрытия детали слоем никеля массой 2 г?  $k_{Ni} = 3,04 \cdot 10^{-7}$  кг/Кл.

**Ответ:**  $1316 \text{ с} \approx 22 \text{ мин}$ .

17. В цепи с кремниевым диодом (падение 0,7 В) последовательно включён резистор 100 Ом и источник 5 В. Найти ток в цепи.

**Ответ:** 43 мА.

18. В полупроводнике p-типа концентрация акцепторов  $N_a = 5 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-3}$ , подвижность дырок  $\mu_p = 0,05 \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ . Найти удельную проводимость.

**Ответ:** 40 См/м.

19. Электролизом получено 0,5 кг алюминия. Ток 2000 А. Найти время электролиза. ( $k_{Al} = 9,32 \cdot 10^{-8}$  кг/Кл)

**Ответ:** 2,68 часа.

20. В газовом разряде при давлении 0,1 мм рт. ст. длина свободного пробега электронов 1 см. Найти напряжённость поля, при которой электрон приобретает энергию ионизации (15 эВ) на длине пробега.

**Ответ:** 1500 В/м.

### Уровень С

21. Электролиз раствора  $\text{AgNO}_3$  проводился при токе 2 А в течение 1 часа. Катодом служит платина массой 10 г. После электролиза катод высушили и взвесили: масса 17,8 г. Найти электрохимический эквивалент серебра.

**Ответ:**  $1,12 \cdot 10^{-6}$  кг/Кл.

22. В трубке с неоном при давлении 1 Торр длина свободного пробега электрона 0,5 см. Энергия ионизации неона 21,6 эВ. Какое напряжение нужно приложить к электродам, находящимся на расстоянии 10 см, чтобы начался самостоятельный разряд?

**Ответ:**  $\approx 4320$  В.

23. Диод имеет обратный ток насыщения  $I_0 = 1$  мкА при 300 К. Найти прямой ток при напряжении 0,5 В. ( $\varphi_T = 26$  мВ)

**Ответ:**  $I = I_0(e^{U/\varphi_T} - 1) \approx 2,4$  А.

24. В схеме с двумя диодами (мостик) и нагрузкой 100 Ом, входное переменное напряжение 10 В (амплитудное). Найти среднее значение выпрямленного тока и обратное напряжение на диодах.

**Ответ:**  $I_{\text{ср}} = 63,7$  мА;  $U_{\text{обр}} = 10$  В.

25. Полупроводниковый фотодиод облучается светом мощностью 1 мкВт. Квантовая эффективность 0,5, длина волны 500 нм. Найти фототок.

**Ответ:** 0,2 мкА.

26. Электролизом покрывают деталь никелем толщиной 0,05 мм. Площадь детали 0,02 м<sup>2</sup>, плотность никеля 8900 кг/м<sup>3</sup>, ток 10 А. Найти время.

**Ответ:** 4,38 часа.

27. В биполярном транзисторе ток эмиттера 5 мА, коэффициент передачи тока базы  $\beta = 100$ . Найти ток коллектора и ток базы.

**Ответ:**  $I_K = 4,95$  мА,  $I_B = 0,05$  мА.

28. В полупроводнике ширина запрещённой зоны 1,1 эВ. При температуре 300 К собственная концентрация  $n_i = 1,5 \cdot 10^{16}$  м<sup>-3</sup>. Найти собственную концентрацию при 400 К (коэффициент  $B$  считать постоянным).

**Ответ:**  $n_i(400) \approx 1,4 \cdot 10^{19}$  м<sup>-3</sup>.

29. Электролитическая ванна с двумя последовательно соединёнными электролизёрами: первый с  $\text{CuSO}_4$ , второй с  $\text{AgNO}_3$ . За некоторое время в первом выделилось 1 г меди. Сколько серебра выделится во втором?  $k_{\text{Cu}} = 3,29 \cdot 10^{-7}$ ,  $k_{\text{Ag}} = 1,118 \cdot 10^{-6}$  кг/Кл.

**Ответ:** 3,4 г.

30. Стабилитрон имеет напряжение стабилизации 10 В при токе 20 мА. Дифференциальное сопротивление 5 Ом. Найти изменение напряжения при увеличении тока до 30 мА.

**Ответ:** 0,05 В.

## Практическое занятие №10. Расчёт силы Ампера, силы Лоренца и магнитного потока

### Уровень А

1. Прямолинейный проводник длиной 0,2 м с током 5 А находится в магнитном поле с индукцией 0,4 Тл перпендикулярно линиям. Найти силу Ампера.

**Ответ:** 0,4 Н.

2. Протон влетает в магнитное поле индукцией 0,1 Тл со скоростью  $10^6$  м/с перпендикулярно линиям. Заряд протона  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. Найти силу Лоренца.

**Ответ:**  $1,6 \cdot 10^{-14}$  Н.

3. Катушка площадью 0,05 м<sup>2</sup> помещена в однородное поле с индукцией 0,2 Тл. Вектор индукции перпендикулярен плоскости витка. Найти магнитный поток.

**Ответ:** 0,01 Вб.

4. Ток течёт в проводнике слева направо, магнитное поле направлено от нас. Куда направлена сила Ампера?

**Ответ:** вниз.

5. Проводник длиной 0,3 м с током 2 А перемещается в магнитном поле индукцией 0,5 Тл на 0,1 м перпендикулярно полю и току. Найти работу.

**Ответ:** 0,03 Дж.

6. Магнитный поток через контур изменился на 0,02 Вб за 0,01 с. Найти ЭДС индукции.

**Ответ:** 2 В.

7. Электрон движется в магнитном поле по окружности радиусом 0,05 м при скорости  $10^6$  м/с. Найти индукцию поля.

**Ответ:**  $1,14 \cdot 10^{-4}$  Тл.

8. Найти силу Ампера, действующую на проводник длиной 0,1 м с током 10 А в поле 0,2 Тл под углом  $30^\circ$  к линиям.

**Ответ:** 0,1 Н.

9. Частица с зарядом  $2e$  влетает в магнитное поле со скоростью  $5 \cdot 10^5$  м/с перпендикулярно, сила Лоренца  $3,2 \cdot 10^{-14}$  Н. Найти индукцию.

**Ответ:** 0,2 Тл.

10. Магнитный поток через контур 0,005 Вб, индукция 0,1 Тл. Найти площадь контура, если он расположен перпендикулярно полю.

**Ответ:** 0,05 м<sup>2</sup>.

### Уровень В

11. Два параллельных проводника длиной 1 м с токами 10 А и 20 А находятся на расстоянии 0,1 м друг от друга. Найти силу взаимодействия.

**Ответ:**  $4 \cdot 10^{-4}$  Н (притяжение).

12. Электрон влетает в однородное магнитное поле со скоростью  $10^7$  м/с под углом  $30^\circ$  к линиям индукции ( $B = 0,1$  Тл). Найти шаг винтовой траектории.

**Ответ:** 3,4 мм.

13. Прямоугольная рамка со сторонами 0,1 м и 0,2 м, содержащая 50 витков, помещена в поле 0,5 Тл. Плоскость рамки составляет угол  $60^\circ$  с направлением поля. Найти магнитный поток.

**Ответ:** 0,25 Вб.

14. Проводник массой 10 г и длиной 0,2 м подвешен горизонтально на двух лёгких нитях в магнитном поле индукцией 0,5 Тл, направленном горизонтально перпендикулярно проводнику. Какой ток нужно пропустить, чтобы сила натяжения нитей стала равной нулю?

**Ответ:** 1 А.

15. Альфа-частица ( $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$  Кл,  $m = 6,64 \cdot 10^{-27}$  кг) влетает в магнитное поле индукцией 1 Тл перпендикулярно со скоростью  $10^5$  м/с. Найти радиус окружности.

**Ответ:** 2,075 мм.

16. В магнитном поле с индукцией 0,2 Тл находится проводник длиной 0,5 м с током 4 А. Какую работу совершит сила Ампера при перемещении проводника на 0,2 м в направлении действия силы, если угол между проводником и полем  $90^\circ$ ?

**Ответ:** 0,08 Дж.

17. Контур площадью  $0,02 \text{ м}^2$  расположен под углом  $30^\circ$  к линиям поля. Магнитный поток через контур  $0,005 \text{ Вб}$ . Найти индукцию поля.

**Ответ:**  $0,289 \text{ Тл}$ .

18. Электрон движется по окружности радиусом  $0,1 \text{ м}$  в магнитном поле индукцией  $0,01 \text{ Тл}$ . Найти скорость и период обращения.

**Ответ:**  $1,76 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ ;  $3,57 \cdot 10^{-8} \text{ с}$ .

19. Два длинных прямых проводника с токами  $5 \text{ А}$  и  $8 \text{ А}$  скрещены под прямым углом, расстояние между ними в месте скрещивания  $0,1 \text{ м}$ . Найти магнитную индукцию в точке, лежащей посередине между проводниками на биссектрисе угла.

**Ответ:**  $1,85 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$ .

20. Рамка с током  $2 \text{ А}$  имеет площадь  $0,01 \text{ м}^2$  и  $100$  витков. Она помещена в поле  $0,5 \text{ Тл}$ . Найти максимальный вращающий момент.

**Ответ:**  $1 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

### Уровень С

21. Протон и альфа-частица влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям с одинаковой кинетической энергией. Найти отношение радиусов их траекторий.

**Ответ:**  $R_p/R_\alpha = 1$ .

22. Проводник в виде полуокружности радиусом  $0,2 \text{ м}$  с током  $3 \text{ А}$  находится в поле  $0,4 \text{ Тл}$ , перпендикулярном плоскости полуокружности. Найти силу Ампера, действующую на проводник.

**Ответ:**  $0,48 \text{ Н}$ .

23. Электрон влетает в скрещенные электрическое ( $1000 \text{ В/м}$ ) и магнитное ( $0,01 \text{ Тл}$ ) поля, перпендикулярные друг другу и скорости электрона. При какой скорости электрон не отклоняется?

**Ответ:**  $10^5 \text{ м/с}$ .

24. Квадратная рамка со стороной  $0,1 \text{ м}$  с током  $5 \text{ А}$  свободно вращается в поле  $0,2 \text{ Тл}$ . Плоскость рамки сначала параллельна полю. Найти работу поля при повороте рамки на  $90^\circ$ .

**Ответ:**  $0,002 \text{ Дж}$ .

25. Заряженная частица движется в магнитном поле по окружности радиусом  $0,1 \text{ м}$ , совершая  $10^7$  оборотов в секунду. Найти отношение заряда к массе.

**Ответ:**  $6,28 \cdot 10^8 \text{ Кл/кг}$ .

26. Прямой проводник с током  $10 \text{ А}$  расположен перпендикулярно плоскости чертежа. На расстоянии  $0,05 \text{ м}$  от него находится электрон, движущийся со скоростью  $10^6 \text{ м/с}$  параллельно проводнику. Найти силу Лоренца, действующую на электрон.

**Ответ:**  $6,4 \cdot 10^{-18} \text{ Н}$ .

27. В магнитном поле с индукцией  $0,2 \text{ Тл}$  вращается рамка из  $100$  витков площадью  $0,01 \text{ м}^2$  с частотой  $50 \text{ Гц}$ . Ось вращения перпендикулярна полю. Найти максимальную ЭДС.

**Ответ:**  $6,28 \text{ В}$ .

28. Проводящий стержень длиной  $0,3 \text{ м}$  вращается в горизонтальной плоскости с угловой скоростью  $100 \text{ рад/с}$  в вертикальном магнитном поле  $0,1 \text{ Тл}$ . Ось вращения проходит через конец стержня. Найти ЭДС между концами.

**Ответ:**  $0,45 \text{ В}$ .

29. Два параллельных проводника с одинаковыми токами  $20 \text{ А}$  расположены на расстоянии  $0,2 \text{ м}$ . Найти индукцию магнитного поля в точке, удаленной от каждого проводника на  $0,2 \text{ м}$  и лежащей в плоскости проводников.

**Ответ:**  $2 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$ .

30. В однородном магнитном поле 0,5 Тл движется протон по спирали радиусом 0,05 м и шагом 0,1 м. Найти скорость протона и угол влёта.

**Ответ:**  $v = 2,4 \cdot 10^6$  м/с,  $\alpha \approx 30^\circ$ .

### Практическое занятие №11. Применение закона электромагнитной индукции и правила Ленца. Энергия магнитного поля

#### Уровень А

1. Магнитный поток через контур равномерно изменяется с 0,1 Вб до 0,3 Вб за 0,02 с. Найти ЭДС индукции.

**Ответ:** 10 В.

2. В катушке при изменении тока на 10 А за 0,1 с возникает ЭДС самоиндукции 200 В. Найти индуктивность.

**Ответ:** 2 Гн.

3. Катушка индуктивностью 0,5 Гн имеет ток 4 А. Найти энергию магнитного поля.

**Ответ:** 4 Дж.

4. В однородном магнитном поле ( $B = 0,2$  Тл) движется проводник длиной 0,5 м со скоростью 10 м/с перпендикулярно полю и самому себе. Найти ЭДС на концах.

**Ответ:** 1 В.

5. Магнит вдвигают в катушку южным полюсом. Определить направление индукционного тока (по правилу Ленца).

**Ответ:** ток создаёт поле, препятствующее движению  $\rightarrow$  северный полюс со стороны магнита.

6. Индуктивность катушки 0,2 Гн. При каком токе энергия поля равна 0,4 Дж?

**Ответ:** 2 А.

7. ЭДС индукции в контуре 5 В, скорость изменения магнитного потока?

**Ответ:** 5 Вб/с.

8. За 0,05 с магнитный поток уменьшился с 0,02 до 0,01 Вб. Найти ЭДС.

**Ответ:** 0,2 В.

9. Проводник движется в поле со скоростью 20 м/с, длина 0,2 м, ЭДС 4 В. Найти индукцию.

**Ответ:** 1 Тл.

10. Энергия магнитного поля катушки с током 3 А равна 0,9 Дж. Найти индуктивность.

**Ответ:** 0,2 Гн.

#### Уровень В

11. Кольцо радиусом 0,1 м из медной проволоки (сечение 1 мм<sup>2</sup>) находится в переменном магнитном поле, изменяющемся со скоростью 10 Тл/с. Найти ЭДС индукции и ток в кольце. Удельное сопротивление меди  $1,7 \cdot 10^{-8}$  Ом·м.

**Ответ:**  $\mathcal{E} = 0,314$  В;  $I = 0,185$  А.

12. Соленоид длиной 0,5 м, диаметром 0,05 м, содержит 1000 витков. По нему течёт ток 2 А. Найти индуктивность и энергию поля.

**Ответ:**  $L = 0,00493$  Гн;  $W = 0,00986$  Дж.

13. В катушке индуктивностью 0,1 Гн ток равномерно увеличивается с 0 до 5 А за 0,2 с. Найти ЭДС самоиндукции и заряд, прошедший через катушку.

**Ответ:**  $\mathcal{E}_s = 2,5$  В;  $q = 5$  Кл? (нет, заряд не так – уточнить:  $q = \int Idt = 2,5$  Кл, но это неверно, правильно:  $q = \frac{\Delta\Phi}{R}$ , но R не дано. Лучше: ЭДС = 2,5 В, а заряд – неопределён).

14. Прямоугольная рамка со сторонами 0,2 м и 0,3 м вращается с частотой 10 об/с в поле 0,5 Тл. Ось перпендикулярна полю. Найти амплитуду ЭДС.

**Ответ:** 1,884 В.

15. Две катушки индуктивностью  $L_1 = 0,2$  Гн и  $L_2 = 0,3$  Гн соединены последовательно. Коэффициент взаимной индукции  $M = 0,1$  Гн. Найти общую индуктивность при согласном и встречном включении.

**Ответ:**  $L_{\text{согл}} = 0,7$  Гн;  $L_{\text{встр}} = 0,3$  Гн.

16. Металлический стержень длиной 0,4 м скользит по параллельным рельсам со скоростью 5 м/с в однородном поле 0,2 Тл, перпендикулярном плоскости рельсов. Рельсы замкнуты на резистор 2 Ом. Найти силу индукционного тока и мощность, выделяемую на резисторе.

**Ответ:**  $\mathcal{E} = 0,4$  В;  $I = 0,2$  А;  $P = 0,08$  Вт.

17. Трансформатор имеет первичную обмотку 200 витков, вторичную 600 витков. Напряжение на первичной 220 В. Найти напряжение на вторичной, если потери нет.

**Ответ:** 660 В.

18. Катушка индуктивностью 0,5 Гн подключена к источнику 12 В через ключ. После замыкания ключа ток достигает 0,63 от установившегося за время 0,1 с. Найти сопротивление катушки.

**Ответ:**  $R = L/\tau = 5$  Ом (постоянная времени  $\tau = 0,1$  с).

19. В однородном магнитном поле 0,1 Тл находится квадратная рамка со стороной 0,2 м. Рамку поворачивают на  $180^\circ$  за 0,05 с. Найти среднюю ЭДС индукции.

**Ответ:** 0,16 В.

20. Соленоид длиной 0,2 м, диаметром 0,04 м, число витков 500. По нему течёт ток 3 А. Найти энергию поля внутри соленоида.

**Ответ:**  $W = 0,0444$  Дж.

### Уровень С

21. В однородном магнитном поле 0,2 Тл вращается рамка из 50 витков площадью  $0,01$  м<sup>2</sup> с частотой 50 Гц. Ось вращения перпендикулярна полю. Найти зависимость ЭДС от времени и максимальное значение.

**Ответ:**  $\mathcal{E}(t) = 3,14\sin(314t)$  В.

22. Два соленоида одинаковой длины и сечения вставлены друг в друга. Индуктивность первого 0,1 Гн, второго 0,2 Гн, взаимная индуктивность 0,05 Гн. Найти энергию магнитного поля при токах  $I_1 = 2$  А,  $I_2 = 3$  А для согласного и встречного направлений.

**Ответ:**  $W_{\text{согл}} = 1,15$  Дж;  $W_{\text{встр}} = 0,55$  Дж.

23. Проводящий диск радиусом 0,1 м вращается с угловой скоростью 100 рад/с в поле 0,5 Тл, направленном перпендикулярно диску. Найти ЭДС между центром и краем диска.

**Ответ:** 0,25 В.

24. В цепи, содержащей катушку  $L = 0,2$  Гн и резистор  $R = 10$  Ом, ключ замыкают на источник  $E = 20$  В. Найти ток через 0,01 с после замыкания.

**Ответ:**  $I(t) = 2(1 - e^{-50t})$ , при  $t = 0,01$  с  $I = 1,27$  А.

25. Квадратная рамка со стороной 0,1 м с сопротивлением 0,5 Ом вдвигается в область однородного поля 0,4 Тл со скоростью 2 м/с. Ширина поля 0,2 м. Найти ток индукции и силу, необходимую для движения.

**Ответ:**  $I = 0,16$  А;  $F = 0,0064$  Н.

26. Катушка с индуктивностью 0,4 Гн и сопротивлением 2 Ом подключается к источнику 10 В. Через какое время энергия магнитного поля достигнет 90% от максимальной?

**Ответ:**  $t = -\tau\ln(1 - 0,9) \approx 0,46$  с.

27. Трансформатор повышает напряжение с 220 В до 1100 В. Вторичная обмотка имеет 1000 витков. Потери отсутствуют. Найти число витков первичной обмотки и ток в первичной, если во вторичной 0,5 А.

**Ответ:**  $N_1 = 200$ ;  $I_1 = 2,5$  А.

28. Виток радиусом 0,05 м расположен в однородном поле 0,1 Тл перпендикулярно полю. Виток деформируют в квадрат той же площади за 0,1 с. Найти среднюю ЭДС индукции.

**Ответ:** 0,004 В.

29. Рамка площадью 0,02 м<sup>2</sup>, имеющая 100 витков, вращается в поле 0,3 Тл. При какой частоте вращения амплитуда ЭДС достигнет 10 В?

**Ответ:**  $f = 2,65$  Гц.

30. Длинный соленоид (1000 витков/м) с током 2 А имеет сечение 0,01 м<sup>2</sup>. Внутри соленоида расположена катушка из 100 витков, намотанная на тот же сердечник. Найти ЭДС в катушке, если ток в соленоиде выключается за 0,01 с.

**Ответ:**  $\mathcal{E} = 2,51$  В.

### Дополнительные задачи по разделу 7 “Квантовая физика” (30 задач, для самостоятельной работы)

#### Уровень А

1. Энергия фотона  $3 \cdot 10^{-19}$  Дж. Найти частоту.

**Ответ:**  $4,53 \cdot 10^{14}$  Гц.

2. Длина волны красного света 700 нм. Найти энергию фотона.

**Ответ:**  $2,84 \cdot 10^{-19}$  Дж.

3. Работа выхода для цезия 1,9 эВ. Найти красную границу фотоэффекта.

**Ответ:** 654 нм.

4. Импульс фотона  $1,33 \cdot 10^{-27}$  кг·м/с. Найти длину волны.

**Ответ:** 500 нм.

5. При фотоэффекте запирающее напряжение 2 В. Найти максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов.

**Ответ:** 2 эВ.

6. Длина волны де Бройля для электрона с импульсом  $10^{-24}$  кг·м/с.

**Ответ:** 0,662 нм.

7. Мощность лазера 5 мВт, длина волны 633 нм. Сколько фотонов испускается за 1 с?

**Ответ:**  $1,6 \cdot 10^{16}$ .

8. Постоянная Планка  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с. Найти энергию фотона с частотой  $5 \cdot 10^{14}$  Гц.

**Ответ:**  $3,315 \cdot 10^{-19}$  Дж.

9. Работа выхода для натрия 2,3 эВ. Будет ли наблюдаться фотоэффект при облучении светом 500 нм?

**Ответ:**  $E_{\phi} = 2,48$  эВ  $> 2,3 \rightarrow$  да.

10. Энергия фотона 4 эВ. Найти длину волны.

**Ответ:** 310 нм.

#### Уровень В

11. Найти максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с поверхности цезия ( $A = 1,9$  эВ) светом с длиной волны 400 нм.

**Ответ:**  $6,2 \cdot 10^5$  м/с.

12. Электрон разгоняется разностью потенциалов 100 В. Найти длину волны де Бройля.

**Ответ:** 0,122 нм.

13. При облучении металла светом 200 нм задерживающее напряжение 4 В. Найти работу выхода.

**Ответ:** 2,2 эВ.

14. Фотон с длиной волны 0,1 нм (рентген) рассеивается на свободном электроны под углом  $90^\circ$ . Найти изменение длины волны (комптоновское смещение).

**Ответ:** 0,00243 нм.

15. Давление света на зеркальную поверхность, если интенсивность  $1000 \text{ Вт/м}^2$ .

**Ответ:**  $6,67 \cdot 10^{-6} \text{ Па}$ .

16. Определить энергию, массу и импульс фотона с частотой  $10^{15} \text{ Гц}$ .

**Ответ:**  $E = 6,63 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ ;  $m = 7,37 \cdot 10^{-36} \text{ кг}$ ;  $p = 2,21 \cdot 10^{-27} \text{ кг}\cdot\text{м/с}$ .

17. Фотоэффект у некоторого металла начинается при частоте  $6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$ . Найти работу выхода.

**Ответ:** 2,48 эВ.

18. Электрон и протон имеют одинаковую кинетическую энергию 100 эВ. Найти отношение длин волн де Бройля.

**Ответ:**  $\lambda_e/\lambda_p = \sqrt{m_p/m_e} \approx 42,8$ .

19. При фотоэффекте с платины ( $A = 5,3 \text{ эВ}$ ) максимальная скорость электронов  $10^6 \text{ м/с}$ . Найти длину волны падающего света.

**Ответ:** 110 нм.

20. Лазер мощностью 10 Вт излучает импульсы длительностью 10 нс с энергией 0,1 Дж. Сколько фотонов в одном импульсе? ( $\lambda = 532 \text{ нм}$ )

**Ответ:**  $2,68 \cdot 10^{17}$ .

### Уровень С

21. Рентгеновское излучение с длиной волны 0,05 нм рассеивается под углом  $60^\circ$ . Найти энергию рассеянного фотона и кинетическую энергию электрона отдачи.

**Ответ:**  $E' = 23,7 \text{ кэВ}$ ;  $E_e = 1,06 \text{ кэВ}$ .

22. Свет с длиной волны 400 нм падает на металлическую пластину, работа выхода 2 эВ. Найти максимальную скорость фотоэлектронов и задерживающее напряжение.

**Ответ:**  $v = 6,3 \cdot 10^5 \text{ м/с}$ ;  $U = 1,1 \text{ В}$ .

23. Давление света на чёрную поверхность составляет  $5 \cdot 10^{-6} \text{ Па}$ . Найти интенсивность света.

**Ответ:**  $1500 \text{ Вт/м}^2$ .

24. Электрон имеет длину волны де Бройля 0,1 нм. Найти его кинетическую энергию в эВ.

**Ответ:** 150 эВ.

25. При облучении металла светом 300 нм задерживающее напряжение 1,2 В. Найти работу выхода и красную границу.

**Ответ:**  $A = 2,94 \text{ эВ}$ ;  $\lambda_{\text{кр}} = 422 \text{ нм}$ .

26. Фотон с энергией 0,5 МэВ рассеивается на покоящемся электроны под углом  $180^\circ$ . Найти энергию рассеянного фотона.

**Ответ:** 0,17 МэВ.

27. Давление света на зеркальную пластинку площадью  $1 \text{ см}^2$  равно  $10^{-7} \text{ Па}$ . Найти мощность падающего излучения.

**Ответ:** 1,5 Вт.

28. Определить длину волны де Бройля для электрона, прошедшего разность потенциалов 1000 В.

**Ответ:** 0,0388 нм.

29. Фотоэлектроны, вырываемые с поверхности металла светом 200 нм, задерживаются напряжением 2 В. Найти работу выхода.

**Ответ:** 4,2 эВ.

30. Лазерный импульс длительностью 1 нс имеет энергию 0,5 Дж. Средняя мощность 500 МВт. Сколько фотонов в импульсе, если  $\lambda = 1064$  нм?

**Ответ:**  $2,68 \cdot 10^{18}$ .

### Дополнительные задачи по разделу 8 “Строение Вселенной” (30 задач)

#### Уровень А

1. Расстояние до звезды 4 световых года. Выразить в километрах.

**Ответ:**  $3,78 \cdot 10^{13}$  км.

2. Период обращения Земли вокруг Солнца 1 год, радиус орбиты  $1,5 \cdot 10^{11}$  м. Найти скорость Земли.

**Ответ:** 30 км/с.

3. Масса Солнца  $2 \cdot 10^{30}$  кг, масса Земли  $6 \cdot 10^{24}$  кг, расстояние  $1,5 \cdot 10^{11}$  м. Найти силу притяжения.

**Ответ:**  $3,56 \cdot 10^{22}$  Н.

4. Первая космическая скорость для Земли 7,9 км/с. Найти ускорение свободного падения на высоте 0.

**Ответ:** 9,8 м/с<sup>2</sup>.

5. Световой год – это расстояние, которое свет проходит за год. Сколько метров?

**Ответ:**  $9,46 \cdot 10^{15}$  м.

6. Температура на поверхности Солнца около 6000 К. В каком диапазоне лежит максимум излучения?

**Ответ:**  $\lambda_{max} = 483$  нм (видимый).

7. Параллакс звезды 0,1". Найти расстояние в парсеках

**Ответ:** 10 пк.

8. Красное смещение галактики  $z = 0,05$ . С какой скоростью она удаляется? ( $H_0 = 70$  км/(с·Мпк) – не нужно, формула  $v = cz$ )

**Ответ:**  $1,5 \cdot 10^4$  км/с.

9. Масса Юпитера  $1,9 \cdot 10^{27}$  кг, радиус  $7 \cdot 10^7$  м. Найти ускорение свободного падения на поверхности.

**Ответ:** 25,9 м/с<sup>2</sup>.

10. Период обращения Меркурия 88 суток. Во сколько раз его расстояние от Солнца меньше земного? (Третий закон Кеплера)

**Ответ:**  $a_{\text{Мерк}}/a_{\text{Зем}} = (88/365)^{2/3} \approx 0,387$ .

#### Уровень В

11. Звезда имеет светимость в 100 раз больше солнечной, температура поверхности 10000 К. Найти радиус звезды в радиусах Солнца ( $T_{\odot} = 6000$  К).

**Ответ:**  $R/R_{\odot} = \sqrt{L/L_{\odot}} \cdot (T_{\odot}/T)^2 = 2,16$ .

12. Галактика удаляется со скоростью 3000 км/с. Найти расстояние до неё по закону Хаббла ( $H_0 = 70$  км/(с·Мпк)).

**Ответ:** 42,9 Мпк.

13. Оценить критическую плотность Вселенной, если  $H_0 = 70$  км/(с·Мпк).

**Ответ:**  $\rho_c = \frac{3H_0^2}{8\pi G} \approx 9,2 \cdot 10^{-27}$  кг/м<sup>3</sup>.

14. Чёрная дыра массой 10 масс Солнца. Найти радиус Шварцшильда.

**Ответ:**  $R_s = \frac{2GM}{c^2} \approx 29,6$  км.

15. Расстояние до галактики 100 Мпк. За какое время свет доходит до Земли?  
**Ответ:** 326 млн лет.
16. Звезда главной последовательности имеет массу  $2 M_{\odot}$ . Во сколько раз её светимость больше солнечной? ( $L \sim M^{3,5}$ )  
**Ответ:**  $L/L_{\odot} = 2^{3,5} \approx 11,3$ .
17. Плотность вещества во Вселенной составляет  $10^{-27}$  кг/м<sup>3</sup>. Сколько протонов в 1 м<sup>3</sup>?  
**Ответ:** 0,6 протона/м<sup>3</sup>.
18. Температура реликтового излучения 2,7 К. Найти длину волны максимума.  
**Ответ:** 1,07 мм (микроволновое).
19. Период пульсара 0,001 с. Оценить его радиус, если это нейтронная звезда (предел по центробежному разрыву).  
**Ответ:**  $R < cT/(2\pi) \approx 47,7$  км.
20. Солнечная постоянная (интенсивность на орбите Земли) 1360 Вт/м<sup>2</sup>. Найти светимость Солнца.  
**Ответ:**  $L_{\odot} = 1360 \cdot 4\pi(1,5 \cdot 10^{11})^2 = 3,85 \cdot 10^{26}$  Вт.

### Уровень С

21. Двойная звезда имеет период обращения 50 лет и большую полуось 20 а.е. Найти сумму масс компонентов.  
**Ответ:**  $M_1 + M_2 = a^3/T^2 = 20^3/50^2 = 3,2M_{\odot}$ .
22. Сверхновая вспыхнула на расстоянии 10 кпк. Её видимая звёздная величина  $m = +5$ . Найти абсолютную звёздную величину.  
**Ответ:**  $M = m - 5\lg(d/10) = 5 - 5\lg(10000/10) = 5 - 5\lg(1000) = 5 - 15 = -10$ .
23. Возраст Вселенной по модели Фридмана для критической плотности:  $t_0 = 2/(3H_0)$ . При  $H_0 = 70$  км/(с·Мпк) найти возраст в годах.  
**Ответ:**  $t_0 \approx 9,3$  млрд лет (без учёта тёмной энергии; с учётом 13,8).
24. Гравитационный радиус протона. Сравнить с его реальным радиусом.  
**Ответ:**  $R_s(p) = 2Gm_p/c^2 \approx 2,5 \cdot 10^{-54}$  м, что ничтожно мало.
25. Энергия, выделяющаяся при слиянии двух нейтронных звёзд массами по  $1,4M_{\odot}$ , если 10% массы переходит в гравитационные волны.  
**Ответ:**  $\Delta m = 0,28M_{\odot} \approx 5,6 \cdot 10^{29}$  кг;  $E = \Delta mc^2 \approx 5 \cdot 10^{46}$  Дж.
26. Орбитальный период экзопланеты вокруг звезды массой  $0,8M_{\odot}$  составляет 10 суток. Найти радиус орбиты.  
**Ответ:**  $a = \sqrt[3]{GMT^2/(4\pi^2)} \approx 0,07$  а.е.
27. Температура фотосферы звезды 30000 К. Найти, в какой области спектра лежит максимум излучения.  
**Ответ:**  $\lambda_{max} = 97$  нм (ультрафиолет).
28. Если бы Вселенная была замкнутой с критической плотностью в 2 раза выше, какой был бы радиус кривизны?  
**Ответ:**  $R_{кр} = c/\sqrt{8\pi G\rho/3}$  – численно порядка  $10^{26}$  м.
29. Красное смещение  $z = 2$  соответствует моменту, когда Вселенная была в 1 +  $z = 3$  раза моложе. Оценить возраст в тот момент (принять возраст сейчас 13,8 млрд лет).  
**Ответ:** около 1,7 млрд лет.
30. Энергия, выделяющаяся при аккреции на чёрную дыру с эффективностью 10%. На какую светимость это соответствует при темпе аккреции  $10^{-5}M_{\odot}/\text{год}$ ?  
**Ответ:**  $L = \eta \dot{M}c^2 \approx 5,7 \cdot 10^{31}$  Вт.

## **Информационное обеспечение реализации программы**

### **Основные печатные издания**

1. Летуа, С. Н. Физика: учебное пособие / С. Н. Летуа, А. А. Чакак. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 307 с. — ISBN 978-5-7410-1575-9. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/78852.html>. — Режим доступа: для авторизир. Пользователей

2. Пискарёва, Т. И. Сборник задач по общему курсу физики: учебное пособие / Т. И. Пискарёва, А. А. Чакак. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 131 с. — ISBN 978-5-7410-1500-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/69942.html>. - Режим доступа: для авторизир. пользователей

### **Основные электронные издания**

1. Павленко, Ю. Г. Физика 10–11: учебное пособие / Ю. Г. Павленко. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 848 с. — ISBN 5-9221-0420-9. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2699>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Аксенова, Е. Н. Общая физика. Оптика (главы курса): учебное пособие / Е. Н. Аксенова. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 76 с. — ISBN 978-5-8114-2911-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/212684> (дата обращения: 11.03.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Аксенова, Е. Н. Общая физика. Механика (главы курса): учебное пособие для СПО / Е. Н. Аксенова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2024. — 128 с. — ISBN 978-5-507-50307-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/417869> (дата обращения: 11.03.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Аксенова, Е. Н. Общая физика. Электричество и магнетизм (главы курса): учебное пособие для СПО / Е. Н. Аксенова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2024. — 112 с. — ISBN 978-5-507-51639-1. — Текст: электронный // Лань: электронно- библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/426257> (дата обращения: 11.03.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Аксенова, Е. Н. Общая физика. Колебания и волны (главы курса): учебное пособие / Е. Н. Аксенова. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 72 с. — ISBN 978-5-8114-2910-3. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/212678> (дата обращения: 11.03.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Аксенова, Е. Н. Общая физика. Термодинамика и молекулярная физика (главы курса): учебное пособие / Е. Н. Аксенова. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 72 с. — ISBN 978-5-8114-2912-7. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/212687> (дата обращения: 11.03.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### **Дополнительные источники**

1. Бирюкова, О. В. Физика. Электричество и магнетизм. Задачи с решениями / О. В. Бирюкова, Б. В. Ермаков, И. В. Корецкая. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 180 с. — ISBN 978-5-507-44637-7. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/231494> (дата обращения: 11.03.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Трунов, Г. М. Общая физика. Дополнительные материалы для самостоятельной работы: учебное пособие / Г. М. Трунов. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 72 с. — ISBN 978-5-8114-3483-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/205994> (дата обращения: 11.03.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Практикум по решению задач общего курса физики. Механика: учебное пособие для спо / Н. П. Калашников, Т. В. Котырло, С. Л. Кустов, Г. Г. Спирин. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 292 с. — ISBN 978-5-8114-6884-3. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153652>