В. Т. ВЕТРОВА

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

с индивидуальными заданиями

Допущено
Министерством народного образования БССР
в качестве учебного пособия
для студентов технических специальностей
сельскохозяйственных и технологических вузов

БИБЛИОТЕКА
Белорусского института
механизации сельского хоз-ва
Инв. №

БИБЛИОТЕКА
БГАТУ
1017110276880

МИНСК "ВЫШЭЙШАЯ ШКОЛА" 1991

ББК 22.3я73
В39
УДК 53(076.1) (075.8)

Р е ц е н з е н т ы: кафедра общей физики Ленинградской лесотехнической академии имени С.М. Кирова; профессор И.Г. Некрашевич (БГУ имени В.И. Ленина)

Ветрова В.Т.

В39 Сборник задач по физике: С индивидуал. заданиями: Учеб. пособие для вузов. – Мн.: Выш. шк., 1991. – 386 с.: ил.

ISBN 5-339-00512-7.

Содержатся задачи по всему курсу общей физики. Отличительной особенностью сборника является то, что вместо условия задачи дается описание общей ситуации, на основании которой можно сформулировать большое количество конкретных задач. К каждой теме приводятся контрольные вопросы.

Для студентов технических специальностей сельскохозяйственных и технологических вузов.

1604010000 – 057
В ——————— 15–91
М304(03) –90

ББК 22.3я73

ISBN 5-339-00512-7

© В.Т. Ветрова, 1991

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий сборник задач по курсу общей физики предназначен для выполнения индивидуальных заданий студентами инженерно-технических специальностей вузов сельскохозяйственного, лесотехнического и технологического профилей, но может быть полезен и студентам любых технических вузов.

Учебное пособие можно использовать для самостоятельной работы студентов. С этой целью в начале каждой темы приводятся контрольные вопросы, соответствующие учебной программе и ориентирующие студентов на изучение теоретического материала с использованием рекомендуемой литературы.

Отличительной особенностью сборника является то, что вместо условия задачи дается описание общей ситуации, на основании которой можно сформулировать большое количество конкретных задач, подобных тем, которые приводятся обычно в сборниках задач по курсу общей физики. Необходимые данные для составления условий двадцати восьми конкретных задач из одной описанной ситуации приведены в таблицах, следующих за описанием общих ситуаций. Обобщенные условия задач и контрольные вопросы к ним составлены в соответствии с учебной программой, расположение материала соответствует структуре большинства учебных пособий по курсу общей физики.

Проблемность обучения при использовании настоящего сборника состоит в том, что каждый студент должен разобраться в общей физической ситуации, описанной в условии задачи, четко представить себе свое индивидуальное задание, сформулировать условие конкретной задачи согласно номеру задания и только после этого приступить к решению задачи. Ответы ко всем вариантам задач даны в конце сборника в виде таблиц.

Автор благодарит профессора И.Г. Некрашевича, а также коллектив кафедры общей физики Ленинградской лесотехнической академии за полезные советы и замечания, высказанные ими в процессе подготовки сборника к изданию.

Замечания и пожелания просьба направлять по адресу: 220048, Минск, проспект Машерова, 11, издательство "Вышэйшая школа".

Автор

ТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Сборник задач содержит задачи по двадцати четырем темам, изучаемым в рсе общей физики в технических вузах без углубленного изучения физики, чем каждая тема содержит по десять обобщенных задач и рассчитана на ю аудиторное занятие и выполнение домашнего задания. Условия задач дставляют собой описания общих ситуаций, основанных на каких-либо фи-еских явлениях и законах, и таблицы с набором двадцати восьми вариантов ленных значений и конкретных заданий. Если в таблице для четырех раз-ных вариантов задан один закон изменения физической величины или дано ько одно ее значение, это означает, что они являются одинаковыми для х четырех заданий. В некоторых задачах конкретное задание предусмотре-в ее условии, а варианты отличаются исходными данными. В тех же зада-, где требуется найти неизвестную величину согласно номеру задания, не-естные величины в таблицах обозначены вопросительными знаками. В зна-ельной части задач имеются задания обоих видов. Каждая тема содержит за-и различной трудности. Наиболее легкими во всех темах являются первые ачи.

По каждой теме даны контрольные вопросы, которые составлены таким разом, что их номера совпадают с номерами тех задач, к которым они отно-ся. Однако для успешного выполнения задания необходимо знать ответы олько на вопросы под этим номером, но и на все предыдущие.

Во время аудиторных занятий, прежде чем предложить студентам само-ятельно решить свои варианты какой-либо задачи, рекомендуется обсудить еты на контрольные вопросы к этой задаче. У доски может быть разобрана дая ситуация задачи и выявлены те физические законы, которые лежат в ее ове.

Во время аудиторных занятий бригадам, состоящим из четырех человек, ут быть даны дополнительные задания: проанализировать некоторые зави-ости, построить графики и т.д.

Сборник содержит:

1) задачи с индивидуальными вариантами одной и той же задачи, разли-щимися исходными данными и неизвестными величинами;

2) однотипные задачи для бригад, состоящих из четырех человек, разли-щиеся или системами взаимодействующих тел, или условиями взаимо-ствия, или уравнениями движения и т.д.; каждый член бригады при этом учает индивидуальные исходные данные;

3) общие или однотипные задачи для бригад, различающиеся для каждого на бригады лишь одним параметром; бригады по результатам расчетов ждого из членов бригады строят графики зависимости искомой величины от еняющегося параметра; искомые величины и (или) изменяющиеся пара-ры у бригад различны;

4) задачи с общим условием, но различными заданиями для бригад, выполнение которых отдельными бригадами и сопоставление с результатами, полученными другими бригадами, позволяет дать исчерпывающие ответы на все вопросы, возникающие в сформулированной проблемной ситуации; каждый член бригады получает при этом индивидуальное задание.

Для аудиторных занятий лучше использовать задачи второго, третьего и четвертого типов, позволяющие членам одной бригады обсуждать условия задач, строить графики по результатам расчетов каждого члена бригады, анализировать полученные зависимости. После пятнадцати-двадцати минут самостоятельной работы представители двух-трех бригад могут объяснить у доски ход решения задачи, полученные результаты, графики и т.д. Задачи первого типа лучше использовать для домашних заданий.

Ответы к задачам даны также в виде таблиц. В таблицах с ответами над столбцами стоят номера задач, к которым эти ответы относятся, а номера строк соответствуют номерам заданий. Если в задачах требуется определить несколько величин, то в ответах искомые величины следуют в том же порядке, что и вопросительные знаки, заменяющие эти величины в таблицах с заданиями. У части задач, в которых требуется определить две-три физические величины, один из ответов для четырех заданий может оказаться общим. В этом случае в таблице ответов он напечатан только один раз.

В конце сборника помещены справочные таблицы с теми данными, которые необходимы для решения задач, входящих в настоящий сборник.

МЕХАНИКА

ТЕМА 1. КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ И ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Контрольные вопросы

1.1. Что называется механическим движением? Какое движение называется поступательным? Что такое "материальная точка"? Приведите примеры, в которых одно и то же тело в одних условиях можно считать материальной точкой, а в других – нельзя.

1.2. Что называется системой отсчета? Что такое скорость материальной точки? Что называется ускорением точки? Как, зная закон изменения координаты точки, определить законы изменения ее скорости и ускорения вдоль заданного направления? Как подсчитать мгновенные значения скорости и ускорения в данный момент времени?

1.3. Что называют радиусом-вектором материальной точки относительно начала координат? Как определить векторы скорости и ускорения материальной точки, если известен закон изменения ее радиуса-вектора относительно начала координат? Чему равны модули векторов скорости и ускорения? Что называется траекторией движения материальной точки? Как можно получить уравнение траектории, если известен закон изменения радиуса-вектора материальной точки?

1.4. Как задается направление вектора? Как вычислить углы, которые составляет заданный вектор с осями координат?

1.5. Как определить законы изменения скорости и координаты вдоль заданного направления, если задан закон изменения ускорения вдоль этого направления? Что должно быть задано дополнительно для того, чтобы ответы были однозначными?

1.6. Чему равно расстояние между двумя точками в пространстве? Как определить расстояние в данный момент времени между двумя движущимися материальными точками, если известны законы изменения их скоростей в одной и той же системе отсчета?

1.7. В чем состоит принцип независимости движения? Как будет двигаться тело, брошенное горизонтально над поверхностью Земли?

1.8. Какие составляющие ускорения называют нормальной и тангенциальной? Как они направлены? Какое изменение скорости они характеризуют?

1.9. Как, зная нормальное и тангенциальное ускорения, определить вектор полного ускорения и его модуль?

1.10. Что называют кривизной траектории? Чему равен ее радиус кривизны?

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс физики. М., 1989. Т. 1. (§ 1–5).
2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ 1.1–1.4).
3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 1–3).

Задача 1.1. Тела A и B движутся навстречу друг другу по одной вертикали. Тело A брошено вертикально вверх с начальной скоростью $(v_0)_1$, тело B падает с высоты H с начальной скоростью $(v_0)_2 = 0$. Тела начали двигаться одновременно и через время t расстояние между ними стало равным h. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице. Определить время, спустя которое тела встретятся.

Номер задания	$(v_0)_1$, м/с	H, м	t, с	h, м
1	?	16	0,5	10
2	15	?	0,2	5
3	17,5	22	?	15
4	20	5	0,1	?
5	?	7	0,3	4
6	7,5	?	0,8	16
7	5	15	?	12
8	25	23	0,32	?
9	?	10	0,16	6
10	12,5	?	0,24	2
11	10	26	?	20
12	22	21	0,5	?
13	?	25	1,2	13
14	5	?	1,4	7
15	6	18	?	9
16	6,25	6	0,8	?
17	?	12	0,25	8
18	25	?	0,2	11
19	8	8	?	4
20	8	19	1,25	?
21	?	14	0,15	8
22	10	?	0,7	3
23	13,75	20	?	9
24	12	17	1,0	?
25	?	24	0,7	10
26	20	?	0,35	5
27	15	13	?	7
28	12,5	9	0,4	?

Задача 1.2. Две материальные точки движутся в одной и той же системе отсчета согласно заданным уравнениям. В какой момент времени скорости этих точек будут одинаковыми? Найти скорости и ускорения точек в этот момент времени.

Номер задания	Уравнение движений первой точки, м	Уравнение движений второй точки, м
1	$x = 20 + 4t - 4{,}5t^2$	$x = 2 + 2t + 0{,}5t^2$
2	$x = 12 + 19t + 0{,}6t^2$	$x = 21 + 16t + 1{,}6t^2$
3	$x = 8 + 12t - 0{,}3t^2$	$x = 9 + 15t - 0{,}9t^2$
4	$x = 23 + 2{,}6t + 1{,}5t^2$	$x = 16 + 8t - 0{,}75t^2$
5	$x = 24 + 6t + 0{,}5t^2$	$x = 8 + 20t - 1{,}5t^2$
6	$x = 6 + 17{,}8t - 1{,}75t^2$	$x = 17 + 3t + 0{,}1t^2$
7	$x = 30 + 15t - 1{,}25t^2$	$x = 25 + 14t + 1{,}25t^2$
8	$x = 11 + 3t - 0{,}1t^2$	$x = 10 + 6t - 0{,}4t^2$
9	$x = 21 + 19{,}4t - 0{,}35t^2$	$x = 15 + 8t + 0{,}6t^2$
10	$x = 13 + 12{,}9t - 1{,}8t^2$	$x = 30 + 5{,}2t - 0{,}7t^2$
11	$x = 7 + 1{,}2t + 1{,}6t^2$	$x = 4 + 18t - 0{,}8t^2$
12	$x = 29 + 10t + 0{,}5t^2$	$x = 18 + 14t + 0{,}3t^2$
13	$x = 15 + 9{,}4t - 1{,}5t^2$	$x = 24 + 7t - 0{,}7t^2$
14	$x = 4 + 16t + 0{,}15t^2$	$x = 5 + 19{,}5t - 1{,}6t^2$
15	$x = 26 + 2{,}2t + 1{,}8t^2$	$x = 32 + 15t + 0{,}2t^2$
16	$x = 19 + 6{,}2t - 0{,}8t^2$	$x = 20 + 4t + 1{,}4t^2$
17	$x = 18 + 10t + 0{,}45t^2$	$x = 11 + 11t + 0{,}4t^2$
18	$x = 3 + 18t - 1{,}25t^2$	$x = 26 + 7t + 1{,}5t^2$
19	$x = 25 + 20t - 0{,}2t^2$	$x = 6 + 16t - 0{,}1t^2$
20	$x = 10 + 7t + 0{,}65t^2$	$x = 19 + 13t - 0{,}85t^2$
21	$x = 27 + 14{,}7t + 1{,}2t^2$	$x = 3 + 30t - 0{,}5t^2$
22	$x = 2 + 16t - 0{,}7t^2$	$x = 29 + 17t - 0{,}9t^2$
23	$x = 22 + 6{,}2t + 1{,}5t^2$	$x = 23 + 14t + 0{,}2t^2$
24	$x = 14 + 15t - 0{,}2t^2$	$x = 12 + 10{,}2t + 1{,}4t^2$
25	$x = 5 + 12t + 1{,}7t^2$	$x = 14 + 14{,}2t + 0{,}6t^2$
26	$x = 28 + 20t - 0{,}4t^2$	$x = 28 + 13{,}4t + 1{,}8t^2$
27	$x = 16 + 14{,}3t - 2t^2$	$x = 7 + 12t + 0{,}3t^2$
28	$x = 9 + 9t + 0{,}8t^2$	$x = 22 + 7t + 1{,}2t^2$

Задача 1.3. Радиус-вектор материальной точки относительно начала координат изменяется со временем по известному закону, в котором $\mathbf{i}$ и $\mathbf{j}$ – орты осей x и y. Найти: а) уравнение траектории и изобразить ее графически; б) проекции скорости на оси координат; в) зависимости от времени векторов скорости и ускорения и модули этих величин в момент времени t_1.

Номер задания	Закон изменения радиуса-вектора $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$, м	A	B	t_1, с
1	$\mathbf{r} = A\mathbf{i} + Bt^2\mathbf{j}$	2 м/с²	6 м/с²	1,5
2		1 м/с	5,5 м/с²	3,0
3		4 м/с	48 м/с²	0,5
4		3 м/с	18 м/с²	1,0
5	$\mathbf{r} = At^2\mathbf{i} + Bt^2\mathbf{j}$	3 м/с²	5 м/с²	2,0
6		2 м/с²	4 м/с²	3,0
7		2 м/с²	3 м/с²	0,5
8		4 м/с²	6 м/с²	0,2
9	$\mathbf{r} = At^2\mathbf{i} - Bt\mathbf{j}$	16 м/с²	12 м/с	0,1
10		4 м/с²	7 м/с	4,0
11		9 м/с²	15 м/с	2,0
12		25 м/с²	7,5 м/с	0,4
13	$\mathbf{r} = At\mathbf{i} - Bt^2\mathbf{j}$	1,5 м/с	5 м/с²	1,0
14		2 м/с	6 м/с²	2,0
15		0,5 м/с	2 м/с²	0,5
16		3 м/с	4,5 м/с²	5,0
17	$\mathbf{r} = At^2\mathbf{i} + Bt\mathbf{j}$	36 м/с²	12 м/с	0,3
18		16 м/с²	16 м/с	0,6
19		9 м/с²	3 м/с	0,8
20		4 м/с²	5 м/с	3,0
21	$\mathbf{r} = At^2\mathbf{i} - Bt^2\mathbf{j}$	0,2 м/с²	1,2 м/с²	2,0
22		1,5 м/с²	3 м/с²	2,5
23		0,5 м/с²	2 м/с²	1,5
24		2 м/с²	5 м/с²	0,2
25	$\mathbf{r} = At\mathbf{i} + Bt\mathbf{j}$	0,4 м/с	2 м/с	0,25
26		2,5 м/с	5 м/с	4,0
27		3 м/с	4,5 м/с	1,3
28		8 м/с	20 м/с	1,7

Задача 1.4. Найти зависимость от времени угла α между векторами скорости и ускорения, его величину в момент времени t_1, если известен закон изменения радиуса-вектора материальной точки относительно начала координат.

Номер задания	Закон изменения радиуса-вектора	A	B	t_1, с
1 2 3 4	$\mathbf{r} = -At^2\mathbf{i} + Bt\mathbf{j}$	2 м/с^2	32 м/с	1 2 3 4
5 6 7 8	$\mathbf{r} = -At\mathbf{i} - Bt^2\mathbf{j}$	0,5 м/с 1,0 м/с 1,5 м/с 2,0 м/с	2,0 м/с^2	1
9 10 11 12	$\mathbf{r} = At^2\mathbf{i} + Bt\mathbf{j}$	2,5 м/с^2	10 м/с	2 4 6 8
13 14 15 16	$\mathbf{r} = -At\mathbf{i} + Bt^2\mathbf{j}$	12 м/с	2 м/с^2 4 м/с^2 6 м/с^2 8 м/с^2	2
17 18 19 20	$\mathbf{r} = At^2\mathbf{i} - Bt\mathbf{j}$	1,5 м/с^2 2,0 м/с^2 2,5 м/с^2 3,0 м/с^2	16 м/с	4
21 22 23 24	$\mathbf{r} = At\mathbf{i} - Bt^2\mathbf{j}$	20 м/с	5 м/с^2	2,5 5 7,5 10
25 26 27 28	$\mathbf{r} = -At^2\mathbf{i} - Bt\mathbf{j}$	4 м/с^2	4 м/с 8 м/с 12 м/с 16 м/с	0,5

Задача 1.5. Материальная точка движется прямолинейно. Ускорение материальной точки изменяется по закону $a = A + Bt + Ct^2$, где A, B, C — постоянные величины. Какой скорости достигнет материальная точка через t с после начала движения из состояния покоя? Какой путь пройдет она за это время?

Номер задания	A, м/с^2	B, м/с^3	C, м/с^4	t, с
1	1	−2	2	2,5
2	8	4	14	0,4
3	16	9	−5	1,2
4	4	−6	11	0,8
5	10	−3	13	0,75
6	22	−14	−6	2
7	12	18	15	0,4
8	8	7	−3	1,5
9	2	−5	4	0,9
10	17	−20	7	1,6
11	6	−10	8	0,5
12	9	4	19	0,3
13	8	−1	16	1,5
14	10	7	−3	2
15	18	−11	9	0,6
16	−2	20	14	0,5
17	2	−6	11	1,7
18	19	15	5	1
19	15	−3	18	0,8
20	12	20	−4	1,5
21	5	−7	13	0,7
22	12	−19	1	0,4
23	16	9	20	0,9
24	−3	−1	10	1,6
25	−6	3	12	1,8
26	17	−14	5	1,3
27	9	8	−15	0,6
28	7	10	−1	1,2

Задача 1.6. Две материальные точки начинают двигаться из начала координат в одной и той же системе отсчета. Векторы их скоростей $\mathbf{v}_1$ и $\mathbf{v}_2$ изменяются по известным законам, в которых $\mathbf{i}$, $\mathbf{j}$, $\mathbf{k}$ – орты осей x, y и z соответственно. Найти расстояние между материальными точками в момент времени t_1, бригадам построить графики зависимости расстояния между материальными точками от времени.

Номер задания	$\mathbf{v}_1$, м/с	$\mathbf{v}_2$, м/с	t_1, с
1	$\mathbf{v}_1 = 5t\mathbf{i} + 2t^2\mathbf{j} + 3\mathbf{k}$	$\mathbf{v}_2 = 4\mathbf{i} + t\mathbf{j} + 2t^2\mathbf{k}$	1
2			2
3			3
4			4
5			1
6	$\mathbf{v}_1 = 9t^2\mathbf{i} - \mathbf{j} + 2\mathbf{k}$	$\mathbf{v}_2 = 2t\mathbf{i} + 6t^2\mathbf{k}$	1,5
7			2
8			2,5
9			0,5
10	$\mathbf{v}_1 = -1{,}2t^2\mathbf{j} + 3t^2\mathbf{k}$	$\mathbf{v}_2 = 6t^2\mathbf{i} + 4t\mathbf{j} - \mathbf{k}$	1,0
11			1,5
12			2,0
13			0,2
14	$\mathbf{v}_1 = 8t\mathbf{i} - 12t^2\mathbf{j} + \mathbf{k}$	$\mathbf{v}_2 = \mathbf{i} - 2t\mathbf{j} + 3t^2\mathbf{k}$	0,3
15			0,5
16			0,8
17			2
18	$\mathbf{v}_1 = 2t\mathbf{i} - 6t^2\mathbf{k}$	$\mathbf{v}_2 = 4{,}5t^2\mathbf{i} - 4t\mathbf{j} + 2t\mathbf{k}$	3
19			4
20			5
21			2
22	$\mathbf{v}_1 = -\mathbf{i} + 3t^2\mathbf{j} - 6t\mathbf{k}$	$\mathbf{v}_2 = 2t\mathbf{i} - 9t^2\mathbf{k}$	4
23			6
24			8
25			0,2
26	$\mathbf{v}_1 = 4t\mathbf{i} + 2t\mathbf{j}$	$\mathbf{v}_2 = 3t^2\mathbf{i} - \mathbf{j} + 1{,}5t^2\mathbf{k}$	0,4
27			0,6
28			0,8

Задача 1.7. Мяч, брошенный горизонтально с начальной скоростью v_0, ударяется о стенку, находящуюся на расстоянии l от места бросания. Угол, под которым мяч подлетает к поверхности стенки, равен φ, высота места удара мяча о стенку на Δh меньше высоты, с которой брошен мяч. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице. Сопротивление воздуха не учитывать.

Номер задания	l, м	v_0, м/с	φ, град	Δh, м
1	?	11,2	?	2,5
2	6,0	?	36,9	?
3	?	24,75	81	?
4	10,5	?	?	6,0
5	5,0	5,92	?	?
6	?	11,88	?	5,0
7	8,5	?	46,7	?
8	?	18,78	80,5	?
9	7,0	?	?	3,0
10	11,0	9,94	?	?
11	?	10,58	?	0,7
12	9,0	?	66	?
13	?	22,27	84,9	?
14	4,5	?	?	2,5
15	8,0	25,04	?	?
16	?	22,27	?	0,8
17	10,0	?	84,3	?
18	?	11,07	68,2	?
19	12	?	?	4,0
20	5,5	7,7	?	?
21	?	10,51	?	7,5
22	6,5	?	81,25	?
23	?	8,95	49,4	?
24	4	?	?	1,0
25	7,5	26,25	?	?
26	?	24,35	?	1,0
27	9,5	?	40,8	?
28	?	20,35	72,9	?

Задача 1.8. Точка движется по окружности радиусом R с постоянным тангенциальным ускорением a_τ. Через время t после начала движения нормальное ускорение точки $a_n = na_\tau$. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	R, см	a_τ, м/с^2	t, с	n
1	?	0,5	2,1	0,6
2	87,27	?	0,8	2,2
3	840	2,8	?	0,75
4	115,2	1,6	1,2	?
5	?	0,8	1,5	1,0
6	14,4	?	0,6	1,25
7	4,0	0,4	?	1,6
8	270,75	3,0	1,9	?
9	?	1,4	0,5	0,5
10	320	?	2,0	2,5
11	8,33	0,25	?	3,0
12	887,47	2,6	1,6	?
13	?	1,5	0,8	1,75
14	28,17	?	1,3	2,4
15	176	2,2	?	5,0
16	8,0	0,7	0,2	?
17	?	1,2	0,4	2,0
18	125	?	1,0	0,8
19	168	3,5	?	3,0
20	324	0,2	1,8	?
21	?	1,0	1,4	1,2
22	5,4	?	0,3	2,5
23	33,3	2,4	?	1,8
24	173,4	0,6	1,7	?
25	?	2,0	0,9	0,4
26	162,9	?	1,1	2,6
27	546,13	3,2	?	1,5
28	35,28	1,8	0,7	?

Задача 1.9. Заданы законы движения материальной точки вдоль осей x и y. Найти полное, тангенциальное и нормальное ускорения точки в момент времени t_1, а также радиус кривизны траектории в этот момент времени.

Номер задания	Закон движения вдоль оси x, м	Закон движения вдоль оси y, м	t_1, с
1	$x = 2t - t^3$	$y = t^2 + 2t^3$	0,2
2			0,4
3			0,6
4			0,8
5			0,1
6	$x = 2t + 3t^2$	$y = 24 - 4t^3$	0,3
7			0,8
8			1,0
9			0,6
10	$x = 34 - t + 2t^3$	$y = 5t - t^2$	0,8
11			1,0
12			1,2
13			1,2
14	$x = 0,5\,t^2 + 3t$	$y = 15 - 4t + 1,5t^3$	1,3
15			1,4
16			1,5
17			0,2
18	$x = 11 + t^2 - 0,5t^3$	$y = 7 - 2,5t^3$	0,3
19			0,4
20			0,5
21			5,0
22	$x = -6 + 0,1t^3$	$y = 0,2t^3 - t^2$	4,0
23			3,0
24			2,0
25			1,0
26	$x = 5 + 2t + 1,5t^2$	$y = 18 + 0,25t^3$	1,1
27			1,2
28			1,3

Задача 1.10. Тело брошено с поверхности Земли под углом α к горизонту с начальной скоростью v_0. Выполнить задание согласно номеру в таблице.

Номер задания	α, град	v_0, м/с	Задание
1 2 3 4	30 45 60 75	30	Найти время полета τ до падения на землю, максимальную высоту H и горизонтальную дальность l полета тела, построить графики: $\tau = f(\alpha)$, $H = f(\alpha)$, $l = f(\alpha)$
5 6 7 8	30 45 60 75	30	Получить уравнение траектории движения тела и из него найти максимальную высоту полета H и горизонтальную дальность полета l, построить графики: $H = f(\alpha)$, $l = f(\alpha)$
9 10 11 12	30 45 60 75	30	Определить радиусы кривизны начала траектории R_0 и вершины траектории R_H (на высоте H), построить графики зависимостей: $R_0 = f(\alpha)$, $R_H = f(\alpha)$
13 14 15 16	30	5 10 15 20	Найти время полета τ до падения на землю, максимальную высоту H и горизонтальную дальность l полета тела, построить графики: $\tau = f(v_0)$, $H = f(v_0)$, $l = f(v_0)$
17 18 19 20	30	5 10 15 20	Определить радиусы кривизны начала траектории R_0 и вершины траектории R_H (на высоте H), построить графики зависимостей: $R_0 = f(v_0)$, $R_H = f(v_0)$
21 22 23 24	45	30	Найти величину и направление скорости тела через 1 с, 2 с, 3 с, 4 с после начала полета, построить график зависимости $v = f(t)$
25 26 27 28	45	30	Найти нормальную и тангенциальную составляющие ускорения через 1 с, 2 с, 3 с, 4 с после начала полета тела, построить графики зависимостей: $a_n = f(t)$, $a_\tau = f(t)$

ТЕМА 2. ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ И ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Контрольные вопросы

2.1. Сформулируйте основные законы динамики материальной точки и поступательного движения твердого тела. В чем состоит закон инерции? Какие системы отсчета называются инерциальными? В каком случае при решении задач можно использовать второй закон Ньютона? Как найти величину ускоряющей силы, действующей на материальную точку, если известен закон изменения ее ускорения?

2.2. Как определить момент времени, в который изменяющаяся величина силы, действующей на тело, приобретает заданное значение, если известен закон изменения скорости этого тела?

2.3. Сформулируйте третий закон Ньютона, поясните его. Какие силы называют внешними, а какие — внутренними? Что называется центром масс (центром инерции) механической системы? Когда при рассмотрении движения механической системы достаточно рассматривать движение только ее центра масс?

2.4. Запишите формулы для определения пути и скорости при равноускоренном (равнозамедленном) прямолинейном движении. Как найти ускорение в этом случае? Под действием каких сил осуществляется движение с постоянным ускорением?

2.5. Какие силы действуют на груз, подвешенный на нити? Что называют весом тела, в каком случае вес тела численно равен силе тяжести? На какое тело действует вес, а на какое — сила тяжести в случае, когда груз подвешен на невесомой нерастяжимой нити?

2.6. Сколько уравнений необходимо для описания механической системы, состоящей из n тел, на которые действуют как внутренние, так и внешние силы? Как составляют эти уравнения? Чему равна сумма всех внутренних сил, действующих на систему тел?

2.7. Сформулируйте закон сохранения импульса и объясните его связь с однородностью пространства.

2.8. Запишите закон сохранения импульса для двух взаимодействующих тел.

2.9. Запишите закон сохранения импульса для двух взаимодействующих тел, направления движения которых составляли угол α. Какой вид примет этот закон для составляющих векторов импульсов вдоль заданного направления?

2.10. Что называется импульсом силы? Какой вид приобретает закон сохранения импульса в случае взаимодействия двух тел, если масса одного из них во много раз превышает массу другого?

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс физики. М., 1989. Т. 1 (§ 6–16).
2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ 2.1–2.7, 5.1).
3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 5–10).

РИБЛИОТЕКА
Белорусского института
механизации сельского хоз-ва
ИНВ. №

Задача 2.1. Материальная точка массой m начинает двигаться прямолинейно из состояния покоя с ускорением, изменяющимся по закону $a = A + Bt$, где A и B — постоянные величины. Значение ускоряющей силы в момент времени t равно F. Найти неизвестную величину согласно номеру задания.

Номер задания	A, м/с^2	B, м/с^3	m, кг	F, Н	t, с
1	−0,8	2,2	?	3,42	1,4
2	2,5	5,0	0,4	?	2,75
3	4,0	−1,0	2,2	6,05	?
4	1,5	−2,5	1,0	?	0,5
5	6,0	−3,0	?	1,2	1,8
6	0,5	1,1	0,4	0,86	?
7	−0,2	0,8	?	0,36	2,5
8	−1,0	4,5	2,6	?	1
9	7,0	−4,0	1,0	?	1,25
10	6,0	−2,5	2,5	2,5	?
11	−0,6	0,3	1,2	0,72	?
12	−3,0	1,5	?	0,9	2,6
13	−2,5	2,0	2,8	?	1,5
14	2,0	0,4	2,0	6,4	?
15	0,2	0,6	5,0	?	2,2
16	0,75	3,0	?	1,8	1,75
17	2,0	−0,5	1,8	1,35	?
18	1,5	1,0	0,5	?	2,0
19	0,4	1,2	?	3,48	1,6
20	4,5	3,5	?	1,5	3,0
21	−0,5	0,5	2,4	0,6	?
22	−0,7	0,25	0,3	0,09	?
23	3,0	−2,0	?	2,4	1,2
24	1,0	1,2	1,3	?	2,25
25	−0,4	2,5	?	2,24	2,4
26	3,5	4,0	0,15	?	0,8
27	−1,5	4,5	0,4	?	2,1
28	0,8	−0,2	2,5	0,9	?

Задача 2.2. Два тела движутся прямолинейно. Тело массой m_1 движется со скоростью $v_1 = A_1 + B_1 t + C_1 t^2 + D_1 t^3$, а тело массой m_2 — со скоростью $v_2 = A_2 + B_2 t + C_2 t^2 + D_2 t^3$, где все коэффициенты — постоянные величины. В какой момент времени значения сил, действующих на эти тела, окажутся одинаковыми?

Номер задания	m_1, кг	A_1, м/с	B_1, м/с^2	C_1, м/с^3	D_1, м/с^4	m_2, кг	A_2, м/с	B_2, м/с^2	C_2, м/с^3	D_2, м/с^4
1	2,5	−3,2	−4,8	1	0,267	0,2	20	40	10	1,667
2	2	2,4	−3,5	1,5	0,5	2,5	2,5	2	1,4	0,267
3	1	2	−1	0,75	1,333	0,5	3	6	−1,5	2
4	2	5	1	−1,25	0,667	1	−4	10	−3,5	1
5	2	3	4,5	−1	0,333	3	2,5	1	−1,5	0,333
6	0,4	6	−12,5	7,5	−2,5	0,666	10	15	3	−2
7	5	0,9	2	0,5	0,067	2	−2	−10	1,5	0,333
8	0,2	3,5	−5	2,5	3,33	0,333	4	6	−1,5	1
9	4	−0,8	−0,5	1	0,5	2	0,25	3	1,5	0,833
10	3	1,2	−3	−0,5	0,333	4	−2,5	0,25	0	0,167
11	2	6	8	2,25	0,333	6	1	−2	0,5	0,167
12	1	−1,5	1	2	1	2	5	3,5	1,25	0,333
13	0,5	5,5	−6	−2	4	2	−1,4	0	−1	0,833
14	3	0,75	1	−0,5	0,667	2	3	4	0,25	0,833
15	2	3	−2,5	−2	2	1	3,5	3	−5	3,67
16	2,5	5	−3,2	−2,4	1,2	4	2	1	−1	0,667
17	1	4	−10	0,5	1,333	2	1	7	−0,25	0,5
18	2	−1,5	−2	0,75	1,5	2	0,8	−1	0,5	1,333
19	6	1	−1,5	0	0,333	2,5	3	2	1	0,667
20	4	7,5	−2	−0,25	−0,333	0,333	7	12	−4,5	−5
21	2	3	6	−0,5	1	1	1	0	3	1,667
22	1	4	6	−0,5	0,667	0,5	−2	4	3	0,667
23	1,5	5	2	−1	0,667	2	1,2	−1	0,75	0,333
24	0,333	2,8	−4,5	4,5	3	0,5	3	5	−2	2,667
25	2	2,2	0,5	0,5	1	3	1,3	−1	1	0,555
26	0,667	3	−7,5	−2,25	2,5	2	1	1,5	−0,25	0,667
27	2	−0,67	−2	−1	0,333	0,8	1,5	−1,25	−1,25	0,417
28	3	1,66	3	0	1	2	0,75	1	2	1,333

Задача 2.3. Аэростат, масса которого вместе с балластом равна m, а объем – V, равномерно опускается. Если сбросить балласт массой m_1, аэростат начнет равномерно подниматься с той же скоростью. Подъемная сила аэростата равна F. Плотность воздуха на высоте, где находится аэростат,– $\rho_в$. Найти неизвестную величину согласно номеру задания. Силу сопротивления воздуха при спуске и при подъеме считать одинаковой.

Номер задания	m, кг	V, м^3	m_1, кг	F, Н	$\rho_в$, кг/м^3
1	?	–	36,73	800	–
2	90	?	24	–	1,05
3	135	156,25	?	–	0,8
4	120	–	15,5	?	–
5	85	86,11	15	–	?
6	?	–	34,7	1300	–
7	110	?	22	–	1,0
8	125	–	?	1150	–
9	140	–	24,9	?	–
10	85	80	10	–	?
11	?	–	35,92	1000	–
12	105	?	18	–	1,25
13	115	122,2	?	–	0,9
14	150	–	14,29	?	–
15	75	64,55	8	–	?
16	?	–	32,65	1800	–
17	160	?	23	–	1,2
18	148	–	?	1400	–
19	180	–	33,45	?	–
20	70	83,44	6,5	–	?
21	?	103	5,5	–	0,75
22	140	?	19	–	1,1
23	100	–	?	900	–
24	135	–	4,7	?	–
25	95	72,92	15	–	?
26	?	–	25,51	1100	–
27	170	?	34	–	0,85
28	130	–	?	1250	–

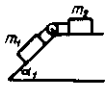
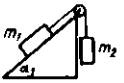
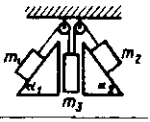
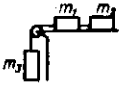
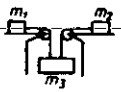
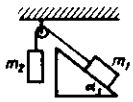
Задача 2.4. Автомобиль массой m, двигавшийся со скоростью v_0, останавливается под действием силы торможения $F_т$ за время t, пройдя при этом равнозамедленно расстояние s. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице, выполнить дополнительное задание.

Номер задания	m, т	v_0, км/ч	$F_т$, Н	t, с	s, м	Построить график зависимости
1	1,5			?	?	Тормозного расстояния от массы автомобиля
2	2,0			?	?	
3	2,5	70	8000	?	?	
4	3,0			?	?	
5		60	?		?	Тормозного расстояния от скорости автомобиля
6		80	?		?	
7	2,0	100	?	5,0	?	
8		120	?		?	
9		60		?	?	Времени торможения от скорости автомобиля
10	2,5	80	5000	?	?	
11		100		?	?	
12		120		?	?	
13	1,2		?		?	Необходимой силы торможения от массы автомобиля при заданном времени торможения
14	1,4	80	?	4,0	?	
15	1,6		?		?	
16	1,8		?		?	
17		70	?	?		Необходимой силы торможения от скорости автомобиля при заданном тормозном расстоянии
18		90	?	?	30	
19	3,0	110	?	?		
20		130	?	?		
21			?	?	25	Необходимой силы торможения на заданном тормозном расстоянии
22	1,5	80	?	?	50	
23			?	?	75	
24			?	?	100	
25	2,0			?	?	Тормозного расстояния от массы автомобиля
26	3,0	90	10000	?	?	
27	4,0			?	?	
28	5,0			?	?	

Задача 2.5. Построить ик зависимости силы натяжения нити $F_н$, на которой подвешен груз ма m, от ускорения $a = ng$, с которым поднимают или опускают груз – коэффициент пропорциональности). Проанализировать полученные завиости.

Номер задания	Направлениижения груза	m, кг	n
1			0,4
2	Вв	2	0,6
3			0,8
4			1,0
5			0,4
6	Вн	2	0,6
7			0,8
8			1,0
9			0,25
10	Вв	1	0,5
11			0,75
12			1,0
13			0,25
14	Вн	1	0,5
15			0,75
16			1,0
17			0,7
18	В	0,5	0,8
19			0,9
20			1,0
21			0,7
22	В	0,5	0,8
23			0,9
24			1,0
25			0,2
26	Е	4	0,3
27			0,4
28			0,5

Задача 2.6. Два или три тела соединены невесомыми нерастяжимыми нитями, перекинутыми через блоки, массами которых можно пренебречь. Массы тел (m_1, m_2, m_3) даны, углы, которые составляют наклонные плоскости с горизонталью (α_1, α_2), известны, коэффициенты трения тел о поверхности (k_1, k_2) известны также. Найти ускорения, с которыми движутся тела, и силы натяжения нитей в системах, соответствующих номеру задания. Выполнить дополнительное задание. Трением в блоках пренебречь.

Номер задания	Система тел	m_1, кг	m_2, кг	m_3, кг	α_1, град	α_2, град	k_1	k_2	Проанализировать зависимости
1 2 3 4		2,0	1,0	–	30 40 50 60	–	0,12	0,15	Силы натяжения и ускорения от угла α_1
5 6 7 8		0,3 0,4 0,5 0,6	0,1	–	30	45	0,1	0,15	Силы натяжения и ускорения от массы m_1
9 10 11 12		3,0	1,0	–	45	–	0,1 0,2 0,3 0,4	–	Силы натяжения и ускорения от коэффициента трения k_1
13 14 15 16		0,1	0,1	0,2 0,3 0,4 0,5	30	30	0,2	0,2	Силы натяжения и ускорения от массы m_3
17 18 19 20		0,2	0,1	0,5	–	–	0,1 0,2 0,3 0,4	0,1 0,2 0,3 0,4	Силы натяжения и ускорения от коэффициента трения $k_1 (k_2)$
21 22 23 24		0,1	0,1	0,2 0,4 0,6 0,8	–	–	0,15	0,15	Силы натяжения и ускорения от массы m_3
25 26 27 28		2,0	0,5	–	30	–	0,10 0,15 0,20 0,25	–	Силы натяжения и ускорения от коэффициента трения k_1

Задача 2.7. Тело, летящее со скоростью v, разделилось на две части. Одна часть, масса которой составляет β от массы всего тела, стала двигаться со скоростью v_1, вторая — со скоростью v_2. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	v, м/с	β, %	v_1, м/с	v_2, м/с
1	?	35	−15,0	28,1
2	9,5	?	−12,0	23,8
3	12,5	75	?	−22,0
4	7,0	10	−16,0	?
5	?	25	−14,5	19,5
6	11,5	?	15,0	−2,5
7	14,5	85	?	−5,33
8	9,0	70	17,5	?
9	?	30	25,0	12,14
10	15,5	?	−20,0	51,0
11	8,0	55	?	−9,1
12	11,0	80	19,0	?
13	?	25	15,0	13,67
14	6,5	?	−18,0	12,625
15	14,0	50	?	8,0
16	10,0	65	18,0	?
17	?	75	22,0	−26,0
18	13,0	?	28,5	−23,17
19	7,5	45	?	21,82
20	16,0	20	15,5	?
21	?	55	28,0	−7,56
22	10,5	?	−24,0	25,29
23	6,0	40	?	19,33
24	15,0	30	5,0	?
25	?	60	19,0	9,0
26	12,0	?	23,0	−4,5
27	8,5	15	?	12,65
28	13,5	90	20,0	?

Задача 2.8. Конькобежец, масса которого равна m_1, находясь на льду, бросает в горизонтальном направлении камень массой m_2, вследствие чего начинает скользить со скоростью v_1. Через время, равное t, камень падает на расстоянии s от конькобежца. Коэффициент трения коньков о лед равен k, сопротивлением воздуха можно пренебречь. Найти неизвестную величину согласно номеру задания.

Номер задания	m_1, кг	m_2, кг	v_1, м/с	t, с	s, м	k
1	?	7,5	2,2	0,56	13,54	0,01
2	65	?	1,2	0,58	14,56	0,034
3	72	4,0	?	0,61	16,21	0,006
4	80	4,0	1,6	?	20,12	0,022
5	54	6,0	2,0	0,51	?	0,008
6	60	3,0	?	0,57	15,5	0,043
7	?	5,0	1,8	0,55	13,82	0,025
8	78	?	1,75	0,58	14,18	0,016
9	90	4,5	?	0,63	17,14	0,03
10	75	5,0	1,65	?	14,5	0,012
11	50	2,5	1,4	0,52	?	0,035
12	84	?	1,55	0,64	20,74	0,044
13	?	2,0	1,1	0,56	19,07	0,018
14	75	?	1,0	0,62	19,14	0,04
15	57	3,0	?	0,55	16,44	0,038
16	62	4,0	1,3	?	12,4	0,024
17	55	5,5	1,9	0,52	?	0,032
18	68	4,0	?	0,59	15,32	0,045
19	?	5,0	1,7	0,62	15,77	0,02
20	81	?	1,15	0,65	14,18	0,011
21	63	7,0	?	0,60	11,97	0,015
22	76	4,0	1,35	?	17,48	0,036
23	70	3,5	1,25	0,63	?	0,028
24	52	?	1,85	0,50	12,89	0,046
25	?	5,0	1,75	0,53	11,09	0,026
26	85	?	1,4	0,63	9,69	0,006
27	56	2,8	?	0,54	13,59	0,014
28	66	6,0	2,1	?	14,55	0,042

Задача 2.9. На железнодорожной платформе, движущейся со скоростью v_1, установлено орудие. Масса платформы с орудием и снарядами – m_1. Орудие производит выстрел в направлении пути под углом α к горизонту. Масса снаряда равна m_2 и он вылетает со скоростью v_2. Вследствие отдачи скорость платформы с орудием изменилась и стала u_1. Найти неизвестную величину согласно номеру задания.

Номер задания	m_1, т	v_1, км/ч	α, град	m_2, кг	v_2, м/с	u_1, км/ч
1	?	26	30	95	465	18,49
2	24	?	60	110	-400	21,38
3	11	34	?	80	490	27,83
4	15,5	21	45	?	-475	28,14
5	14	30	45	90	?	37,72
6	18,5	24	60	100	445	?
7	?	38	30	115	430	30,87
8	17	?	60	105	-410	40,78
9	12,5	35	?	65	510	26,91
10	23	20	45	?	495	14,34
11	10	40	60	70	?	45,82
12	20,5	29	30	120	435	?
13	?	32	60	110	425	28,77
14	14,5	?	30	90	-450	32,86
15	12	37	?	75	-500	45,19
16	17,5	18	45	?	480	12,50
17	20	31	30	105	?	22,98
18	11,5	39	45	85	-470	?
19	?	23	60	100	405	17,57
20	19,5	?	45	95	460	24,44
21	9	22	?	70	-505	29,24
22	16	36	45	?	415	29,62
23	13,5	27	30	75	?	18,84
24	22	19	60	100	440	?
25	?	25	60	115	420	19,40
26	16,5	?	30	85	-455	31,43
27	10,5	28	?	80	-485	39,73
28	19	33	30	?	450	26,15

Задача 2.10. Тело массой m, летящее со скоростью v, ударяется о стену под углом α к нормали и под таким же углом упруго отскакивает от нее без потери скорости. Стенка за время удара получает импульс силы, величина которого равна $F\Delta t$. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	m, г	v, м/с	α, град	$F\Delta t$, Н·с
1	?	24	30	3,12
2	50	?	45	1,273
3	15	30	?	0,45
4	80	8	60	?
5	?	6,5	60	0,26
6	125	?	45	0,884
7	10	22	?	0,22
8	45	10	30	?
9	?	12	60	0,72
10	75	?	30	1,04
11	40	9	?	0,509
12	100	15	45	?
13	?	18	45	2,546
14	30	?	30	1,04
15	120	5	?	0,85
16	70	26	60	?
17	?	16	30	0,416
18	65	?	45	0,92
19	110	4,5	?	0,857
20	20	7,5	60	?
21	?	25	45	1,77
22	60	?	60	0,9
23	25	6	?	0,15
24	85	15	30	?
25	?	4,5	30	0,624
26	55	?	45	0,933
27	90	20	?	2,546
28	35	14	60	?

ТЕМА 3. МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ. МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИКЕ

Контрольные вопросы

3.1. Поясните, что такое механическая работа. Что называется мощностью?

3.2. Запишите формулу для работы переменной силы. Поясните ее.

3.3. Какая энергия называется кинетической? По какой формуле ее рассчитывают? Какая связь существует между кинетической энергией и работой внешних и внутренних сил, приложенных к системе?

3.4. Какая энергия называется потенциальной? Приведите примеры тел, обладающих какой-нибудь потенциальной энергией. Какие формулы для расчета потенциальной энергии Вам известны? Из чего складывается полная механическая энергия тела и системы тел?

3.5. Какая связь существует между потенциальной энергией материальной точки во внешнем силовом поле и силой, действующей на материальную точку?

3.6. Какие силовые поля называют центральными? Что называется напряженностью гравитационного поля? Что такое потенциал гравитационного поля? Какая связь существует между потенциалом и напряженностью в данной точке поля?

3.7. Сформулируйте закон сохранения механической энергии. Поясните его связь с однородностью времени.

3.8. Какое соударение двух тел называется абсолютно упругим? Какие законы сохранения выполняются при абсолютно упругом ударе? Сформулируйте их.

3.9. Какое соударение двух тел называется абсолютно неупругим? Какой из известных Вам законов сохранения в механике выполняется при неупругом ударе? Как выполняется закон сохранения энергии в этом случае?

3.10. Что такое диссипация энергии? Какие механические системы являются диссипативными? Приведите примеры диссипативных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс физики. М., 1989, Т. 1 (§ 17–25).
2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ 3.1–3.5, 5.2, 5.4).
3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 11–15, 23–25).

Задача 3.1. Материальная точка массой m движется прямолинейно под действием некоторой силы так, что координата со временем меняется по закону $x = B + Ct + Dt^2$, где B, C, D — постоянные величины. Какая работа A совершается силой за первые t_1 секунд? Какая мощность P развивается при движении точки в момент времени t_2? Построить графики зависимости $A = f(t)$ и $P = f(t)$.

Номер задания	m, кг	B, м	C, м/с	D, м/с^2	t_1, с	t_2, с
1					5	2
2	2,0	10	−2	1	10	4
3					15	6
4					20	8
5					1	0,5
6	3,0	5	8	2	2	1,0
7					3	1,5
8					4	2,0
9					2	1
10	1,5	−4	−1	5	4	2
11					6	3
12					8	4
13					2,5	0,5
14	2,5	−9	3	2	5,0	1,0
15					7,5	1,5
16					10,0	2,0
17					1,0	1,0
18	1,0	7	−4	3	1,5	1,5
19					2,0	2,0
20					2,5	2,5
21					2	0,4
22	0,5	−8	−3	4	4	0,6
23					6	0,8
24					8	1,0
25					10	5
26	4,0	6		−1	20	10
27					30	15
28					40	20

Задача 3.2. Материальная точка массой m под действием консервативной силы переместилась из точки с координатой x_1 в точку с координатой x_2. Составляющая силы F_x вдоль оси x зависит от координаты по закону $F_x = f(x)$. Найти работу, производимую силой, по перемещению материальной точки. Построить график зависимости работы от величины перемещения.

Номер задания	m, кг	Закон изменения составляющей силы $F_x = f(x)$, Н	B	C	x_1, м	x_2, м
1 2 3 4	0,5	$F_x = \frac{Bm}{x^2} + C$	4,0 м^3/с^2	0,2 Н	2 4 6 8	4 6 8 10
5 6 7 8	1,0	$F_x = B + C\ mx$	2,5 Н	1,5 l/с^2	0,2 0,4 0,6 0,8	0,4 0,6 0,8 1,0
9 10 11 12		$F_x = \frac{B}{x} + C$	2,0 Н·м	0,5 Н	1 2 3 4	2 3 4 5
13 14 15 16	2,0	$F_x = Bm + C$	0,3 Н/кг	1,0 Н	0 0 0 0	0,5 1,0 1,5 2,0
17 18 19 20		$F_x = -Bx + C$	5,0 Н/м	0,6 Н	0,1 0,2 0,3 0,4	0,2 0,3 0,4 0,5
21 22 23 24	1,0	$F_x = B\frac{m}{x^2} + Cx$	1,5 м^3/с^2	4,0 Н/м	0,5 1,0 1,5 2,0	1,0 1,5 2,0 2,5
25 26 27 28		$F_x = B + Cx^2$	1,0 Н	3,0 Н/м^2	0 0,25 0,5 0,75	0,25 0,5 0,75 1,0

Задача 3.3. Тело массой m движется по наклонной плоскости, составляющей угол α с горизонталью. На отрезке пути, равном s, на него действовала постоянная сила F в направлении движения. Изменение кинетической энергии тела на этом отрезке пути равно $\Delta W_к$, коэффициент трения $-k$. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	m, кг	α, град	s, см	F, Н	$\Delta W_к$, Дж	k
1	?	10	16	1,5	0,29	0,16
2	1,2	20	?	2,07	0,3	0,28
3	2,5	30	50	?	9,98	0,07
4	0,08	40	4	3,12	0,14	?
5	?	20	60	4,48	6,4	0,14
6	1,8	25	?	2,35	3,6	0,05
7	0,15	30	20	?	0,56	0,34
8	0,2	35	15	1,12	0,3	?
9	?	15	45	1,34	0,9	0,24
10	4,0	24	?	8,64	6,3	0,1
11	0,06	35	5	?	0,2	0,18
12	0,25	40	18	1,9	0,54	?
13	?	18	32	4,3	2,56	0,06
14	1,3	26	?	3,42	0,75	0,35
15	0,3	34	25	?	0,6	0,2
16	2,2	42	55	6,38	11,0	?
17	?	14	6	1,53	0,12	0,2
18	0,8	18	?	2,44	0,36	0,25
19	2,4	22	45	?	4,95	0,12
20	0,2	26	12	1,17	0,18	?
21	?	20	40	5,66	5,4	0,08
22	0,5	28	?	0,58	0,38	0,32
23	0,1	34	71,6	?	1,1	0,26
24	0,15	40	10	2,19	0,3	?
25	?	12	35	0,8	0,49	0,15
26	0,4	24	?	1,7	0,4	0,36
27	2,5	36	42	?	6,51	0,22
28	0,12	48	8	2,85	0,28	?

Задача 3.4. Рассчитать значения кинетической, потенциальной и полной энергии тела массой m, брошенного вертикально вверх с начальной скоростью v_0, в моменты времени t_1 и t_2. Построить графики зависимости кинетической потенциальной и полной энергии от времени.

Номер задания	m, кг	v_0, м/с	t_1, с	t_2, с
1	0,5	4,9	0,1	0,9
2			0,2	0,8
3			0,3	0,7
4			0,4	0,6
5	0,2	19,6	0,4	3,6
6			0,8	3,2
7			1,2	2,8
8			1,6	2,4
9	0,4	12,25	0,25	2,25
10			0,5	2,0
11			0,75	1,75
12			1,0	1,5
13	0,6	2,45	0,05	0,45
14			0,1	0,4
15			0,15	0,35
16			0,2	0,3
17	0,3	14,7	0,3	2,7
18			0,6	2,4
19			0,9	2,1
20			1,2	1,8
21	0,25	9,8	0,2	1,8
22			0,4	1,6
23			0,6	1,4
24			0,8	1,2
25	0,1	24,5	0,5	4,5
26			1,0	4,0
27			1,5	3,5
28			2,0	3,0

Задача 3.5. Потенциальная энергия частицы в силовом поле изменяется по заданному закону. Найти работу, совершаемую над частицей силами поля при переходе из точки с координатами x_1, y_1, z_1 в точку с координатами x_2, y_2, z_2. Найти выражение для силы, действующей на частицу, и величину этой силы в начальной и конечной точках.

Номер задания	Закон изменения потенциальной энергии, Дж	x_1, м	y_1, м	z_1, м	x_2, м	y_2, м	z_2, м
1	$W_p = 2x^2 + 3y^2 + 0{,}5z$	0,5	1,0	0,2	0,1	0,75	0,1
2	$W_p = -4/x - 6z + 2$	2,0	0	0,5	0,5	0	0,2
3	$W_p = 2{,}5x^2 + 2y^2 - 3/z$	1,0	2,0	1,5	2,0	3,0	0,75
4	$W_p = x + 2(y^2 + z^2)$	6,2	4,0	5,5	2,4	2,5	3,0
5	$W_p = -y^2 - 3{,}5z + 0{,}8$	0,8	0,5	0,1	0,4	0,7	0,5
6	$W_p = 2/x + 5y^2 + 2z^2$	4,5	2,5	1,2	3,0	3,5	1,0
7	$W_p = x^2 + 1{,}2y - 2/z$	1,2	0,8	1,5	1,0	1,2	1,4
8	$W_p = 3x - 1{,}5/y + 1{,}1z$	2,4	0,5	2,0	1,5	0,4	1,5
9	$W_p = -x + 2{,}2(1/y + 1/z)$	4,0	1,4	2,5	3,5	0,6	2,0
10	$W_p = x^2 + 4z + 5$	0,3	0,75	0,6	0,15	0,75	0,5
11	$W_p = 1/x + 6y^2 - 4{,}8z$	1,4	1,0	1,25	1,2	0,8	1,0
12	$W_p = -y - z^2 + 1{,}5$	0,6	0,8	1,0	0,3	0,5	0,8
13	$W_p = 6/x + 4/y + 2/z$	2,5	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2
14	$W_p = y + 5(x^2 + z^2)$	0,7	0,4	0,5	0,5	0,4	0,6
15	$W_p = -x^2 + 2y^2 - 4$	6,0	2,5	0	4,0	2,0	0
16	$W_p = 1{,}5x + y - 1{,}4/z$	0,5	0,8	1,2	0,75	0,9	1,0
17	$W_p = 3{,}8/y - 2z^2 + 0{,}6$	5,0	2,2	4,0	3,5	1,8	3,0
18	$W_p = 2x + 1{,}6y^2 - 1/z$	0,4	0,7	0,6	0,6	0,5	1,0
19	$W_p = 5/x - 4/z$	3,0	1,5	2,0	2,5	1,1	1,4
20	$W_p = x^2 - 4(y + z) + 0{,}75$	1,25	1,1	1,6	1,0	1,5	1,5
21	$W_p = 2x^2 - 0{,}4y + 5/z$	0,1	0,4	0,2	0,25	0,6	0,4
22	$W_p = 8/x + 1{,}25z^2 + 2$	1,6	1,2	1,0	2,0	1,4	0,6
23	$W_p = 2x - y^2 + 1{,}8$	5,5	4,0	3,6	5,0	3,5	3,0
24	$W_p = 6/y + 2{,}2z^2$	0,75	1,0	0,9	0,5	0,6	1,0
25	$W_p = 4x - 1/y - 2{,}6$	3,5	3,0	0	3,0	3,5	0
26	$W_p = 3{,}5/x + 2y + z$	6,5	4,5	5,0	5,0	4,0	3,5
27	$W_p = 2{,}2(x^2 + y) + 1{,}5$	0,2	0,75	0,5	0,4	1,0	0,75
28	$W_p = 2y^2 + 4z^2 + 1$	0,9	1,2	1,4	1,0	1,5	1,2

Задача 3.6. Найти численное значение потенциала гравитационного поля, создаваемого планетой, имеющей массу m и радиус r, вблизи поверхности планеты. Рассчитать, на каком расстоянии R от поверхности планеты модуль потенциала уменьшится в n раз. Изобразить схематически эквипотенциальные поверхности и линии напряженности гравитационного поля.

Номер задания	Планета Солнечной системы	m, кг	r, м	n
1				20
2	Земля	$5{,}96 \cdot 10^{24}$	$6{,}37 \cdot 10^{6}$	40
3				60
4				80
5				200
6	Венера	$4{,}9 \cdot 10^{24}$	$6{,}05 \cdot 10^{6}$	300
7				400
8				500
9				1,5
10	Марс	$6{,}56 \cdot 10^{23}$	$3{,}4 \cdot 10^{6}$	2,0
11				2,5
12				3,0
13				2,5
14	Юпитер	$1{,}9 \cdot 10^{27}$	$7{,}1 \cdot 10^{7}$	5,0
15				7,5
16				10
17				10
18	Сатурн	$5{,}67 \cdot 10^{26}$	$6 \cdot 10^{7}$	20
19				30
20				40
21				50
22	Уран	$8{,}64 \cdot 10^{25}$	$2{,}5 \cdot 10^{7}$	100
23				150
24				200
25				2
26	Плутон	$1{,}19 \cdot 10^{23}$	$1{,}4 \cdot 10^{6}$	20
27				200
28				2000

Задача 3.7. Два движущихся тела ударяются неупруго. Скорость первого тела до удара равна v_1, скорость второго – v_2. Общая скорость тел после удара равна v. Кинетическая энергия первого тела до удара была больше кинетической энергии второго тела в n раз. Найти неизвестную величину согласно номеру задания.

Номер задания	v_1, м/с	v_2, м/с	v, м/с	n
1	?	–4,0	1,0	1,25
2	2,5	?	1,5	25,0
3	1,4	–5,0	?	0,1223
4	3,6	1,0	1,2	?
5	?	–1,2	–0,5	0,159
6	3,2	?	0,2	2,786
7	1,75	2,5	?	0,98
8	2,2	0,6	1,3	?
9	?	1,8	1,7	0,347
10	1,6	?	2,1	0,55
11	2,8	–3,5	?	0,75
12	1,0	– 1,6	–0,25	?
13	?	4,5	3,0	2,9
14	0,75	?	–0,1	0,41
15	2,0	3,6	?	0,679
16	1,4	–0,8	1,25	?
17	?	– 1,3	0,2	1,027
18	2,4	?	0,75	4,727
19	1,25	2,0	?	0,142
20	3,0	–3,4	0,5	?
21	?	–0,75	1,6	30,08
22	0,5	?	–0,4	0,11
23	1,8	–2,2	?	0,606
24	2,25	1,5	1,75	?
25	?	4,4	3,8	0,529
26	1,2	?	1,0	2,25
27	2,6	–3,0	?	1,252
28	0,4	1,6	0,6	?

Задача 3.8. Два шара подвешены на параллельных нитях одинаковой длины так, что они соприкасаются. Масса первого шара равна m_1, масса второго – m_2. Первый шар отклоняют так, что его центр тяжести поднимается на высоту H, и отпускают. После упругого соударения второй шар поднимается на высоту h_2, а первый – на высоту h_1. Найти неизвестные величины согласно номеру задания.

Номер задания	m_1, кг	m_2, кг	H, см	h_1, см	h_2, см
1	0,2	0,1	4,5	?	?
2	0,05	0,03	?	?	7,81
3	0,16	0,12	?	0,2	?
4	0,8	?	?	1,17	33,33
5	0,45	0,4	12	?	?
6	0,25	0,15	?	?	12,5
7	0,12	0,08	?	0,68	?
8	0,04	?	?	2,89	46,22
9	0,09	0,05	20	?	?
10	0,75	0,5	?	?	40,32
11	0,12	0,04	?	1,75	?
12	0,1	?	?	1,44	23,11
13	1,0	0,75	14	?	?
14	0,06	0,05	?	?	21,42
15	0,4	0,25	?	0,48	?
16	0,15	?	?	1,2	43,2
17	0,5	0,4	25	?	?
18	0,9	0,45	?	?	10,67
19	0,03	0,02	?	0,84	?
20	0,14	?	?	0,744	16,2
21	0,7	0,3	15	?	?
22	0,02	0,01	?	?	42,67
23	0,55	0,2	?	0,87	?
24	0,3	?	?	1,08	38,88
25	0,6	0,4	23	?	?
26	0,35	0,3	?	?	18,556
27	0,04	0,01	?	3,96	?
28	0,08	?	?	0,306	19,59

Задача 3.9. В покоящийся баллистический маятник массой M попала пуля массой m под углом α к горизонтали и застряла в нем. Сколько процентов $\beta = \frac{W_{вн}}{W_{пол}} 100\ \%$ полученной маятником энергии переходит во внутреннюю энергию системы маятник – пуля? Выполнить дополнительное задание.

Номер задания	m, г	M, г	α, град	Построить график зависимости
1			10	
2	12	80	20	$\beta = f(\alpha)$
3			30	
4			40	
5	10			
6	20	100	25	$\beta = f(m)$
7	30			
8	40			
9		100		
10	10	200	15	$\beta = f(M)$
11		300		
12		400		
13			15	
14	20	150	30	$\beta = f(\alpha)$
15			45	
16			60	
17	5			
18	10	120	10	$\beta = f(m)$
19	15			
20	20			
21		150		
22	15	300	30	$\beta = f(M)$
23		450		
24		600		
25			0	
26	8	75	20	$\beta = f(\alpha)$
27			40	
28			60	

Задача 3.10. Тело соскальзывает без начальной скорости по наклонной плоскости длиной s_1, составляющей угол α с горизонтом, и, пройдя по горизонтальной плоскости расстояние s_2, останавливается. Коэффициент трения на всем пути равен k. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	s_1, см	α, град	s_2, см	k
1	90	30	40	?
2	45	60	?	0,47
3	15	?	15	0,414
4	?	45	34	0,51
5	100	60	150	?
6	60	45	?	0,22
7	25	?	25	0,577
8	?	30	5,62	0,35
9	12	30	18,2	?
10	20	45	?	0,12
11	55	?	55	0,268
12	?	60	59,23	0,35
13	14	45	100	?
14	65	30	?	0,15
15	30	?	60	0,26
16	?	60	88,25	0,32
17	50	30	37,3	?
18	85	45	?	0,19
19	70	?	140	0,175
20	?	60	40,9	0,34
21	45	45	145	?
22	10	60	?	0,42
23	80	?	80	0,414
24	?	30	134,6	0,08
25	40	60	124	?
26	75	30	?	0,07
27	35	?	70	0,3464
28	?	45	223	0,16

ЕМА 4. КИНЕМАТИКА И ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Контрольные вопросы

4.1. Какое движение является вращательным? Что называется угловым перемещением материальной точки? Что называется угловой скоростью и угловым ускорением материальной точки? Как, зная закон изменения углового ускорения материальной точки, найти ее угловую скорость и угловое смещение в данный момент времени?

4.2. Как рассчитать угловое перемещение и угловую скорость при равномерном вращательном движении?

4.3. Какая связь существует между линейными и угловыми характеристиками движения материальной точки?

4.4. Что называется моментом инерции материальной точки относительно заданной оси? Как определяют момент инерции тела относительно какой-либо оси? Чему равны моменты инерции сплошного однородного диска, цилиндра, шара, стержня относительно оси, проходящей через центр масс? Чему равны моменты инерции тонкостенного полого цилиндра и обруча относительно оси, проходящей через центр масс? Как определить момент инерции тела относительно оси, не проходящей через центр масс?

4.5. Что называется моментом силы относительно точки и относительно оси? Как определить величину и направление момента силы? Сформулируйте основной закон динамики вращательного движения. Поясните его.

4.6. Сколько уравнений необходимо для описания механической системы, состоящей из n тел, на которые действуют как внутренние, так и внешние силы? Какие уравнения описывают законы движения поступательно движущихся тел, а какие – вращающихся тел?

4.7. Чему равна работа, совершаемая при вращательном движении? Как определить работу за промежуток времени от t_1 до t_2, если величина момента силы, действующей на вращающееся тело, меняется?

4.8. Запишите закон сохранения механической энергии для катящегося тела. Поясните его.

4.9. Что называется моментом импульса материальной точки относительно заданной оси? Как определить величину и направление момента импульса?

4.10. Сформулируйте закон сохранения момента импульса. Запишите его. Поясните связь закона сохранения момента импульса с изотропностью пространства.

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс физики. М., 1989. Т. 1 (§ 26–35).
2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ 4.1–4.3, 5.3, 5.6).
3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 16–20).

Задача 4.1. Задан закон изменения углового ускорения β материальной точки, движущейся по окружности. Какой угловой скорости достигнет материальная точка через t с после начала движения из состояния покоя? Чему равно ее угловое перемещение за это время?

Номер задания	Закон изменения углового ускорения β, рад/с^2	A	B	t, с
1	$\beta = 12At^2 + 2B$	5,0 рад/с^4	2,0 рад/с^2	0,5
2		1,0 рад/с^4	1,5 рад/с^2	1,2
3		0,25 рад/с^4	0,3 рад/с^2	1,5
4		0,15 рад/с^4	0,5 рад/с^2	2,0
5	$\beta = 6(At + Bt^2)$	3,0 рад/с^3	2,4 рад/с^4	0,2
6		2,5 рад/с^3	4,0 рад/с^4	0,4
7		2,0 рад/с^3	6,2 рад/с^4	0,6
8		1,4 рад/с^3	1,8 рад/с^4	0,8
9	$\beta = 4(A + Bt^3)$	1,5 рад/с^2	0,6 рад/с^5	1,2
10		1,0 рад/с^2	0,5 рад/с^5	1,4
11		0,5 рад/с^2	0,8 рад/с^5	1,6
12		0,25 рад/с^2	0,3 рад/с^5	1,8
13	$\beta = 20At^3 - Bt$	1,2 рад/с^5	12 рад/с^3	1,5
14		1,4 рад/с^5	30 рад/с^3	2,0
15		0,5 рад/с^5	7,2 рад/с^3	2,5
16		0,2 рад/с^5	10,5 рад/с^3	3,0
17	$\beta = A + 8Bt$	1,6 рад/с^2	0,4 рад/с^3	1,5
18		2,4 рад/с^2	0,2 рад/с^3	2,0
19		0,8 рад/с^2	0,12 рад/с^3	2,5
20		0,4 рад/с^2	0,08 рад/с^3	3,0
21	$\beta = 5At^3 - 12Bt^2$	4,6 рад/с^5	0,9 рад/с^4	1,4
22		1,8 рад/с^5	0,5 рад/с^4	1,6
23		2,0 рад/с^5	0,7 рад/с^4	1,8
24		3,0 рад/с^5	1,3 рад/с^4	2,0
25	$\beta = 15At^4 - B$	2,5 рад/с^6	1,8 рад/с^2	1,2
26		1,75 рад/с^6	3,0 рад/с^2	1,3
27		14,0 рад/с^6	4,2 рад/с^2	0,8
28		6,6 рад/с^6	2,0 рад/с^2	0,9

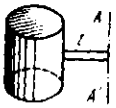
Задача 4.2. Маховое колесо, вращаясь равноускоренно, к моменту времени t после начала движения приобретает скорость, соответствующую частоте вращения ν, и успевает совершить n оборотов. Угловое ускорение колеса равно β. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	t, с	ν, $с^{-1}$	β, рад/$с^2$	n
1	10	4	?	?
2	65	?	1,353	?
3	30	?	?	150
4	?	8	2,01	?
5	?	?	3,14	4
6	?	15	?	375
7	40	6	?	?
8	25	?	1,257	?
9	15	?	?	22,5
10	?	17	1,78	?
11	?	?	4,4	8,75
12	?	20	?	800
13	50	12,5	?	?
14	20	?	1,885	?
15	75	?	?	487,5
16	?	2,5	1,047	?
17	?	?	1,396	225
18	?	5,5	?	55
19	60	12	?	?
20	35	?	2,154	?
21	55	?	?	200,75
22	?	6,5	0,628	?
23	?	?	2,513	20
24	?	9	?	135
25	6	2,5	?	?
26	70	?	0,314	?
27	45	?	?	180
28	?	8,5	1,335	?

За 4.3. Материальная точка движется по окружности радиусом R с постоян угловым ускорением β. Через t с после начала движения ее полное уско ние стало равным a, нормальная составляющая ускорения — a_n и тангеньная составляющая $-a_\tau$. Угловая скорость точки к этому моменту времени стала равна ω, а линейная — v. Найти неизвестные величины согласно номер ания в таблице.

Номер м задани	β, рад/с^2	t, с	a, м/с	a_n, м/с	a_τ, м/с	ω, рад/с	v, м/с
1	0,2	1,5	0,5	?	?	?	?	?
2	"	1,0	1,2	?	?	0,4	?	?
3	"	?	?	19	?	?	4,8	3,6
4	"	?	?	?	?	1,2	0,4	2,2
5	4,0	2,6	?	?	?	?	?	2,8
6	"	3,2	0,8	?	?	?	?	3,84
7	"	?	?	7,6	0,9	?	2,4	?
8	"	?	1,0	?	?	5,4	0,6	?
9	5,0	?	2,0	?	?	?	0,68	?
10	"	4,0	1,5	?	7,2	?	?	?
11	"	?	?	6,0	?	?	1,7	1,36
12	1,0	?	?	?	1,4	4,5	?	?
13	3,0	?	?	?	?	2,8	1,5	?
14	"	0,8	?	?	?	3,0	?	4,5
15	0,6	?	3,0	?	?	?	?	0,63
16	"	?	2,5	?	?	?	1,6	1,92
17	0,8	?	1,6	?	1,15	?	?	?
18	2,5	1,0	?	5,0	?	?	?	?
19	"	?	?	?	2,0	5,5	2,0	?
20	2,5	?	?	?	?	4,0	?	2,4
21	1,5	2,0	?	?	?	?	0,8	?
22	3	?	0,7	?	?	?	?	0,21
23	0,7	1,8	?	4,0	?	?	?	?
24	?	0,5	?	?	2,0	?	1,2	?
25	1,5	?	?	?	?	2,6	?	3,0
26	?	?	0,4	?	0,486	?	0,9	?
27	2,0	?	?	8,0	?	5,0	?	?
28	?	2,4	0,6	?	?	2,0	?	?

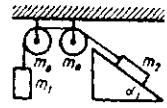
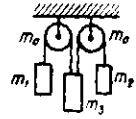
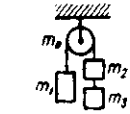
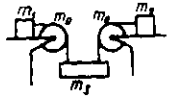
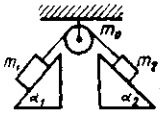
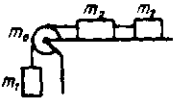
Задача 4.4. Одно или несколько тел (цилиндры, шары, диски, обручи) радиусом r и массой m_1 подвешены в точке A или закреплены на стержнях массой m_2, длина которых l значительно превышает их толщину. Найти моменты инерции J систем тел относительно заданной оси AA'. Выполнить дополнительное задание.

Номер задания	Система тел	m_1, г	r, см	m_2, г	l, см	Построить график зависимости
1 2 3 4	 Четыре шара на концах скрещенных стержней	100 200 300 400	4	150	20	$J=f(m_1)$
5 6 7 8	 Сплошной цилиндр на стержне	600	5	72	5 10 15 20	$J=f(l)$
9 10 11 12	 Два спаянных одинаковых обруча	100	10 20 30 40			$J=f(r)$
13 14 15 16	 Два отрезка тонкостенной цилиндрической трубы, соединенные двумя стержнями	100 200 300 400	2	60	30	$J=f(m_1)$
17 18 19 20	 Диск на стержне	500	10	200	20 40 60 80	$J=f(l)$
21 22 23 24	 Три одинаковых спаянных стержня			100	20 30 40 50	$J=f(l)$
25 26 27 28	 Два диска на стержне	150	4 6 8 10	120	10	$J=f(r)$

Задача 4.5. Тело массой m вращается вокруг оси, проходящей через его центр масс, согласно заданному закону изменения угла $\varphi = \varphi(t)$, где A, B, C – постоянные величины (их размерности определить самостоятельно). Найти результирующий момент сил, действующий на тело в момент времени t, если известен радиус r тела (для стержня – длина).

Номер задания	Вращающееся тело	Закон изменения φ	A	B	C	t, с	m, г	r, см
1	Сплошной цилиндр	$\varphi = A + Bt + Ct^3$	2	18	15	40	200	2,0
2			12	4	12	34	300	2,5
3			6	20	10	25	400	3,0
4			14	10	16	15	500	3,5
5	Шар	$\varphi = At^5 + Bt + C$	5	3	14	10	200	2,0
6			8	4	10	8	300	2,5
7			4	15	6	6	400	3,0
8			3	8	2	4	500	3,5
9	Стержень	$\varphi = A + B/t + Ct^2$	5	6	18	0,2	200	10
10			13	12	8	0,4	300	20
11			7	10	14	0,6	400	30
12			11	16	9	0,8	500	40
13	Диск	$\varphi = A/t^2 + Bt^4 + C$	30	2	17	2	200	4
14			27	1	13	3	300	6
15			64	0,5	18	4	400	8
16			75	0,1	22	5	500	10
17	Тонкостенный полый цилиндр	$\varphi = A + Bt^3 + C/t^2$	15	5	8	1,1	200	4
18			9	6	15	1,2	300	6
19			16	7	13	1,3	400	8
20			19	8	21	1,4	500	10
21	Шар	$\varphi = At^4 + B/t + C$	3	21	11	1,2	200	3
22			4	25	17	1,4	300	4
23			2	32	28	1,6	400	5
24			5	35	24	1,8	500	6
25	Обруч	$\varphi = A + Bt^2 + Ct^4$	28	43	3	0,8	200	10
26			7	11	5	0,6	300	20
27			18	21	12	0,4	400	30
28			9	14	20	0,2	500	40

Задача 4.6. Несколько тел с массами m_1, m_2, m_3 соединены невесомыми нерастяжимыми нитями, перекинутыми через блоки массой m_0. Углы, которые составляют наклонные плоскости с горизонтальной, равны α_1 и α_2, коэффициент трения тел о поверхности – k. Найти ускорения, с которыми движутся тела, и силы натяжения нитей. Блоки считать однородными дисками. Трением на осях блоков пренебречь.

Номер задания	Система тел	m_0, кг	m_1, кг	m_2, кг	m_3, кг	k	α_1, град	α_2, град
1 2 3 4		0,2	0,3	0,3	1,0	0,1	10 20 30 40	
5 6 7 8		0,5	0,2 0,4 0,6 0,8	0,2 0,4 0,6 0,8	2,0			
9 10 11 12		0,2	0,3	0,25	0,1 0,2 0,3 0,4			
13 14 15 16		0,3	0,6	0,6	1,0 1,5 2,0 2,5	0,2		
17 18 19 20		0,4	1,4	0,5		0,15	25	10 20 30 40
21 22 23 24		0,2 0,4 0,6 0,8	0,8	1,0		0,25	45	
25 26 27 28		0,4	0,5	0,6	0,4	0,1 0,2 0,3 0,4		

Задача 4.7. Тмассой m и радиусом (или длиной) r начинает вращаться относительно осиходящей через его центр масс, таким образом, что угловое смещение φяется по заданному закону $\varphi = \varphi(t)$, где A, B, C — постоянные величиНайти, какую работу совершает над телом результирующий момент внех сил за промежуток времени от t_1 до t_2. Размерность величин A, B, C делить самим.

Номер задания	Вращающееся тело	m, г	r, см	Закон изменения φ	A	B	C	t_1, с	t_2, с
1	Стержень	100	20	$\varphi = At^4 + B$	4	5		1,5	2,0
2	Диск	200	5		3	−7		2,0	2,5
3	Обруч	100	12		0,8	0,5		2,5	3,0
4	Шар	300	4		2	0,9		3,0	3,5
5	Стержень	75	18	$\varphi = A + Bt^3 + Ct$	2,5	6	−2	1,2	1,4
6	Полый цилиндр	100	5		11	5	1,5	1,4	1,6
7	Шар	200	5		0,7	4	−3	1,6	1,8
8	Сплошной цилиндр	300	4		−8	3	4	1,8	2,0
9	Диск	300	10	$\varphi = At^2 + B + Ct^3$	−1	5	6	1,0	1,4
10	Стержень	60	12		5	−9	−3	1,4	1,8
11	Шар	350	7		7	12	−4	1,6	2,0
12	Обруч	90	10		−2	8	5	2,0	2,4
13	Полый цилиндр	150	6	$\varphi = At^4 + Bt + C$	9	−3	−6	0,5	0,6
14	Шар	250	6		7	4	8	0,6	0,7
15	Стержень	120	30		6	−2	−2	0,7	0,8
16	Сплошной цилиндр	500	5		5	−1	3	0,8	0,9
17	Обруч	60	8	$\varphi = A + Bt^5$	4	0,8		2,0	2,2
18	Стержень	80	15		2	0,9		2,2	2,4
19	Диск	400	12		5	0,3		2,4	2,6
20	Шар	500	5		−3	0,2		2,6	2,8
21	Сплошной цилиндр	400	5	$\varphi = At^5 + Bt + C$	−4	15	10	1,2	1,3
22	Обруч	80	9		3	−12	−8	1,4	1,5
23	Стержень	90	25		−2	18	9	1,6	1,7
24	Шар	150	4		2	−23	11	1,8	1,9
25	Диск	250	6	$\varphi = A + Bt^2 + Ct$	8	14	−9	1,0	1,5
26	Полый цилиндр	120	6		−6	26	10	1,5	2,0
27	Шар	400	8		1	17	6	2,0	2,5
28	Стержень	50	10		−4	15	−2	2,5	3,0

Задача 4.8. Человек катит физическое тело по горизонтальной поверхности со скоростью v. Это тело может вкатиться по инерции на горку с углом наклона α к горизонту на расстояние s. Найти неизвестную величину согласно номеру задания, трением пренебречь.

Номер задания	Физическое тело	v, м/с	α, град	s, м
1	Шар			?
2	Обруч	2,0	20	?
3	Диск			?
4	Сплошной цилиндр			?
5	Полый цилиндр	?		
6	Шар	?	25	1,0
7	Сплошной цилиндр	?		
8	Диск	?		
9	Обруч		?	
10	Диск	3,0	?	2,0
11	Сплошной цилиндр		?	
12	Шар		?	
13	?		10	2,57
14	?	2,5	15	1,85
15	?		20	1,3
16	?		25	1,51
17	Диск			?
18	Сплошной цилиндр	1,5	10	?
19	Шар			?
20	Обруч			?
21	Шар	?		
22	Диск	?	20	1,5
23	Обруч	?		
24	Сплошной цилиндр	?		
25	Полый цилиндр		?	
26	Диск	3,5	?	2,5
27	Сплошной цилиндр		?	
28	Шар		?	

Задача 4.9. Материальная точка массой m движется по окружности радиусом r с линейной скоростью v и угловой ω. Момент инерции материальной точки относительно оси, проходящей через центр окружности перпендикулярно к плоскости, в которой движется точка, равен J, момент импульса относительно этой же оси – L. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	m, г	r, см	v, м/с	ω, рад/с	J, кг·м^2	L, кг·м^2/с
1	?	?	2,0	?	$1{,}35\cdot10^{-3}$	$1{,}8\cdot10^{-2}$
2	?	12,5	2,5	?	?	$4{,}375\cdot10^{-2}$
3	240	?	3,0	?	$2{,}16\cdot10^{-2}$	?
4	?	?	3,5	7	$1{,}25\cdot10^{-2}$	?
5	?	?	1,8	?	$5\cdot10^{-3}$	$3{,}6\cdot10^{-2}$
6	?	17	3,4	?	$5{,}78\cdot10^{-3}$	?
7	100	?	3,8	20	?	?
8	?	30	?	8	?	$5{,}04\cdot10^{-2}$
9	?	?	3,6	22,5	?	$6{,}912\cdot10^{-2}$
10	?	35	2,8	?	$4{,}9\cdot10^{-2}$	?
11	150	12	?	?	?	$5{,}4\cdot10^{-2}$
12	?	20	1,9	?	$9{,}6\cdot10^{-3}$	?
13	?	?	2,2	11	$6\cdot10^{-3}$	?
14	200	?	?	?	$4{,}05\cdot10^{-2}$	0,324
15	400	18	1,62	?	?	?
16	160	?	3,5	?	?	$5{,}6\cdot10^{-2}$
17	?	15	?	?	$5{,}625\cdot10^{-3}$	0,1125
18	60	?	?	7,5	?	$2{,}592\cdot10^{-2}$
19	220	40	?	6	?	?
20	80	?	4,2	12	?	?
21	?	22	?	9	?	$6{,}97\cdot10^{-2}$
22	250	?	?	10	?	0,169
23	140	30	3,6	?	?	?
24	50	?	2,52	?	$1{,}62\cdot10^{-3}$	?
25	?	25	?	16	$6{,}25\cdot10^{-3}$	?
26	120	?	1,82	?	?	$3{,}058\cdot10^{-2}$
27	?	?	2,64	?	$1{,}267\cdot10^{-2}$	0,1394
28	70	16	?	15	?	?

Задача 4.10. Горизонтальная платформа массой M вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через центр платформы. На платформе на расстоянии r_1 от ее центра стоит человек массой m. Если человек перейдет на расстояние r_2 от центра платформы, частота ее вращения изменится в n раз. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице (считать платформу однородным диском радиусом R, а человека — точечной массой).

Номер задания	M, кг	R, м	m, кг	r_1, м	r_2, м	n
1	?	15,0	60	14,0	6,17	1,6
2	95	?	76	12,0	4,63	2,1
3	155	10,0	?	9,0	5,08	1,45
4	130	7,5	88	?	5,3	1,3
5	125	9,0	84	8,5	?	2,0
6	160	14,0	75	13,0	0,98	?
7	?	10,5	66	10,0	2,0	2,0
8	100	?	62	8,0	4,57	1,5
9	145	11,0	?	10,5	1,42	1,85
10	80	13,5	68	?	8,88	1,35
11	75	7,0	82	6,5	?	1,75
12	105	9,5	71	8,5	4,5	?
13	?	13,0	78	12,0	5,44	1,9
14	140	?	70	10,0	8,0	1,2
15	110	8,5	?	7,5	1,83	1,7
16	70	15,5	83	?	2,2	2,8
17	85	12,5	65	11,0	?	2,05
18	135	6,0	86	5,5	3,68	?
19	?	16,5	90	16,0	2,32	2,6
20	65	?	72	8,0	1,44	3,0
21	120	6,5	?	6,0	2,58	1,6
22	135	12,0	92	?	7,25	1,3
23	90	16,0	64	15,0	?	1,75
24	74	8,0	80	7,5	3,65	?
25	?	14,5	66	12,5	1,23	2,2
26	60	?	74	9,5	3,43	2,5
27	115	11,5	?	11,0	4,7	1,8
28	150	5,5	85	?	3,74	1,4

ТЕМА 5. НЕИНЕРЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА. СИЛЫ ИНЕРЦИИ. ЭЛЕМЕНТЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Контрольные вопросы

5.1. Какие системы отсчета называют неинерциальными? Что такое силы инерции? Чему равна сила инерции в неинерциальной системе отсчета, движущейся поступательно относительно инерциальной?

5.2. Какие силы инерции необходимо учитывать при рассмотрении движения тела в неинерциальной системе отсчета, вращающейся относительно инерциальной? Какую из этих сил необходимо учитывать, если тело покоится во вращающейся системе отсчета? Как определить значение этой силы? Куда она направлена?

5.3. Что такое сила Кориолиса? Когда она возникает? Чему равна величина этой силы? Как определить направление действия силы Кориолиса? Приведите примеры действия силы Кориолиса в привроде и технике.

5.4. Сформулируйте принцип относительности Галилея. Запишите преобразования Галилея. Поясните, что означает инвариантность уравнения динамики по отношению к преобразованию координат. Запишите правило сложения скоростей для двух инерциальных систем отсчета в классической механике.

5.5. Запишите формулы преобразований Лоренца. Поясните их смысл. При каких условиях преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея? Запишите формулу сложения скоростей в специальной теории относительности.

5.6. Поясните, как связана длина отрезка в системе отсчета, движущейся с большой скоростью относительно системы отсчета, принятой за неподвижную, с длиной того же отрезка в неподвижной системе отсчета? Запишите формулу, выражающую эту связь. Как рассчитать длину отрезка в движущейся системе координат, если данный отрезок расположен под углом к направлению скорости системы?

5.7. Запишите формулу, связывающую промежуток собственного времени между двумя событиями в движущейся системе отсчета, с промежутком времени между этими же событиями в системе наблюдателя, принятой за неподвижную.

5.8. Поясните, что называется интервалом между двумя событиями. По какой формуле его рассчитывают? Что означает инвариантность интервала по отношению к переходу от одной инерциальной системы отсчета к другой?

5.9. Что называется релятивистским импульсом? Сформулируйте основной закон релятивистской динамики материальной точки и поясните его.

5.10. Запишите формулу, выражающую зависимость массы материальной точки от ее скорости в релятивистской динамике. Запишите и поясните релятивистское выражение для кинетической энергии. Какая взаимосвязь существует между массой и энергией?

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс физики. М., 1989. Т. 1 (§ 36–38, 44–56).
2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ 6.1–6.4, 7.1–7.7).
3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 27, 34–40).

Задача 5.1. Тележка с укрепленным на ней кронштейном, к которому подвешен на нити груз массой m, движется прямолинейно с ускорением $a_т$. При этом нить с подвешенным на ней грузом отклонилась от вертикали на угол α и сила натяжения нити стала равной $F_н$. Найти неизвестные величины согласно номеру задания.

Номер задания	m, кг	$a_т$, м/с^2	$F_н$, Н	α, град
1		2	?	?
2	0,1	4	?	?
3		6	?	?
4		8	?	?
5	0,4	?	?	20
6	0,3	?	?	30
7	0,2	?	?	40
8	0,1	?	?	50
9	?	?	1,92	40
10	?	?	2,99	35
11	?	?	4,53	30
12	?	?	5,41	25
13	0,5	?	?	10
14	0,35	?	?	15
15	0,2	?	?	20
16	0,16	?	?	25
17	?	5,66	3,395	?
18	?	6,86	2,99	?
19	?	0,858	3,935	?
20	?	8,23	1,536	?
21	0,15	?	1,538	?
22	0,25	?	2,752	?
23	0,35	?	4,05	?
24	0,45	?	5,45	?
25	0,1	5	?	?
26	0,2		?	?
27	0,3		?	?
28	0,4		?	?

Задача 5.2. Горизонтально расположенный диск начинает вращаться вокруг оси, проходящей через его центр, с угловым ускорением $\beta = At$. Найти величину центробежной силы $F_{цб}$, действующей на тело массой m, покоящееся на диске на расстоянии r от оси вращения, в момент времени t. Выполнить дополнительное задание.

Номер задания	A, рад/с^3	m, г	r, см	t, с	Построить график зависимости
1 2 3 4	0,2 0,4 0,6 0,8	120	15	3	$F_{цб} = f(A)$
5 6 7 8	0,75	100 200 300 400	18	5	$F_{цб} = f(m)$
9 10 11 12	0,9	200	10 20 30 40	1,5	$F_{цб} = f(r)$
13 14 15 16	0,25	150	10	6 7 8 9	$F_{цб} = f(t)$
17 18 19 20	0,5	200 400 600 800	25	2	$F_{цб} = f(m)$
21 22 23 24	0,3	300	5 10 15 20	2,5	$F_{цб} = f(r)$
25 26 27 28	0,7	180	20	2,5 5,0 7,5 10	$F_{цб} = f(t)$

Задача 5.3. Вблизи поверхности Зем точке, расположенной на широте φ (южной или северной широты – ю.ш. с.ш. – соответственно), выпущен снаряд с начальной скоростью v_0 горизонтально строго вдоль меридиана или вертикально вниз с высоты h. Дальностлета снаряда при горизонтальном выстреле равна l. Определить, на какое тояние и в какую сторону отклонится снаряд под действием кориолисовилы. Сопротивлением воздуха и изменением ускорения свободного пия с изменением широты пренебречь. Считать $g = 9{,}81$ м/с^2.

Номер задания	Широта φ	Напрение движя снар	v_0, м/с	l, м	h, м
1 2 3 4	30° с.ш. 45° с.ш. 60° с.ш. 80° с.ш.	Горизонтально на севе	500	100	
5 6 7 8	30° с.ш. 45° с.ш. 60° с.ш. 80° с.ш.	Горизонтально на юг	600	150	
9 10 11 12	30° ю.ш. 45° ю.ш. 60° ю.ш. 80° ю.ш.	Горизонтально на севе	600	200	
13 14 15 16	30° ю.ш. 45° ю.ш. 60° ю.ш. 80° ю.ш.	Горизонтально на юг	400	180	
17 18 19 20	30° с.ш. 45° с.ш. 60° с.ш. 80° с.ш.	Вертикально вниз с высоты h	0		100
21 22 23 24	30° ю.ш. 45° ю.ш. 60° ю.ш. 80° ю.ш.	Вертикально вниз с высоты h	0		200
25 26 27 28	Экватор Южный полюс Северный полюс 70° с.ш.	Вертикально вниз с высоты h	0		50

Задача 5.4. Самолет развивает скорость v_1 км/ч. В известном направлении дует ветер со скоростью v_2 м/с. С какой скоростью самолет будет двигаться в заданном направлении и под каким углом к меридиану надо держать курс, чтобы перемещение было в строго заданном направлении.

Номер задания	Направление перемещения	v_1, км/ч	Направление ветра	v_2, м/с
1	На юг	800	С северо-востока на юго-запад	15
2			С юго-запада на северо-восток	12
3			С юго-востока на северо-запад	14
4			С северо-запада на юго-восток	16
5	На северо-запад	750	С севера на юг	10
6			С запада на восток	15
7			С юга на север	15
8			С востока на запад	10
9	На север	950	С юго-востока на северо-запад	18
10			С северо-востока на юго-запад	14
11			С северо-запада на юго-восток	16
12			С юго-запада на северо-восток	12
13	На северо-восток	700	С юга на север	8
14			С запада на восток	10
15			С востока на запад	12
16			С севера на юг	8
17	На запад	820	С юго-запада на северо-восток	10
18			С юго-востока на северо-запад	12,5
19			С северо-востока на юго-запад	15
20			С северо-запада на юго-восток	17,5
21	На юго-восток	900	С востока на запад	16
22			С севера на юг	16
23			С запада на восток	12
24			С юга на север	12
25	На восток	840	С северо-востока на юго-запад	5
26			С юго-востока на северо-запад	10
27			С юго-запада на северо-восток	15
28			С северо-запада на юго-восток	20

Задача 5.5. В течение какого-то времени некоторое космическое тело движется в направлении, совпадающем с направлением движения Земли по орбите, со скоростью v относительно Земли. С космического тела в направлении движения вылетают частицы со скоростью u' относительно этого тела, скорость же частиц относительно Земли равна u. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	v, м/с	u', м/с	u, м/с
1	10^7	$-8\cdot10^7$	?
2	$2\cdot10^7$	$-9\cdot10^7$	?
3	$5\cdot10^7$	-10^8	?
4	$2\cdot10^8$	$-5\cdot10^7$	?
5	$5\cdot10^6$	?	$1{,}45\cdot10^7$
6	10^7	?	$1{,}1\cdot10^7$
7	$5\cdot10^7$	?	$5{,}967\cdot10^7$
8	10^8	?	$1{,}421\cdot10^8$
9	?	$1{,}5\cdot10^8$	$2{,}143\cdot10^8$
10	?	$1{,}2\cdot10^8$	$1{,}807\cdot10^8$
11	?	$9\cdot10^7$	$1{,}25\cdot10^8$
12	?	$7{,}5\cdot10^7$	$1{,}37\cdot10^8$
13	$1{,}25\cdot10^8$	$8\cdot10^7$	?
14	$1{,}5\cdot10^8$	$7\cdot10^7$	?
15	$1{,}75\cdot10^8$	$6\cdot10^7$	?
16	$2\cdot10^8$	$5\cdot10^7$	?
17	$9\cdot10^7$	?	$-3{,}41\cdot10^7$
18	$8\cdot10^7$	?	$-5{,}653\cdot10^7$
19	$7\cdot10^7$	?	$-9{,}057\cdot10^7$
20	$6\cdot10^7$	?	$-8{,}8235\cdot10^7$
21	?	$-9\cdot10^7$	$2{,}247\cdot10^7$
22	?	$-2\cdot10^8$	$-3{,}333\cdot10^7$
23	?	-10^8	$-5{,}59\cdot10^6$
24	?	$-7{,}5\cdot10^7$	$5{,}58\cdot10^7$
25	$-1{,}2\cdot10^8$	$2{,}5\cdot10^8$	?
26	$-1{,}4\cdot10^8$	$1{,}5\cdot10^8$	?
27	$-1{,}6\cdot10^8$	$9{,}5\cdot10^7$	?
28	$-1{,}8\cdot10^8$	$8{,}5\cdot10^7$	?

Задача 5.6. Относительное приращение длины стержня, если ему сообщить скорость $v = kc$ (где c – скорость света) в направлении, образующем с осью покоившегося стержня угол α, равно $(\Delta l / l_0)$ 100 %. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице. Выполнить дополнительное задание.

Номер задания	k	α, град	$(\Delta l / l_0)100\ \%$	Построить график зависимости
1	0,2		?	
2	0,4	30	?	$\Delta l / l_0 = f(v/c)$
3	0,6		?	
4	0,8		?	
5		?	−11,725	
6	0,5	?	−7,626	$\Delta l / l_0 = f(\alpha)$
7		?	−0,378	
8		?	−3,175	
9	?		−3,767	
10	?	25	−8,695	$\Delta l / l_0 = f(k)$
11	?		−0,928	
12	?		−16,08	
13		0	?	
14	0,25	25	?	$\Delta l / l_0 = f(\alpha)$
15		50	?	
16		75	?	
17		?	−1,543	
18	0,35	?	−6,128	
19		?	−0,0465	$\Delta l / l_0 = f(\alpha)$
20		?	−4,198	
21	?		−1,959	
22	?	10	−8,086	$\Delta l / l_0 = f(k)$
23	?		−0,486	
24	?		−4,464	
25	0,15		?	
26	0,3	45	?	
27	0,45		?	$\Delta l / l_0 = f(v)$
28	0,6		?	

Задача 5.7. Промежуток собственного времени между двумя событиями в системе отсчета, движущейся со скоростью $v = kc$, равен $\Delta\tau$. В системе отсчета наблюдателя, принятой за неподвижную, между этими же событиями прошел промежуток времени, равный Δt. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	$k = v/c$	$\Delta\tau$	Δt
1	0,1	?	
2	0,2	?	40 с
3	0,3	?	
4	0,4	?	
5	?	43,3 с	
6	?	46,84 с	50 с
7	?	48,99 с	
8	?	49,75 с	
9		?	20 сут
10	0,5	?	40 сут
11		?	60 сут
12		?	80 сут
13		10 недель	?
14	0,6	20 недель	?
15		30 недель	?
16		40 недель	?
17	?		20 лет 7 мес 26 дн
18	?	20 лет	30 лет 2 мес 26 дн
19	?		25,0 лет
20	?		21 год 9 мес 26 дн
21	0,2	?	3 мес
22	0,4	?	6 мес
23	0,6	?	9 мес
24	0,8	?	12 мес
25	0,25		?
26	0,5	5 лет	?
27	0,75		?
28	0,9		?

Задача 5.8. В инерциальной системе отсчета интервал между двумя событиями равен Δs, промежуток времени между этими событиями в рассматриваемой системе отсчета – Δt, расстояние между точками, в которых происходили события, – l, причем проекции расстояния на оси координат равны Δx, Δy и Δz соответственно. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	Δs, м	Δt, с	l, м	Δx, м	Δy, м	Δz, м
1	$5{,}568\cdot10^8$	?		$7\cdot10^8$	$8\cdot10^8$	$9\cdot10^8$
2	$2{,}577\cdot10^7$	0,2		?	$2\cdot10^7$	$6\cdot10^6$
3	$8{,}544\cdot10^5$	0,005		$4\cdot10^5$	?	10^6
4	$4{,}093\cdot10^6$	0,03		$2{,}5\cdot10^6$	$7\cdot10^6$	?
5	$2{,}14\cdot10^7$	?		$2\cdot10^7$	$5\cdot10^6$	$4\cdot10^6$
6	18947	$2\cdot10^{-4}$		?	$4{,}6\cdot10^4$	$1{,}5\cdot10^4$
7	$4\cdot10^5$	0,008		$2\cdot10^6$	?	$1{,}2\cdot10^6$
8	$3{,}84\cdot10^6$	0,04		$8\cdot10^6$	$7{,}5\cdot10^6$	?
9	$1{,}166\cdot10^6$	?		$8\cdot10^5$	$3\cdot10^6$	$5\cdot10^6$
10	$4{,}359\cdot10^7$	1,0		?	$9\cdot10^7$	$2\cdot10^8$
11	$1{,}3\cdot10^9$	10		$2{,}5\cdot10^9$	?	$6{,}5\cdot10^8$
12	$2{,}059\cdot10^6$	0,06		$1{,}7\cdot10^7$	$5\cdot10^6$	?
13	2,236	10^{-8}	?			
14	28,618	10^{-7}	?			
15	295,8	10^{-6}	?			
16	2973,2	10^{-5}	?			
17	0,02182	?	0,01			
18	0,1197	?	0,1			
19	3,77	?	1			
20	43,875	?	10			
21	$1{,}2\cdot10^7$	0,05	?			
22	$9\cdot10^7$	0,5	?			
23	$1{,}49\cdot10^9$	5	?			
24	$1{,}375\cdot10^{10}$	50	?			
25	184,66	?	10^2			
26	2508	?	10^3			
27	11180	?	10^4			
28	149666	?	10^5			

Задача 5.9. Первоначальная скорость частицы $v_1 = kc$, где c – скорость света в вакууме. При увеличении скорости частицы в n раз ее импульс возрастает в θ раз. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	k	n	θ
1	0,99	?	
2	0,9	?	2
3	0,75	?	
4	0,5	?	
5	0,7		?
6	0,6	1,4	?
7	0,5		?
8	0,4		?
9	?	1,2457	
10	?	1,18	1,5
11	?	1,118	
12	?	1,028	
13		?	1,5
14	0,7	?	2,0
15		?	2,5
16		?	3,0
17		1,05	?
18	0,8	1,10	?
19		1,15	?
20		1,20	?
21	?		5,47
22	?	1,3	1,8474
23	?		1,553
24	?		2,239
25	0,75	?	2,376
26	0,8	?	2,57
27	0,85	?	2,872
28	0,9	?	3,4

Задача 5.10. Найти релятивистскую массу частицы, движущейся со скоростью $v = kc$, и ее полную энергию, если известна масса покоя частицы m_0 (m_e – масса покоя электрона). Какую часть полной энергии частицы $E_{полн}$ составляет ее кинетическая энергия $E_{кин}$? Выполнить дополнительное задание.

Номер задания	Частица	m_0, кг	k	Построить график
1	Электрон	$0{,}911 \cdot 10^{-30} = m_e$	0,7	$m = f(v/c)$
2			0,8	
3			0,9	
4			0,99	
5	Протон	$1{,}67265 \cdot 10^{-27}$	0,7	$E_{полн} = f(v/c)$
6			0,8	
7			0,9	
8			0,99	
9	k-мезон	$970\, m_e$	0,7	$E_{кин}/E_{полн} = f(v/c)$
10			0,8	
11			0,9	
12			0,99	
13	π^0-мезон	$264\, m_e$	0,7	$E_{кин} = f(v/c)$
14			0,8	
15			0,9	
16			0,99	
17	Нейтрон	$1{,}67495 \cdot 10^{-27}$	0,7	$m/m_0 = f(v/c)$
18			0,8	
19			0,9	
20			0,99	
21	π^+-мезон	$273\, m_e$	0,7	$E_{полн} = f(v/c)$
22			0,8	
23			0,9	
24			0,99	
25	Мюон (μ-мезон)	$207\, m_e$	0,7	$E_{кин}/E_{полн} = f(v/c)$
26			0,8	
27			0,9	
28			0,99	

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА 6. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ГАЗОВ. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ. ТЕПЛОЕМКОСТЬ

Контрольные вопросы

6.1. Сформулируйте основные положения молекулярно-кинетической теории газов. Запишите уравнение состояния идеального газа (Клапейрона–Менделеева).

6.2. Чему равно давление смеси газов? Сформулируйте закон Дальтона, поясните его. Что называется парциальным давлением газа?

6.3. Что называется плотностью вещества? Как определить плотность смеси двух веществ?

6.4. Запишите основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов, поясните его. Что такое концентрация молекул? В каких единицах ее измеряют?

6.5. Что такое энергия теплового движения молекул идеального газа? Чему она равна? Что называется числом степеней свободы молекул газа? Какие значения может принимать число степеней свободы молекул идеального газа? В чем состоит закон распределения энергии по степеням свободы? Какая часть энергии молекул приходится на долю поступательного движения, а какая – на долю вращательного, если эта молекула: а) двухатомная; б) многоатомная?

6.6. Чему равно изменение внутренней энергии идеального газа? Как определить изменение внутренней энергии смеси газов?

6.7. Что называют теплоемкостью вещества? Что такое удельная теплоемкость? Что называется мольной теплоемкостью? Какая связь существует между удельной и мольной теплоемкостями вещества? Как подсчитать количество теплоты, необходимой для повышения температуры вещества на определенное значение, если известны: а) его масса; б) количество вещества?

6.8. Почему для повышения температуры газа на одно и то же значение при постоянном объеме и постоянном давлении требуется различное количество теплоты? Какая связь существует между мольными теплоемкостями при постоянном объеме и постоянном давлении?

6.9. Чем определяется отношение теплоемкостей при постоянных давлении и объеме? Какие значения это отношение может принимать?

6.10. Как определить мольные и удельные теплоемкости смеси газов?

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс физики. М., 1989. Т. 1 (§ 59–64, 72).
2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ 8.1–8.4, 10.1–2).
3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 41–43, 53).

Задача 6.1. Газ плотностью ρ находится под давлением p при температуре T. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	Газ	ρ, кг/м^3	p, Па	T, К
1	?	0,117	$8\cdot10^3$	230
2	Водород	?	$2{,}25\cdot10^5$	450
3	Аргон	1,337	?	360
4	Криптон	3,444	$2\cdot10^5$	?
5	?	4,126	$5\cdot10^5$	1222
6	Азот	?	$2{,}2\cdot10^5$	440
7	Кислород	0,019	?	200
8	Гелий	0,024	$1{,}5\cdot10^4$	?
9	?	3,61	$3\cdot10^5$	400
10	Аммиак	?	10^4	400
11	Углекислый газ	2,647	?	500
12	Водород	0,048	$5\cdot10^4$	?
13	?	0,24	$2{,}1\cdot10^5$	420
14	Азот	?	$1{,}7\cdot10^5$	340
15	Неон	0,115	?	210
16	Кислород	3,851	$5\cdot10^5$	?
17	?	0,188	$2{,}5\cdot10^5$	320
18	Аммиак	?	$2\cdot10^4$	450
19	Гелий	0,523	?	460
20	Углекислый газ	0,106	$4\cdot10^3$	?
21	?	3,209	$4\cdot10^5$	480
22	Азот	?	$2\cdot10^3$	240
23	Водород	0,04	?	300
24	Неон	3,744	$7\cdot10^5$	?
25	?	0,055	$5\cdot10^3$	220
26	Гелий	?	$2{,}1\cdot10^5$	420
27	Кислород	1,925	?	380
28	Аргон	3,026	$2{,}2\cdot10^5$	?

Задача 6.2. Сосуд объемом V заполнен смесью двух газов. Масса первого газа $-m_1$, масса второго газа $-m_2$. Смесь находится под давлением p при температуре T. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	Первый газ	Второй газ	m_1, г	m_2, г	V, м^3	p, Па	T, К
1	O_2	Kr	?	24	$6{,}23\cdot10^{-3}$	$6{,}2\cdot10^5$	310
2	H_2	Ne	8	14	?	$4\cdot10^3$	200
3	Ar	H_2	20	10	$9{,}14\cdot10^{-2}$	?	420
4	He	Ne	12	10	$5{,}82\cdot10^{-2}$	$1{,}5\cdot10^5$	?
5	Kr	N_2O	12	?	$1{,}66\cdot10^{-2}$	$1{,}9\cdot10^5$	380
6	H_2O	Ne	9	5	?	$2\cdot10^5$	400
7	He	N_2	16	14	0,748	?	260
8	He	O_2	12	16	0,582	$1{,}4\cdot10^4$	?
9	Ne	Ar	?	20	0,415	$4{,}8\cdot10^3$	240
10	CO_2	H_2O	11	18	?	$7\cdot10^5$	350
11	N_2	Ar	7	10	$8{,}31\cdot10^{-3}$	?	440
12	H_2	He	8	8	0,5	$2{,}5\cdot10^4$	?
13	O_2	CO_2	8	?	$1{,}25\cdot10^{-2}$	10^5	300
14	N_2O	H_2	22	20	?	$4{,}4\cdot10^3$	220
15	H_2	Kr	6	6	$2{,}7\cdot10^{-2}$	?	460
16	Ar	CO_2	20	22	$8{,}31\cdot10^{-3}$	$3{,}5\cdot10^5$	?
17	N_2O	He	?	16	0,125	$9{,}6\cdot10^4$	320
18	N_2	O_2	14	16	?	$7{,}5\cdot10^5$	250
19	Kr	Ne	6	5	$4{,}15\cdot10^{-3}$	?	390
20	H_2O	He	18	20	0,1	$2{,}25\cdot10^5$	?
21	He	CO_2	20	?	0,25	$5{,}6\cdot10^4$	280
22	N_2O	Ar	11	10	?	$4{,}5\cdot10^5$	450
23	N_2	Kr	7	12	$1{,}25\cdot10^{-2}$	?	340
24	O_2	H_2O	8	9	$6{,}23\cdot10^{-3}$	$4\cdot10^5$	?
25	H_2	CO_2	?	11	$7{,}06\cdot10^{-2}$	$1{,}75\cdot10^5$	350
26	Ne	O_2	5	8	?	$2{,}15\cdot10^5$	430
27	O_2	Ar	4	5	$2{,}08\cdot10^{-2}$	?	230
28	H_2O	N_2O	9	11	$1{,}25\cdot10^{-2}$	$2{,}5\cdot10^5$	?

Задача 6.3. В сосуде находится смесь двух газов, причем процентное содержание второго газа равно g. Найти плотность этой смеси при температуре T и давлении p. Построить график зависимости плотности смеси от процентного содержания второго газа.

Номер задания	Первый газ	Второй газ	g, %	p, Па	T, К
1			20		
2	Углекислый газ	Азот	40	$5 \cdot 10^5$	400
3			60		
4			80		
5			20		
6	Водород	Аргон	40	$2 \cdot 10^5$	320
7			60		
8			80		
9			20		
10	Гелий	Кислород	40	$4 \cdot 10^5$	360
11			60		
12			80		
13			20		
14	Углекислый газ	Неон	40	10^5	290
15			60		
16			80		
17			20		
18	Азот	Кислород	40	$1{,}5 \cdot 10^5$	300
19			60		
20			80		
21			20		
22	Кислород	Углекислый газ	40	$3 \cdot 10^5$	350
23			60		
24			80		
25			20		
26	Кислород	Пары воды	40	$2{,}5 \cdot 10^5$	340
27			60		
28			80		

Задача 6.4. Газ находится под давлением p при температуре T. Концентрация молекул газа равна n, средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы — W. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	p, Па	T, К	n, $м^{-3}$	W, Дж
1	$8 \cdot 10^4$	220	?	?
2	$2{,}5 \cdot 10^5$	?	?	$7{,}245 \cdot 10^{-21}$
3	?	?	$6{,}44 \cdot 10^{25}$	$9{,}315 \cdot 10^{-21}$
4	?	250	$1{,}45 \cdot 10^{24}$	?
5	$1{,}5 \cdot 10^5$	300	?	?
6	10^4	?	?	$5{,}175 \cdot 10^{-21}$
7	?	?	$5{,}43 \cdot 10^{25}$	$8{,}28 \cdot 10^{-21}$
8	?	270	$2{,}15 \cdot 10^{25}$	?
9	10^5	230	?	?
10	$3 \cdot 10^5$	?	?	$7{,}87 \cdot 10^{-21}$
11	?	?	$2{,}72 \cdot 10^{25}$	$8{,}28 \cdot 10^{-21}$
12	?	260	$2{,}79 \cdot 10^{24}$	?
13	$5 \cdot 10^4$	280	?	?
14	10^5	?	?	$1{,}076 \cdot 10^{-20}$
15	?	?	$3{,}29 \cdot 10^{25}$	$4{,}55 \cdot 10^{-21}$
16	?	360	$4{,}03 \cdot 10^{25}$	?
17	$2 \cdot 10^5$	340	?	?
18	$8 \cdot 10^3$	?	?	$5{,}175 \cdot 10^{-21}$
19	?	?	$1{,}34 \cdot 10^{25}$	$5{,}59 \cdot 10^{-21}$
20	?	500	$5{,}8 \cdot 10^{25}$	?
21	$5 \cdot 10^3$	240	?	?
22	$2{,}8 \cdot 10^5$	?	?	$7{,}66 \cdot 10^{-21}$
23	?	?	$2{,}41 \cdot 10^{25}$	$6{,}21 \cdot 10^{-21}$
24	?	300	$7{,}25 \cdot 10^{24}$	?
25	$2{,}5 \cdot 10^5$	600	?	?
26	10^5	?	?	$6{,}83 \cdot 10^{-21}$
27	?	?	$8{,}7 \cdot 10^{23}$	$5{,}175 \cdot 10^{-21}$
28	?	400	$9{,}06 \cdot 10^{24}$	?

Задача 6.5. Чему равна внутренняя энергия теплового движения газа, имеющего массу m, при температуре T. Какая часть этой энергии приходится на долю поступательного движения, а какая — на долю вращательного?

Номер задания	Газ	m, г	T, К
1	Аргон	5	350
2	Гелий		
3	Водород		
4	Углекислый газ		
5	Кислород	8	500
6	Пары воды		
7	Азот		
8	Неон		
9	Воздух	12	400
10	Криптон		
11	Закись азота		
12	Аргон		
13	Кислород	2	300
14	Неон		
15	Водород		
16	Пары воды		
17	Углекислый газ	10	450
18	Азот		
19	Воздух		
20	Гелий		
21	Закись азота	4	250
22	Азот		
23	Кислород		
24	Аргон		
25	Гелий	6	550
26	Воздух		
27	Водород		
28	Углекислый газ		

Задача 6.6. В закрытом сосуде находится смесь газов. Масса первого газа – m_1, масса второго газа – m_2. При изменении температуры смеси на ΔT внутренняя энергия ее изменяется на ΔU. Найти неизвестную величину согласно номеру задания.

Номер задания	Первый газ	Второй газ	m_1, г	m_2, г	ΔT, К	ΔU, Дж
1	Кислород	Углекислый газ	?	11	−30	−342,8
2			4	?	58	463,7
3			3	4	?	243,2
4			12	22	44	?
5			?	8	52	645,5
6	Азот	Кислород	14	?	40	441,5
7			7	4	?	−467,4
8			3,5	3,2	−28	?
9			?	8,8	34	381,4
10	Неон	Закись азота	5	?	−50	−269,1
11			4	4,4	?	199,4
12			10	11	64	?
13			?	4,5	22	194,2
14	Кислород	Пары воды	6,4	?	60	997,2
15			8	4,5	?	−228,5
16			16	18	−36	?
17			?	2,4	−46	−238,9
18	Гелий	Кислород	4	?	24	382,3
19			8	6	?	903,7
20			2	4	−32	?
21			?	4	54	2327,8
22	Аргон	Водород	8	?	−20	−1296,4
23			4	2	?	1541,5
24			10	8	−42	?
25			?	11	38	434,2
26	Азот	Углекислый газ	14	?	−56	−1279,7
27			5,6	4	?	−321,1
28			7	8,8	26	?

Задача 6.7. Некоторый газ находится в закрытом сосуде объемом V при температуре T_1 и давлении p_1. После изменения температуры до T_2 давление газа в сосуде стало равным p_2. При этом газу было передано количество теплоты, равное Q. Определить неизвестные величины.

Номер задания	Газ	V, 10^{-3} м^3	T_1, К	T_2, К	p_1, Па	p_2, Па	Q, Дж
1		2,5	200	320	?	$8\cdot10^3$	?
2	Кислород	?	366	?	$2\cdot10^5$	$3\cdot10^5$	500
3		1,6	?	450	10^5	$1,5\cdot10^5$	?
4		?	375	500	$3\cdot10^5$	?	1000
5		?	352	440	?	$2,5\cdot10^5$	225
6	Гелий	1,5	250	?	$8\cdot10^3$	$1,12\cdot10^4$	?
7		?	?	460	$2,5\cdot10^5$	$3,2\cdot10^5$	252
8		2,0	506	600	$3,8\cdot10^5$	?	?
9		1,0	240	300	?	10^4	?
10	Углекислый газ	2,6	343	?	$3,5\cdot10^5$	$4,8\cdot10^5$	?
11		?	?	350	$9\cdot10^4$	$1,2\cdot10^5$	315
12		?	320	400	$8\cdot10^4$	?	168
13		3,0	300	380	?	$1,14\cdot10^5$	?
14	Азот	?	448	?	$4\cdot10^5$	$5\cdot10^5$	1000
15		?	?	320	$5\cdot10^4$	$6,4\cdot10^4$	52,5
16		2,2	364	420	$2,6\cdot10^5$	?	?
17		?	339	452	?	$4\cdot10^5$	525
18	Аргон	?	256	?	$2\cdot10^4$	$2,5\cdot10^4$	7,5
19		2,4	?	504	$4\cdot10^5$	$4,8\cdot10^5$	?
20		1,8	430	516	$3,5\cdot10^5$	?	?
21		?	290	319	?	$5,5\cdot10^4$	37,5
22	Водород	1,2	400	?	$4,5\cdot10^5$	$6,3\cdot10^5$	?
23		3,4	?	509	$2,2\cdot10^5$	$3,2\cdot10^5$	?
24		?	240	360	$5\cdot10^3$	?	16,25
25		?	280	392	?	$1,4\cdot10^4$	42
26	Закись азота	1,4	370	?	$4,2\cdot10^5$	$6,3\cdot10^5$	?
27		?	?	384	$1,5\cdot10^5$	$1,8\cdot10^5$	180
28		2,5	310	434	$1,8\cdot10^5$	?	?

Задача 6.8. Молекулы некоторого газа имеют число степеней свободы, равное i. При нагревании этого газа на ΔT_1 при постоянном давлении необходимо затратить количество теплоты Q_1. Если это же количество газа охладить на ΔT_2 при постоянном объеме, выделится количество теплоты Q_2. Найти неизвестную величину.

Номер задания	i	ΔT_1, К	ΔT_2, К	Q_1, Дж	Q_2, Дж
1	?	140	160	2,45	2
2	6	?	140	19,81	26
3	3	170	?	49,58	35
4	5	60	30	?	4
5	5	210	150	58,8	?
6	?	70	80	8,17	7
7	3	?	110	14,55	16
8	6	100	?	22,22	25
9	5	40	20	?	5,5
10	6	200	180	51,85	?
11	?	90	60	30	12
12	3	?	50	8	8
13	6	160	?	35,56	20
14	3	20	40	?	5
15	5	230	200	51,52	?
16	?	150	120	50	24
17	5	?	130	30,15	28
18	6	120	?	24	15
19	3	30	50	?	6
20	5	190	170	37,55	?
21	?	130	100	32,76	18
22	5	?	60	13,07	14
23	6	180	?	45	30
24	3	50	70	?	9
25	3	80	90	14,81	?
26	?	220	200	58,67	40
27	5	?	80	8,75	10
28	3	110	?	41,9	32

Задача 6.9. Удельные теплоемкости некоторого газа равны c_V и c_p, отношение теплоемкостей $c_p/c_V = \gamma$, молярная масса газа μ. Молекулы газа обладают числом степеней свободы, равным i. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице. Определить, о каком газе идет речь.

Номер задания	c_V, Дж/(кг·К)	c_p, Дж/(кг·К)	γ	$\mu, 10^{-3}$ кг/моль	i
1	?	?	1,667	4	?
2	?	1846,6	1,333	?	?
3	649,2	?	?	?	5
4	?	?	?	20	3
5	566,6	?	1,333	?	?
6	?	1846,6	?	18	?
7	?	1038,75	?	?	5
8	?	1038,75	1,667	?	?
9	148,74	247,9	?	?	?
10	10387,5	?	1,4	?	?
11	566,6	?	?	44	?
12	311,6	?	?	?	3
13	?	755,5	1,333	?	?
14	?	1038,75	?	28	?
15	?	1038,75	?	20	?
16	?	14542,5	?	?	5
17	?	?	1,4	32	?
18	3116	?	1,667	?	?
19	?	?	?	44	6
20	10387,5	?	?	?	5
21	?	?	1,333	18	?
22	?	908,9	1,4	?	?
23	566,6	?	?	?	6
24	?	?	?	40	3
25	742	1038,75	?	?	?
26	1385	?	?	?	6
27	?	?	?	2	5
28	?	5194	?	4	?

Задача 6.10. Вычислить удельные теплоемкости c_V и c_p смеси двух газов, если массовая доля первого газа равна g_1 %, а второго – g_2 %. Объяснить зависимость удельных теплоемкостей от процентного соотношения газов.

Номер задания	Первый газ	Второй газ	g_1, %	g_2, %
1			80	20
2	Неон	Водород	60	40
3			40	60
4			20	80
5			80	20
6	Аргон	Кислород	60	40
7			40	60
8			20	80
9			80	20
10	Гелий	Кислород	60	40
11			40	60
12			20	80
13			80	20
14	Азот	Водород	60	40
15			40	60
16			20	80
17			80	20
18	Неон	Кислород	60	40
19			40	60
20			20	80
21			80	20
22	Гелий	Криптон	60	40
23			40	60
24			20	80
25			80	20
26	Аргон	Азот	60	40
27			40	60
28			20	80

ТЕМА 7. ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРВОГО НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ К ИЗОПРОЦЕССАМ И АДИАБАТИЧЕСКОМУ ПРОЦЕССУ В ИДЕАЛЬНОМ ГАЗЕ. ЭЛЕМЕНТЫ СТАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ И ФИЗИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ

Контрольные вопросы

7.1. Сформулируйте первое начало термодинамики, поясните его физический смысл. Какой вид принимает первое начало термодинамики применительно к изохорическому процессу?

7.2. Запишите первое начало термодинамики для изобарического процесса, поясните его. Чему равна работа при изобарическом расширении и изобарическом сжатии газа?

7.3. Запишите первое начало термодинамики применительно к изотермическому процессу и поясните его смысл. Как определить работу газа при изотермическом расширении и изотермическом сжатии?

7.4. Чему равно изменение внутренней энергии газа в сложном процессе, состоящем из нескольких изопроцессов? Как подсчитать работу, совершаемую газом в таком процессе?

7.5. Какой процесс называется адиабатическим? Что представляет собой показатель степени адиабаты, какие значения он может принимать? Запишите уравнения адиабаты, описывающие связь между параметрами p и V, p и T, V и T.

7.6. Запишите первое начало термодинамики применительно к адиабатическому процессу и поясните его физический смысл. Как подсчитать работу, совершаемую газом при адиабатическом процессе?

7.7. Сформулируйте и запишите основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов. Что такое средняя квадратичная скорость молекул?

7.8. Запишите закон Максвелла для распределения молекул идеального газа по скоростям, изобразите его графически и поясните физический смысл. Объясните, какую скорость называют средней арифметической скоростью молекул, а какую — их наиболее вероятной скоростью. Какая связь существует между средней квадратичной, средней арифметической и наиболее вероятной скоростью теплового движения молекул?

7.9. Что называют длиной свободного пробега молекулы? Что такое эффективный диаметр молекулы газа? Какая связь существует между длиной свободного пробега и числом соударений молекул в единицу времени?

7.10. Запишите барометрическую формулу, поясните ее физический смысл. Как меняется давление газа: а) с изменением высоты для разных газов; б) при различных температурах? Запишите и объясните закон Больцмана для распределения частиц во внешнем потенциальном поле.

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс физики. М., 1989. Т. 1 (§ 65–77).

2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ 9.1–9.6, 10.1–10.6, 10.11–10.12).

3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 44–47, 50–55).

Задача 7.1. Газ с молярной теплоемкостью C_V, находящийся под давлением p в закрытом сосуде объемом V, получил извне количество теплоты, равное Q. Температура газа при этом возросла в n раз, а его внутренняя энергия увеличилась на ΔU. Найти неизвестные величины согласно номеру задания.

Номер задания	C_V, Дж/(моль·К)	p_1, Па	V, м^3	Q, Дж	n	ΔU, Дж
1	?	$2\cdot10^5$	$6\cdot10^{-3}$	?	1,24	720
2	20,775	?	$1{,}5\cdot10^{-2}$	13500	1,6	?
3	24,93	$5{,}5\cdot10^5$	?	?	1,15	1237,5
4	12,465	$3\cdot10^4$	$7\cdot10^{-2}$	945	?	?
5	24,93	$5\cdot10^3$	$2\cdot10^{-3}$	?	1,8	?
6	?	$8\cdot10^4$	$7{,}5\cdot10^{-3}$	?	1,5	900
7	12,465	?	$4\cdot10^{-2}$	45	1,75	?
8	20,775	$2{,}5\cdot10^5$	?	175	1,28	?
9	12,465	$2\cdot10^4$	$1{,}5\cdot10^{-3}$	?	1,32	?
10	20,775	$5\cdot10^5$	$3\cdot10^{-3}$	?	?	750
11	?	$7\cdot10^4$	10^{-2}	472,5	1,45	?
12	24,93	?	$6\cdot10^{-2}$	?	1,10	360
13	20,775	10^3	?	18	1,36	?
14	24,93	$4\cdot10^5$	$5\cdot10^{-3}$	3000	?	?
15	12,465	$6\cdot10^4$	$2{,}5\cdot10^{-2}$	?	1,4	?
16	?	$4{,}5\cdot10^5$	$7\cdot10^{-3}$	?	1,22	1039,5
17	12,465	?	$2\cdot10^{-2}$	?	1,05	75
18	20,775	$1{,}5\cdot10^5$	?	5625	1,30	?
19	24,93	10^4	$8\cdot10^{-2}$	?	?	1440
20	20,775	$3\cdot10^5$	$2{,}5\cdot10^{-3}$	?	1,25	?
21	?	$5\cdot10^4$	$8\cdot10^{-3}$	?	1,48	576
22	12,465	?	$5\cdot10^{-2}$	?	1,20	4500
23	24,93	10^5	?	840	1,7	?
24	20,775	$8\cdot10^3$	$3\cdot10^{-2}$	?	1,35	?
25	24,93	$4\cdot10^4$	$4\cdot10^{-3}$	192	?	?
26	?	$3{,}5\cdot10^5$	$2{,}5\cdot10^{-2}$	?	1,26	5687,5
27	20,775	?	$9\cdot10^{-3}$	1080	1,12	?
28	12,465	$6\cdot10^5$	?	?	1,65	3510

Задача 7.2. Газ массой m при температуре T расширяется в n раз при постоянном давлении за счет притока количества теплоты Q. Работа расширения газа равна A, изменение внутренней энергии $-\Delta U$. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	Газ	m, г	n	Q, Дж	A, Дж	ΔU, Дж
1		?	3	?	664,8	?
2	Азот	5,5	1,75	?	?	1040,6
3		?	2,2	2498	?	?
4		20	?	?	?	1840
5		?	2,4	12215,7	?	?
6	Водород	1,5	1,5	?	903,7	?
7		1	?	?	2617,7	?
8		6	1,6	18847	?	?
9		?	2	?	?	9632
10	Углекислый газ	16	1,25	966,9	?	?
11		11	?	?	623,25	?
12		33	1,75	?	?	5328,8
13		40	1,2	?	498,6	?
14	Аргон	10	?	4155	?	?
15		?	1,5	1298,5	?	?
16		12	2,6	?	957,3	?
17		?	2,5	?	?	4986
18	Кислород	24	?	?	?	1495,8
19		8	2,4	?	581,7	?
20		?	1,4	3374	?	?
21		12	3,2	38392	?	?
22	Гелий	4	?	?	548,5	?
23		8	2,6	20608,8	?	?
24		?	2,5	?	?	6226,2
25		15	?	?	155,8	?
26	Закись азота	?	3	?	?	2243,7
27		11	?	2490,2	?	?
28		4,4	1,6	?	?	553,45

Задача 7.3. Газ массой m, находивш под давлением p_1 и занимавший объем V_1, изотермически расширился пмпературе T таким образом, что его давление уменьшилось в n раз. Рабсовершенная газом при расширении, равна A. Найти неизвестные величингласно номеру задания в таблице.

Номер задания	Газ	m, г	p_1, П	V_1, м^3	T, К	n	A, Дж
1		2,477	$2{,}5\cdot10^5$	$7\cdot10^{-3}$	?	?	822,5
2	Гелий	0,714	$1{,}15\cdot10^5$	?	310	1,35	?
3		0,023	?	$1{,}2\cdot10^{-3}$	200	?	8,4
4		?	$1{,}8\cdot10^5$	$2{,}2\cdot10^{-2}$	370	1,5	?
5	Углекислый	43,32	$3\cdot10^5$	$1{,}8\cdot10^{-2}$	?	?	4948
6	газ	15,16	$1{,}4\cdot10^5$	?	400	?	706,6
7		1,76	?	$2\cdot10^{-3}$	230	1,8	?
8		?	$2\cdot10^5$	$1{,}2\cdot10^{-2}$	350	1,25	?
9		6,42	$1{,}25\cdot10^5$	$4\cdot10^{-3}$	?	1,75	?
10	Кислород	34,45	$1{,}7\cdot10^5$	?	380	?	892
11		21,88	?	$1{,}25\cdot10^{-2}$	330	1,4	?
12		?	$9\cdot10^3$	$1{,}5\cdot10^{-3}$	210	?	10,64
13		1,18	$7{,}5\cdot10^3$	$7{,}5\cdot10^{-3}$	?	2,0	?
14	Аргон	4,17	$1{,}3\cdot10^5$	?	300	1,45	?
15		5,35	?	$3{,}5\cdot10^{-3}$	315	?	63,8
16		?	$8\cdot10^4$	$1{,}6\cdot10^{-2}$	250	?	716,3
17		0,0212	10^4	$2{,}2\cdot10^{-3}$	?	?	8,92
18	Водород	0,226	$2\cdot10^5$	?	320	1,3	?
19		0,866	?	$4{,}5\cdot10^{-3}$	375	?	301,25
20		?	$6\cdot10^4$	$3\cdot10^{-3}$	260	1,55	?
21		9,63	$4\cdot10^4$	$2\cdot10^{-2}$	?	?	545,5
22	Азот	2,76	10^5	?	305	?	92,9
23		3,57	?	$1{,}8\cdot10^{-3}$	340	1,2	?
24		?	$2{,}5\cdot10^4$	$1{,}2\cdot10^{-2}$	220	1,7	?
25		2,91	$1{,}5\cdot10^5$	$2{,}5\cdot10^{-3}$	?	1,6	?
26	Неон	1,42	$1{,}6\cdot10^5$	?	325	?	57,62
27		1,6	?	$8\cdot10^{-3}$	240	2,2	?
28		?	$2{,}5\cdot10^5$	$1{,}5\cdot10^{-2}$	360	?	1643,5

Задача 7.4. Газ, молекулы которого содержат n атомов, занимает объем V_1 и находится под давлением p_1. При подводе количества теплоты, равного Q, газ расширился при постоянном давлении до объема V_2, а затем его давление возросло до p_2 при неизменном объеме. Внутренняя энергия газа изменилась при этом на ΔU, газ совершил работу, равную A. Найти неизвестные величины.

Номер задания	n	V_1, м^3	p_1, Па	V_2, м^3	p_2, Па	Q, Дж	ΔU, Дж	A, Дж
1	?	$4\cdot10^{-2}$	10^4	$6\cdot10^{-2}$	$5\cdot10^4$	?	6500	?
2	1	?	$1{,}2\cdot10^5$	$3\cdot10^{-2}$	$6\cdot10^5$	?	?	2400
3	2	$1{,}5\cdot10^{-3}$	?	$3\cdot10^{-3}$	10^5	?	450	?
4	3	?	$4\cdot10^4$	$7{,}5\cdot10^{-3}$	?	1300	?	100
5	4	?	$8\cdot10^4$	$4{,}5\cdot10^{-2}$	$1{,}5\cdot10^5$	?	16650	?
6	?	$5\cdot10^{-3}$	?	$8\cdot10^{-3}$	$6\cdot10^4$	?	570	60
7	1	$3\cdot10^{-2}$	$5\cdot10^3$	?	$1{,}5\cdot10^4$	?	787,5	?
8	2	$1{,}2\cdot10^{-3}$	$7\cdot10^4$	?	?	1626	?	336
9	3	$2\cdot10^{-3}$	?	$5\cdot10^{-3}$	$2{,}5\cdot10^5$	?	3150	?
10	2	?	$1{,}5\cdot10^4$	$4{,}5\cdot10^{-3}$	?	?	562,5	22,5
11	1	$1{,}5\cdot10^{-2}$	$2\cdot10^5$	$3\cdot10^{-2}$	?	?	9000	?
12	?	$6\cdot10^{-3}$	?	$9\cdot10^{-3}$	10^4	150	?	24
13	3	$1{,}2\cdot10^{-2}$	$5\cdot10^4$	?	$7{,}5\cdot10^4$	?	9000	?
14	?	10^{-3}	?	$2{,}5\cdot10^{-3}$	$4\cdot10^4$	?	225	15
15	4	$7\cdot10^{-3}$	$6\cdot10^3$	10^{-2}	$8\cdot10^3$	?	?	?
16	2	?	10^5	$6\cdot10^{-3}$	?	2150	?	400
17	1	$2{,}5\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^5$	$7{,}5\cdot10^{-3}$	?	?	3937,5	?
18	3	10^{-2}	$3\cdot10^4$	?	?	?	7200	600
19	?	$9\cdot10^{-3}$	$9\cdot10^3$	$2\cdot10^{-2}$	$4{,}5\cdot10^4$	?	2047,5	?
20	?	$5\cdot10^{-2}$	$1{,}5\cdot10^5$	?	$3\cdot10^5$	26250	?	3750
21	4	$2\cdot10^{-2}$	$2\cdot10^4$	$7\cdot10^{-2}$	$6\cdot10^4$	?	?	?
22	2	?	$2{,}5\cdot10^5$	$3\cdot10^{-3}$	$5\cdot10^5$	?	?	500
23	3	$3\cdot10^{-3}$	$8\cdot10^3$	?	$2{,}4\cdot10^4$	?	360	?
24	1	$6\cdot10^{-2}$	?	$9\cdot10^{-2}$	?	10500	?	1500
25	?	$4\cdot10^{-3}$	$9\cdot10^4$	$5\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^5$	?	1920	?
26	2	$2{,}5\cdot10^{-2}$	?	$3\cdot10^{-2}$	?	?	13125	750
27	3	?	$7\cdot10^3$	$4\cdot10^{-2}$	$4\cdot10^4$	?	4380	?
28	1	$8\cdot10^{-3}$	$6\cdot10^4$	10^{-2}	?	750	?	?

Задача 7.5. Газ, молекулы которого имеют число степеней свободы, равное i, адиабатически расширяется так, что его объем увеличивается в n раз, а температура уменьшается на ΔT. Начальная температура газа равна T_1. Найти неизвестные величины.

Номер задания	i	n	T_1, К	ΔT, К
1	?	1,4	377	47,5
2	5	?	435	65
3	3	2,25	?	201
4	6	2,7	348	?
5	?	1,1	426	26,25
6	6	?	298,5	78,5
7	3	1,75	?	158,25
8	5	2,3	335	?
9	?	1,5	343	43,3
10	3	?	460	170,2
11	6	2,4	?	78
12	5	1,3	355,4	?
13	?	2,6	472,7	222,7
14	3	?	452	62,5
15	6	1,2	?	22,6
16	5	3,0	310,4	?
17	?	1,25	370	31,6
18	6	?	415	34,75
19	3	2,8	?	207
20	5	1,6	362	?
21	?	2,0	327,6	67,6
22	6	?	354	44,75
23	5	2,75	?	100,5
24	3	1,7	500	?
25	?	2,5	346,25	106,25
26	5	?	408	28,7
27	6	1,8	?	69,4
28	3	2,2	475	?

Задача 7.6. Газ массой m и температурой T_1 адиабатически расширился, увеличив объем в n_1 раз. Температура газа уменьшилась до T_2, затем при изотермическом сжатии объем газа уменьшился в n_2 раз. Полная работа, совершенная при этом газом, равна A. Найти неизвестные величины.

Номер задания	Газ	m, г	T_1, К	T_2, К	n_2	A, Дж
1		?	?	2 280	1,8	5356,6
2	Водород	6	360	? 329,25	?	1134,2
3		4	341	1 ?	1,4	?
4		8	?	2 240	?	3441
5		10	416	? 220	2,0	?
6	Аргон	?	394,2	1 ?	1,2	510
7		30	?	1 324,3	1,3	?
8		?	384	? 340	1,5	–298,6
9	Углекислый	22	340,6	1, ?	?	283,66
10	газ	?	?	2, 230	3,0	85,84
11		5,5	395,4	? 305	?	62,1
12		8,8	320	1, ?	1,25	?
13		16	?	3, 200	?	385,34
14	Кислород	4	360,7	? 250	2,4	?
15		?	356	2, ?	2,2	11,53
16		8	?	1, 300	1,5	?
17		?	457,6	? 220	2,6	2429,6
18	Гелий	2	316,2	1, ?	?	13,5
19		?	?	2, 260,6	3,6	–39,14
20		4	397	? 250,1	?	–233,2
21		11	358	1, ?	1,8	?
22	Закись азота	5,5	?	2, 210	?	77,025
23		22	360	? 314,5	1,6	?
24		?	315	2, ?	2,1	322,85
25		7	?	1, 290	2,0	?
26	Азот	?	366	? 320	1,5	–61,28
27		28	293	2, ?	?	547,78
28		?	?	1, 330	1,35	–16,17

Задача 7.7. Работа изотермического расширения некоторого газа массой m от объема V_1 до объема $V_2 = nV_1$ равна A. Средняя квадратичная скорость молекул газа при этой температуре равна $v_{кв}$. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	m, г	n	A, Дж	$v_{кв}$, м/с
1	?	2,1	1855	500
2	25	?	2288	560
3	9	2,9	?	440
4	20	1,5	731	?
5	?	1,7	325	350
6	8	?	249,1	480
7	32	2,2	?	425
8	12	1,3	212,5	?
9	?	2,5	1270,6	400
10	24	?	2658,6	550
11	5	1,4	?	340
12	28	2,8	1695	?
13	?	1,2	123	450
14	30	?	898,3	360
15	14	2,3	?	600
16	6	1,8	294	?
17	?	2,0	977,8	460
18	7	?	115	520
19	15	1,6	?	380
20	34	3,0	1525	?
21	?	1,9	547,7	320
22	35	?	3596	580
23	16	2,6	?	540
24	22	1,1	111,8	?
25	?	2,7	3014	510
26	26	?	1205,4	420
27	10	1,3	?	300
28	18	2,4	758,5	?

Задача 7.8. Средняя квадратичная скорость молекул газа, плотность которого при давлении p равна ρ, составляет $\overline{v}_{кв}$, средняя арифметическая скорость молекул при этом равна v, а их наиболее вероятная скорость — $v_в$. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	p, Па	ρ, кг/м^3	$\overline{v}_{кв}$, м/с	$\overline{v}$, м/с	$v_в$, м/с
1	?	1,5	632,5	?	?
2	$6\cdot10^3$	?	?	874	?
3	?	0,8	?	?	500
4	$1,5\cdot10^5$	?	567	?	?
5	?	1,3	?	484,8	?
6	$5\cdot10^3$	?	?	?	500
7	?	0,42	756	?	?
8	$9\cdot10^4$	?	?	504,6	?
9	?	2,2	?	?	476,7
10	$5\cdot10^4$	?	866	?	?
11	?	0,03	?	824	?
12	10^5	?	?	?	365
13	?	0,75	447,2	?	?
14	$8\cdot10^4$	?	?	638,3	?
15	?	1,4	?	?	462,9
16	$4\cdot10^3$	?	1095,4	?	?
17	?	1,6	?	399	?
18	$2,5\cdot10^5$	?	?	?	408,25
19	?	2,8	567	?	?
20	$8\cdot10^3$	?	?	713,65	?
21	?	0,008	?	?	1000
22	$2\cdot10^5$	?	500	?	?
23	?	0,055	?	481	?
24	10^4	?	?	?	378
25	?	0,6	632,5	?	?
26	$3\cdot10^5$	?	?	552,8	?
27	?	1,8	?	?	471,4
28	$2\cdot10^4$	?	387,3	?	?

Задача 7.9. Молекулы газа при температуре T и давлении p испытывают в среднем $\bar{z}$ соударений в секунду. Средняя длина свободного пробега молекул газа при этих условиях равна $\bar{\lambda}$. Найти неизвестные величины, выполнить дополнительное задание.

Номер задания	Газ	T, К	p, Па	$\bar{z}$, 10^{10} с$^{-1}$	$\bar{\lambda}$, нм	Построить график зависимости
1	Азот	250	10^5	?	?	$\bar{\lambda} = f(T)$ при p = const
2		300		?	?	
3		350		?	?	
4		400		?	?	
5	Аргон	300	?	0,55	?	$\bar{\lambda} = f(p)$ при T = const
6			?	1,1	?	
7			?	1,66	?	
8			?	2,2	?	
9	Водород	?	10^5	?	188	$\bar{z} = f(T)$ при p = const
10		?		?	199,6	
11		?		?	211,4	
12		?		?	223	
13	Воздух	270	?	?	116,5	$\bar{z} = f(p)$ при T = const
14			?	?	93,2	
15			?	?	46,6	
16			?	?	23,3	
17	Гелий	?	$3 \cdot 10^5$	1,465	?	$\bar{\lambda} = f(T)$ при p = const
18		?		1,134	?	
19		?		1,79	?	
20		?		1,27	?	
21	Кислород	300	$5 \cdot 10^4$	?	?	$\bar{\lambda} = f(p)$ при T = const
22			10^4	?	?	
23			10^5	?	?	
24			$5 \cdot 10^5$	?	?	
25	Воздух	300	$2 \cdot 10^5$	?	?	$\bar{z} = f(T)$ при p = const
26		400		?	?	
27		500		?	?	
28		600		?	?	

Задача 7.10. Плотность газа ρ_h при температуре t на высоте h составляет η его плотности ρ_0 на уровне моря. Найти неизвестные величины, выполнить дополнительное задание. Для простоты зависимостью температуры от высоты пренебречь и считать ее равной температуре газа на уровне моря. Молярная масса газа равна μ.

Номер задания	Газ	t, °C	h, км	η, %	Построить график зависимости
1	Кислород	−30	?	50	$h_{\eta=50\,\%} = f(t)$
2		−10	?		
3		10	?		
4		30	?		
5	Азот	0	2	?	$\rho_h/\rho_0 = f(h)$
6			4	?	
7			6	?	
8			8	?	
9	Углекислый газ	−30	5	?	$\rho_h/\rho_0 = f(t)$
10		−10		?	
11		10		?	
12		30		?	
13	?	7	4	62,4	$\rho_h/\rho_0 = f(\mu)$
14	?			58,3	
15	?			73,8	
16	?			47,6	
17	Кислород	27	?	50	$h_{\eta=50\,\%} = f(\mu)$
18	Углекислый газ		?		
19	Водород		?		
20	Азот		?		
21	Воздух	−3	?	80	$\rho_h/\rho_0 = f(h)$
22			?	60	
23			?	40	
24			?	20	
25	Пары воды	?	6	59,2	$\rho_h/\rho_0 = f(t)$
26		?		62,7	
27		?		66,5	
28		?		64,7	

ТЕМА 8. ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ

Контрольные вопросы

8.1. Какие процессы называют обратимыми, а какие необратимыми? Что такое круговой процесс (цикл)? Как выглядят циклы тепловых двигателей и холодильных машин? Как определить КПД тепломашины?

8.2. Что представляет собой цикл Карно? Почему изучение этого цикла представляет особый интерес? Как определить КПД цикла Карно? От чего зависит КПД такого цикла?

8.3. На чем основан принцип работы холодильной машины? Что такое холодильный коэффициент? Как он определяется? Как рассчитать КПД цикла холодильной машины? Какие значения могут принимать коэффициенты?

8.4. Сформулируйте второе начало термодинамики. Объясните, что называется энтропией. Чему равно изменение энтропии при переходе газа из одного состояния в другое?

8.5. Чему равно изменение энтропии при переходе вещества из одного агрегатного состояния в другое?

8.6. Что такое термодинамическая вероятность состояния? В чем состоит статистический смысл второго начала термодинамики? Напишите связь изменения энтропии с термодинамическими вероятностями начального и конечного состояний газа.

8.7. Почему законы реальных газов отличаются от законов идеальных газов? Какой газ считается идеальным? Чем обусловлены поправки в законах реальных газов по сравнению с законами идеальных газов?

8.8. Запишите уравнение Ван-дер-Ваальса и сравните уравнением состояния идеального газа. Начертите изотермы Ван-дер-Ваальса и сравните их с экспериментальными и изотермами для идеального газа.

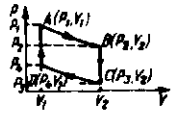
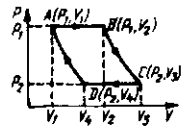
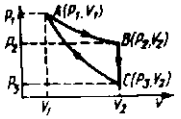
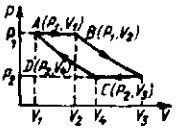
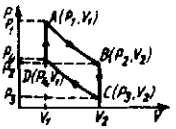
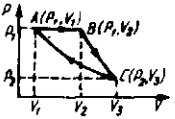
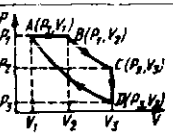
8.9. Чему равна внутренняя энергия реального газа? Чему она отличается от внутренней энергии идеального газа? Как рассчитать работу против сил взаимодействия молекул при переходе реального газа из одного состояния в другое?

8.10. Какое состояние вещества называется критическим? Как определить критические значения термодинамических параметров?

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс физики. М., 1989. Т. 1 (§ 81–89).
2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ 11–11,8, 12.1–12.5).
3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 56–63).

Задача 8.1. Воздух массой 763,16 г, занимающий объем V_1 при давлении p_1, получает от нагревателя количество теплоты 30 кДж и совершает один из показанных в таблице циклов. Найти: КПД η_1 цикла, пользуясь данными, приведенными в таблице; температуры T_{max} и T_{min}, в пределах которых работает тепловая машина; КПД η_2 цикла Карно идеальной паровой машины, работающей между теми же температурами T_{max} и T_{min}.

Номер задания	График цикла		p_1, 10^5 Па	V_1, м^3	p_2, 10^5 Па	V_2, м^3	p_3, 10^5 Па	V_3, м^3
1		*AB*–изотерма	3,0	0,3		0,35	2,0	
2		*BC*–изохора	1,5	0,6		0,8	1,0	
3		*CD*–изотерма	1,0	0,7		0,75	0,75	
4		*DA*–изохора	1,8	0,65		0,75	1,2	
5		*AB*–изобара	1,75	0,45		0,55		0,8
6		*BC*–адиабата	1,5	0,5		0,6		0,75
7		*CD*–изобара	1,9	0,35		0,45		0,6
8		*DA*–адиабата	1,6	0,55		0,7		0,9
9		*AB*–изотерма	1,71	0,35		0,55		
10		*BC*–изохора	2,5	0,4		0,75		
11		*CA*–адиабата	2,0	0,5		0,8		
12			3,0	0,35		0,6		
13		*AB*–изобара	1,4	0,35	1,0			0,8
14		*BC*–изотерма	1,6	0,4	1,3			0,75
15		*CD*–изобара	1,5	0,35	1,1			0,8
16		*DA*–изотерма	1,3	0,45	1,0			0,9
17		*AB*–адиабата	2,0	0,45	1,4		1,0	
18		*BC*–изохора	2,5	0,4	1,5		1,0	
19		*CD*–адиабата	1,8	0,5	1,3		1,0	
20		*DA*–изохора	1,6	0,5	1,2		1,0	
21		*AB*–изобара	1,75	0,4	1,0			
22		*BC*–адиабата	1,8	0,5	1,1			
23		*CA*–изотерма	2,0	0,5	1,2			
24			2,5	0,35	1,5			
25		*AB*–изобара	1,8	0,4		0,5	1,0	
26		*BC*–адиабата	2,0	0,5		0,55	1,0	
27		*CD*–изохора	1,6	0,45		0,6	1,0	
28		*DA*–адиабата	1,5	0,6		0,75	1,0	

Задача 8.2. Газ совершает за цикл Карно работу, равную A. При этом он получает от нагревателя количество теплоты Q_1 при температуре T_1 и отдает холодильнику количество теплоты Q_2 при температуре T_2. КПД такого цикла равен η. Найти неизвестные величины, выполнить дополнительные задания.

Номер задания	A, Дж	Q_1, Дж	Q_2, Дж	T_1, К	T_2, К	Построить график
1	?	1800		?		$\eta = f(T_1)$
2	?	1600	1200	?	300	при T_2 = const
3	?	1400		?		
4	?	2000		?		
5	1925		?		?	$\eta = f(T_2)$
6	1375		?		?	при T_1 = const
7	1100	4400	?	400	?	
8	1650		?		?	
9	900	?		?		
10	540	?	900	?	250	$\eta = f(Q_1)$
11	1260	?		?		при Q_2 = const
12	180	?		?		
13	?		1040		?	
14	?	1400	1200	350	?	$\eta = f(Q_2)$
15	?		1120		?	при Q_1 = const
16	?		960		?	
17	491		?	?		
18	692,3	1800	?	?	200	$\eta = f(T_1)$
19	600		?	?		при T_2 = const
20	771,4		?	?		
21	196	?			?	
22	121,4	?	850	320	?	$\eta = f(T_2)$
23	157,4	?			?	при T_1 = const
24	238	?			?	
25	1150	?		?		
26	400	?	1350	?	270	$\eta = f(Q_1)$
27	900	?		?		при Q_2 = const
28	650	?		?		

Задача 8.3. Идеальная холодильная машина работает по обратному циклу Карно, для чего за один цикл затрачивается работа, равная A. За цикл от холодильника с температурой $t_х$ отводится количество теплоты $Q_х$ и нагретому телу с температурой $t_н$ передается количество теплоты $Q_н$, КПД цикла равен η, холодильный коэффициент – $\eta_х$. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	A, кДж	$t_х$, °С	$t_н$, °С	$Q_х$, кДж	$Q_н$, кДж	η	$\eta_х$
1	?	?	80	270	295	?	?
2	?	−20	?	18	?	?	12,0
3	12	?	35	?	?	0,065	?
4	13,33	0	?	?	?	?	10,5
5	?	−13	?	?	180	0,02	?
6	?	?	23	75	?	?	25
7	4	6	?	?	124	?	?
8	10	−3	?	?	?	0,25	?
9	20	?	67	320	?	?	?
10	?	−23	7	140	?	?	?
11	?	?	12	?	96	0,1	?
12	6	0	?	80	?	?	?
13	?	10	?	112	120	?	?
14	22	−5	20	?	?	?	?
15	?	2	?	?	72	0,08	?
16	15	?	93	?	?	?	16
17	?	?	27	?	320	0,12	?
18	?	7	?	36	?	?	8
19	30	−13	?	?	280	?	?
20	?	52	?	42	48	?	?
21	?	?	22	180	?	?	9
22	8	−10	?	?	?	0,2	?
23	24	−2	?	92	?	?	?
24	?	5	30	200	?	?	?
25	28	17	?	?	?	?	14
26	10	?	33	75	?	?	?
27	?	12	?	64	68	?	?
28	37	−10	17	?	?	?	?

Задача 8.4. К идеальному газу массой m подводится определенное количество теплоты и газ одним из процессов, сопровождающихся изменением температуры от T_1 до T_2 или объема от V_1 до V_2, переводится из состояния *1* в состояние *2*. Изменение энтропии при этом равно ΔS. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	Газ	Изопроцесс	m, г	T_1, К	T_2, К	V_1, м^3	V_2, м^3	ΔS Дж/К
1	H_2		?	300	500			742,9
2	Ar	p = const	36	?	400			12,96
3	N_2		5,6	250	?			6,39
4	CO_2		13,2	400	600			?
5	O_2		?			0,15	0,6	2,88
6	N_2	T = const	14,0			?	0,25	6,687
7	CO_2		5,5			0,1	?	1,86
8	He		10,0			0,02	0,1	?
9	N_2O		?	270	540			8,64
10	Ar	V = const	4,2	?	400			0,538
11	H_2		6,0	225	?			20,97
12	O_2		8,0	320	400			?
13	He		?			0,1	0,4	115,2
14	O_2	p = const	6,4			?	0,5	5,33
15	N_2O		8,8			0,2	?	9,216
16	Kr		12,0			0,15	0,45	?
17	N_2O		?			0,25	1,0	17,28
18	H_2	T = const	5,0			?	1,5	14,4
19	Ar		28,0			0,08	?	9,36
20	O_2		24,0			0,05	0,2	?
21	Kr		?	300	350			0,64
22	N_2O	V = const	11,0	?	350			1,39
23	O_2		12,0	260	?			3,159
24	He		2,0	200	400			?
25	Ne		?	250	500			14,4
26	Kr	p = const	24,0	?	450			1,179
27	H_2		8,0	280	?			47,17
28	H_2O		5,4	400	500			?

Задача 8.5. Найти изменение энтропии при переходе вещества массой m из одного состояния в другое.

Номер задания	Вид перехода	m, кг	t_1, °C	t_2, °C
1	Лед при температуре t_1	1,0	−10	40
2	в воду при температуре t_2	0,5	−20	20
3		2,0	−30	60
4		1,0	−40	80
5	Ртуть при t_1	0,005	200	450
6	в пар при t_2,	0,01	100	500
7	нагреваемый при постоянном	0,001	20	400
8	давлении	0,02	300	550
9	Расплавленный свинец	0,1		20
10	при температуре плавления	0,3		100
11	в твердое вещество при t_2	0,2		300
12		0,5		0
13	Пар при t_1, охлаждаемый	0,1	150	20
14	при постоянном объеме, в воду	0,2	200	40
15	при t_2	0,5	120	60
16		1,0	180	80
17	Олово в твердом состоянии	0,1	20	
18	при t_1 в расплав при темпера-	0,2	0	
19	туре плавления	0,5	100	
20		1,0	200	
21	Спирт при t_1 в пар при темпе-	0,05	0	
22	ратуре кипения	0,1	20	
23		0,01	40	
24		0,2	60	
25	Расплавленный цинк	1,0		300
26	при температуре плавления в	0,8		100
27	твердое вещество при t_2	0,5		0
28		0,2		20

Задача 8.6. N молекул газа переходят из состояния *1* в состояние *2* так, что давление изменяется в n_p раз, объем — в n_V раз и температура в n_T раз. Термодинамическая вероятность состояния увеличивается при этом в n_Ω раз. Найти неизвестную величину согласно номеру задания.

Номер задания	Газ	N	$p_2/p_1=n_p$	$V_2/V_1=n_V$	$T_2/T_1=n_{T2}/\Omega_1=n_{\Omega}$	
1	Двухатомный	?	1,0	1,3		$8\cdot10^{79}$
2		150	?	1,0		$\cdot10^{66}$
3		100	2,5	1,0		
4		300	1,0	?		10^{43}
5	Одноатомный	100	1,0		?	$4\cdot10^{44}$
6		130	1,0		2,0	
7		200	?		1,0	10^{60}
8		?	0,8		1,0	$\cdot10^{48}$
9	Многоатомный	?		3,0	1,0	10^{71}
10		80		1,0	?	$\cdot10^{61}$
11		400		?	1,0	$\cdot10^{81}$
12		180		1,0	1,5	
13	Многоатомный	60	1,0	?		10^{95}
14		150	?	1,0		$\cdot10^{43}$
15		120	1,0	1,5		
16		?	1,3	1,0		$\cdot10^{58}$
17	Одноатомный	240	?		1,0	10^{95}
18		?	1,0		2,2	$3\cdot10^{85}$
19		300	0,5		1,0	
20		200	1,0		?	$\cdot10^{73}$
21	Двухатомный	170		3,5	1,0	
22		?		1,0	1,8	$6\cdot10^{95}$
23		250		?	1,0	$\cdot10^{75}$
24		220		1,0	?	$6\cdot10^{88}$
25	Одноатомный	400	1,0	1,2		
26		?	1,25	1,0		$\cdot10^{56}$
27		200	1,6	1,0		
28		250	1,0	?		$\cdot10^{71}$

Задача 8.7. В сосуде объемом V находится реальный газ массой m при температуре T. Какую часть давления газа составляет давление, обусловленное силами взаимодействия молекул? Какую часть объема сосуда составляет собственный объем молекул?

Номер задания	Газ	V, м^3	m, г	T, К
1				300
2	Гелий	0,04	30	400
3				500
4				600
5				300
6	Кислород	0,025	40	400
7				500
8				600
9				300
10	Пары воды	0,02	15	400
11				500
12				600
13				300
14	Аргон	0,05	25	400
15				500
16				600
17				300
18	Водород	0,01	2	400
19				500
20				600
21				300
22	Углекислый газ	0,03	35	400
23				500
24				600
25				300
26	Азот	0,035	50	400
27				500
28				600

Задача 8.8. Газ массой m занимает объем V при давлении p. Найти относительную ошибку $\delta T = \frac{|T_{реал} - T_{ид}|}{T_{реал}} 100\,\%$ в определении температуры газа, если газ рассматривать как идеальный. Определить, какой температуре идеального газа соответствует определенная Вами погрешность.

Номер задания	Газ	m, кг	V, м^3	p, Па
1				10^5
2	Водород	0,02	0,25	$1{,}5 \cdot 10^5$
3				$2 \cdot 10^5$
4				$3 \cdot 10^5$
5				10^5
6	Гелий	0,01	0,06	$1{,}5 \cdot 10^5$
7				$2 \cdot 10^5$
8				$3 \cdot 10^5$
9				10^5
10	Азот	0,1	0,1	$1{,}5 \cdot 10^5$
11				$2 \cdot 10^5$
12				$3 \cdot 10^5$
13				10^5
14	Кислород	0,5	0,4	$1{,}5 \cdot 10^5$
15				$2 \cdot 10^5$
16				$3 \cdot 10^5$
17				10^5
18	Углекислый газ	0,2	0,1	$1{,}5 \cdot 10^5$
19				$2 \cdot 10^5$
20				$3 \cdot 10^5$
21				10^5
22	Аргон	0,08	0,05	$1{,}5 \cdot 10^5$
23				$2 \cdot 10^5$
24				$3 \cdot 10^5$
25				10^5
26	Пары воды	0,15	0,26	$1{,}5 \cdot 10^5$
27				$2 \cdot 10^5$
28				$3 \cdot 10^5$

Задача 8.9. Газ массой m адиабатически расширяется в пустоту от V_1 до V_2, понижение температуры при этом равно ΔT. Найти неизвестную величину, считая постоянную a, входящую в уравнение Ван-дер-Ваальса, известной.

Номер задания	Газ	m, кг	V_1, м^3	V_2, м^3	ΔT, К
1		?	0,02	0,06	13,64
2	Кислород	0,5	?	0,2	1,535
3		3,0	0,1	?	3,68
4		2,5	0,2	0,7	?
5		?	0,5	1,5	2,18
6	Аргон	0,4	?	0,2	10,365
7		2,0	0,25	?	1,45
8		0,75	0,6	1,5	?
9		?	0,8	2,0	0,373
10	Углекислый газ	1,8	?	5,0	1,8
11		3,5	0,3	?	2,32
12		1,0	0,75	1,5	?
13		?	0,5	2,5	0,3
14	Азот	1,2	?	3,0	2,7
15		1,5	0,2	?	1,05
16		2,0	1,0	2,0	?
17		?	0,4	2,0	0,69
18	Гелий	0,8	?	0,8	2,05
19		0,5	0,5	?	0,062
20		1,4	0,25	1,5	?
21		?	0,136	1,5	1,565
22	Водород	0,8	?	0,5	3,76
23		1,5	0,25	?	2,64
24		0,4	0,06	0,3	?
25	Водяной пар	?	0,01	0,03	8,26
26		0,15	?	0,2	1,4
27		0,2	0,15	?	1,1
28		0,075	0,05	0,15	?

Задача 8.10. Один моль газа в некотором состоянии при температур больше критической $T_к$ в τ раз, занимает объем V, в ω раз больше кр ческого $V_к$, и находится под давлением p, в n раз больше критическог Найти неизвестную величину согласно номеру задания.

Номер задания	ω	τ	n
1	1,6	?	1,2
2	3,7	?	2,0
3	2,2	1,5	?
4	2,5	2	?
5	3,8	?	1,9
6	3,2	?	1,5
7	1,4	1,8	?
8	2,0	3,0	?
9	3,0	?	1,75
10	2,4	?	1,3
11	3,0	3,0	?
12	1,5	2,0	?
13	3,4	?	1,6
14	2,4	?	2,2
15	2,2	2,0	?
16	2,8	3,3	?
17	1,75	?	1,5
18	2,5	?	1,8
19	1,2	2,0	?
20	2,6	1,4	?
21	1,8	?	1,4
22	1,7	?	1,25
23	1,25	1,6	?
24	1,6	1,2	?
25	2,8	?	1,7
26	2,2	?	2,0
27	1,5	1,5	?
28	2,0	2,0	?

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

ТЕМА 9. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В ВАКУУМЕ

Контрольные вопросы

9.1. Какое поле называется электростатическим? Чем подтверждается факт существования поля в какой-либо области пространства? Сформулируйте закон Кулона. Как найти равнодействующую сил, с которой поле, создаваемое несколькими зарядами, действует на пробный заряд?

9.2. Что является условием равновесия точечного заряда? При каких условиях равновесие будет устойчивым?

9.3. Что называется напряженностью электростатического поля? Чему равна циркуляция вектора напряженности электростатического поля? Что можно сказать о поле вектора, циркуляция которого равна нулю? В чем состоит метод суперпозиции полей? Как применить этот метод для расчета напряженности поля, создаваемого системой точечных зарядов и равномерно распределенными зарядами?

9.4. Какая связь существует между силой, действующей на точечный заряд, и его потенциальной энергией в электростатическом поле? Чему равна потенциальная энергия взаимодействия двух точечных зарядов?

9.5. Что называется потенциалом электростатического поля? Чему равна разность потенциалов между двумя точками поля? Какую работу надо совершить, чтобы переместить заряд из точки с одним потенциалом в точку с другим потенциалом?

9.6. Какая связь существует между потенциалом точки и напряженностью электростатического поля в данной точке? Как, зная закон изменения потенциала поля, найти закон изменения его напряженности? Что такое эквипотенциальные поверхности?

9.7. Что называется потоком вектора напряженности электростатического поля? Как рассчитать поток вектора напряженности через заданную поверхность? Сформулируйте теорему Остроградского—Гаусса для электростатического поля в вакууме. Поясните, какая информация о поле вектора следует из того, что поток вектора через любую замкнутую поверхность отличен от нуля. Как применить теорему Остроградского—Гаусса к расчету напряженности поля равномерно заряженных тел: бесконечной плоскости, поверхностно заряженной сферы, бесконечно длинной нити и т.д. Когда для расчета напряженности электростатических полей, создаваемых заряженными телами, следует применять теорему Остроградского—Гаусса, а когда — метод суперпозиции полей?

9.8. Как определить разность потенциалов между двумя точками электростатического поля, если известен закон изменения напряженности этого поля?

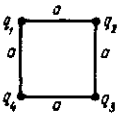
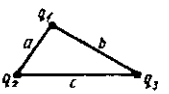
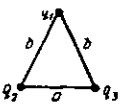
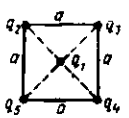
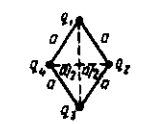
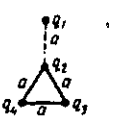
9.9. Чему равна работа по перемещению точечного заряда в электростатическом поле? Когда эта работа положительна, а когда — отрицательна? Какая связь существует между работой по перемещению точечного заряда и изменением его потенциальной энергии? При каких условиях можно найти константу, с точностью до которой определяется потенциальная энергия в данной точке?

9.10. Как, зная закон изменения напряженности электростатического поля, найти величину силы, действующей со стороны поля на пробный точечный заряд, помещенный в данную точку поля? При каком условии перемещающийся в электростатическом поле точечный заряд, на который действует несколько сил, может остановиться?

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс общей физики. М., 1988. Т. 2 (§ 1–14).
2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ 13.1–13.5, 14.1–14.2).
3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 77–86).

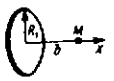
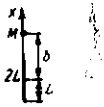
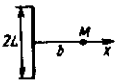
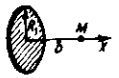
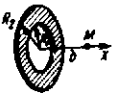
Задача 9.1. Найти силу, с которой на заряд q_1 действует поле, создаваемое всеми остальными зарядами системы, согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	Система зарядов	a, см	b, см	c, см	q_1, 10^{-9} Кл	q_2, 10^{-8} Кл	q_3, 10^{-8} Кл	q_4, 10^{-8} Кл	q_5, 10^{-8} Кл
1		1			+10	+1	+1	+1	
2		1				−1	+1	−1	
3		1				−1	−1	+1	
4		2				−1	+1	+1	
5		3	4	5	+1	+1	+2		
6						+6	−4		
7						−3	−2		
8						−1	+6		
9		2	3		+1	−2	−2		
10						−2	+2		
11						+1	+1		
12						+1	−1		
13		10			+1	+2	−5	−1	−2
14						−1	−1	+1	+1
15						+1	−1	+2	−3
16						−2	+3	−2	+4
17		4			+1	−1	+1	−1	
18						+1	+3	+1	
19						+2	+2	−1	
20						−2	−2	−1	
21		2			+0,1	−1	+1	−1	
22						−1	−3	+1	
23						+1	+1	+1	
24						+1	+2	−1	
25		3			+0,1	+1	−1	−1	
26						+1	+4	−4	
27						+1	+1	+1	
28						−1	−5	+5	

Задача 9.2. Два положительных точечных заряда q_1 и q_2 закреплены на расстоянии l друг от друга. В точке на прямой, проходящей через эти заряды, на расстоянии x от первого заряда помещен третий заряд q_3 так, что он находится в равновесии. Найти неизвестную величину согласно номеру задания. Указать, какой знак должен иметь заряд q_3 для того, чтобы равновесие было устойчивым, если перемещение зарядов возможно только вдоль прямой, проходящей через закрепленные заряды.

Номер задания	q_1, Кл	q_2, Кл	l, м	x, м
1	?	$4\cdot10^{-9}$	0,6	0,2
2	$4,5\cdot10^{-9}$	?	0,5	0,3
3	q_1	$4q_1$	?	0,2
4	$0,25q_2$	q_2	1,0	?
5	?	$8\cdot10^{-9}$	1,2	0,4
6	$9\cdot10^{-8}$	?	0,6	0,3
7	q_1	$2q_1$	?	0,5
8	$0,4q_2$	q_2	2,0	?
9	?	$6\cdot10^{-9}$	0,3	0,2
10	$1,2\cdot10^{-10}$	?	0,9	0,4
11	$0,5q_2$	q_2	?	0,3
12	q_1	$2q_1$	1,0	?
13	?	$7\cdot10^{-9}$	0,5	0,2
14	$1,6\cdot10^{-9}$	?	0,8	0,4
15	q_1	$8q_1$	?	0,1
16	$0,25q_2$	q_2	2,0	?
17	?	$1,2\cdot10^{-10}$	0,8	0,4
18	$8\cdot10^{-9}$	?	0,7	0,2
19	$0,2q_2$	q_2	?	0,1
20	q_1	$4q_1$	1,0	?
21	?	$9\cdot10^{-8}$	0,4	0,1
22	$3,6\cdot10^{-9}$	?	1,0	0,6
23	$0,4q_2$	q_2	?	0,2
24	q_1	$6q_1$	1,0	?
25	?	$1,6\cdot10^{-10}$	0,7	0,3
26	$6\cdot10^{-9}$	?	0,8	0,2
27	q_1	$4q_1$	?	0,4
28	$0,2q_2$	q_2	2,0	?

Задача 9.3. Электростатическое поле создается положительным зарядом q, равномерно распределенным заряженным телу радиусом R_1 (для широкого тонкого кольца мени радиус – R_1, больший – R_2) или длиной $2L$. Найти напряженность полюси, проходящей через центр тела, в точке M, отстоящей от центра на рянии b. Выполнить согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	Найти напряженн электрическо- го поля в точках	q, Кл	R_1, м	R_2, м	L, м	b, м
1 2 3 4	 На перпендику- лярк плоскости тон проволочно- го женного коль- ца	10^{-9}	0,1			0,05 0,10 0,15 0,20
5 6 7 8	 На проходящей вдаряженной ни- ти дой $2L$, вне ни- ти	$5\cdot10^{-10}$			0,1	0,15 0,20 0,25 0,30
9 10 11 12	 В це заряженного прочного полу- ког	10^{-10}	0,05 0,10 0,15 0,20			0
13 14 15 16	 На перпендику- лярк заряжен- ной длиной $2L$	$5\cdot10^{-10}$			0,1	0,05 0,10 0,15 0,20
17 18 19 20	 На перпендику- лярк плоскости тон заряженно- го д	10^{-9}	0,1			0,05 0,10 0,15 0,20
21 22 23 24	 На перпендику- лярк плоскости ши го тонкого зар ного кольца	$3\cdot10^{-10}$	0,05	0,1		0,05 0,10 0,15 0,20
25 26 27 28	 В це поверхност- но женной сферы	10^{-9}	0,05 0,10 0,15 0,20			0

Задача 9.4. Заряженная частица движется со скоростью v. На какое наименьшее расстояние она может приблизиться к ядру атома заданного элемента? Заряд ядер атомов равен Ze, где Z – порядковый номер атома в периодической таблице элементов, e – заряд электрона.

Номер задания	Частица	Элемент	v, м/с
1	Протон	H	$2 \cdot 10^5$
2		Al	$3 \cdot 10^5$
3		Cu	10^6
4		He	$2 \cdot 10^6$
5	α-частица	Al	$5 \cdot 10^5$
6		Cu	10^6
7		He	10^5
8		Zn	$5 \cdot 10^5$
9	Протон	B	$5 \cdot 10^4$
10		Ne	$1{,}5 \cdot 10^5$
11		Li	$1{,}2 \cdot 10^5$
12		C	$3 \cdot 10^5$
13	Протон	Be	10^5
14		Ar	$8 \cdot 10^4$
15		Na	$3 \cdot 10^4$
16		Cl	$2 \cdot 10^4$
17	α-частица	H	$1{,}7 \cdot 10^5$
18		N	$4 \cdot 10^5$
19		C	$2{,}5 \cdot 10^5$
20		Si	$1{,}2 \cdot 10^6$
21	α-частица	Fe	$3 \cdot 10^6$
22		Ca	$8 \cdot 10^5$
23		Hg	$2 \cdot 10^6$
24		Na	$4 \cdot 10^5$
25	Протон	N	$1{,}3 \cdot 10^6$
26		Ag	10^5
27		O	$5 \cdot 10^5$
28		Ca	$6 \cdot 10^5$

Задача 9.5. Электрическое поле образовано двумя параллельными пластинами, находящимися на расстоянии d друг от друга. Разность потенциалов между ними равна $\Delta\varphi$. Заряженная частица, пройдя вдоль силовой линии расстояние Δr, приобретает под действием поля скорость v. Найти неизвестную величину согласно номеру задания.

Номер задания	Частица	d, см	$\Delta\varphi$, В	Δr, см	v, м/с
1		?	100,4	4	$8\cdot10^4$
2	α-частица	1	?	0,8	$4\cdot10^4$
3		10	1570	?	$3\cdot10^5$
4		2	120	1	?
5		?	149	3,5	10^5
6	Протон	18	?	12	$4\cdot10^5$
7		40	5800	?	10^6
8		3	50	2	?
9		?	83,4	1,5	$2\cdot10^6$
10	Электрон	10	?	0,5	$8\cdot10^5$
11		7	332	?	10^7
12		16	410	9	?
13		?	244	3	10^5
14	α-частица	9	?	8	$2\cdot10^5$
15		12	307,5	?	$7\cdot10^4$
16		8	83,7	2,5	?
17		?	44,5	3	$8\cdot10^4$
18	Протон	4	?	0,3	$5\cdot10^4$
19		11	574	?	$3\cdot10^5$
20		6	78,3	4	?
21		?	1290	15	$2\cdot10^7$
22	Электрон	3	?	1,2	$6\cdot10^6$
23		50	4740	?	$4\cdot10^7$
24		13	1344	11	?
25		?	52,7	5	$6\cdot10^4$
26	α-частица	20	?	16	$4\cdot10^5$
27		5	313,8	?	$9\cdot10^4$
28		15	353	10	?

Задача 9.6. В электростатическом поле, образованном системой распределенных зарядов, потенциал электростатического поля φ меняется по известному закону $\varphi = f(x, y, z)$. Найти напряженность поля в точках x_1, y_1, z_1. Охарактеризовать картину эквипотенциальных поверхностей.

Номер задания	Закон изменения $\varphi(x, y, z)$, В	Постоянные		x_1, м	y_1, м	z_1, м
		a	b			
1	$\varphi = \frac{x^2}{b} + \frac{y^2+z^2}{b}$	5 м^2/В	8 м^2/В	1	1	1
2				2	2	2
3				2	0	0
4				0	2	0
5	$\varphi = ax + b$	7 В/м	12 В	1	1	1
6				2	1	2
7				3	2	1
8				4	1	2
9	$\varphi = \frac{1}{a}(x^2 + y^2 + z^2)$	4 м^2/В		2	2	2
10				1	1	1
11				1	0	0
12				1	1	0
13	$\varphi = a - bz$	1В	5 В/м	4	2	0
14				3	1	1
15				2	2	2
16				1	1	3
17	$\varphi = a(x^2 + y^2) + bz^2$	4 В/м^2	3 В/м^2	4	4	1
18				2	2	2
19				2	2	1
20				1	1	1
21	$\varphi = a(x^2 + y^2) - bz^2$	6 В/м^2	2 В/м^2	2	1	2
22				2	2	1
23				1	1	1
24				2	1	3
25	$\varphi = ay - b$	9 В/м	4 В	1	1	1
26				2	2	2
27				1	3	0
28				2	4	1

Задача 9.7. Найти поток вем напряженности электростатического поля, создаваемого двумя равною заряженными телами, через площадку $s = ab$, расположенную на расстои r_1 от центра первого тела и r_2 — от второго тела таким образом, чормаль к площадке составляет угол α с перпендикуляром, проведенным второму телу из центра первого. Считать, что a и b во много раз меньш$_1$ иr_2, т.е. в пределах площадки S поле постоянно.

Номер задания	Первое тело	орое тело	S, см^2	a, град	r_1, м	r_2, м
1	Точечный заряд	Бнечно длинная			0,5	2
2	$q = +5\cdot10^{-9}$ Кл	ни $= -2\cdot10^{-8}$	2	45	1,0	1,5
3		Кл			1,5	1,0
4					2,0	0,5
5	Точечный заряд	Бнечная плос-		0		
6	$q = +10^{-8}$ Кл	кость $= -5\cdot10^{-9}$	4	30	0,5	1,5
7		Кл		45		
8				60		
9	Точечный заряд	Бнечно длин-		0		
10	$q = -4\cdot10^{-8}$ Кл	нилиндрическая	9	30	2,0	1,0
11		тградиусом 2 см		45		
12		$\sigma\cdot10^{-8}$ Кл/м^2		60		
13	Поверхностно	Бнечно длин-	2			
14	заряженная сфе-	нать, $\lambda =$	4	30	3,0	1,5
15	ра радиусом $r =$	$=0^{-10}$	6			
16	$= 3$ см, $\sigma =$	Кл	8			
	$= -10^{-6}$ Кл/м^2					
17	Поверхностно	Бнечная			0,2	0,8
18	заряженная сфе-	пость, $\sigma_2 =$	1	60	0,4	0,6
19	ра радиусом $r =$	$=0^{-7}$ Кл/м^2			0,6	0,4
20	$= 4$ см, $\sigma_1 =$				0,8	0,2
	$= 2\cdot10^{6}$ Кл/м^2					
21	Бесконечно длин-	Бнечная плос-		60		
22	ная нить, $\lambda =$	кость $\sigma = +2\cdot10^{-9}$	3	45	1,5	0,5
23	$= -3\cdot10^{-8}$	К		30		
24	Кл/м			0		
25	Бесконечно длин-	Бнечно длин-	2			
26	ная нить, $\lambda =$	нилиндрическая	3	45	1,0	2,0
27	$= +10^{-7}$ Кл/м	тградиусом 3 см	4			
28		$\sigma\cdot10^{-7}$ Кл/м^2	5			

Задача 9.8. Электрическое поле образовано равномерно заряженным телом с известной линейной λ, поверхностной σ или объемной ρ плотностью заряда. Определить разность потенциалов $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ двух точек поля, расположенных на расстояниях r_1 и r_2 от заряженного тела. Бригадам построить график зависимости разности потенциалов от расстояния между точками $\Delta r = r_2 - r_1'$, приняв за r_1' наименьшее из заданных значений r_1.

Номер задания	Заряженное тело	λ, Кл/м	σ, Кл/м^2	ρ, Кл/м^3	r_1, см	r_2, см
1	Бесконечная плоскость		$+2\cdot10^{-8}$		5	10
2					10	15
3					15	20
4					20	25
5	Бесконечно длинная нить	$+4\cdot10^{-9}$			1	2
6					2	3
7					3	4
8					4	5
9	Поверхностно заряженная сфера радиусом $R = 3$ см		$+6\cdot10^{-8}$		2	4
10					4	6
11					6	8
12					8	10
13	Бесконечно длинная цилиндрическая труба радиусом $R = 5$ см		$+10^{-8}$		10	20
14					20	30
15					30	40
16					40	50
17	Объемно заряженный бесконечно длинный цилиндр радиусом $R = 5$ см			$+3\cdot10^{-7}$	10	20
18					20	30
19					30	40
20					40	50
21	Две параллельные бесконечные разноименно заряженные плоскости (r_1 и r_2 отсчитывать от первой плоскости)		$+5\cdot10^{-8}$		2	4
22					4	6
23					6	8
24					8	10
25	Объемно заряженный шар радиусом $R = 1$ см			$+7\cdot10^{-6}$	1	2
26					2	3
27					3	4
28					4	5

Задача 9.9. Электрическое поле образовано равномерно заряженным телом с известной линейной λ, поверхностной σ или объемной ρ плотностью заряда. Какую работу надо совершить, чтобы переместить пробный точечный положительный заряд q' из точки, отстоящей на расстоянии r_1, в точку на расстоянии r_2 от заряженного тела.

Номер задания	Неподвижное заряженное тело	λ, Кл/м	σ, Кл/м^2	ρ, Кл/м^3	q', Кл	r_1, см	r_2, см
1	Поверхностно заряженная сфера радиусом $R = 10$ см		$+3\cdot10^{-7}$		10^{-9}	25	5
2							15
3							35
4							45
5	Объемно заряженный шар радиусом $R = 10$ см			$+2\cdot10^{-6}$			
6				$+5\cdot10^{-6}$	10^{-9}	20	50
7				$+8\cdot10^{-6}$			
8				$+10^{-5}$			
9	Бесконечно длинная нить					50	
10		$+10^{-6}$			10^{-8}	40	30
11						20	
12						10	
13	Бесконечно длинный объемно заряженный цилиндр радиусом $R = 5$ см						5
14				$+4\cdot10^{-6}$	10^{-8}	15	10
15							20
16							30
17	Точечный заряд $q = -6\cdot10^{-7}$ Кл					10	
18					10^{-10}	8	5
19						6	
20						4	
21	Бесконечно длинная цилиндрическая труба радиусом $R = 2$ см		$+10^{-6}$				
22			$+5\cdot10^{-6}$		10^{-7}	2	6
23			$+10^{-5}$				
24			$+5\cdot10^{-5}$				
25	Две параллельные бесконечные разноименно заряженные плоскости						4
26			$5\cdot10^{-5}$		10^{-8}	2	8
27							12
28							16

Задача 9.10. Электростатическое поле создано положительным зарядом, равномерно распределенным по неподвижно закрепленному телу с линейной λ, поверхностной σ или объемной ρ плотностью заряда. На расстоянии d от заряженного тела помещается маленький шарик массой m, подвешенный на невесомой нити длиной l. Если шарику сообщить положительный заряд q', нить с шариком отклонится на угол α. Найти неизвестную величину согласно номеру задания, считая заряд q' точечным.

Номер задания	Неподвижное заряженное тело	m, г	q', Кл	l, м	d, см	α, град
1	Вертикально расположен-	?	$2\cdot10^{-6}$	1,2	6	10
2	ный бесконечно длинный	50	?	0,8	4	15
3	объемно заряженный ци-	25	10^{-5}	?	5	30
4	линдр, $R = 3$ см; $\rho =$ $= 5\cdot10^{-5}$ Кл/м^3	10	$3\cdot10^{-6}$	0,3	?	20
5	Вертикально расположенная	?	$5\cdot10^{-7}$	0,7	4	20
6	бесконечно длинная цилиндри-	30	?	0,5	5	15
7	ческая труба, $R = 4$ см; $\sigma =$	16	10^{-7}	?	3	10
8	$= 10^{-5}$ Кл/м^2	20	$2\cdot10^{-7}$	1,5	?	5
9	Объемно заряженный шар, на	12	$4\cdot10^{-5}$	1,0	6	25
10	одной горизонтали с центром	35	$2\cdot10^{-5}$	0,6	2	20
11	которого помещается заряд	18	10^{-5}	1,3	8	15
12	q', $R = 4$ см; $\rho = ?$	40	$5\cdot10^{-5}$	0,4	10	10
13	Вертикальная бесконечно про-		$4\cdot10^{-7}$	1,0	4	?
14	тяженная плоскость, $\sigma =$		$4\cdot10^{-7}$	0,5	7	?
15	$= 3{,}16\cdot10^{-6}$ Кл/м^2	20	10^{-7}	0,2	1	?
16			10^{-6}	0,7	9	?
17	Две вертикальные бесконечные	9	?	1,5	12	10
18	разноименно заряженные	18	?	0,8	3	20
19	плоскости (d отсчитывать от	?	$9\cdot10^{-8}$	0,3	4	10
20	положительно заряженной), $\sigma = 2\cdot10^{-6}$ Кл/м^2	?	$3\cdot10^{-7}$	0,9	8	20
21	Поверхностно заряженная сфе	26	?	0,4	2	15
22	ра, на одной горизонтали с	?	10^{-7}	1,1	10	20
23	центром которой помещается	15	?	1,3	5	25
24	заряд q', $R = 8$ см; $\sigma =$ $= 6\cdot10^{-6}$ Кл/м^2	?	$6\cdot10^{-6}$	0,6	1	30
25	Вертикально расположенная	?	$5\cdot10^{-8}$	1,2	14	5
26	бесконечно длинная нить, $\lambda =$	17	?	0,5	6	10
27	$= 10^{-6}$ Кл/м	16	$3\cdot10^{-7}$	?	2	15
28		22	$5\cdot10^{-7}$	0,3	?	20

ТЕМА 10. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЛЕ В ДИЭЛЕКТРИКЕ. ПРОВОДНИКИ В ЭЛЕКТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Контрольные вопросы

10.1. Какие типы диэлектрико знаете? Какие виды поляризации Вам известны? Что называется диполь моментом молекулы? Что такое поляризуемость молекулы? Что называ диэлектрической восприимчивостью вещества? Что показывает относиная диэлектрическая проницаемость вещества? Какая связь существует ду диэлектрической восприимчивостью и относительной диэлектрической ицаемостью диэлектриков?

10.2. Чему равна напряженносоля в диэлектрике? Почему она различна для разных диэлектриков? Чакое поляризованность диэлектрика? Чему равен поток вектора поляринности через любую замкнутую поверхность? Чему равна плотность связих зарядов, появившихся на гранях диэлектрика при поляризации? Что вают вектором электрического смещения?

10.3. Сформулируйте теоремурограднского–Гаусса для электростатического поля в диэлектрике. Поте, какие заряды учитывает теорема Остроградского–Гаусса для электатического поля в вакууме, а какие – для поля в диэлектрике. Какие зат следует учитывать при расчете потока вектора поляризованности через знутую поверхность? На каких зарядах могут начинаться и заканчиватьсяии напряженности электростатического поля, линии электрического смеще линии поляризованности?

10.4. Поясните, какие соотноия выполняются для нормальных и тангенциальных составляющих векторанапряженности электрического поля и электрического смещения на грнраздела двух диэлектриков. Запишите закон преломления линий электричго смещения.

10.5. Каким образом распредется заряды в проводнике? Назовите условия равновесия зарядов в провке. На чем основан метод зеркальных изображений?

10.6. Что называется электрохстью уединенного проводника? Чему равна электроемкость уединенноводящего шара? Чему равна напряженность поля вблизи поверхности пника? Какая связь существует между поверхностной плотностью зарядаводника и электрическим смещением вблизи его поверхности? Чему равнергия уединенного проводника?

10.7. Если два или нескольководников, имеющих различные потенциалы, привести в контакт или сить проводником, при каком условии перераспределение зарядов прекрат? Какая при этом совершится работа?

10.8. Что называется элекикостью конденсатора? Чему равна электроемкость плоского конденса? По какой формуле вычисляют энергию конденсатора? На что расходуэнергия конденсатора при его разряде?

10.9. Чему равна электроемкоолоского конденсатора, если между его обкладками поместить плоскопарлную пластинку из диэлектрика,толщина которой равна расстоянию межкладками конденсатора, а площадь – меньше площади каждой из обкла Как определить электроемкость плоского конденсатора, если часть прсства между обкладками конденсатора занимает плоскопараллельная пласа из диэлектрика, площадь которой рав-

на площади обкладок, а толщина меньше расстоянижду обкладками конденсатора? Какую работу надо совершить, чтобы длительно раздвинуть обкладки конденсатора на некоторое расстояние, если конденсатор отключен от источника напряжения?

10.10. Чему равна общая емкость параллельно соединенных конденсаторов? Как найти общую емкость при последовательном соединении конденсаторов?

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс общей физики. М., 1988. Т. 2 (§ 9).

2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 19 § 15.1–15.5, 16.1–16.3, 17.1–17.3).

3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 87–94).

Задача 10.1. Относительная диэлектрическая проницаемость газа при температуре $T=300$ К и давлении p равна ϵ, поляризуемость молекулы газа при этих условиях – β, дипольный момент молекулы в электрическом поле напряженностью E равен p_i. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	p, Па	ϵ	β, Кл·м^2/В	p_i, Кл·м	E, кВ/м
1	10^5	1,00054	?	?	10
2	?	1,002	?	$2{,}93\cdot10^{-36}$	14
3	$4\cdot10^6$	?	$4{,}14\cdot10^{-29}$	?	5
4	$7\cdot10^5$	1,008	?	$2{,}93\cdot10^{-36}$	?
5	$6\cdot10^6$	?	?	$4{,}58\cdot10^{-36}$	25
6	?	1,015	$3{,}1\cdot10^{-29}$	?	6
7	$4\cdot10^5$	1,003	?	?	12
8	?	1,0008	?	$1{,}32\cdot10^{-36}$	9
9	$4\cdot10^5$	1,006	?	$1{,}32\cdot10^{-35}$	?
10	?	1,01	$2{,}76\cdot10^{-29}$	$1{,}46\cdot10^{-36}$	?
11	$6\cdot10^5$	?	$5{,}52\cdot10^{-29}$	$6{,}84\cdot10^{-36}$	?
12	$7\cdot10^5$	?	$5{,}91\cdot10^{-29}$	?	7
13	$3\cdot10^5$	1,0009	?	$1{,}32\cdot10^{-36}$	?
14	?	1,02	?	$4{,}4\cdot10^{-36}$	18
15	$8\cdot10^5$	?	?	$1{,}03\cdot10^{-35}$	15
16	?	1,005	$4{,}14\cdot10^{-29}$	$7{,}33\cdot10^{-36}$	?
17	$2\cdot10^6$	?	$4{,}14\cdot10^{-29}$	$3{,}66\cdot10^{-36}$	?
18	$2\cdot10^5$	1,0007	?	?	22
19	?	1,025	$2{,}59\cdot10^{-29}$	?	16
20	$9\cdot10^5$	?	?	$7{,}33\cdot10^{-36}$	9
21	$3\cdot10^6$	?	$4{,}83\cdot10^{-29}$	$6{,}41\cdot10^{-36}$	?
22	$5\cdot10^6$	?	$4{,}14\cdot10^{-29}$	?	10
23	$5\cdot10^5$	1,004	?	$2{,}34\cdot10^{-36}$	?
24	?	1,0072	$4{,}97\cdot10^{-29}$	$5{,}72\cdot10^{-36}$	?
25	$4\cdot10^6$	?	?	$1{,}19\cdot10^{-35}$	26
26	?	1,001	?	$1{,}95\cdot10^{-36}$	16
27	?	1,03	$2{,}76\cdot10^{-29}$	?	8
28	10^6	1,009	?	?	20

Задача 10.2. В однородное электрическое поле напряженностью E_0 помещена бесконечная плоскопараллельная пластина из однородного и изотропного диэлектрика с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ. Грани пластины перпендикулярны E_0. Напряженность поля внутри диэлектрика равна E, электрическое смещение — D, поляризованность диэлектрика — P. Поверхностная плотность связанных зарядов на гранях диэлектрика равна σ'. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	E_0, В/м	ϵ	E, В/м	D, Кл/м^2	P, Кл/м^2	σ', Кл/м^2
1	100	2	?	?	?	?
2	?	2,6	120	?	?	?
3	?	?	?	$1{,}24\cdot10^{-9}$	?	$8{,}85\cdot10^{-10}$
4	?	?	80	?	$2{,}2\cdot10^{-9}$	?
5	?	3,0	?	?	$7{,}965\cdot10^{-10}$	?
6	126	?	45	?	?	?
7	?	2,2	?	$1{,}56\cdot10^{-9}$	?	?
8	204	?	?	?	$1{,}275\cdot10^{-9}$	?
9	?	?	35	$1{,}36\cdot10^{-9}$	?	?
10	?	4,0	?	?	?	$6{,}64\cdot10^{-10}$
11	?	3,6	?	$2{,}39\cdot10^{-9}$	?	?
12	?	?	60	?	?	$7{,}08\cdot10^{-10}$
13	?	?	?	$1{,}06\cdot10^{-9}$	$6{,}195\cdot10^{-10}$	?
14	430	?	?	?	?	$2{,}92\cdot10^{-9}$
15	180	6	?	?	?	?
16	?	3,4	80	?	?	?
17	?	?	?	$7{,}43\cdot10^{-10}$	?	$4{,}78\cdot10^{-10}$
18	?	?	40	?	$1{,}06\cdot10^{-9}$	?
19	?	3,5	?	?	$9{,}29\cdot10^{-10}$	?
20	266	?	70	?	?	?
21	?	4,2	?	$1{,}3\cdot10^{-9}$	?	?
22	297	?	?	?	$1{,}655\cdot10^{-9}$	?
23	?	?	90	$2{,}55\cdot10^{-9}$	?	?
24	?	2,5	?	?	?	$9{,}3\cdot10^{-10}$
25	?	4,2	30	?	?	?
26	?	?	50	?	?	$7{,}08\cdot10^{-10}$
27	?	?	?	$1{,}17\cdot10^{-9}$	$8{,}14\cdot10^{-10}$	?
28	540	?	?	?	?	$3{,}72\cdot10^{-9}$

Задача 10.3. Одно или два тела (бесконечно длинные нити и цилиндры, бесконечно протяженные поверхности, ы), равномерно заряженные с линейной λ или поверхностной σ плотностью зарядов, создают электростатическое поле в двух диэлектриках с диэленескими проницаемостями ϵ_1 и ϵ_2. Определить напряженности поля в то, находящихся соответственно на расстояниях R_1 и R_2 (от центра сфе и цилиндров, нити, плоскости) в первом и во втором диэлектриках.

Номер задания	Система тел	ϵ_1	ϵ_2	r_1, см	r_2, см	R_1, см	R_2, см
1	Длинная заряженная нить (λ=			2		1,8	2,2
2	$=+4\cdot10^{-10}$ Кл/м) по оси цилин-	1	2,6	1,5		1	2
3	дрического отверстия радиусом			6		4	6,5
4	r_1 в длинном бруске из диэлект			1		0,5	1,3
	ка						
5	Поверхностно заряженный (σ=			1,5	4	2	5
6	$=+5\cdot10^{-8}$ Кл/м^2) шарик радиусо	1	6	1	2,5	1,5	3
7	r_1 в центре заполненной жидкос			2	3,5	3	4
8	сферической полости радиусом			0,5	2	1	3
	в диэлектрике						
9	Бесконечно протяженная заряж	1	6			5	5
10	ная плоскость ($\sigma = +2\cdot10^{-9}$ Кл/м	1	4,5			2	20
11	с различными диэлектриками п	2,6	7			10	4
12	разные стороны от нее	2,6	1			15	3
13	Длинная поверхностно заряжен			0,8	1,8	1	2
14	ная трубка ($\sigma = +10^{-8}$ Кл/м^2)	1	6	1,5	2,2	1,6	2,5
15	диусом r_1 вдоль оси толстостен			1,2	1,7	1,5	2,0
16	ной диэлектрической трубы с			2,0	2,9	2,4	3,0
	внутренним радиусом r_2						
17	Две бесконечные разноименно	1	4	5	3	3	7
18	заряженные плоскости (σ =	6	1	2	8	1	6
19	$= 6\cdot10^{-9}$ Кл/м^2) с двухслойным	2,6	6	3	4	2	5
20	диэлектриком между ними с	1	2,6	6	6	4	10
	толщиной слоев r_1 и r_2						
21	Две поверхностно заряженные		2	2	4	1	3
22	($\sigma = 8\cdot10^{-9}$ Кл/м^2) концентри-		2,6	7	9	5	8
23	ческие металлические сферы ра	1	5	5	8	3	7
24	диусами r_1 и r_2 с диэлектри-		6	3	6	2	4
	ком между ними						
25	Два поверхностно заряженных		2	3	4	2	3,5
26	($\sigma = 2\cdot10^{-8}$ Кл/м^2) коаксиаль	1	2,6	1	3	0,5	2
27	ных бесконечно длинных ци-		5	2	5	1	4
28	линдра радиусами r_1 и r_2 с		6	4	6	3	5
	диэлектриком между ними						

Задача 10.4. На границе раздела двух диэлектриков вектор электрического смещения $\mathbf{D}_1$ в первом диэлектрике составляет угол α_1 с нормалью к границе раздела, а вектор электрического смещения $\mathbf{D}_2$ во втором диэлектрике – угол α_2 с нормалью к границе раздела. Отношение диэлектрических проницаемостей первого и второго диэлектриков равно ϵ_1/ϵ_2. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	D_1, Кл/м^2	D_2, Кл/м^2	α_1, град	α_2, град	ϵ_1/ϵ_2
1	?	$2\cdot10^{-9}$	?	30	0,33
2	$4\cdot10^{-8}$	?	60	?	2
3	?	$4\cdot10^{-8}$	53	24	?
4	$3\cdot10^{-9}$	?	?	5	6,3
5	?	$2\cdot10^{-8}$	15	?	0,5
6	$4\cdot10^{-9}$	?	26	10	?
7	?	$5\cdot10^{-9}$	?	25	4,6
8	$6\cdot10^{-9}$	?	75	?	3,5
9	?	$8\cdot10^{-9}$	60	16	?
10	$3\cdot10^{-9}$	?	?	9	7
11	?	$8\cdot10^{-10}$	50	?	2,6
12	$2\cdot10^{-8}$	?	54	40	?
13	?	$3\cdot10^{-9}$	?	5	6,5
14	$9\cdot10^{-10}$	?	12	?	0,25
15	?	$5\cdot10^{-9}$	70	36	?
16	10^{-8}	?	?	12	2
17	?	$9\cdot10^{-10}$	40	?	12
18	$7\cdot10^{-9}$	?	66	18	?
19	?	$6\cdot10^{-9}$	?	32	0,2
20	$5\cdot10^{-8}$	?	30	?	4,3
21	?	$3\cdot10^{-8}$	10	34	?
22	$8\cdot10^{-10}$	?	?	55	0,13
23	?	$7\cdot10^{-9}$	45	?	2,5
24	$5\cdot10^{-9}$	?	58	28	?
25	?	$9\cdot10^{-9}$	?	10	4
26	$2\cdot10^{-9}$	?	45	?	2,3
27	?	$4\cdot10^{-9}$	28	4	?
28	$7\cdot10^{-10}$	?	?	15	6

Задача 10.5. Заряженное физическое тело, обладающее зарядом q, линейной плотностью заряда λ или электрическим моментом p, находится на расстоянии l от заземленной бесконечной металлической плоскости. Сила взаимодействия физического тела с плоскостью равна F (для бесконечно длинной нити – это сила, действующая на единицу длины нити). Определить неизвестную величину согласно номеру задания. Бригадам дополнительно построить указанные графики.

Номер задания	Заряженное тело	q, Кл	λ, Кл/м	p, Кл·м	l, м	F, Н	Построить график
1	Точечный заряд	$2\cdot10^{-8}$			0,2	?	$F=f(l)$
2					0,4	?	
3					0,6	?	
4					0,8	?	
5	Бесконечно длинная нить, параллельная плоскости		?			$3{,}24\cdot10^{-3}$	$F=f(\lambda)$
6			?		0,25	$3{,}6\cdot10^{-6}$	
7			?			$2{,}3\cdot10^{-4}$	
8			?			$1{,}3\cdot10^{-4}$	
9	Точечный диполь с электрическим моментом p, перпендикулярным к плоскости			?		$4{,}17\cdot10^{-3}$	$F=f(p)$
10				?	0,3	$1{,}67\cdot10^{-4}$	
11				?		$6\cdot10^{-7}$	
12				?		$2\cdot10^{-5}$	
13	Точечный заряд	$5\cdot10^{-8}$			?	$5{,}625\cdot10^{-4}$	$F=f(l)$
14					?	$9\cdot10^{-5}$	
15					?	$1{,}15\cdot10^{-5}$	
16					?	$2{,}25\cdot10^{-5}$	
17	Бесконечно длинная нить, параллельная плоскости		$3\cdot10^{-8}$		0,3	?	$F=f(l)$
18					0,5	?	
19					0,4	?	
20					0,2	?	
21	Точечный диполь с электрическим моментом p, перпендикулярным к плоскости				?	$3{,}11\cdot10^{-5}$	$F=f(l)$
22				$6\cdot10^{-9}$	?	$2{,}4\cdot10^{-4}$	
23					?	$4{,}75\cdot10^{-6}$	
24					?	$1{,}5\cdot10^{-5}$	
25	Точечный заряд	?				$9\cdot10^{-5}$	$F=f(q)$
26		?			0,3	$2{,}5\cdot10^{-6}$	
27		?				$6{,}25\cdot10^{-5}$	
28		?				10^{-5}	

Задача 10.6. Металлический шар радиусом r, окруженный диэлектриком с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ, обладает зарядом q, распределенным равномерно с поверхностной плотностью σ. Потенциал шара равен φ, емкость — C, энергия — W. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	r, см	ϵ	q, Кл	σ, Кл/м^2	φ, В	C, пФ	W, Дж
1	8	2,6	$5\cdot10^{-8}$	?	?	?	?
2	?	4,05	?	$1,5\cdot10^{-6}$	?	45	?
3	?	6,3	$8\cdot10^{-7}$	?	?	60	?
4	?	81	?	?	1600	?	$9\cdot10^{-4}$
5	10	3,5	?	$7\cdot10^{-7}$	?	?	?
6	5	?	$3\cdot10^{-8}$	?	1800	?	?
7	?	?	?	$3\cdot10^{-6}$	2300	?	$3\cdot10^{-5}$
8	6	?	$2\cdot10^{-7}$	?	?	70	?
9	4	?	?	?	?	20	$6\cdot10^{-5}$
10	7	?	?	?	1500	?	$2\cdot10^{-5}$
11	?	4,5	?	?	2100	34	?
12	?	?	$9\cdot10^{-8}$	$8\cdot10^{-6}$	?	?	$5\cdot10^{-4}$
13	?	2,4	10^{-7}	?	?	?	$3\cdot10^{-4}$
14	20	?	$4\cdot10^{-7}$	?	?	?	$2\cdot10^{-3}$
15	11	?	?	$5\cdot10^{-6}$	?	120	?
16	?	6,5	$8\cdot10^{-8}$	?	2200	?	?
17	?	?	?	$9\cdot10^{-7}$	1700	25	?
18	9	?	?	$2\cdot10^{-6}$	?	?	$4\cdot10^{-4}$
19	8	?	?	?	2400	50	?
20	?	?	$7\cdot10^{-8}$	10^{-6}	?	42	?
21	?	?	$9\cdot10^{-8}$	$7\cdot10^{-7}$	2000	?	?
22	?	6,0	?	?	?	30	$8\cdot10^{-5}$
23	12	?	?	$6\cdot10^{-7}$	1400	?	?
24	10	?	$5\cdot10^{-8}$	?	?	55	?
25	?	7,0	$3\cdot10^{-7}$	10^{-5}	?	?	?
26	?	?	?	$4\cdot10^{-6}$	?	40	$7\cdot10^{-5}$
27	3	2,2	?	?	2500	?	?
28	?	3,4	?	$8\cdot10^{-7}$	1900	?	?

Задача 10.7. Два уединенных металлических шарика радиусами r_1 и r_2 соединены проволочкой, емкостью которой можно пренебречь. Заряд первого шарика до разряда равен q_1, потенциал второго – φ_2. Выполнить задание согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	r_1, см	r_2, см	q_1, Кл	φ_2, кВ	Определить
1	3	2	10^{-8}	9,0	Потенциал первого шарика до разряда
2	2	1	$5\cdot10^{-9}$	3,6	
3	4	2	$2\cdot10^{-8}$	4,5	
4	2	5	$6\cdot10^{-9}$	7,2	
5	3	2	10^{-8}	9,0	Заряд второго шарика до разряда
6	2	1	$5\cdot10^{-9}$	3,6	
7	4	2	$2\cdot10^{-8}$	4,5	
8	2	5	$6\cdot10^{-9}$	7,2	
9	3	2	10^{-8}	9,0	Заряд и потенциал первого шарика после разряда
10	2	1	$5\cdot10^{-9}$	3,6	
11	4	2	$2\cdot10^{-8}$	4,5	
12	2	5	$6\cdot10^{-9}$	7,2	
13	3	2	10^{-8}	9,0	Заряд и потенциал второго шарика после разряда
14	2	1	$5\cdot10^{-9}$	3,6	
15	4	2	$2\cdot10^{-8}$	4,5	
16	2	5	$6\cdot10^{-9}$	7,2	
17	3	2	10^{-8}	9,0	Энергию каждого шарика до разряда
18	2	1	$5\cdot10^{-9}$	3,6	
19	4	2	$2\cdot10^{-8}$	4,5	
20	2	5	$6\cdot10^{-9}$	7,2	
21	3	2	10^{-8}	9,0	Энергию соединенных проводником шариков
22	2	1	$5\cdot10^{-9}$	3,6	
23	4	2	$2\cdot10^{-8}$	4,5	
24	2	5	$6\cdot10^{-9}$	7,2	
25	3	2	10^{-8}	9,0	Работу разряда
26	2	1	$5\cdot10^{-9}$	3,6	
27	4	2	$2\cdot10^{-8}$	4,5	
28	2	5	$6\cdot10^{-9}$	7,2	

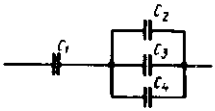
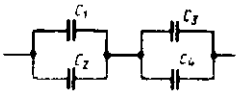
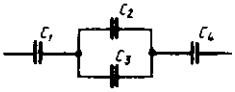
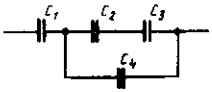
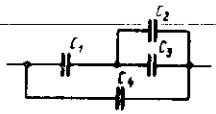
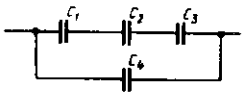
Задача 10.8. Площадь пластин плоского воздушного конденсатора — S, расстояние между ними — d. К пластинам приложена разность потенциалов U. При разряде такого конденсатора выделяется количество теплоты, равное Q. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	S, см^2	d, мм	U, В	Q, Дж
1	?	1,3	100	$3{,}4\cdot10^{-8}$
2	50	?	300	$2{,}5\cdot10^{-6}$
3	12	1,0	?	$1{,}04\cdot10^{-7}$
4	28	4,5	290	?
5	?	6,0	300	$1{,}77\cdot10^{-8}$
6	4	?	120	$1{,}5\cdot10^{-8}$
7	24	5,5	?	$1{,}3\cdot10^{-7}$
8	10	0,7	150	?
9	?	1,2	250	$8{,}85\cdot10^{-7}$
10	15	?	190	$1{,}2\cdot10^{-7}$
11	7	0,6	?	$1{,}86\cdot10^{-8}$
12	26	5,0	240	?
13	?	4,0	400	$4{,}425\cdot10^{-7}$
14	8	?	75	$1{,}66\cdot10^{-8}$
15	35	2,2	?	$5{,}13\cdot10^{-7}$
16	20	0,9	160	?
17	?	2,0	220	$1{,}6\cdot10^{-7}$
18	5	?	80	$5{,}66\cdot10^{-9}$
19	30	3,5	?	$8{,}53\cdot10^{-8}$
20	**14**	1,1	**130**	?
21	?	6,0	180	$2{,}15\cdot10^{-8}$
22	25	?	200	$1{,}475\cdot10^{-7}$
23	9	0,8	?	$6\cdot10^{-8}$
24	16	1,4	230	?
25	?	7,0	150	$1{,}71\cdot10^{-8}$
26	18	?	70	$2{,}6\cdot10^{-8}$
27	6	0,5	?	$4{,}3\cdot10^{-8}$
28	22	3,0	210	?

Задача 10.9. Между обкладками плоского конденсатора с площадью пластин S и расстоянием между ними d_1 находится пластинка диэлектрика, относительная диэлектрическая проницаемость которой ϵ, целиком заполняющая пространство между пластинами. Конденсатор зарядили до разности потенциалов U и отключили от источника напряжения. После этого, для того чтобы раздвинуть пластины конденсатора до расстояния d_2, требуется совершить работу, равную A. Найти неизвестную величину.

Номер задания	S, см^2	d_1, см	ϵ	U, В	d_2, см	A, Дж
1	?	0,1	2,6	100	0,7	$9\cdot10^{-6}$
2	30	1,1	?	80	1,8	$1,5\cdot10^{-7}$
3	140	1,7	2,2	?	3,0	$1,94\cdot10^{-7}$
4	90	0,8	4,0	140	?	$1,56\cdot10^{-6}$
5	200	1,0	2,0	120	1,5	?
6	?	2,0	3,6	190	3,0	$6,7\cdot10^{-7}$
7	240	1,6	?	210	2,2	$1,75\cdot10^{-6}$
8	50	0,3	2,5	?	0,9	$3\cdot10^{-6}$
9	150	1,8	7,3	200	?	$3\cdot10^{-6}$
10	400	0,2	6,0	120	0,8	?
11	?	0,9	2,3	150	1,6	$4,55\cdot10^{-7}$
12	60	1,2	?	90	2,0	$4,3\cdot10^{-7}$
13	20	0,5	3,5	?	1,0	$1,4\cdot10^{-7}$
14	210	0,9	7,0	220	?	$5,7\cdot10^{-5}$
15	160	0,4	6,0	180	0,8	?
16	?	1,0	2,4	110	2,0	$2,5\cdot10^{-7}$
17	100	1,5	?	160	2,5	$2\cdot10^{-7}$
18	300	1,6	2,8	?	3,0	$1,1\cdot10^{-6}$
19	40	1,3	5,5	70	?	$9,3\cdot10^{-8}$
20	250	0,5	2,0	100	1,5	?
21	?	0,1	4,5	230	1,0	$8,5\cdot10^{-4}$
22	70	1,4	?	130	2,0	$1,25\cdot10^{-7}$
23	180	0,6	3,0	?	1,3	$6,75\cdot10^{-6}$
24	110	1,7	2,2	170	?	$2,12\cdot10^{-7}$
25	400	0,2	5,0	150	1,2	?
26	?	0,8	6,3	220	1,8	$2\cdot10^{-5}$
27	130	1,4	?	180	2,5	$1,35\cdot10^{-6}$
28	80	0,7	2,3	?	1,5	$3\cdot10^{-7}$

Задача 10.10. Найти общую емкость соединенных конденсаторов согласно номеру задания.

Номер задания	Схема соединения	C_1, пФ	C_2, пФ	C_3, пФ	C_4, пФ
1		10	20	20	40
2		10	10	20	20
3		10	20	10	20
4		20	20	10	40
5		200	100	20	50
6		20	50	200	100
7		100	20	50	200
8		50	200	100	20
9		20	20	40	40
10		20	40	20	40
11		10	20	20	40
12		10	40	20	20
13		10	20	20	40
14		10	40	20	20
15		20	40	10	20
16		20	40	10	50
17		50	40	20	10
18		10	50	40	20
19		40	20	10	50
20		20	10	50	40
21		20	20	40	40
22		40	40	20	20
23		40	20	20	40
24		20	40	40	20
25		40	10	50	20
26		10	20	40	50
27		50	40	20	10
28		20	50	10	40

⟨А 11. ДВИЖУЩИЙСЯ ЗАРЯД В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

тральные вопросы

11.1. Чему равна сила, действующая на заряд в электростатическом поле? ⟨ она направлена? Как определить скорость, которую приобретает заря-⟨ая частица под действием этой силы?

11.2. Что такое электродвижущая сила цепи или участка цепи? Как тродвижущая сила связана с напряженностью поля сторонних сил? Что на-⟨ется падением напряжения (напряжением) на данном участке цепи? В ка-⟨ случае напряжение совпадает с разностью потенциалов? Как определить ⟨ость, которую приобретает заряженная частица под действием ускоряю-разности потенциалов?

11.3. Что называется силой тока? Как она связана с зарядом, переноси-⟨ через поверхность? Что называется вектором плотности тока?

11.4. Сформулируйте закон Ома для неоднородного участка цепи, для ⟨нутой цепи. Как в электрическую цепь подключают амперметр? Как ⟨но расширить пределы измерения амперметра? Как подсоединяют вольт-⟨? Можно ли расширить пределы измерения вольтметра и как? Можно ли ⟨метром измерить силу тока, а амперметром — падение напряжения? ⟨ля этого нужно сделать? Как рассчитать цену деления этих приборов?

11.5. На каких участках замкнутой цепи, содержащей последовательно и ⟨лельно соединенные участки, будут одинаковыми сила тока, падение ⟨жения? Запишите закон Ома для этих участков цепи.

11.6. Сформулируйте закон Джоуля—Ленца. Как количество теплоты, вы-⟨мое в проводнике, связано с работой источника тока? Чему равен коэф-⟨сент полезного действия нагревательного прибора?

11.7. При каком значении внешнего сопротивления ток во внешней цепи ⟨имален? При каком внешнем сопротивлении максимальной будет полез-⟨ощность? Как рассчитать максимальные значения этих величин?

11.8. Как сопротивление металла зависит от температуры? Какую зави-⟨сть сопротивления от температуры дает классическая теория электропро-⟨вости металлов? В чем состоят затруднения классической теории электро-⟨водности металлов?

11.9. Сформулируйте закон Ома в дифференциальной форме. Что назы-⟨вя коэффициентом электропроводности (проводимостью) среды? Как ⟨фициент электропроводности связан с удельным сопротивлением? Чему ⟨р плотность тока в ионизированных газах?

11.10. Что называется подвижностью носителей заряда? Почему в ионизи-⟨рных газах подвижность отрицательных носителей может на несколько ⟨ков превышать подвижность положительных носителей заряда?

ЛЕРАТУРА

И.В. Савельев. Курс общей физики. М., 1988. Т. 2 (§ 31–38, 73. 80–87).

А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. Курс физики. М., 1989 (§ 18.1–18.4, 19.1–19.3., 20.9)

Т.И. Трофимова. Курс физики. М., 1985 (§ 95–102, 107–109).

Задача 11.1. Заряженная частица влетает в плоский конденсатор с горизонтально расположенными пластинами параллельно его пластинам со скоростью v_x. Напряженность поля в конденсаторе – E, длина пластин конденсатора – l. Частица вылетает из конденсатора с некоторой скоростью v, отклонившись от горизонтального направления на угол α. Найти искомые величины согласно номеру задания.

Номер задания	Движущаяся частица	v_x, м/с	E, В/м	l, м	v, м/с	α, град
1		10^7	10^4	0,05	?	?
2	Электрон	10^7	10^4	?	?	30
3		?	10^3	?	10^6	45
4		?	?	0,1	10^6	60
5		10^6	$5 \cdot 10^4$	0,1	?	?
6	Протон	10^6	$5 \cdot 10^4$	?	?	60
7		?	10^4	?	10^5	30
8		?	?	0,1	10^5	45
9		10^7	10^4	0,05	?	?
10	Позитрон	10^7	10^4	?	?	45
11		?	100	?	10^6	60
12		?	?	0,1	10^7	30
13		10^6	500	0,1	?	?
14		10^6	500	?	?	45
15	Электрон	?	100	?	10^6	60
16		?	?	0,1	10^6	30
17		10^5	10^4	0,05	?	?
18	Протон	10^5	10^3	?	?	30
19		?	10^3	?	10^5	45
20		?	?	0,1	10^6	60
21		10^6	500	0,1	?	?
22	Позитрон	10^6	500	?	?	60
23		?	100	?	10^6	30
24		?	?	0,1	10^6	45
25		10^5	10^4	0,1	?	?
26	α-частица	10^5	10^4	?	?	30
27		?	10^4	?	10^5	45
28		?	?	0,1	10^5	60

Задача 11.2. В электронно-лучевой трубке пучок электронов, ускоренных разностью потенциалов U, при прохождении через незаряженный горизонтальный плоский конденсатор параллельно его пластинам дает светящееся пятно на экране осциллографа, расположенном на расстоянии L от конца конденсатора. При зарядке конденсатора пятно на экране смещается на величину y. Разность потенциалов, приложенная к пластинам конденсатора, равна U_1, длина пластин конденсатора – l, расстояние между пластинами – d. Найти неизвестную величину.

Номер задания	U, В	L, м	y, м	U_1, В	l, м	d, м
1	?	0,1	0,02	200	0,04	0,03
2	320	0,1	0,03	80	0,04	?
3	400	0,16	?	100	0,08	0,04
4	300	0,12	0,03	?	0,06	0,014
5	240	0,12	?	80	0,04	0,02
6	600	0,125	0,03	120	0,05	?
7	?	0,2	0,03	150	0,01	0,025
8	400	0,15	0,045	?	0,06	0,03
9	240	0,13	?	80	0,06	0,02
10	200	0,1	0,04	?	0,04	0,02
11	?	0,125	0,06	120	0,05	0,015
12	240	0,09	0,015	100	0,06	?
13	?	0,15	0,05	300	0,02	0,03
14	450	0,125	0,035	150	0,03	?
15	300	0,12	?	60	0,04	0,02
16	250	0,2	0,03	?	0,05	0,01
17	360	0,13	?	120	0,06	0,04
18	300	0,17	0,03	90	0,06	?
19	?	0,1	0,05	100	0,04	0,02
20	450	0,175	0,04	?	0,05	0,01
21	210	0,15	?	70	0,06	0,03
22	300	0,1	0,023	?	0,03	0,01
23	?	0,16	0,03	90	0,08	0,04
24	600	0,1	0,02	120	0,04	?
25	?	0,17	0,04	80	0,06	0,02
26	480	0,13	0,05	100	0,06	?
27	360	0,13	?	120	0,04	0,01
28	150	0,1	0,025	?	0,05	0,03

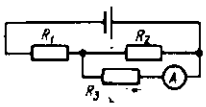
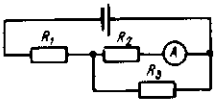
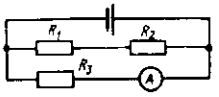
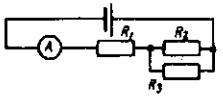
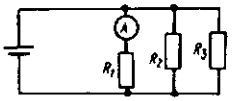
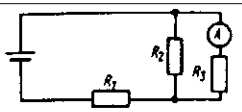
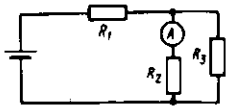
Задача 11.3. Сила тока i в проводнике изменяется со временем по закону $i = f(t)$. Какое количество электричества проходит через поперечное сечение проводника за время от t_1 до t_2? При какой силе постоянного тока I через поперечное сечение проводника за это же время проходит такое же количество электричества? Построить график зависимости $q = f(t)$.

Номер задания	$i = f(t)$, А	t_1, с	t_2, с
1	$i = 4 + 2t$	1	2
2		1	3
3		1	4
4		1	5
5	$i = 3t^2 + 1$	0	2
6		0	3
7		0	4
8		0	5
9	$i = t + 3t^2$	2	3
10		2	4
11		2	5
12		2	6
13	$i = 2 + 6t$	1	2
14		1	3
15		1	4
16		1	5
17	$i = 5 + t$	0	2
18		0	3
19		0	4
20		0	5
21	$i = 2t + 3t^2$	1	2
22		1	3
23		1	4
24		1	5
25	$i = 3 + 4t$	2	3
26		2	4
27		2	5
28		2	6

дача 11.4. Имеется измерительный прибор с внутренним сопротивлени , предназначенный для измерения тока или напряжения, шкала которого елена на n делений. Какое сопротивление надо взять и как его подклю - читобы можно было производить необходимые измерения, если известны прьно допустимые ток $I_{пр}$ или напряжение $U_{пр}$? Определить цену деле- нипользуемого прибора.

Но зан	Что необходимо измерить	Какой прибор имеется	r, Ом	n	$I_{пр}$, мА	$U_{пр}$, В
	Силу тока до 100 мА	Амперметр	0,18	100	10	
			0,2	75	15	
			0,1	150	15	
			0,1	50	10	
	Разность потенциалов до 75 В	Вольтметр	2000	150		30
			1000	75		15
			3000	100		50
			1500	50		15
	Разность потенциалов до 300 В	Амперметр	0,5	150	2,5	
			0,4	30	5	
			0,3	50	2	
			0,2	75	1,5	
	Силу тока до 150 мА	Амперметр	5	75	20	
			4	50	50	
			3	25	75	
			2	100	5	
	Силу тока до 75 мА	Амперметр	0,2	25	5	
			0,1	50	10	
			0,2	75	15	
			0,1	15	20	
	Разность потенциалов до 1000 В	Вольтметр	1000	50		100
			2000	100		500
			3000	25		50
			4000	150		25
	Разность потенциалов до 150 В	Амперметр	2	30	5	
			3	75	2	
			4	15	1	
			5	50	15	

Задача 11.5. Определить силу тока, показываемую амперметром в схеме. Напряжение на зажимах элемента в замкнутой цепи равно U. Сопротивления R_1, R_2, R_3 известны. Сопротивлением амперметра пренебречь.

Номер задания	Схема	U, В	R_1, Ом	R_2, Ом	R_3, Ом
1		2,1	5	6	3
2		3,0	7	2	3
3		4,2	6	4	6
4		2,8	3	4	9
5		4,0	4	8	12
6		12,0	10	6	8
7		20,0	8	7	6
8		8,0	12	10	8
9		5,0	7	3	8
10		10,0	14	5	6
11		2,5	8	5	12
12		2,0	6	4	10
13		4,0	4	8	12
14		2,5	6	3	9
15		1,2	8	2	6
16		3,6	4	5	10
17		12,0	2	4	8
18		20,0	6	8	10
19		8,0	8	6	4
20		6,0	12	5	10
21		2,2	4	2	6
22		3,6	6	10	4
23		4,8	10	8	12
24		6,0	14	6	8
25		4,0	6	4	10
26		6,2	8	6	4
27		10,0	10	4	8
28		8,4	12	10	6

Задача 11.6. Для нагревания воды массой m от температуры t_1 до кипения нагреватель потребляет W электрической энергии. КПД нагревателя равен η. Найти неизвестную величину.

Номер задания	m, кг	t_1, °С	W, кДж	η, %
1	?	30	1257	80
2	2,2	?	921,8	58
3	2,38	23	?	77
4	2	20	838	?
5	?	20	900	74,5
6	1,8	?	754,2	67
7	3,58	45	?	55
8	3	40	1250	?
9	?	25	1400	78,6
10	1,6	?	670,4	83
11	3,58	28	?	72
12	2,5	30	1047,5	?
13	?	42	1676	58
14	1,25	?	523,75	66
15	2,86	22	?	78
16	1,8	25	754,2	?
17	?	22	1257	78
18	2,3	?	963,7	81
19	2,34	26	?	74
20	1,5	0	1047,5	?
21	?	32	502,8	68
22	1,5	?	628,5	79
23	1,98	18	?	82
24	2	10	1676	?
25	?	27	712,3	73
26	0,8	?	335,2	84
27	1,43	10	?	60
28	0,5	12	419	?

Задача 11.7. Элемент, ЭДС которого ϵ и внутреннее сопротивление r, дает максимальную силу тока I_{max}. Максимальная полезная мощность, которую можно получить от этого элемента, равна P_{max}. Найти неизвестные величины по двум известным согласно номеру задания.

Номер задания	ϵ, В	r, Ом	I_{max}, А	P_{max}, Вт
1	6	?	3	?
2	4	2	?	?
3	?	2	4	?
4	4	?	?	2
5	?	2	?	8
6	10	?	2	?
7	?	?	4	6
8	2	5	?	?
9	4	?	?	2
10	?	1	4	?
11	6	3	?	?
12	?	?	2	3
13	6	2	?	?
14	?	?	6	4,5
15	8	?	4	?
16	?	2	?	4,5
17	4	?	1	?
18	8	4	?	?
19	?	3	12	?
20	6	?	?	12
21	?	3	?	3
22	6	?	3	?
23	?	?	4	2
24	10	2	?	?
25	?	4	?	1
26	?	?	3	4,5
27	?	2	8	?
28	6	?	?	9

Задача 11.8. Реостат из проволоки с сопротивлением при $t = 0\ ^\circ C$ равным R_0, миллиамперметр с внутренним сопротивлением R_A и генератор тока, сопротивлением которого можно пренебречь, включены последовательно. При $0\ ^\circ C$ миллиамперметр показывает ток, равный I_0. Если реостат нагреется на Δt, миллиамперметр покажет ток I_1. Температурный коэффициент сопротивления проволоки реостата равен α. Найти неизвестную величину.

Номер задания	R_0, Ом	R_A, Ом	I_0, мА	Δt, К	I_1, мА	α, 1/К
1	?	5	10	100	9,2	$5 \cdot 10^{-3}$
2	100	?	31	80	22	$6 \cdot 10^{-3}$
3	120	20	?	50	20	$6 \cdot 10^{-3}$
4	80	4	102	?	95	$7 \cdot 10^{-3}$
5	80	5	25	60	?	$5 \cdot 10^{-3}$
6	120	8	83	16,4	76	?
7	?	4	132	40	120	$6 \cdot 10^{-3}$
8	60	?	20	80	18	$2 \cdot 10^{-3}$
9	90	2	?	50	102	$7 \cdot 10^{-3}$
10	80	6	84	?	75	$2 \cdot 10^{-3}$
11	120	20	22	50	?	$6 \cdot 10^{-3}$
12	60	10	58	40	51	?
13	?	12	36	100	31	$5 \cdot 10^{-3}$
14	80	?	59	70	42	$6 \cdot 10^{-3}$
15	75	10	?	50	78	$2 \cdot 10^{-3}$
16	150	20	44	?	39	$5 \cdot 10^{-3}$
17	130	10	120	80	?	$2 \cdot 10^{-3}$
18	80	3	52	31,4	44	?
19	?	25	28	100	22	$5 \cdot 10^{-3}$
20	90	?	53	30	46	$6 \cdot 10^{-3}$
21	80	2	?	40	39	$3 \cdot 10^{-3}$
22	60	4	68	?	61	$2 \cdot 10^{-3}$
23	20	0,5	12	80	?	$4 \cdot 10^{-3}$
24	120	10	39	59,25	32	?
25	?	18	21	50	17	$6 \cdot 10^{-3}$
26	40	?	103	60	94	$2 \cdot 10^{-3}$
27	120	10	?	70	112	$3 \cdot 10^{-3}$
28	90	6	41	?	34	$5 \cdot 10^{-3}$

Задача 11.9. Трубка длиной l с газ ионизированным так, что в 1 см^3 находится n пар ионов, обладает соивлением R. Ионы одновалентны. Подвижность положительных ионов ра u_+, отрицательных – u_-. Поперечное сечение трубки – S. Найти неизвестнеличину согласно номеру задания.

Номер задания	l, м	S, мм^2	n, 10^7см$^{-3}$	R, 10м	u_+, 10^{-4}м^2/(Вс)	u_-, 10^{-4}м^2/(Вс)
1	?	5	2	2	2,1	2,9
2	0,6	?	3	1	0,7	1,3
3	0,48	4	?	3	1,8	2,2
4	0,84	5	1	?	1,3	1,8
5	?	2	4	1	1,1	1,9
6	0,9	?	3	1	0,9	1,1
7	0,8	10	?	2	1,7	2,3
8	1,2	4	20	?	0,1	0,19
9	?	5	1	4	1,8	2,2
10	1,2	?	4	1	0,9	2,1
11	1,8	2	?	3	0,7	1,3
12	0,6	3	2	?	1,1	1,9
13	?	4	1	2	2,1	2,9
14	1,2	?	3	1	1,8	2,2
15	0,8	2	?	0	0,6	1,4
16	1,6	10	4	?	0,8	1,2
17	?	4	2	1	1,3	1,7
18	0,8	?	1	2	1,6	2,4
19	1,2	2	?	0	0,9	1,1
20	0,9	3	1	?	1,3	1,7
21	?	5	2	1	1,9	2,1
22	0,6	?	2	1	0,7	1,3
23	0,8	4	?	1	0,8	1,2
24	1,2	10	3	?	1,2	2,8
25	?	3	1	2	1,1	1,9
26	0,9	?	3	1	0,9	1,1
27	0,8	4	?	5	0,6	1,4
28	1,0	5	2	?	2,3	2,7

Задача 0. К электродам разрядной трубки приложена разность потенциалов U. Расстояние между электродами – d. Газ, находящийся в трубке, однократно ионизирован и число пар ионов в 1 м^3 равно n, причем подвижность положительных ионов равна u_+, а отрицательных – u_-. Найти: а) плотность тока в трубке; б) какая часть полного тока (в процентах) переносится положительными ионами.

Номер задания	U, В	d, м	n, м$^{-3}$	u_+, м^2/(В·с)	u_-, м^2/(В·с)
1	50	0,1	10^8	0,03	300
2	100	0,15	$2\cdot10^8$	0,03	60
3	150	0,2	$4\cdot10^8$	0,06	30
4	200	0,25	$3\cdot10^8$	0,06	60
5	200	0,1	$4\cdot10^9$	0,01	50
6	400	0,15	$2\cdot10^9$	0,02	80
7	600	0,2	$3\cdot10^9$	0,015	100
8	800	0,25	10^8	0,03	30
9	700	0,1	10^8	0,006	5
10	800	0,2	10^9	0,008	8
11	900	0,3	10^{10}	0,01	12
12	1000	0,4	10^{11}	0,005	14
13	50	0,05	$2\cdot10^{10}$	0,015	450
14	100	0,1	$3\cdot10^{10}$	0,012	600
15	150	0,3	$5\cdot10^{10}$	0,04	80
16	200	0,2	10^{10}	0,01	500
17	2500	0,4	$2\cdot10^{11}$	0,008	4
18	2000	0,3	$4\cdot10^{11}$	0,006	6
19	1500	0,2	$6\cdot10^{11}$	0,012	8
20	1000	0,1	$8\cdot10^{11}$	0,015	10
21	450	0,05	10^{12}	0,002	0,1
22	300	0,06	$2\cdot10^{12}$	0,003	0,2
23	200	0,08	$4\cdot10^{12}$	0,003	0,3
24	450	0,09	$5\cdot10^{12}$	0,002	0,4
25	1000	0,12	10^{12}	0,002	0,1
26	1200	0,15	10^{11}	0,008	1,0
27	1400	0,18	10^{10}	0,03	10
28	1600	0,2	10^9	0,05	100

Контрольные вопросы

12.1. Что называется индукцией магнитного поля в данной точке? Что такое собственный магнитный момент контура с током? Какое направление имеет собственный магнитный момент контура с током? Как проводят линии магнитной индукции?

12.2. Сформулируйте и поясните закон Био–Савара–Лапласа. Как применить этот закон к расчету индукции магнитного поля, создаваемого бесконечно длинным проводником с током? Какой вид имеют линии магнитной индукции в данном случае? Как определить в данной точке направление вектора индукции магнитного поля, создаваемого прямолинейным проводником с током?

12.3. Как рассчитать индукцию магнитного поля, создаваемого полубесконечным прямолинейным проводником с током и прямолинейным проводником с током конечной длины?

12.4. Как применить закон Био–Савара–Лапласа к расчету индукции магнитного поля на оси кругового тока? Как определить направление магнитной индукции на оси кругового тока? Какой вид имеют линии магнитной индукции в этом случае?

12.5. Как рассчитать индукцию магнитного поля в точке, через которую проходят оси нескольких круговых токов?

12.6. Сформулируйте принцип суперпозиции полей. Поясните, каким образом, используя этот принцип, можно рассчитать индукцию магнитного поля, создаваемого линейными токами различных конфигураций?

12.7. Запишите и сформулируйте закон полного тока для магнитного поля в вакууме. Что можно сказать о поле вектора, циркуляция которого не равна нулю?

12.8. Как применить закон полного тока к расчету индукции магнитного поля длинного соленоида и тороида? Чему равна индукция магнитного поля длинного соленоида и тороида? Что называют числом ампер-витков? Сколько витков можно намотать на единицу длины соленоида, если витки плотно прилегают друг к другу? Для чего приходится наматывать несколько слоев обмотки?

12.9. Как применить закон полного тока для магнитного поля в вакууме для расчета симметричных магнитных полей?

12.10. Если магнитное поле не является симметричным, а токи, порождающие его, не являются линейными, как можно рассчитать индукцию магнитного поля в заданных точках? Как применить в этом случае принцип суперпозиции полей?

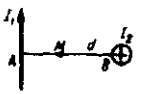
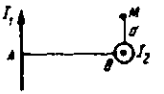
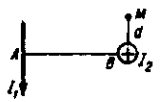
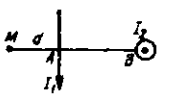
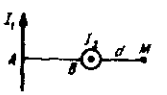
ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс общей физики. М., 1988. Т. 2 (§ 39–45).
2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ 21.1–21.3., 22.1–22.3).
3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 110–113).

Задача 12.1. Замкнутый круговой контур радиусом R, по которому течет ток I, помещен в магнитное поле индукцией B так, что нормаль к контуру образует с направлением поля угол α. При этом на контур действует момент сил M. Найти неизвестную величину согласно номеру задания.

Номер задания	R, см	I, А	B, Тл	M, Н·м	α, град
1	?	2,0	2,5	$3{,}14\cdot10^{-3}$	30
2	3,4	?	2,8	$7{,}1\cdot10^{-2}$	45
3	1,8	1,2	?	$4{,}33\cdot10^{-3}$	60
4	2,0	0,15	0,5	?	30
5	3,6	3,5	2,53	$1{,}8\cdot10^{-2}$	?
6	?	6,37	5,0	$8{,}66\cdot10^{-3}$	60
7	2,2	?	2,2	$7{,}07\cdot10^{-3}$	45
8	2,8	2,4	?	$1{,}2\cdot10^{-2}$	30
9	1,5	2	1,2	?	45
10	3,8	2,3	4,025	$2{,}1\cdot10^{-2}$	?
11	?	1,5	1,98	$4{,}2\cdot10^{-3}$	30
12	4,2	?	4,5	$8{,}66\cdot10^{-3}$	60
13	3,2	5,18	?	$4{,}33\cdot10^{-3}$	60
14	2,5	1,4	2,2	?	30
15	2,2	4,47	1,415	$6{,}8\cdot10^{-3}$	?
16	?	3,1	1,27	$1{,}4\cdot10^{-2}$	45
17	2,3	?	6,0	$1{,}73\cdot10^{-2}$	60
18	1,6	6,2	?	$1{,}41\cdot10^{-2}$	45
19	4,5	0,6	3,2	?	30
20	3,0	1,8	1,1	$4{,}9\cdot10^{-3}$	?
21	?	3,31	0,4	$5{,}2\cdot10^{-3}$	30
22	4,2	?	0,8	$1{,}41\cdot10^{-2}$	45
23	3,3	2,9	?	$1{,}73\cdot10^{-2}$	60
24	1,5	3,2	2,6	?	30
25	1,3	2,0	3,91	$3{,}6\cdot10^{-3}$	?
26	?	2,83	0,2	$3{,}14\cdot10^{-3}$	45
27	3,5	?	1,3	$8{,}66\cdot10^{-3}$	60
28	2,6	4,33	?	$9{,}2\cdot10^{-3}$	30

Задача 12.2. Два прямолинейных бесконечно длинных проводника расположены перпендикулярно друг к другу. Направления токов I_1 и I_2 в проводниках указаны на рисунках. Расстояние AB между проводниками известно. Найти индукцию магнитного поля в точке M, отстоящей на расстоянии d от одного из проводников.

Номер задания	Направления токов	AB, см	d, см	I_1, А	I_2, А
1		20	12	3,1	3,8
2		10	2	0,895	0,45
3		8	3	2,24	2,68
4		7	2	2,5	2,83
5		6	3	4,25	2,12
6		25	8	5,6	3,58
7		5	2	7,07	2,83
8		4	3	1,265	1,16
9		7	5	1,21	1,22
10		8	6	1,96	1,9
11		9	4	4,41	2,53
12		12	9	1,7	2,38
13		8	3	1,34	2,46
14		7	4	3,1	5,04
15		11	9	0,57	0,98
16		3	5	3,16	2,4
17		5	6	1,9	2,7
18		13	7	3,96	2,83
19		6	2	5,3	11,3
20		14	1	0,9	6,7
21		12	8	3,2	7,0
22		7	3	10,0	5,2
23		6	4	3,75	2,83
24		10	2	0,54	0,18
25		12	6	3,6	3,8
26		8	2	11,3	5,3
27		9	5	2,7	3,16
28		6	8	4,25	5,66

Задача 12.3. Ток I проходит по длинному проводнику, согнутому под углом α. Индукция поля в точке, лежащей на биссектрисе этого угла и отстоящей от вершины угла на расстоянии l, равна B. Найти искомую величину согласно номеру задания.

Номер задания	I, А	l, см	B, Тл	α, град
1	?	1,5	$1{,}052\cdot10^{-4}$	60
2	1,8	?	$2{,}82\cdot10^{-5}$	120
3	1,3	4,8	?	90
4	1,5	17,07	$4{,}23\cdot10^{-6}$	?
5	?	1,0	$4{,}23\cdot10^{-4}$	120
6	3,0	?	$2{,}631\cdot10^{-5}$	60
7	2,0	34,1	?	90
8	2,5	9,33	$1{,}41\cdot10^{-5}$	?
9	?	18,0	$1{,}41\cdot10^{-5}$	120
10	8,0	?	$2{,}4\cdot10^{-5}$	90
11	1,25	5,26	?	60
12	0,6	5,12	$5{,}64\cdot10^{-4}$	?
13	?	6,4	$3\cdot10^{-5}$	90
14	0,5	?	$1{,}5\cdot10^{-5}$	120
15	2,4	12,0	?	60
16	1,5	4,5	$1{,}41\cdot10^{-5}$	?
17	?	4,75	$5{,}26\cdot10^{-5}$	60
18	2,8	?	$8{,}46\cdot10^{-5}$	120
19	0,5	14,1	?	90
20	4,5	18,66	$1{,}27\cdot10^{-5}$	?
21	?	9,0	$7{,}05\cdot10^{-5}$	120
22	1,5	?	$1{,}6\cdot10^{-5}$	90
23	2,0	10,52	?	60
24	3,0	15,0	$8{,}46\cdot10^{-6}$	?
25	?	1,5	$4{,}8\cdot10^{-4}$	90
26	1,25	?	$1{,}31\cdot10^{-5}$	60
27	4,2	8,46	?	120
28	0,5	2,82	$1{,}707\cdot10^{-5}$	?

Задача 12.4. Два круговых витка радиусами R_1 и R_2 расположены в параллельных плоскостях на расстоянии l друг от друга. По виткам проходят токи I_1 и I_2. Найти индукцию магнитного поля в точках на оси, проходящей через центры витков от первого ко второму, отстоящих на расстоянии r от первого витка. Построить график зависимости $B = f(r)$.

Номер задания	Направления токов	R_1, м	R_2, м	I_1, А	I_2, А	l, м	r, м
1							0,01
2	Одинаковы	0,2	0,1	2	2	0,05	0,02
3							0,03
4							0,04
5							0,01
6	Противоположны	0,2	0,1	2	2	0,05	0,02
7							0,03
8							0,04
9							0
10	Одинаковы	0,1	0,1	4	2	0,06	0,02
11							0,04
12							0,06
13							0
14	Противоположны	0,1	0,1	4	2	0,06	0,02
15							0,04
16							0,06
17							0
18	Одинаковы	0,2	0,1	2	1	0,15	0,05
19							0,10
20							0,15
21							0
22	Противоположны	0,2	0,1	2	1	0,15	0,05
23							0,10
24							0,15
25							0
26	Противоположны	0,2	0,2	5	5	0,3	0,1
27							0,15
28							0,2

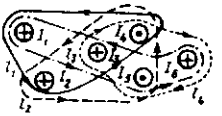
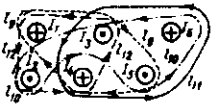
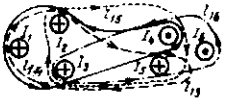
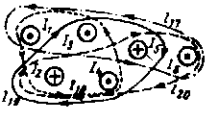
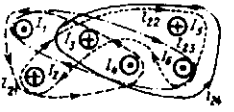
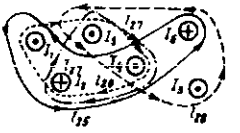
Задача 12.5. Круговых витка радиусом R каждый, по которым проходят токи I_1 и расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях так, что их центрвпадают. Индукция поля в общем центре витков равна B. Найти искомую нину согласно номеру задания.

Номер задания	R	I_1, А	I_2, А	B, Тл
1		1,2	1,6	$3{,}14\cdot10^{-5}$
2		?	1,43	$6{,}28\cdot10^{-5}$
3		2,24	?	$9{,}43\cdot10^{-6}$
4		2,5	1,66	?
5		2,3	1,93	$1{,}89\cdot10^{-4}$
6		?	4,47	$1{,}2\cdot10^{-4}$
7		3,32	?	$4\cdot10^{-5}$
8		3,2	2,4	?
9		3,6	3,47	$6{,}28\cdot10^{-5}$
10		?	2,24	$3{,}14\cdot10^{-5}$
11		6,71	?	$3{,}77\cdot10^{-4}$
12		1,8	0,87	?
13		3,2	2,4	$1{,}26\cdot10^{-4}$
14		?	2,65	$4\cdot10^{-5}$
15		2,83	?	$9{,}43\cdot10^{-6}$
16		2,7	1,31	?
17		4,1	4,38	$6{,}28\cdot10^{-5}$
18		?	3,6	$3{,}5\cdot10^{-5}$
19		3,34	?	$1{,}89\cdot10^{-4}$
20	5	4,5	3,97	?
21		3,5	4,9	$3{,}14\cdot10^{-5}$
22		?	2,24	$1{,}56\cdot10^{-5}$
23		1,73	?	$6\cdot10^{-5}$
24		1,5	2,6	?
25		1,6	2,54	$2{,}09\cdot10^{-5}$
26		?	1,73	$8\cdot10^{-6}$
27		4,0	?	$1{,}26\cdot10^{-4}$
28	57	3,6	4,8	?

Задача 12.6. Линейный проводник, по которому проходит ток I, образует круговой контур радиусом r или жесткий контур в форме правильного многоугольника со стороной l. Найти индукцию магнитного поля в центре контура согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	Форма контура с током	l, см	r, см	I, А
1	 Равносторонний треугольник со стороной l	3		2,2
2		16		3,1
3		21		8,0
4		10,4		2,0
5	 Квадрат со стороной l	5,7		1,8
6		6,3		4,45
7		12		1,66
8		20		0,7
9	 Правильный шестиугольник со стороной l	21,5		2,0
10		18		1,5
11		12		3,0
12		11,5		2,0
13	 Правильный восьмиугольник со стороной l	8,6		1,4
14		9,5		3,0
15		3,2		0,6
16		14		2,5
17	 Проводник длиной l образует петлю радиусом r и прямолинейный участок длиной d	24	3	1,0
18		24	2	1,0
19		30	3	1,0
20		24	2	1,5
21	 Проводник длиной l образует петлю радиусом r и два прямолинейных участка длиной $d/2$	24	3	1,0
22		24	2	1,0
23		30	3	1,0
24		24	2	1,5
25	 Бесконечно длинный проводник образует петлю радиусом r и два взаимно перпендикулярных полубесконечных линейных участка	∞	5	
26			10	1,0
27			15	
28			20	

Задача 12.7. Найти циркуляцию вектора индукции магнитного поля, образованного системой линейных проводников с током, по контурам, указанным на рисунках. (Номер контура l_n совпадает с номером задания.)

Номер задания	Проводники с током и охватывающие их контуры	I_1, А	I_2, А	I_3, А	I_4, А	I_5, А	I_6, А
1		1,1	1,0	2,2	0,3	1,1	0,9
2		0,1	1,4	0,7	1,3	0,2	1,6
3		1,7	2,3	1,2	1,7	1,9	2,7
4		0,6	0,2	2,1	0,9	0,8	0,7
5		1,5	0,7	0,5	1,1	1,0	2,0
6		1,8	1,9	1,8	2,0	2,4	1,7
7		0,3	0,9	0,8	0,1	1,4	2,3
8		1,4	2,2	1,7	1,6	0,5	0,4
9		2,0	1,1	2,4	0,4	0,3	1,2
10		0,7	2,1	1,3	1,0	0,9	2,6
11		2,4	0,1	2,5	2,3	2,5	1,8
12		1,2	1,5	0,2	0,6	1,6	0,6
13		1,9	1,2	2,0	0,8	1,3	1,5
14		0,2	2,6	0,3	2,6	1,8	2,1
15		2,3	0,4	2,5	0,2	1,2	0,1
16		1,6	2,7	1,1	1,4	0,6	1,9
17		0,8	1,7	0,9	2,8	2,5	2,8
18		2,8	0,6	2,6	1,2	0,4	1,0
19		1,0	2,4	0,1	0,7	2,2	0,8
20		2,6	1,6	2,8	2,1	1,7	2,5
21		0,5	2,0	1,5	0,5	1,4	0,3
22		2,2	1,8	1,0	1,2	2,0	2,4
23		1,3	0,3	2,3	1,5	0,1	1,3
24		2,5	2,8	0,6	1,8	2,7	0,5
25		0,9	0,5	2,7	2,5	2,3	1,1
26		2,7	2,5	1,4	0,9	0,7	2,2
27		2,1	1,3	2,0	2,2	2,1	1,4
28		0,4	0,8	1,6	1,9	1,5	0,2

Задача 12.8. Из проволоки диаметром d нужно намотать соленоид, индукция магнитного поля внутри которого должна быть равна B. Предельная сила тока, который можно пропускать по проволоке, равна I. Чтобы обеспечить необходимую индукцию поля, приходится наматывать N слоев обмотки, причем витки должны прилегать плотно друг к другу. Найти искомую величину согласно номеру задания, считая диаметр катушки малым по сравнению с ее длиной.

Номер задания	d, мм	B, Тл	I, А	N
1	?	$6{,}28\cdot10^{-3}$	4,0	3
2	0,4	?	10,0	2
3	0,5	$1{,}2\cdot10^{-2}$	?	4
4	1,57	$1{,}6\cdot10^{-2}$	5,0	?
5	?	$1{,}6\cdot10^{-2}$	4,5	4
6	2,0	?	6,0	5
7	0,8	$3{,}14\cdot10^{-2}$	?	3
8	6,3	$5\cdot10^{-3}$	12,5	?
9	?	$3{,}2\cdot10^{-2}$	8,0	2
10	1,2	?	6,0	4
11	1,57	$5{,}5\cdot10^{-3}$	?	5
12	3,4	$6{,}28\cdot10^{-3}$	5,7	?
13	?	$1{,}57\cdot10^{-2}$	6,5	3
14	2,7	?	8,1	2
15	3,6	$1{,}256\cdot10^{-2}$	?	6
16	0,94	$8\cdot10^{-3}$	3,0	?
17	?	$1{,}7\cdot10^{-2}$	8,5	5
18	2,2	?	11,0	3
19	3,2	$9{,}4\cdot10^{-3}$	?	4
20	4,0	$3{,}14\cdot10^{-3}$	5,0	?
21	?	$4{,}5\cdot10^{-2}$	7,2	5
22	1,8	?	12,0	6
23	1,6	$6{,}28\cdot10^{-3}$	?	2
24	3,14	$8\cdot10^{-3}$	4,0	?
25	?	$5\cdot10^{-2}$	5,5	6
26	2,0	?	6,0	4
27	0,94	$3{,}2\cdot10^{-2}$	?	3
28	0,63	$1{,}5\cdot10^{-2}$	2,5	?

Задача 12.9. Коаьный проводник состоит из внутреннего сплошного цилиндра радиусом и цилиндрической оболочки, внутренний и внешний радиусы которой ра R_2 и R_3 соответственно. По цилиндру и оболочке в противоположных наления проходят равные по величине токи I. Найти индукцию магнит поля на расстоянии r' от оси проводника. Считать, что плотность тока нсит от r и $\mu = 1$.

Номер задания	R_1, см	R_2, см	R_3, см	I, А	r', см
1 2 3 4	5	7,5	10	1	1 2 3 4
5 6 7 8	5	7,5	10	1	5,0 6,0 7,0 7,5
9 10 11 12	5	7,5	10	1	8 8,5 9 10
13 14 15 16	5	Цилиндрическая оболочка отсутствует		1	1 2 3 4
17 18 19 20	5	Цилиндрическая оболочка отсутствует		1	5 7 9 11
21 22 23 24	Внутренни цилиндр о сутствует	7,5	10	1	8,0 8,5 9,0 10
25 26 27 28	Внутренни цилиндр о сутствует	7,5	10	1	12,5 15,0 17,5 20,0

Задача 12.10. По тонкой ленте шириной l, которой придают личную форму, проходит ток I, причем на единицу ширины ленты прихся ток $I_0 = I/l$. Рассчитать индукцию магнитного поля, создаваемого ленттоком, в точках, указанных в задании и отстоящих от ленты на расстоянии

Номер задания	Определить индукцию магнитного поля	l, см	R, см	I	r_0, см
1 2 3 4	В точках плоскости, перпендикулярной к середине тонкой прямой бесконечной ленты ширины l	10 20 30 40		1	15
5 6 7 8	В точках на оси трубки радиусом R, образованной свернутой тонкой лентой шириной l, обтекаемой круговым током на расстоянии r_0 от края трубки	10	10	1	0 1 3 5
9 10 11 12	В точках на оси бесконечно длинного кругового цилиндра радиусом R, часть поверхности которого образована согнутой бесконечно длинной тонкой лентой ширины l, вдоль которой проходит ток	20	5 10 15 20	1	
13 14 15 16	В точках, отстоящих на расстоянии r_0 от тонкой бесконечно протяженной плоскости	∞		1 1 0	10 20 30 40
17 18 19 20	В точках на середине оси трубки радиусом R, образованной свернутой тонкой лентой шириной l, обтекаемой круговым током	20	5 10 15 20	1	10
21 22 23 24	В точках плоскости, перпендикулярной к середине тонкой прямой бесконечной ленты шириной l	20		1	10 20 30 40
25 26 27 28	В точках на оси бесконечно длинного кругового цилиндра радиусом R, часть поверхности которого образована согнутой бесконечно длинной тонкой лентой ширины l, вдоль которой проходит ток	10 20 30 40	8	1	

ТЕМА 13. ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ДВИЖУЩИЙСЯ ЗАРЯД, ПРОВОДНИК И КОНТУР С ТОКОМ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Контрольные вопросы

13.1. Какая сила действует на движущийся заряд в магнитном поле? Чему она равна? Куда направлена? Вспомните, что называется моментом импульса материальной точки. Чему равны и куда направлены нормальная и тангенциальная составляющие ускорения? Чему равен период обращения материальной точки при вращательном движении?

13.2. В каком случае заряженная частица, влетающая в магнитное поле, будет двигаться по винтовой линии? От чего зависит радиус витка? Как его определить? Как рассчитать шаг винтовой линии? От чего он зависит?

13.3. Какая сила удерживает материальную точку на круговой орбите? Что играет роль этой силы в случае движения заряженной частицы в магнитном поле. Из каких условий можно найти скорость движения заряженной частицы по винтовой траектории и ее кинетическую энергию?

13.4. В чем состоит эффект Холла? Чему равна возникающая при этом поперечная разность потенциалов? Как постоянная Холла связана с концентрацией носителей заряда? Если концентрация электронов проводимости равна концентрации атомов в металле, то как подсчитать концентрацию атомов?

13.5. Существуют ли различия при возникновении эффекта Холла в металлах и полупроводниках? Что является носителем заряда в полупроводниках?

13.6. Какая сила действует на проводник с током в магнитном поле? Как определить ее величину и направление?

13.7. Что называется моментом силы? Чему он равен? В каком случае на контур с током, помещенный в магнитное поле, действует вращающий момент сил? Когда момент сил, действующих на контур с током, равен нулю?

13.8. Что называется магнитным потоком через выбранную площадку? Как его определяют? Сформулируйте теорему Остроградского—Гаусса для магнитного поля.

13.9. Сформулируйте закон Ампера для параллельных проводников с током. Как, применяя этот закон, получить выражение для работы, которую необходимо совершить, чтобы изменить расстояние между проводниками?

13.10. Чему равна работа перемещения проводника и контура с током в магнитном поле? Как определить работу при повороте контура на некоторый угол? Когда работа будет положительной, а когда — отрицательной?

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс общей физики. М., 1988. Т. 2 (§ 46–48, 50, 72–76).
2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ 22.4–22.6, 23.1–23.5).
3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 114–122).

Задача 13.1. Заряженная частица, ускоренная разностью потенциалов U, влетает в однородное магнитное поле индукцией B, перпендикулярное к направлению ее движения. Радиус кривизны траектории частицы в магнитном поле равен R. Найти неизвестную величину, выполнить дополнительное задание.

Номер задания	Частица	U, В	B, Тл	R, см	Дополнительно определить
1		1800	$6\cdot10^{-2}$	?	Период обращения
2	Протон	450	?	15	Момент импульса
3		?	$3\cdot10^{-2}$	12	Нормальное ускорение
4		200	$4\cdot10^{-2}$	?	Тангенциальное ускорение
5		8000	$6\cdot10^{-3}$	?	Момент импульса
6	Электрон	?	$3\cdot10^{-3}$	5	Нормальное ускорение
7		320	?	6	Тангенциальное ускорение
8		720	$9\cdot10^{-4}$	?	Период обращения
9		720	?	3	Нормальное ускорение
10	Позитрон	320	$2\cdot10^{-3}$	?	Тангенциальное ускорение
11		8000	?	15	Период обращения
12		?	$3\cdot10^{-3}$	6	Момент импульса
13		800	$2\cdot10^{-2}$	?	Период обращения
14		?	$4\cdot10^{-2}$	10	Момент импульса
15	Протон	1250	?	25	Нормальное ускорение
16		?	$3\cdot10^{-2}$	20	Тангенциальное ускорение
17		?	$4\cdot10^{-2}$	11	Тангенциальное ускорение
18	α-частица	900	?	12	Момент импульса
19		400	$2\cdot10^{-2}$	?	Нормальное ускорение
20		?	$8\cdot10^{-2}$	15	Период обращения
21		8000	?	6	Тангенциальное ускорение
22	Позитрон	?	$4\cdot10^{-3}$	3	Нормальное ускорение
23		320	$3\cdot10^{-4}$	?	Момент импульса
24		720	?	9	Период обращения
25		720	$3\cdot10^{-3}$	?	Период обращения
26	Электрон	320	?	2	Тангенциальное ускорение
27		8000	$1{,}5\cdot10^{-2}$	?	Нормальное ускорение
28		?	$5\cdot10^{-4}$	30	Момент импульса

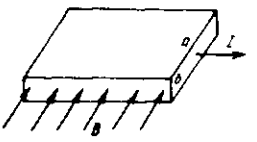
Задача 13.2. Заряженнастица, ускоренная разностью потенциалов U, влетает в однородное магне поле под углом α к направлению поля и начинает двигаться по винтовинии. Индукция магнитного поля – B, радиус витка винтовой линии – R, винтовой линии – h. Найти неизвестные величины.

Номер задания	Частица	U, В	α, град	B, Тл	R, см	h, см
1	α-частица	1600	30	$2\cdot10^{-1}$	?	?
2	Позитрон	3500	60	$4\cdot10^{-2}$	?	?
3	Протон	800	45	$1{,}41\cdot10^{-1}$	?	?
4	Электрон	1405(	45	$6{,}28\cdot10^{-2}$	?	?
5	Позитрон	7900	45	?	6	?
6	Протон	1250	30	?	2,5	?
7	Электрон	878	60	?	0,87	?
8	α-частица	2500	60	?	2,5	?
9	Протон	?	45	$4{,}24\cdot10^{-1}$	?	6,28
10	Электрон	?	60	$4\cdot10^{-2}$	?	1,57
11	α-частица	?	45	$2{,}12\cdot10^{-1}$	?	6,28
12	Позитрон	?	30	$2\cdot10^{-2}$	?	5,44
13	Электрон	?	45	$3{,}53\cdot10^{-3}$	6	?
14	α-частица	?	30	10^{-1}	1,5	?
15	Позитрон	?	45	$7{,}07\cdot10^{-3}$	3	?
16	Протон	?	60	$3{,}46\cdot10^{-1}$	2	?
17	Протон	800	45	?	?	12,56
18	α-частица	900	30	?	?	16,3
19	Позитрон	1405(	45	?	?	2,83
20	Электрон	7900	45	?	?	18,8
21	α-частица	1600	?	$2\cdot10^{-1}$	2	?
22	Электрон	3500	?	$2\cdot10^{-2}$	0,5	?
23	Позитрон	2195(	?	$3{,}53\cdot10^{-2}$	1	?
24	Протон	1800	?	$4{,}24\cdot10^{-1}$	1	?
25	Позитрон	878	?	10^{-2}	?	3,14
26	Электрон	2195(	?	$3{,}53\cdot10^{-2}$	?	6,28
27	Протон	1250	?	10^{-1}	?	27,2
28	α-частица	2500	?	$1{,}73\cdot10^{-1}$	?	9,1

Задача 13.3. Заряженная частица влетает в однородное магнитное поле углом α к направлению поля и движется по винтовой линии, радиус кот равен R. Индукция магнитного поля – B, кинетическая энергия частицы этом – $W_к$. Найти неизвестную величину согласно номеру задания.

Номер задания	Частица	α, град	R, см	B, Тл	$W_к$, Дж
1		45	2,12	$3\cdot10^{-2}$	?
2	Протон	30	2,5	?	$6,9\cdot10^{-17}$
3		60	?	$1,73\cdot10^{-2}$	$7,66\cdot10^{-18}$
4		?	4,0	$5\cdot10^{-2}$	$1,23\cdot10^{-16}$
5		30	1,25	$5\cdot10^{-3}$	?
6	α-частица	60	4,33	?	$1,91\cdot10^{-16}$
7		60	?	$2,6\cdot10^{-1}$	$6,2\cdot10^{-16}$
8		?	4,5	$6,66\cdot10^{-3}$	$2,76\cdot10^{-18}$
9		60	2,0	$4,33\cdot10^{-3}$	?
10	Электрон	45	7,07	?	$5,04\cdot10^{-15}$
11		45	?	$1,77\cdot10^{-2}$	$1,26\cdot10^{-15}$
12		?	1,73	10^{-2}	$5,6\cdot10^{-16}$
13		30	1,5	$2\cdot10^{-2}$	?
14	Протон	60	8,66	?	$1,23\cdot10^{-16}$
15		45	?	$1,41\cdot10^{-1}$	$3,064\cdot10^{-1}$
16		?	4,24	$1,3\cdot10^{-1}$	$4,9\cdot10^{-16}$
17		45	1,5	$2,36\cdot10^{-3}$	?
18	Позитрон	60	4,33	?	$5,6\cdot10^{-16}$
19		30	?	$2,5\cdot10^{-3}$	$2,24\cdot10^{-15}$
20		?	3,5	10^{-2}	$6,86\cdot10^{-15}$
21		60	3,0	$1,73\cdot10^{-2}$	?
22	α-частица	45	7,07	?	$3,75\cdot10^{-16}$
23		30	?	$1,25\cdot10^{-2}$	$7,66\cdot10^{-18}$
24		?	1,41	$4\cdot10^{-1}$	$4,9\cdot10^{-16}$
25		30	2,5	$1,2\cdot10^{-2}$	?
26	Электрон	45	3,535	?	$1,4\cdot10^{-16}$
27		60	?	$5\cdot10^{-3}$	$3,5\cdot10^{-15}$
28		?	1,5	$2\cdot10^{-2}$	$5,04\cdot10^{-15}$

Задача 13.4. Через сечение $S = ab$ металлической пластинки (a – толщина, b – высота пластинки) пропускается ток I. Пластинка помещена в магнитное поле с индукцией B, перпендикулярное к ребру b и направлению тока. При этом возникает поперечная разность потенциалов U. Найти неизвестную величину согласно номеру задания. Концентрацию электронов проводимости считать равной концентрации атомов.



Номер задания	Металл	I, А	B, Тл	U, В	a, мм
1		?	0,5	$2{,}7\cdot10^{-7}$	0,25
2	Алюминий	2,6	?	$8{,}1\cdot10^{-7}$	0,12
3		5,2	0,4	?	0,27
4		3,9	0,6	$4{,}5\cdot10^{-7}$	?
5		?	1,05	$6{,}48\cdot10^{-7}$	0,41
6	Серебро	2,1	?	$2{,}7\cdot10^{-7}$	0,44
7		6,5	0,21	?	1,08
8		5,25	0,8	$4\cdot10^{-7}$	?
9		?	0,64	$1{,}6\cdot10^{-7}$	0,78
10	Платина	2,15	?	$3{,}9\cdot10^{-7}$	0,38
11		6,45	0,2	?	0,15
12		7,2	0,43	$7{,}8\cdot10^{-7}$	?
13		?	0,78	$3\cdot10^{-7}$	0,81
14	Алюминий	3,6	?	$5{,}4\cdot10^{-7}$	0,18
15		2,6	0,8	?	0,54
16		6,0	0,26	$3{,}6\cdot10^{-7}$	?
17		?	0,41	$1{,}64\cdot10^{-6}$	0,135
18	Серебро	4,2	?	$3{,}2\cdot10^{-7}$	0,54
19		10,5	0,35	?	0,7
20		2,1	0,45	$9\cdot10^{-7}$	?
21		?	0,26	$3{,}6\cdot10^{-7}$	0,54
22	Алюминий	1,3	?	$5{,}4\cdot10^{-7}$	0,21
23		4,5	0,52	?	0,135
24		7,8	0,2	$1{,}8\cdot10^{-7}$	?
25		?	0,86	$1{,}2\cdot10^{-6}$	0,39
26	Платина	4,3	?	$1{,}95\cdot10^{-6}$	0,16
27		3,1	0,43	?	0,13
28		2,15	0,28	$1{,}4\cdot10^{-7}$	?

Задача 13.5. Пластинка полупроводника толщиной a помещена в магнитное поле, направленное вдоль a. Удельное сопротивление полупроводника – ρ, индукция магнитного поля – B. Перпендикулярно к полю вдоль пластинки пропускается ток I. При этом возникает поперечная разность потенциалов U, причем подвижность носителей заряда в полупроводнике равна u. Найти неизвестную величину согласно номеру задания.

Номер задания	a, мм	ρ, Ом·м	B, Тл	I, А	U, В	u, м^2/(В·с)
1	?	$2\cdot10^{-5}$	0,4	0,7	$5,6\cdot10^{-4}$	$3,2\cdot10^{-2}$
2	0,85	?	0,35	0,9	$4,2\cdot10^{-4}$	$1,7\cdot10^{-2}$
3	0,64	10^{-5}	?	0,32	$1,2\cdot10^{-4}$	$4\cdot10^{-2}$
4	0,36	$5\cdot10^{-5}$	0,72	?	$5,4\cdot10^{-3}$	$1,08\cdot10^{-1}$
5	0,56	$1,4\cdot10^{-5}$	0,5	0,75	?	$1,6\cdot10^{-1}$
6	0,2	10^{-5}	1,0	0,1	$3,25\cdot10^{-3}$	?
7	?	$3\cdot10^{-5}$	0,48	0,5	$1,2\cdot10^{-3}$	$7,1\cdot10^{-2}$
8	0,45	?	0,6	0,9	$2,4\cdot10^{-3}$	$5\cdot10^{-2}$
9	0,27	$1,5\cdot10^{-5}$	?	0,54	$3,3\cdot10^{-3}$	$1,25\cdot10^{-1}$
10	0,52	10^{-5}	0,45	?	$7,2\cdot10^{-4}$	$1,04\cdot10^{-1}$
11	0,32	$2\cdot10^{-5}$	0,55	0,4	?	$6,4\cdot10^{-2}$
12	0,3	$2\cdot10^{-5}$	0,8	1,2	$3,2\cdot10^{-3}$	?
13	?	$4\cdot10^{-5}$	0,6	0,9	$3,6\cdot10^{-3}$	$5,5\cdot10^{-2}$
14	0,62	?	0,93	0,25	$1,8\cdot10^{-3}$	$8\cdot10^{-2}$
15	0,46	$2,2\cdot10^{-5}$	?	0,92	$5,72\cdot10^{-3}$	$1,3\cdot10^{-1}$
16	0,34	$6\cdot10^{-5}$	0,72	?	$1,44\cdot10^{-4}$	$1,7\cdot10^{-1}$
17	0,68	$2\cdot10^{-5}$	0,85	0,4	?	$3,82\cdot10^{-2}$
18	0,8	$3,2\cdot10^{-5}$	1,6	1,0	$9,6\cdot10^{-4}$	?
19	?	$4\cdot10^{-5}$	0,36	1,5	$1,44\cdot10^{-3}$	$1,2\cdot10^{-2}$
20	0,35	?	0,64	1,05	$5,76\cdot10^{-4}$	$2\cdot10^{-2}$
21	0,4	$1,2\cdot10^{-5}$	?	0,6	$3,6\cdot10^{-3}$	$2,2\cdot10^{-1}$
22	0,28	$1,4\cdot10^{-5}$	0,5	?	$5,8\cdot10^{-4}$	$1,16\cdot10^{-1}$
23	0,6	$2\cdot10^{-5}$	0,75	0,4	?	$5,35\cdot10^{-2}$
24	0,75	$2,5\cdot10^{-5}$	0,54	0,8	$7,2\ 10^{-4}$	?
25	?	$2,8\cdot10^{-5}$	0,25	0,55	$7\cdot10^{-4}$	$4\cdot10^{-2}$
26	0,58	?	1,16	0,6	$3,6\cdot10^{-4}$	$3\cdot10^{-2}$
27	0,42	$4\cdot10^{-5}$	?	0,6	$1,2\cdot10^{-4}$	$2,1\cdot10^{-1}$
28	0,39	$1,3\cdot10^{-5}$	0,9	?	$3,36\cdot10^{-4}$	$1,12\cdot10^{-1}$

Задача 13.6. Между полюсами магнита создается однородное магнитное поле, индукция которого B. По проводу длиной l, расположенному между полюсами электромагнита под углом α к силовым линиям, за время t проходит количество электричества, определяемое законом $q = f(t)$. Сила, действующая при этом на проводник, равна F. Найти неизвестную величину.

Номер задания	$q = f(t)$, Кл	l, м	B, Тл	α, град	F, Н
1	$q = 0{,}5t + 2$	?	$3 \cdot 10^{-2}$	30	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$
2	$q = 1{,}6 + 0{,}2t$	2,5	?	45	$7{,}07 \cdot 10^{-4}$
3	$q = t - 0{,}75$	5	$3{,}8 \cdot 10^{-2}$	?	$1{,}34 \cdot 10^{-3}$
4	$q = 0{,}1t - 0{,}25$	20	$1{,}4 \cdot 10^{-2}$	60	?
5	$q = 0{,}25t + 1{,}8$	?	$8 \cdot 10^{-2}$	60	$4{,}33 \cdot 10^{-4}$
6	$q = 2{,}47 + 0{,}6t$	3,3	?	45	$1{,}41 \cdot 10^{-3}$
7	$q = 0{,}15t - 0{,}04$	15	$4{,}3 \cdot 10^{-2}$	?	$8{,}38 \cdot 10^{-4}$
8	$q = 0{,}3t - 2{,}2$	18	$6{,}2 \cdot 10^{-2}$	30	?
9	$q = 1{,}2t - 3{,}0$	?	$5{,}83 \cdot 10^{-2}$	30	$3{,}5 \cdot 10^{-4}$
10	$q = 0{,}75 + 2t$	7,5	?	60	$8{,}66 \cdot 10^{-4}$
11	$q = 0{,}5t - 0{,}48$	10	$5{,}7 \cdot 10^{-2}$	?	$2 \cdot 10^{-3}$
12	$q = 0{,}3t - 0{,}23$	5	$8{,}2 \cdot 10^{-2}$	45	?
13	$q = 0{,}35t + 1{,}21$	?	$2{,}72 \cdot 10^{-2}$	45	$4{,}24 \cdot 10^{-4}$
14	$q = 2{,}75 + 0{,}8t$	6,2	?	30	$2{,}5 \cdot 10^{-3}$
15	$q = 3{,}84 + 0{,}55t$	3	$6{,}4 \cdot 10^{-2}$	?	$5{,}28 \cdot 10^{-4}$
16	$q = 0{,}4t - 0{,}17$	11	$9{,}6 \cdot 10^{-3}$	60	?
17	$q = 0{,}9t - 1{,}75$	?	$5{,}55 \cdot 10^{-2}$	60	$1{,}73 \cdot 10^{-3}$
18	$q = 0{,}55t + 0{,}83$	9	?	45	$2{,}12 \cdot 10^{-3}$
19	$q = 0{,}12 + 0{,}4t$	5	$9{,}5 \cdot 10^{-3}$	?	$1{,}34 \cdot 10^{-4}$
20	$q = 0{,}8t - 0{,}98$	8	$5{,}8 \cdot 10^{-2}$	30	?
21	$q = 0{,}6t - 2{,}15$	?	$5 \cdot 10^{-2}$	30	$6 \cdot 10^{-4}$
22	$q = 3{,}84 + 0{,}45t$	6,6	?	60	$2{,}6 \cdot 10^{-3}$
23	$q = 2{,}14 + 0{,}7t$	9	$8{,}8 \cdot 10^{-3}$	?	$4{,}8 \cdot 10^{-4}$
24	$q = 0{,}75t - 0{,}18$	2	$7{,}3 \cdot 10^{-2}$	45	?
25	$q = 1{,}12 + 0{,}35t$	?	$4 \cdot 10^{-2}$	45	$4{,}95 \cdot 10^{-4}$
26	$q = 0{,}44 + 0{,}85t$	8,82	?	30	$7{,}5 \cdot 10^{-4}$
27	$q = 0{,}45t - 2{,}11$	10	$7{,}8 \cdot 10^{-3}$	?	$3{,}04 \cdot 10^{-4}$
28	$q = 0{,}7t - 1{,}31$	4	$9{,}2 \cdot 10^{-3}$	60	?

Задача 13.7. Из проволоки длиной l изготовлены контуры различного вида. Вращающий момент сил, действующий на каждый контур, помещенный в однородное магнитное поле с индукцией B, равен M. По контуру проходит ток I. Нормаль к плоскости контура составляет угол α с направлением магнитного поля. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	Вид контура	l, см	B, Тл	M, Н·м	I, А	α, град
1		12,56	$4\cdot10^{-3}$	?	0,6	45
2	Круговой	6	?	$4,5\cdot10^{-7}$	0,2	30
3		?	$3,14\cdot10^{-3}$	$8,66\cdot10^{-7}$	0,1	60
4		6,28	$3\cdot10^{-2}$	$3,33\cdot10^{-6}$	0,5	?
5		4	$1,5\cdot10^{-2}$	$2,6\cdot10^{-7}$	?	60
6	Квадратный	8	$4\cdot10^{-2}$	?	0,15	45
7		10	?	$7,51\cdot10^{-6}$	0,32	30
8		?	$1,25\cdot10^{-2}$	$4,33\cdot10^{-6}$	0,25	60
9		9	10^{-2}	$8,7\cdot10^{-7}$	0,2	?
10	Прямоугольный	6	$2,5\cdot10^{-2}$	$1,41\cdot10^{-6}$	?	45
11	со сторонами a	12	$1,5\cdot10^{-3}$	?	0,3	60
12	и b, $a = 2b$	11	?	$1,21\cdot10^{-6}$	0,9	30
13		?	$1,57\cdot10^{-2}$	$7,07\cdot10^{-7}$	0,125	45
14	Круговой	9,3	$1,5\cdot10^{-2}$	$6,36\cdot10^{-6}$	0,3	?
15		10	$3,14\cdot10^{-2}$	$3,535\cdot10^{-6}$	?	45
16		31,4	$7\cdot10^{-3}$	?	0,4	30
17	Прямоугольный	8	?	$1,28\cdot10^{-6}$	0,5	30
18	со сторонами a	?	$1,25\cdot10^{-2}$	$7,07\cdot10^{-6}$	0,5	45
19	и b, $a = 4b$	14	$5\cdot10^{-2}$	$3,4\cdot10^{-6}$	0,1	?
20		12	$2,5\cdot10^{-2}$	$2,6\cdot10^{-6}$	?	60
21		16	$5,5\cdot10^{-3}$	?	0,25	60
22	Квадратный	12	?	$2,12\cdot10^{-6}$	0,35	45
23		?	$2,5\cdot10^{-2}$	$1,8\cdot10^{-6}$	0,64	30
24		6,4	$5\cdot10^{-2}$	$1,28\cdot10^{-6}$	0,2	?
25		8	$6,28\cdot10^{-3}$	$8\cdot10^{-7}$	?	30
26	Круговой	15,7	$3\cdot10^{-3}$	?	0,8	60
27		5	?	$7,07\cdot10^{-7}$	0,63	45
28		?	$9,42\cdot10^{-3}$	$4,33\cdot10^{-6}$	0,66	60

Задача 13.8. Диск, расположенный так, что нормаль к нему составляет угол α с линиями магнитной индукции, вращается с частотой ν вокруг оси, совпадающей с нормалью. Поток магнитной индукции, пересекаемый радиусом r диска за время t, равен Ф. Индукция магнитного поля – B. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	α, град	ν, Гц	r, см	t, мин	Ф, Вб	B, Тл
1	?	15	3	2	$5{,}1\cdot10^{-2}$	$2\cdot10^{-2}$
2	60	?	4	0,1	$6{,}28\cdot10^{-3}$	$2{,}08\cdot10^{-2}$
3	45	20	?	0,5	$1{,}7\cdot10^{-2}$	$8\cdot10^{-3}$
4	30	20	5	?	$9{,}79\cdot10^{-2}$	$6\cdot10^{-3}$
5	45	25	2	1	?	$4\cdot10^{-2}$
6	60	15	3	0,5	$3{,}8\cdot10^{-2}$	?
7	?	30	5	0,5	$1{,}25\cdot10^{-1}$	$2{,}5\cdot10^{-2}$
8	45	?	1	0,2	$1{,}33\cdot10^{-3}$	$5\cdot10^{-2}$
9	60	5	?	2	$1{,}13\cdot10^{-2}$	$3\cdot10^{-2}$
10	45	18	1,5	?	$5{,}4\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-2}$
11	30	10	4	0,5	?	$8\cdot10^{-3}$
12	60	25	6	0,2	$1{,}36\cdot10^{-2}$	?
13	?	12	2,5	1	$6{,}36\cdot10^{-3}$	$9\cdot10^{-3}$
14	30	?	5	0,5	$3{,}67\cdot10^{-2}$	$1{,}2\cdot10^{-2}$
15	45	20	?	1,5	$5{,}99\cdot10^{-2}$	$6\cdot10^{-3}$
16	45	30	1,5	?	$3{,}6\cdot10^{-2}$	$4\cdot10^{-2}$
17	60	20	8	3	?	$3\cdot10^{-2}$
18	30	5	4	2	$1{,}57\cdot10^{-2}$	?
19	?	10	6	1,5	$5{,}03\cdot10^{-2}$	$7\cdot10^{-3}$
20	60	?	3	0,5	$8{,}48\cdot10^{-2}$	$8\cdot10^{-3}$
21	30	15	?	0,1	$1{,}1\cdot10^{-2}$	$5\cdot10^{-2}$
22	60	10	2	?	$2{,}83\cdot10^{-3}$	$9\cdot10^{-3}$
23	45	18	7	1	?	$2\cdot10^{-2}$
24	45	5	2	1,5	$4{,}8\cdot10^{-2}$	?
25	?	14	2	2	$2{,}74\cdot10^{-2}$	$1{,}5\cdot10^{-2}$
26	30	?	2,5	1	$7{,}14\cdot10^{-3}$	$7\cdot10^{-3}$
27	45	5	?	0,5	$4{,}8\cdot10^{-2}$	$4\cdot10^{-2}$
28	60	25	3	?	$7{,}95\cdot10^{-2}$	$5\cdot10^{-2}$

Задача 13.9. Два прямолинейных длинных параллельных проводника находятся на расстоянии r_1 друг от друга. По проводникам проходят токи I_1 и I_2 в одном направлении. Для того чтобы раздвинуть проводники до расстояния r_2, надо совершить работу на единицу длины проводника, равную A. Найти неизвестную величину согласно номеру задания.

Номер задания	r_1, см	r_2, см	I_1, А	I_2, А	A, Дж
1	?	5	1,4	0,5	$9{,}7\cdot10^{-8}$
2	2	?	0,75	1,2	$1{,}98\cdot10^{-7}$
3	r_1	$1{,}5r_1$	?	2,5	$4{,}05\cdot10^{-7}$
4	$0{,}5r_2$	r_2	0,5	?	$6{,}93\cdot10^{-8}$
5	r_1	$2r_1$	0,5	0,8	?
6	?	8	1,5	0,6	$2{,}49\cdot10^{-7}$
7	5	?	0,6	0,4	$3{,}33\cdot10^{-8}$
8	r_1	$3r_1$	?	0,25	$1{,}1\cdot10^{-7}$
9	$0{,}2r_2$	r_2	0,4	?	$1{,}61\cdot10^{-7}$
10	r_1	$4r_1$	1,0	1,5	?
11	?	4,5	0,8	0,5	$8{,}8\cdot10^{-8}$
12	6	?	1,2	1,6	$2{,}66\cdot10^{-7}$
13	$0{,}25r_2$	r_2	?	1,25	$1{,}38\cdot10^{-7}$
14	r_1	$2r_1$	1,5	?	$2{,}77\cdot10^{-7}$
15	$0{,}5r_2$	r_2	2,2	1,5	?
16	?	12	0,7	1,0	$7\cdot10^{-8}$
17	3	?	1,3	0,5	$9\cdot10^{-8}$
18	$0{,}1r_2$	r_2	?	0,4	$4{,}6\cdot10^{-7}$
19	r_1	$3r_1$	0,2	?	$8{,}8\cdot10^{-8}$
20	r_1	$5r_1$	0,2	0,6	?
21	?	12	0,3	0,7	$4{,}6\cdot10^{-8}$
22	4,5	?	1,4	2,0	$3{,}88\cdot10^{-7}$
23	r_1	$2{,}5r_1$	?	0,5	$9{,}16\cdot10^{-8}$
24	$0{,}25r_2$	r_2	2,0	?	$2{,}77\cdot10^{-7}$
25	10	20	0,7	2,1	?
26	?	15	1,3	0,9	$1{,}88\cdot10^{-7}$
27	2	?	0,5	1,1	$7{,}62\cdot10^{-8}$
28	$0{,}4r_2$	r_2	?	0,8	$1{,}83\cdot10^{-7}$

Задача 13.10. Вертикально расположенный круговой контур радиусом r помещен в горизонтальное однородное магнитное поле так, что положительная нормаль к плоскости контура составляет угол α_1 с направлением магнитного поля. Индукция магнитного поля – B. По контуру проходит ток I. Для того чтобы повернуть контур вокруг оси, совпадающей с вертикальным диаметром, так, чтобы нормаль составляла с направлением магнитного поля угол α_2, необходимо совершить работу, равную A. Найти неизвестную величину.

Номер задания	B, Тл	I, А	r, см	α_1, град	α_2, град	A, Дж
1	?	0,25	4	60	0	$7{,}54\cdot10^{-5}$
2	0,02	?	3	30	90	$-2{,}45\cdot10^{-5}$
3	0,3	1,5	?	0	45	$-1{,}49\cdot10^{-3}$
4	0,45	0,9	6	?	120	$-5{,}53\cdot10^{-3}$
5	0,5	0,6	7	150	?	$3{,}22\cdot10^{-3}$
6	0,1	0,5	2	30	60	?
7	?	0,8	12	90	135	$-5{,}12\cdot10^{-3}$
8	0,25	?	5	60	120	$-1{,}57\cdot10^{-3}$
9	0,02	1,0	?	45	90	$-7{,}1\cdot10^{-5}$
10	0,3	0,7	4	?	90	$-9{,}14\cdot10^{-4}$
11	0,6	0,2	1	120	?	$5{,}65\cdot10^{-5}$
12	0,4	0,1	10	30	120	?
13	?	1,2	1	135	45	$3{,}2\cdot10^{-4}$
14	0,5	?	4	120	30	$3{,}43\cdot10^{-4}$
15	0,6	0,75	?	30	150	$-6{,}12\cdot10^{-3}$
16	0,1	0,5	8	?	120	$-5{,}03\cdot10^{-4}$
17	0,35	0,4	6	30	?	$-1{,}37\cdot10^{-3}$
18	0,05	1,2	5	0	45	?
19	?	0,6	2	45	30	$3\cdot10^{-5}$
20	0,8	?	3	150	90	$1{,}96\cdot10^{-3}$
21	0,7	0,8	?	0	30	$-9{,}43\cdot10^{-5}$
22	0,4	0,3	2	?	30	$5{,}52\cdot10^{-5}$
23	0,5	0,1	4	180	?	$2{,}51\cdot10^{-4}$
24	0,25	0,4	6	90	30	?
25	?	0,3	2	180	360	$3\cdot10^{-4}$
26	0,75	?	8	90	180	$-7{,}54\cdot10^{-3}$
27	0,08	0,6	?	60	150	$-1{,}85\cdot10^{-4}$
28	0,2	0,15	9	?	90	$-7{,}63\cdot10^{-4}$

ТЕМА 14. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ВЕЩЕСТВЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ. ОСНОВЫ ТЕОРИИ МАКСВЕЛЛА ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Контрольные вопросы

14.1. Что называется намагниченностью вещества? Как вектор намагничения связан с суммарным магнитным моментом магнетика определенного объема? Что такое магнитная восприимчивость вещества? Какая связь существует между магнитной восприимчивостью и намагниченностью вещества? Как связана напряженность магнитного поля с индукцией магнитного поля в веществе? Что называется абсолютной и относительной магнитными проницаемостями магнетика? Как связана относительная магнитная проницаемость вещества с его магнитной восприимчивостью? По каким параметрам различают типы магнетиков?

14.2. Сформулируйте закон полного тока для магнитного поля в веществе. Какая связь существует: а) между нормальными составляющими индукции магнитного поля и б) нормальными составляющими напряженности магнитного поля на границе раздела двух магнетиков?

14.3. Какая связь существует между тангенциальными составляющими магнитного поля на границе раздела двух магнетиков? Запишите закон преломления линий магнитной индукции на границе раздела двух магнетиков.

14.4. В чем состоит явление электромагнитной индукции? Сформулируйте закон электромагнитной индукции. Сформулируйте закон Ленца.

14.5. В каком случае ЭДС индукции будет максимальной? При каком положении контура его вращение не приводит к изменению магнитного потока, пронизывающего контур?

14.6. Что называется потокосцеплением? Во сколько раз ЭДС индукции в рамке, содержащей N витков, отличается от ЭДС индукции в контуре такой же площади, состоящем из одного витка?

14.7. В чем заключается явление самоиндукции? Чему равна ЭДС самоиндукции? Что называется индуктивностью? В каких единицах она измеряется? В каких случаях индуктивность соленоида остается постоянной? Когда индуктивность зависит от силы тока в обмотке соленоида? Чему в последнем случае равна ЭДС самоиндукции? Чему равна энергия контура с током? Как определить энергию нескольких связанных между собой контуров? Что такое объемная плотность энергии и как ее определить?

14.8. По какому закону убывает ток при размыкании цепи? Что называют постоянной времени цепи (временем релаксации)? Согласно какому закону нарастает ток при замыкании цепи? Почему ток при замыкании и размыкании цепи меняется не мгновенно, а постепенно?

14.9. Что лежит в основе теории Максвелла для электромагнитного поля? Что называется током смещения? Как определить его величину?

14.10. Запишите уравнения Максвелла и поясните их.

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс общей физики. М., 1988. Т. 2 (§ 51–71).

2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ 24.1–24.6, 25.1–25.5, 26.1–26.5).

3. *И.Т. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 123–139).

Задача 14.1. В магнитное поле помещен шарик радиусом R. Магнитная приимчивость материала шарика равна χ, магнитный момент шарика – p, укция магнитного поля внутри шарика – B. Найти неизвестную величину. вать вид магнетика, из которого выполнен шарик.

мер ания	B, Тл	R, см	χ	p, А·м^2
1	$6\cdot10^{-3}$	2	$1{,}76\cdot10^{-4}$	?
2	$2\cdot10^{-3}$	1,5	?	$3{,}375\cdot10^{-6}$
3	$5\cdot10^{-2}$	?	$2{,}1\cdot10^{-5}$	$3{,}5\cdot10^{-6}$
4	?	2,5	$-1{,}4\cdot10^{-5}$	$-3{,}645\cdot10^{-6}$
5	$4\cdot10^{-2}$	0,8	$6\cdot10^{-5}$	?
6	$2\cdot10^{-2}$	0,5	?	$-1{,}466\cdot10^{-6}$
7	$8\cdot10^{-3}$	?	$-9\cdot10^{-6}$	$-1{,}92\cdot10^{-6}$
8	?	1,5	$-2\cdot10^{-5}$	$-4{,}5\cdot10^{-7}$
9	$3\cdot10^{-3}$	3,5	$2{,}6\cdot10^{-4}$	?
10	$5\cdot10^{-2}$	2	?	$-1{,}2\cdot10^{-5}$
11	$1{,}5\cdot10^{-3}$	?	$1{,}4\cdot10^{-3}$	$1{,}887\cdot10^{-4}$
12	?	0,6	$-1{,}7\cdot10^{-5}$	$-1{,}224\cdot10^{-8}$
13	$1{,}2\cdot10^{-3}$	1,5	$3{,}6\cdot10^{-3}$	?
14	$3{,}6\cdot10^{-3}$	1	?	$1{,}678\cdot10^{-5}$
15	10^{-3}	?	$5{,}8\cdot10^{-3}$	$1{,}538\cdot10^{-4}$
16	?	2,5	$-8\cdot10^{-6}$	$-2{,}083\cdot10^{-5}$
17	$7\cdot10^{-2}$	0,5	$-3\cdot10^{-6}$	?
18	$6\cdot10^{-2}$	1	?	$-3{,}4\cdot10^{-6}$
19	$2\cdot10^{-3}$	?	$1{,}2\cdot10^{-3}$	$7{,}99\cdot10^{-6}$
20	?	0,2	$-1{,}8\cdot10^{-4}$	$-1{,}44\cdot10^{-8}$
21	$6\cdot10^{-3}$	3	$-2\cdot10^{-5}$	?
22	$1{,}5\cdot10^{-3}$	2,5	?	$1{,}092\cdot10^{-4}$
23	$1{,}2\cdot10^{-3}$	?	$5{,}8\cdot10^{-3}$	$2{,}31\cdot10^{-5}$
24	?	0,5	$-1{,}7\cdot10^{-5}$	$-7{,}083\cdot10^{-8}$
25	$8\cdot10^{-2}$	0,1	$2{,}6\cdot10^{-4}$	?
26	$4\cdot10^{-2}$	0,8	?	$8{,}182\cdot10^{-6}$
27	$9\cdot10^{-2}$	?	$-3\cdot10^{-6}$	$-2{,}43\cdot10^{-5}$
28	?	1,5	$2{,}1\cdot10^{-5}$	$2{,}362\cdot10^{-7}$

Задача 14.2. Обмотка тороида, имеющего ферромагнитный сердечник с узким вакуумным зазором шириной h_0, содержит n витков на единице длины тороида. Ширина зазора h_0 намного меньше среднего диаметра тороида d. При силе тока в обмотке тороида I индукция магнитного поля в зазоре равна B_0, а относительная магнитная проницаемость сердечника – μ. Найти неизвестную величину согласно номеру задания. Выполнить дополнительное задание.

Номер задания	d, см	h_0, мм	n, 1/м	I, А	B_0, Тл	μ	Объяснить зависимость
1				1,68	1,1	?	
2	30	1	1000	2,41	1,2	?	$\mu = f(I)$
3				3,1	1,3	?	
4				3,64	1,35	?	
5					?	280	
6	40	2	1000	2,46	?	540	$B_0 = f(\mu)$
7					?	710	
8					?	1140	
9				?	0,6	238	
10	50	3	500	?	0,3	318	$B_0 = f(I)$
11				?	0,4	290	
12				?	0,5	265	
13			?		1,30	1035	
14	30	1,5	?	3,0	1,35	716	$B_0 = f(n)$
15			?		1,25	1170	
16			?		1,20	1270	
17		?			0,56		
18	50	?	850	1,5	0,46	2000	$B_0 = f(h_0)$
19		?			0,63		
20		?			0,51		
21	?				1,0	2650	
22	?	3	1000	2,5	1,1	1750	$\mu = f(d)$
23	?				1,25	1120	
24	?				1,4	650	
25			1350		1,2	?	
26	45	1,8	860	2,0	1,0	?	$\mu = f(n)$
27			630		0,8	?	
28			430		0,6	?	

Задача 14.3. Две плоскопараллельные пластины из различных магнетиков сложены вместе и помещены в магнитное поле так, что вектор магнитной индукции $\mathbf{B}_1$ в первом магнетике составляет с нормалью к границе раздела угол α_1, а вектор $\mathbf{B}_2$ во втором магнетике – угол α_2. Отношение магнитных проницаемостей магнетиков равно μ_1/μ_2. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	B_1, Тл	α_1, град	B_2, Тл	α_2, град	μ_1/μ_2
1	$2{,}5\cdot10^{-3}$	20	$2{,}506\cdot10^{-3}$	?	?
2	?	45	$2\cdot10^{-3}$	?	1,05
3	$5\cdot10^{-4}$	30	?	?	1,01
4	$4{,}08\cdot10^{-4}$	?	$4\cdot10^{-4}$	45	?
5	$8\cdot10^{-3}$	60	?	?	0,97
6	?	30, 124	$3\cdot10^{-3}$	30	?
7	$5{,}955\cdot10^{-4}$	?	$6\cdot10^{-4}$	60	?
8	?	?	$5\cdot10^{-2}$	40	1,004
9	$2{,}0014\cdot10^{-4}$	?	$2\cdot10^{-4}$	20	?
10	$7\cdot10^{-3}$	45	?	?	0,995
11	$5\cdot10^{-3}$	30	$4{,}988\cdot10^{-3}$	?	?
12	?	?	$4\cdot10^{-4}$	60	0,992
13	?	89	$2\cdot10^{-4}$	?	$5\cdot10^{3}$
14	$6{,}982\cdot10^{-2}$	?	$5\cdot10^{-3}$	1	?
15	$5\cdot10^{-2}$	?	?	2	10^{3}
16	$1{,}146\cdot10^{-1}$	88	$4\cdot10^{-3}$	?	?
17	$2\cdot10^{-4}$	1,5	$5{,}24\cdot10^{-3}$	?	?
18	$3\cdot10^{-3}$	?	$6{,}876\cdot10^{-2}$	87,5	?
19	$4\cdot10^{-3}$	1	?	?	$5\cdot10^{-4}$
20	?	?	$8\cdot10^{-2}$	88	$2\cdot10^{-3}$
21	$6\cdot10^{-2}$	?	?	1,366	800
22	?	86	$2\cdot10^{-3}$	?	1200
23	$2{,}864\cdot10^{-2}$	?	10^{-3}	1,49	?
24	10^{-3}	87	$5{,}233\cdot10^{-5}$	?	?
25	$8\cdot10^{-3}$	?	$1{,}4\cdot10^{-4}$	4,368	?
26	$5\cdot10^{-3}$	88,5	?	?	680
27	?	?	10^{-4}	0,8	900
28	$2\cdot10^{-2}$	87,5	$8{,}727\cdot10^{-4}$	?	?

Задача 14.4. В магнитном поле, индукция которого B, вращается стержень длиной l с постоянной угловой скоростью ω. Ось проходит через конец стержня и составляет с силовыми линиями магнитного поля угол α. При этом на концах стержня возникает ЭДС индукции, равная ϵ. Найти неизвестную величину согласно номеру задания.

Номер задания	B, Тл	l, см	ω, рад/с	α, град	ϵ, В
1	?	12	20	30	$2{,}5\cdot10^{-3}$
2	0,05	?	32	60	$3{,}6\cdot10^{-2}$
3	0,2	25	?	45	$1{,}77\cdot10^{-1}$
4	0,34	42	16	?	$2{,}4\cdot10^{-1}$
5	0,08	30	45	60	?
6	?	18	22	30	$3{,}4\cdot10^{-2}$
7	0,4	?	50	45	$2{,}83\cdot10^{-1}$
8	0,02	10	?	60	$1{,}5\cdot10^{-3}$
9	0,15	40	35	?	$2{,}97\cdot10^{-1}$
10	0,5	24	60	45	?
11	?	36	40	30	$8{,}98\cdot10^{-1}$
12	0,04	?	28	60	$1{,}75\cdot10^{-2}$
13	0,26	16	?	30	$1{,}44\cdot10^{-1}$
14	0,6	28	62	?	$7{,}29\cdot10^{-1}$
15	0,1	50	24	60	?
16	?	35	15	45	$1{,}3\cdot10^{-1}$
17	0,03	?	25	60	$1{,}875\cdot10^{-3}$
18	0,45	8	?	30	$7{,}48\cdot10^{-2}$
19	0,24	32	50	?	$4{,}34\cdot10^{-1}$
20	0,35	22	36	45	?
21	?	40	18	30	$6{,}235\cdot10^{-1}$
22	0,07	?	65	60	$2{,}56\cdot10^{-2}$
23	0,12	14	?	45	$4{,}16\cdot10^{-2}$
24	0,32	27	43	?	$4{,}34\cdot10^{-1}$
25	0,48	33	52	60	?
26	?	28	30	45	$2{,}5\cdot10^{-1}$
27	0,56	?	55	60	$6{,}93\cdot10^{-1}$
28	0,06	50	?	30	$1{,}3\cdot10^{-1}$

Задача 14.5. В однородном магнитном поле, индукция которого B, равномерно вращается рамка площадью S с угловой скоростью ω. Ось вращения находится в плоскости рамки и составляет угол α с направлением силовых линий магнитного поля. Найти максимальную ЭДС индукции ϵ_{max} во вращающейся рамке. Проследить, как зависит ϵ_{max} от изменяющегося параметра.

Номер задания	B, Тл	S, см^2	ω, рад/с	α, град	Объяснить зависимость
1				30	
2	0,05	35	60	60	$\epsilon_{max} = f(\alpha)$
3				90	
4				120	
5			10		
6	0,3	4	20	45	$\epsilon_{max} = f(\omega)$
7			30		
8			40		
9		10			
10	0,5	20	80	30	$\epsilon_{max} = f(S)$
11		30			
12		40			
13	0,05				
14	0,10	25	6	150	$\epsilon_{max} = f(B)$
15	0,15				
16	0,20				
17				90	
18	0,4	16	120	120	$\epsilon_{max} = f(\alpha)$
19				135	
20				150	
21			50		
22	0,75	8	100	60	$\epsilon_{max} = f(\omega)$
23			150		
24			200		
25	0,2				
26	0,4	12	15	120	$\epsilon_{max} = f(B)$
27	0,6				
28	0,8				

Задача 14.6. В однородном магнитном поле, индукция которого B, равномерно с частотой ν вращается рамка, содержащая N витков, плотно прилегающих друг к другу. Площадь рамки равна S, ось вращения перпендикулярна к линиям индукции. Мгновенное значение ЭДС индукции в момент времени t равно ϵ_i. Найти неизвестную величину.

Номер задания	B, Тл	ν, Гц	N	S, см^2	ϵ_i, В	t, с
1	?	27,77	900	40	108,8	0,15
2	0,3	20,5	1000	12	?	0,25
3	0,08	5	?	30	4,52	10,05
4	0,4	36,44	750	?	68,68	1,1
5	0,2	5	800	26	?	0,05
6	0,5	37	900	22	230	?
7	?	25	1100	15	54,97	4,005
8	0,75	11	?	30	130,63	2,02
9	0,6	16,75	?	18	64,3	1,5
10	0,1	42,5	1200	?	34	0,05
11	0,05	22,11	860	24	?	1,5
12	0,4	19,3	480	32	37,25	?
13	?	30,3	800	16	147,7	0,55
14	0,32	25	920	20	?	1,005
15	0,28	6,25	?	40	43,98	6,04
16	0,12	9,05	600	?	12,28	5
17	0,46	5,5	500	48	?	2,75
18	0,6	16,5	300	14	22,62	?
19	?	25	720	28	126,67	3,01
20	0,09	6	400	?	3,838	5,042
21	0,42	12,11	?	45	62,27	1,5
22	0,55	18,1	950	?	142,61	2,5
23	0,3	28,2	800	16	?	1,25
24	0,16	4,021	1200	36	8,73	?
25	?	12,5	750	18	37,48	2,01
26	0,64	10	500	34	?	2,025
27	0,5	26,1	?	25	164	2,5
28	0,4	15,25	850	?	57,58	0,5

За 14.7. Однослойная обмотка длинного соленоида индуктивностью L изготовлена из N плотно прилегающих друг к другу витков проволоки диаметром d, намотанной на цилиндрический каркас диаметром D. Когда по обмотке соленоида течет ток, равный I, относительная магнитная проницаемость материала сердечника становится равной μ, а объемная плотность энергии магнитного поля, сосредоточенного внутри соленоида, – w. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	L, Гн	N	d, мм	D, см	I, А	μ	w, Дж/м^3
1	?	700	?	3,6	0,1	2300	$2,83\cdot10^{-4}$
2	$7,9\cdot10^{-5}$	?	0,4	5,2	?	3500	$1,5\cdot10^{-2}$
3	?	2500	0,85	6,5	0,7	600	?
4	$6,2\cdot10^{-5}$	?	0,07	4,4	0,45	?	0,155
5	?	1000	0,15	6,0	?	3300	0,415
6	$3,95\cdot10^{-5}$	?	?	2,5	0,75	4200	0,116
7	$8,76\cdot10^{-6}$	500	?	?	0,3	1000	$8,13\cdot10^{-4}$
8	?	750	0,5	5,0	0,09	?	$1,72\cdot10^{-4}$
9	$5,76\cdot10^{-6}$	?	0,8	3,5	0,4	950	?
10	$4\cdot10^{-5}$	460	?	4,6	?	3000	$1,9\cdot10^{-2}$
11	$2,42\cdot10^{-5}$	550	0,45	?	0,2	?	$1,92\cdot10^{-3}$
12	$1,4\cdot10^{-5}$	300	0,1	2,2	0,65	?	?
13	$4,1\cdot10^{-5}$	600	0,2	?	?	2700	$3,66\cdot10^{-2}$
14	?	850	?	4,2	0,15	1500	$1,49\cdot10^{-4}$
15	$4,23\cdot10^{-6}$	?	0,65	3,0	0,5	800	?
16	$3,4\cdot10^{-5}$	320	?	5,4	0,9	?	$4,7\cdot10^{-2}$
17	?	950	0,3	3,8	0,07	2000	?
18	$2,2\cdot10^{-4}$	360	0,09	4,5	?	?	1,2
19	$7\cdot10^{-6}$	?	0,55	2,4	0,85	?	$2,43\cdot10^{-2}$
20	$1,38\cdot10^{-4}$	800	?	5,6	0,12	950	?
21	?	900	0,75	4,0	?	700	$1,78\cdot10^{-4}$
22	$1,36\cdot10^{-4}$	?	?	6,6	0,8	1100	$7,78\cdot10^{-2}$
23	$1,77\cdot10^{-5}$	450	0,25	?	0,55	?	$3,85\cdot10^{-2}$
24	$5,6\cdot10^{-5}$	1100	0,6	?	0,06	1400	?
25	$3,4\cdot10^{-6}$	?	0,35	3,2	?	1650	$1,2\cdot10^{-2}$
26	$2,9\cdot10^{-5}$	830	?	?	0,25	2500	$1,08\cdot10^{-3}$
27	?	400	0,7	5,3	0,6	?	$3\cdot10^{-3}$
28	$1,77\cdot10^{-5}$	650	0,08	2,6	0,35	?	?

Задача 14.8. Катушка имеет сопротивление R и индуктивность L. Сила тока в катушке равна i_0. Через время t после выключения сила тока в катушке становится равной i. Найти неизвестную величину, выполнить дополнительное задание.

Номер задания	R, Ом	L, Гн	i_0, А	i, А	t, с	Проанализировать зависимость
1	?	0,133	i_0	$0{,}5i_0$	$4\cdot10^{-3}$	
2	30	?	i_0	$0{,}2i_0$	$1{,}6\cdot10^{-2}$	$i=f(t)$
3	12	0,036	?	0,1	$5{,}37\cdot10^{-3}$	
4	25	0,75	0,5	?	$2{,}08\cdot10^{-2}$	i_0, R, L – const
5	11,1	0,032	i_0	$0{,}25i_0$	?	
6	?	0,04	i_0	$0{,}1i_0$	$4{,}6\cdot10^{-3}$	$i=f(R)$
7	120	?	i_0	$0{,}4i_0$	$9{,}16\cdot10^{-4}$	
8	230	0,115	?	0,2	$8{,}05\cdot10^{-4}$	i_0, L, t – const
9	180	0,09	0,8	?	$6{,}93\cdot10^{-4}$	
10	138,6	0,1	i_0	$0{,}5i_0$	?	$i=f(L)$
11	?	0,16	i_0	$0{,}25i_0$	$2{,}77\cdot10^{-3}$	
12	35	?	i_0	$0{,}4i_0$	$1{,}83\cdot10^{-2}$	i_0, R, t – const
13	90	0,27	?	0,125	$4{,}16\cdot10^{-3}$	
14	146	0,073	0,6	?	$8{,}95\cdot10^{-4}$	$\frac{i}{i_0}=f(t)$
15	28	0,252	i_0	$0{,}2i_0$	?	
16	?	0,24	i_0	$0{,}1i_0$	$6{,}9\cdot10^{-3}$	
17	180	?	i_0	$0{,}25i_0$	$9{,}7\cdot10^{-4}$	
18	110,9	0,84	?	0,05	$1{,}05\cdot10^{-2}$	$\frac{i}{i_0}=f(R)$
19	72	0,144	0,1	?	$3{,}22\cdot10^{-3}$	
20	45,8	0,15	i_0	$0{,}4i_0$	?	
21	?	0,45	i_0	$0{,}5i_0$	$2{,}08\cdot10^{-3}$	
22	96,6	?	i_0	$0{,}2i_0$	$8\cdot10^{-4}$	$\frac{i}{i_0}=f(L)$
23	85	0,34	?	0,14	$6{,}44\cdot10^{-3}$	
24	35,8	0,26	0,12	?	$1{,}3\cdot10^{-2}$	
25	104	0,2	i_0	$0{,}125i_0$	?	
26	?	0,024	i_0	$0{,}1i_0$	$9{,}2\cdot10^{-4}$	$\frac{i}{i_0}=f(t)$
27	183,2	?	i_0	$0{,}4i_0$	$1{,}1\cdot10^{-3}$	
28	62	0,31	?	0,15	$1{,}04\cdot10^{-2}$	

Задача 14.9. Найти плотность тока смещения $j_{см}$ в плоском конденсаторе, расстояние между пластинами которого в течение времени t равномерно увеличивается от d_0 до d со скоростью v, в случаях, когда заряды на пластинах конденсатора не меняются и когда разность потенциалов $\Delta\varphi$ между пластинами остается постоянной. Считать, что расстояние d между пластинами остается все время намного меньше линейных размеров пластин. Относительная диэлектрическая проницаемость среды между обкладками конденсатора равна ϵ.

Номер задания	$\Delta\varphi$, В	d_0, см	ϵ	v, см/с	t, с	Пояснить зависимость
1				0,5		
2	150	0,5	1,8	0,1	0,2	$j_{см} = f(v)$
3				0,3		
4				0,8		
5					0,5	
6	220	1,0	4,0	1,0	1,0	$j_{см} = f(t)$
7					1,5	
8					2,0	
9	100					
10	200	0,8	25,2	2,0	1,5	$j_{см} = f(\Delta\varphi)$
11	300					
12	400					
13		2,0				
14	500	4,0	1,4	3,5	0,75	$j_{см} = f(d_0)$
15		6,0				
16		8,0				
17			2,2			
18	250	1,5	4,5	5,0	1,0	$j_{см} = f(\epsilon)$
19			20			
20			81			
21				2,0		
22	350	3,0	2,0	4,0	0,5	$j_{см} = f(v)$
23				6,0		
24				8,0		
25					0,01	
26	180	2,5	1,5	3,0	0,1	$j_{см} = f(t)$
27					1,0	
28					10	

Задача 14.10. Зазор между двумя параллельными круглыми пластинами заполнен однородной слабо проводящей средой удельной проводимостью σ и диэлектрической проницаемостью ϵ (магнитная проницаемость $\mu = 1$). Зазор d много меньше радиуса пластин R. На пластины подается напряжение, изменяющееся по закону $U = U_m \cos \omega t$. Определить напряженность магнитного поля H в зазоре на расстоянии от оси пластин r, значительно меньшем R, в момент времени t, принимая за начало отсчета времени момент, когда $U = 0$.

Номер задания	σ (Ом·м)$^{-1}$	ϵ	d, см	U_m, В	ω, рад/с	r, см	t, с	Объяснить зависимость
1	10^{-8}							
2	$5 \cdot 10^{-8}$	6,0	2	300	500	1,0	10^{-2}	$H = f(\sigma)$
3	10^{-7}							
4	$3 \cdot 10^{-8}$							
5		2,0						
6	$4 \cdot 10^{-8}$	2,6	1	250	1000	0,5	$2 \cdot 10^{-3}$	$H = f(\epsilon)$
7		6,0						
8		81						
9			1					
10	$6 \cdot 10^{-8}$	2,6	2	150	800	0,8	$6 \cdot 10^{-3}$	$H = f(d)$
11			3					
12			4					
13				200				
14	$8 \cdot 10^{-8}$	4,2	0,5	400	750	0,1	$5 \cdot 10^{-4}$	$H = f(U_m)$
15				600				
16				800				
17					500			
18	$2 \cdot 10^{-7}$	8,2	3,5	200	1000	0,6	$7 \cdot 10^{-3}$	$H = f(\omega)$
19					2000			
20					3000			
21						0,5		
22	$7 \cdot 10^{-8}$	5,4	3	500	400	1,0	$8 \cdot 10^{-4}$	$H = f(r)$
23						1,5		
24						2,0		
25							10^{-3}	
26	$2 \cdot 10^{-8}$	4,8	1,5	350	600	1,0	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$H = f(t)$
27							$2,5 \cdot 10^{-3}$	
28							$5 \cdot 10^{-3}$	

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

ТЕМА 15. ГАРМОНИЧЕСКИЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Контрольные вопросы

15.1. Какие колебания называются гармоническими? Запишите дифференциальное уравнение гармонических колебаний и его решение. Какие величины изменяются по гармоническому закону: а) при механических колебаниях; б) при электромагнитных? Зависимость этих величин от какого параметра описывается гармоническим законом?

15.2. Что называется периодом колебания, его амплитудой, фазой? Что такое начальная фаза колебания? Когда колеблющаяся точка имеет максимальную скорость? Чему она равна? Когда ее ускорение максимально?

15.3. Какие силы называются упругими, квазиупругими? Запишите закон Гука и объясните его физический смысл. Что представляет собой пружинный маятник, какие силы действуют в этом случае на движущуюся материальную точку? Чему равен период колебаний пружинного маятника?

15.4. Что называется физическим маятником? Что такое приведенная длина физического маятника? По какой формуле можно рассчитать период колебаний физического маятника? Чему равен момент инерции обруча, диска, шара, стержня относительно оси, проходящей через центр масс? Как определить момент инерции тела относительно оси, не проходящей через центр масс?

15.5. Что называется математическим маятником? Чему равен период колебаний математического маятника?

15.6. Начертите качественный график изменения кинетической и потенциальной энергии точки, совершающей гармонические колебания, в зависимости от смещения точки относительно положения равновесия и объясните его. Как определить полную энергию гармонически колеблющейся материальной точки?

15.7. По какому закону изменяется с течением времени кинетическая энергия колеблющейся материальной точки? Когда она максимальна? Какому закону подчиняется изменение потенциальной энергии материальной точки при гармонических механических колебаниях? В какие моменты времени максимальна потенциальная энергия?

15.8. Что называется колебательным контуром? Чем отличается идеальный колебательный контур от реального? Как частота электромагнитных колебаний в контуре связана с индуктивностью и емкостью контура?

15.9. Запишите дифференциальное уравнение гармонических электромагнитных колебаний и его решение для изменения количества электричества на обкладках конденсатора в зависимости от времени. Какому закону подчиняется при этом изменение тока через катушку индуктивности? Как

будет меняться во времени разность потенциалов на обкладках конденсатора?

15.10. Какая связь существует между частотой и периодом гармонических колебаний? Запишите формулу Томсона для определения периода гармонических электромагнитных колебаний в колебательном контуре.

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс общей физики. М., 1977. Т. 1 (§ 49–54).
2. *И.В. Савельев.* Курс общей физики. М., 1988. Т. 2 (§ 88–89).
3. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ 27.1–27.3).
4. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 140–143).

Задача 15.1. Написать уравнение гармонического колебательного движения с амплитудой A, если за время t совершается n колебаний и начальная фаза колебаний равна φ_0. Найти: а) смещение точки в момент времени $t = 0$; б) максимальную скорость точки; в) ее максимальное ускорение. Начертить график этого движения.

Номер задания	A, см	t, с	n	φ_0
1	0,5	60	150	$\pi/4$
2	3,2	96	120	$\pi/2$
3	2,0	16	80	$-\pi/4$
4	1,4	25,6	160	$-\pi/2$
5	1,5	51,2	160	$\pi/4$
6	0,3	8,0	80	$\pi/2$
7	2,2	48	120	$-\pi/4$
8	2,4	12	150	$-\pi/2$
9	1,2	24	120	$\pi/2$
10	3,3	6,0	150	π
11	0,4	32	80	$-\pi/2$
12	2,5	19,2	120	$-\pi$
13	0,2	2,4	120	$\pi/4$
14	1,3	64	80	$-\pi/4$
15	2,4	24	150	$\pi/2$
16	1,5	9,6	120	$-\pi/2$
17	1,2	64	160	$-\pi/2$
18	3,0	4,8	120	$\pi/2$
19	0,4	4,8	60	$-\pi/4$
20	5,0	32	100	$\pi/4$
21	2,0	12,8	80	π
22	3,5	12,0	120	$-\pi$
23	4,2	38,4	120	$\pi/2$
24	0,5	30	150	$-\pi/2$
25	2,5	15	150	$-\pi/4$
26	0,6	6,4	80	$\pi/4$
27	4,0	2,4	120	$-\pi/2$
28	5,2	48	240	$\pi/2$

Задача 15.2. Начальная фаза гармонического колебания материальной точки равна нулю. При смещении точки от положения равновесия x_1 скорость ее составляет v_1, а при смещении x_2 – скорость равна v_2. Период колебаний равен T. Найти неизвестную величину согласно номеру задания. Определить амплитуду колебания (с точностью до 0,01 см).

Номер задания	x_1, см	x_2, см	v_1, см/с	v_2, см/с	T, с
1	?	1,5	4,2	2,5	2,08
2	3,0	?	8,0	6,0	3,14
3	1,5	2,0	?	1,0	2,94
4	2,4	2,8	3,0	?	4,05
5	1,2	1,5	2,0	1,6	?
6	?	4,0	3,5	0,4	4,78
7	0,1	?	2,5	2,0	2,052
8	4,5	6,0	?	0,8	6,36
9	0,8	1,0	3,5	?	2,09
10	2,0	2,5	3,0	2,0	?
11	?	6,0	4,5	1,0	4,75
12	4,0	?	14,0	2,8	2,05
13	1,4	2,0	?	1,0	3,9
14	0,2	0,8	5,0	?	1,062
15	3,5	4,0	2,6	1,4	?
16	?	1,0	4,0	3,5	2,81
17	1,0	?	2,5	1,0	4,75
18	0,4	0,6	?	1,6	2,34
19	2,2	2,8	2,0	?	6,28
20	5,0	6,0	12,0	3,2	?
21	?	2,5	4,5	1,2	2,17
22	0,5	?	5,2	2,5	0,86
23	6,0	6,5	?	2,0	2,78
24	1,6	2,0	4,0	?	2,85
25	2,5	3,0	3,6	1,2	?
26	?	0,5	5,0	3,0	0,72
27	5,5	?	10,0	1,5	2,75
28	0,6	1,2	?	1,4	2,46

Задача 15.3 ется пружина, которая под действием силы F может растягиваться на x Если к этой пружине подвесить груз массой m, то период вертикальных юаний груза будет равен T. Найти искомую величину согласно номеру зия в таблице. Массой пружины пренебречь.

Номер задания	F	x, см	m, кг	T, с
1		0,5	0,02	0,4
2	25	?	0,5	0,8
3	8	2,5	?	0,5
4	36	7,0	0,15	?
5		5,0	0,25	1,2
6	56	?	0,9	4,0
7	8	6,0	?	0,08
8	52	1,5	0,7	?
9		4,0	0,2	0,04
10	59	?	0,45	0,12
11	5	9,0	?	0,8
12	74	8,0	0,04	?
13		3,5	0,75	0,2
14	93	?	0,05	0,06
15	95	2,0	?	1,26
16	8	6,0	0,6	?
17		1,0	0,4	1,2
18	22	?	0,01	0,02
19	88	4,5	?	0,16
20		3,0	0,32	?
21		5,0	0,08	0,04
22	29	?	0,3	0,6
23	05	6,5	?	0,08
24	92	4,0	0,24	?
25		2,0	0,06	0,1
26	47	?	0,8	3,2
27	36	7,0	?	0,4
28	8	5,5	0,42	?

Задача 15.4. Физическое тело заданных формы и размеров, подвешенное на гвозде, вбитом в стену, совершает малые колебания в плоскости, параллельной стене. Найти период колебаний для заданного тела согласно номеру задания. Размерами петли, за которую подвешено тело, пренебречь.

Номер задания	Физическое тело	Размеры тела		Длина нити L, см
		радиус r, см	длина l, см	
1	Обруч	19,6		
2		4,9		
3		122,5		
4		44,1		
5	Диск	5,29		
6		26,13		
7		6,53		
8		4,18		
9	Диск на нити	6,0		10
10		5,0		5
11		10,0		5
12		8,0		12
13	Шар	5,67		
14		4,48		
15		2,52		
16		7,0		
17	Шар на нити	2,0		3
18		5,0		5
19		12,0		8
20		12,0		18
21	Стержень		20	
22			50	
23			80	
24			100	
25	Стержень на нити		20	10
26			50	20
27			80	50
28			100	50

Задача 15.5. Однородный шарик радиусом R подвешен на нити длиной L. Этот физический маятник можно рассматривать как математический, но при таком допущении относительная ошибка в определении периода колебаний равна $\delta T = |T_2 - T_1|/T_1$, где T_1 – период колебаний математического маятника; T_2 – период колебаний физического маятника. Определить неизвестную величину согласно номеру задания.

Номер задания	R, см	L, м	δT, %
1		?	1,0
2	5,0	?	2,0
3		?	3,0
4		?	5,0
5	?		1,0
6	?	2,0	2,0
7	?		3,0
8	?		5,0
9	1,0	?	
10	2,0	?	1,0
11	3,0	?	
12	4,0	?	
13	?	1,0	
14	?	2,0	1,0
15	?	3,0	
16	?	4,0	
17	1,0	0,0346	?
18	5,0	0,078	?
19	10,0	0,215	?
20	20,0	0,313	?
21		?	1,0
22		?	2,0
23	10,0	?	5,0
24		?	10,0
25	?		1,0
26	?		2,0
27	?	0,5	5,0
28	?		10,0

Задача 15.6. Материальная точка, подвешенная на пружине, массой которой можно пренебречь, колеблется по гармоническому закону с амплитудой, равной A. Максимальная сила, действующая при этом на материальную точку, равна F_{max}, полная энергия колеблющейся точки — W. Коэффициент жесткости пружины — k. Найти неизвестные величины согласно номеру задания.

Номер задания	A, см	F_{max}, Н	k, Н/м	W, Дж
1	?	?	100	0,02
2	6	?	?	0,24
3	1	4	?	?
4	?	7	280	?
5	?	?	300	0,24
6	3	?	?	0,27
7	5	20	?	?
8	?	1,5	100	?
9	?	?	1400	0,07
10	0,8	?	?	0,012
11	1,5	8	?	?
12	?	5	200	?
13	?	?	200	$5{,}625\cdot10^{-3}$
14	2,5	?	?	$7{,}5\cdot10^{-2}$
15	0,9	2,5	?	?
16	?	12	300	?
17	?	?	100	0,125
18	4	?	?	0,18
19	6	30	?	?
20	?	1,6	320	?
21	?	?	233,3	$1{,}05\cdot10^{-3}$
22	2	?	?	0,16
23	3	6	?	?
24	?	6,4	800	?
25	?	?	416,7	$7{,}5\cdot10^{-3}$
26	0,7	?	?	$1{,}4\cdot10^{-2}$
27	0,5	0,9	?	?
28	?	18	600	?

Задача 15.7. Материальная точка массой m совершает гармонические колебания по закону $x = f(t)$. Записать законы изменения во времени потенциальной, кинетической и полной энергий точки, вычислить их значения в моменты времени t_1 и t_2 и построить графики зависимости каждой из этих энергий от времени в пределах одного периода.

Номер задания	m, кг	$x = f(t)$, см	t_1, с	t_2, с
1	0,25	$x = 4\cos 1{,}25\pi t$	T	$T/8$
2			$T/4$	$3T/8$
3			$T/2$	$5T/8$
4			$3T/4$	$7T/8$
5	0,2	$x = 3\cos 0{,}5\pi t$	T	$T/8$
6			$T/4$	$3T/8$
7			$T/2$	$5T/8$
8			$3T/4$	$7T/8$
9	0,05	$x = 2\cos 12{,}5\pi t$	T	$T/8$
10			$T/4$	$3T/8$
11			$T/2$	$5T/8$
12			$3T/4$	$7T/8$
13	0,3	$x = 5\cos 0{,}25\pi t$	T	$T/8$
14			$T/4$	$3T/8$
15			$T/2$	$5T/8$
16			$3T/4$	$7T/8$
17	0,1	$x = 3\cos 5\pi t$	T	$T/8$
18			$T/4$	$3T/8$
19			$T/2$	$5T/8$
20			$3T/4$	$7T/8$
21	0,15	$x = 4\cos 2{,}5\pi t$	T	$T/8$
22			$T/4$	$3T/8$
23			$T/2$	$5T/8$
24			$3T/4$	$7T/8$
25	0,35	$x = 2\cos 6{,}25\pi t$	T	$T/8$
26			$T/4$	$3T/8$
27			$T/2$	$5T/8$
28			$3T/4$	$7T/8$

Задача 15.8. Колебательный контур, имеющий индуктивность L, емкость, меняющуюся в пределах от C_1 до C_2, и ничтожно малое сопротивление, может быть настроен на диапазон длин волн от λ_1 до λ_2. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	L, 10^{-4} Гн	C_1, пФ	C_2, пФ	λ_1, м	λ_2, м
1	4,0	?	?	223	1306
2	7,0	20	1300	?	?
3	?	?	750	146	1264,5
4	?	45	900	?	4,0
5	9,0	?	?	160	1696,5
6	1,0	5	650	?	?
7	?	?	1000	66,64	421,5
8	?	40	1400	?	1221,6
9	0,8	?	?	65,3	461,7
10	2,0	12	1200	?	?
11	?	35	?	208,6	1271,5
12	?	4	800	99,74	?
13	?	?	1750	178,8	1115
14	?	30	950	?	1643,3
15	0,1	?	?	26,66	197,7
16	5,0	3	1500	?	?
17	6,0	?	?	113,1	1460,1
18	0,4	10	900	?	?
19	?	8	?	119,2	1115
20	?	50	1700	133,3	?
21	8,0	?	?	119,8	1686
22	0,3	15	1100	?	?
23	?	?	850	357,6	1648,7
24	?	48	1800	?	1599,4
25	0,9	?	?	126,4	505,8
26	3,0	25	1600	?	?
27	?	9	700	?	386,3
28	?	?	980	273,2	1561,2

Задача 15.9. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью C и катушки индуктивностью L. Омическим сопротивлением цепи можно пренебречь. Конденсатор заряжен количеством электричества q_m. Написать для данного контура уравнения изменения разности потенциалов на обкладках конденсатора и силы тока в цепи в зависимости от времени. Построить графики этих зависимостей. Выполнить дополнительное задание согласно номеру в таблице.

Номер задания	C, мкФ	L, Гн	q_m, Кл	Дополнительно определить
1	0,06	1,5	$8\cdot10^{-6}$	Разность потенциалов на обкладках конденсатора и силу тока в контуре в момент времени $T/4$
2	1,7	0,4	$5\cdot10^{-5}$	
3	0,9	2,2	$6\cdot10^{-4}$	
4	0,025	1,0	$2{,}5\cdot10^{-6}$	
5	1,0	3,0	$6\cdot10^{-6}$	Энергию электрического поля и магнитного поля в момент времени $T/4$
6	0,2	1,4	$3\cdot10^{-5}$	
7	0,05	0,3	$8\cdot10^{-6}$	
8	1,4	0,005	10^{-6}	
9	0,8	2,0	$2\cdot10^{-4}$	Полную энергию в момент времени $T/4$
10	0,01	0,05	$8\cdot10^{-6}$	
11	1,6	0,8	$5\cdot10^{-6}$	
12	0,3	2,1	$4\cdot10^{-5}$	
13	0,02	0,08	10^{-5}	Энергию электрического поля и магнитного поля в момент времени $T/2$
14	0,1	1,6	$5\cdot10^{-5}$	
15	0,07	0,15	$2\cdot10^{-6}$	
16	1,2	0,5	$9\cdot10^{-5}$	
17	0,6	0,02	$3\cdot10^{-5}$	Разность потенциалов на обкладках конденсатора и силу тока в контуре в момент времени $T/2$
18	2,0	0,6	10^{-4}	
19	0,015	0,1	$4\cdot10^{-6}$	
20	0,08	1,3	$7\cdot10^{-6}$	
21	0,4	1,2	$2\cdot10^{-5}$	Разность потенциалов на обкладках конденсатора и силу тока в контуре в момент времени $T/4$
22	1,5	0,01	$7\cdot10^{-4}$	
23	0,04	1,8	$4\cdot10^{-6}$	
24	1,8	0,9	$6\cdot10^{-4}$	
25	0,03	2,5	$3\cdot10^{-6}$	Полную энергию электромагнитного поля в момент времени $T/2$
26	0,5	0,02	$7\cdot10^{-5}$	
27	0,09	0,7	10^{-6}	
28	1,3	2,8	$9\cdot10^{-6}$	

Задача 15.10. Уравнение изменения со временем разности потенциалов на обкладках конденсатора в колебательном контуре дано в виде $U_C = f(t)$. Емкость конденсатора равна C. Записать закон изменения силы тока в контуре. Определить: период колебаний в контуре T; индуктивность контура L; максимальный заряд конденсатора q_{max}; длину волны, излучаемой контуром λ согласно номеру в таблице.

Номер задания	$U_C = f(t)$, В	$C, 10^{-9}$ Ф	Определить
1 2 3 4	$U_C = 20\cos(5{,}5\cdot10^8\pi t + \frac{\pi}{4})$	0,5	T L q_{max} λ
5 6 7 8	$U_C = 5\cos(4\cdot10^8\pi t - \frac{\pi}{2})$	2,0	T L q_{max} λ
9 10 11 12	$U_C = 35\cos(5\cdot10^8\pi t - \frac{\pi}{4})$	0,6	T L q_{max} λ
13 14 15 16	$U_C = 25\cos(3{,}5\cdot10^8\pi t - \frac{\pi}{2})$	0,2	T L q_{max} λ
17 18 19 20	$U_C = 15\cos(8\cdot10^8\pi t + \frac{\pi}{4})$	1,0	T L q_{max} λ
21 22 23 24	$U_C = 10\cos(4{,}5\cdot10^8\pi t - \frac{\pi}{4})$	0,8	T L q_{max} λ
25 26 27 28	$U_C = 30\cos(3\cdot10^8\pi t - \frac{\pi}{2})$	1,2	T L q_{max} λ

ТЕМА 16. СЛОЖЕНИЕ ГОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ. ЗАТУХАЮЩИЕ МЕХАНИЧЕСКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ. ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Контрольные вопросы

16.1. Что называетсяктором амплитуды? Как с помощью векторов амплитуды можно сложить одинаково направленные колебания одной частоты? Как рассчитать амуду результирующего колебания? По какой формуле можно определитьальную фазу результирующего колебания? Чему равна амплитуда и начал фаза результирующего колебания, если: а) складываемые колебания нат ся в одной фазе; б) складываемые колебания находятся в противофаз

16.2. В каком случаи сложении одинаково направленных колебаний возникают биения? Запиге закон изменения амплитуды результирующих колебаний при биении,) равен период изменения амплитуды при биении?

16.3. Запишите уравне траектории движущейся точки, участвующей одновременно в двух вза перпендикулярных колебаниях одинаковой частоты. Какой вид имеет траектория в самом общем случае? Какой вид примет уравнение траекторри разности фаз складываемых колебаний: а) $\alpha = 0$; б) $\alpha = \pm \pi$; в) $\alpha = \pi/2$? По какой траектории будет двигаться точка в результате сложения взно перпендикулярных колебаний одинаковой частоты в каждом из трех аев?

16.4. В каком случколебания затухают? Запишите дифференциальное уравнение затухающих баний и его решение. По какому закону меняется амплитуда затухающихлебаний? Что называется временем релаксации? Как время релаксации ано с коэффициентом затухания?

16.5. Что называе логарифмическим декрементом затухания? Как логарифмический декрт затухания связан с коэффициентом затухания и периодом колебаникакая связь существует между логарифмическим декрементом затуханичислом колебаний за время релаксации? Что называется добротностью сы?

16.6. За счет чегоухают колебания в колебательном контуре? Как добротность колебатего контура связана с логарифмическим декрементом затухания? Какаязь существует между добротностью контура и числом колебаний за врелаксации? Как добротность контура связана с его индуктивностью, емко и сопротивлением?

16.7. Как осуществся переход энергии в колебательном контуре из одного вида в другой счет чего рассеивается энергия в реальном колебательном контуре? Каротность контура связана с уменьшением энергии в контуре за один пер

16.8. Запишите деренциальное уравнение вынужденных колебаний, постройте график выненных колебаний, объясните его. Чему равна частота вынужденных колеба По какой формуле можно рассчитать амплитуду вынужденных колеба

16.9. В чем состовление резонанса? Чем определяется амплитуда колебаний при резонансек найти резонансную частоту?

16.10. Что такое нансные кривые? Чем определяется форма резонанс-

ных кривых? Как она связана с добротностью системы? Чему равно резонансное значение амплитуды силы тока в контуре? Чему равно максимальное напряжение на обкладках конденсатора в колебательном контуре при резонансе?

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс общей физики. М., 1977. Т. 1 (§ 55–61).
2. *И.В. Савельев.* Курс общей физики. М., 1988. Т. 2 (§ 90–92).
3. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ 27.4, 28.1–28.3).
4. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 144–152).

Задача 16.1. Найти амплитуду и начальную фазу гармонического колебания, полученного при сложении одинаково направленных колебаний, описываемых уравнениями $x_1 = f_1(t)$ и $x_2 = f_2(t)$. Записать уравнение результирующего колебания.

Номер задания	$x_1 = f_1(t)$, см	$x_2 = f_2(t)$, см
1	$x_1 = 2\sin(5\pi t + \pi/2)$	$x_2 = 3\sin(5\pi t + \pi/4)$
2	$x_1 = 3\cos(10\pi t - \pi/2)$	$x_2 = \cos(10\pi t + \pi/4)$
3	$x_1 = 8\cos(5\pi t - \pi/4)$	$x_2 = 3\cos(5\pi t + \pi/4)$
4	$x_1 = \sin(0{,}5\pi t - \pi)$	$x_2 = 6\sin(0{,}5\pi t + \pi/2)$
5	$x_1 = 4\sin(18\pi t + \pi/6)$	$x_2 = 2\sin(18\pi t - \pi/3)$
6	$x_1 = 1{,}5\sin(6\pi t - \pi/6)$	$x_2 = \sin(6\pi t + \pi/3)$
7	$x_1 = 6\cos(25\pi t + \pi/2)$	$x_2 = 5\cos(25\pi t - \pi/6)$
8	$x_1 = 12\cos(40\pi t - \pi/2)$	$x_2 = 9\cos(40\pi t + \pi/6)$
9	$x_1 = 14\cos(8\pi t - \pi)$	$x_2 = 10\cos(8\pi t + \pi/3)$
10	$x_1 = 5\sin(14\pi t + \pi)$	$x_2 = 3\sin(14\pi t - \pi/3)$
11	$x_1 = 9\sin(30\pi t - \pi/3)$	$x_2 = 6\sin(30\pi t + \pi/2)$
12	$x_1 = 10\cos(2\pi t + \pi/3)$	$x_2 = 12\cos(2\pi t - \pi/2)$
13	$x_1 = 3\cos(24\pi t + \pi/4)$	$x_2 = 4\cos(24\pi t - \pi/3)$
14	$x_1 = 10\sin(9\pi t - \pi/4)$	$x_2 = 9\sin(9\pi t + \pi/3)$
15	$x_1 = \cos(35\pi t - \pi/6)$	$x_2 = 5\cos(35\pi t - \pi/4)$
16	$x_1 = 6\sin(16\pi t + \pi/6)$	$x_2 = 4\sin(16\pi t + \pi/4)$
17	$x_1 = 5\cos(20\pi t - \pi)$	$x_2 = 8\cos(20\pi t + \pi/6)$
18	$x_1 = 1{,}2\sin(3\pi t + \pi)$	$x_2 = \sin(3\pi t + \pi/6)$
19	$x_1 = 8\sin(28\pi t + \pi/4)$	$x_2 = 3\sin(28\pi t - \pi)$
20	$x_1 = 12\cos(12\pi t - \pi/4)$	$x_2 = 10\cos(12\pi t - \pi)$
21	$x_1 = \cos(45\pi t + \pi/2)$	$x_2 = 2\cos(45\pi t + \pi/3)$
22	$x_1 = 10\sin(4\pi t - \pi/2)$	$x_2 = 7\sin(4\pi t + \pi/3)$
23	$x_1 = 4\cos(15\pi t + \pi/4)$	$x_2 = 6\cos(15\pi t - \pi/6)$
24	$x_1 = 8\sin(60\pi t - \pi/4)$	$x_2 = 12\sin(60\pi t - \pi/6)$
25	$x_1 = 3\sin(22\pi t - \pi)$	$x_2 = 4\sin(22\pi t - \pi/4)$
26	$x_1 = 9\cos(50\pi t + \pi)$	$x_2 = 8\cos(50\pi t - \pi/4)$
27	$x_1 = 12\sin(7\pi t + \pi/4)$	$x_2 = 7\sin(7\pi t + \pi/2)$
28	$x_1 = 1{,}5\cos(34\pi t - \pi/4)$	$x_2 = \cos(34\pi t + \pi/2)$

Задача 16.2. Материальная точка участвует одновременно в двух колебательных движениях, имеющих одинаковые амплитуды, равные A, начальные фазы, равные нулю, и различающихся циклическими частотами на величину $\Delta\omega = |\omega_1 - \omega_2|$, где $\Delta\omega \ll \omega_1$ и $\Delta\omega \ll \omega_2$. Возникающие при этом биения имеют период, равный $T_б$, амплитуда колебаний в момент времени t_1 равна $A_б$. Найти неизвестные величины согласно номеру задания.

Номер задания	A, см	$\Delta\omega$, рад/с	$T_б$, с	t_1, с	$A_б$, см
1	?	?	12,0	4,0	1,0
2	2,0	?	12,0	?	2,83
3	0,3	2π	?	1,0	?
4	?	π	?	0,5	4,24
5	0,8	?	12,0	?	1,39
6	3,0	?	1,2	0,3	?
7	?	$\pi/3$	?	2,0	5,0
8	0,4	$\pi/2$	?	?	0,566
9	0,6	?	12,0	3,0	?
10	?	?	0,2	0,2	4,0
11	4,0	$\pi/6$	?	?	5,66
12	2,0	$\pi/10$	?	5,0	?
13	?	?	2,4	0,6	5,66
14	5,0	?	4,0	?	10,0
15	0,7	$\pi/3$	?	1,0	?
16	?	5π	?	0,4	2,0
17	3,0	?	4,0	?	4,24
18	1,0	?	6,0	2,0	?
19	?	$\pi/6$	?	4,0	5,0
20	0,5	$\pi/10$	?	?	0,707
21	0,9	?	18,0	3,0	?
22	?	?	2,4	0,4	3,46
23	0,1	$\pi/3$	?	?	0,1
24	4,0	4π	?	0,5	?
25	?	?	0,4	0,1	4,24
26	0,2	?	12,0	?	0,2
27	1,0	$0,4\pi$	?	5,0	?
28	?	$2,5\pi$	?	0,8	8,0

Задача 16.3. Получить уение траектории, по которой движется материальная точка, участвующановременно в двух взаимно перпендикулярных колебательных движенюписываемых уравнениями $x = f_1(t)$ и $y = f_2(t)$, построить график тгории.

Номер задания	$x = f_1$ (м	$y = f_2(t)$, см
1	$x = 2\cos(2{,}5\pi t + 3$	$y = 2\cos(2{,}5\pi t + \pi)$
2	$x = 2\cos(2{,}5\pi t + 3$	$y = 4\cos(2{,}5\pi t + \pi/2)$
3	$x = 2\cos(2{,}5\pi t + 3$	$y = 4\cos(2{,}5\pi t + 3\pi/2)$
4	$x = 2\cos(2{,}5\pi t + 3$	$y = 4\cos(2{,}5\pi t + 2\pi)$
5	$x = \cos(5\pi t - \pi/4$	$y = 7\cos(5\pi t + 3\pi/4)$
6	$x = \cos(5\pi t - \pi/4$	$y = 7\cos(5\pi t + \pi/4)$
7	$x = \cos(5\pi t - \pi/4)$	$y = \cos(5\pi t - 3\pi/4)$
8	$x = \cos(5\pi t - \pi/4)$	$y = 7\cos(5\pi t - \pi/4)$
9	$x = 3\cos(10\pi t + 5\pi$	$y = 15\cos(10\pi t + \pi/3)$
10	$x = 3\cos(10\pi t + \pi/$	$y = 15\cos(10\pi t + \pi/6)$
11	$x = 3\cos(10\pi t - 5$	$y = 15\cos(10\pi t + \pi/6)$
12	$x = 3\cos(10\pi t + \pi$	$y = 3\cos(10\pi t - \pi/3)$
13	$x = 3\cos(30\pi t + 2\pi$	$y = 9\cos(30\pi t - \pi/3)$
14	$x = 9\cos(30\pi t + 2\pi$	$y = 9\cos(30\pi t + 7\pi/6)$
15	$x = 3\cos(30\pi t + 2\pi$	$y = 9\cos(30\pi t + \pi/6)$
16	$x = 3\cos(30\pi t + 2\pi$	$y = 9\cos(30\pi t + 2\pi/3)$
17	$x = 4\cos(20\pi t - \pi$	$y = 6\cos(20\pi t - \pi/6)$
18	$x = 4\cos(20\pi t - \pi$	$y = 6\cos(20\pi t + \pi/3)$
19	$x = 4\cos(20\pi t - \pi$	$y = 6\cos(20\pi t + 5\pi/6)$
20	$x = 4\cos(20\pi t - \pi$	$y = 4\cos(20\pi t - 2\pi/3)$
21	$x = 2\cos(25\pi t - 2$	$y = 2\cos(25\pi t + 5\pi/18)$
22	$x = 2\cos(25\pi t + 7\pi$	$y = 8\cos(25\pi t + 5\pi/18)$
23	$x = 2\cos(25\pi t - 2\pi$	$y = 8\cos(25\pi t - 2\pi/9)$
24	$x = 2\cos(25\pi t + 7\pi$	$y = 8\cos(25\pi t - 2\pi/9)$
25	$x = 6\cos(15\pi t + 5\pi$	$y = 3\cos(15\pi t - 7\pi/12)$
26	$x = 6\cos(15\pi t + 5\pi$	$y = 3\cos(15\pi t + 5\pi/12)$
27	$x = 6\cos(15\pi t + 5\pi$	$y = 3\cos(15\pi t - \pi/12)$
28	$x = 3\cos(15\pi t + 5\pi$	$y = 3\cos(15\pi t + 11\pi/12)$

Задача 16.4. Математический маятник длиной l, выведенный из положения равновесия, отклонился при первом колебании на расстояние A_1 см, а при втором – A_2 см. Время релаксации, т.е. время, в течение которого амплитуда уменьшится в e раз, равно τ. Найти нужную величину согласно номеру задания в таблице

Номер задания	l, м	A_1, см	A_2, см	τ, с
1	?	4	3	7,64
2	2,8	?	4	15,06
3	1,5	10	?	11,0
4	2,2	12	9	?
5	?	5	4	12,73
6	3,0	?	3,5	26,0
7	1,3	15	?	10,26
8	3,6	13	11	?
9	?	12	10,5	26,0
10	1,8	?	3	17,5
11	1,0	9	?	8,0
12	3,2	14	11	?
13	?	7	5	9,43
14	4,0	?	4	18,0
15	1,2	6	?	12,06
16	2,6	5	4,5	?
17	?	3	2,5	11,0
18	2,0	?	5,5	11,77
19	3,5	12	?	20,6
20	1,4	8	6	?
21	?	9	8	20,86
22	3,4	?	5,5	42,5
23	1,6	10	?	11,4
24	2,5	14	12	?
25	?	6	5	20,6
26	3,8	?	6	17,55
27	2,4	13	?	38,87
28	1,7	11	10	?

Задача 16.5. За время t механическая система успевает совершить N колебаний. За это время амплитуда колебаний уменьшается в n раз. Коэффициент затухания колебаний равен β, логарифмический декремент затухания – κ, добротность системы – Q, относительная убыль энергии системы за период колебаний – $\Delta W/W$. Найти неизвестные величины согласно номеру задания.

Номер задания	t, с	N	n	β, $с^{-1}$	κ	Q	$\Delta W/W$
1	?	?	5,0	0,02	?	314	?
2	50	25	?	?	0,05	?	?
3	?	40	?	0,05	?	?	0,05
4	20	?	7,39	?	?	125,6	?
5	?	30	?	0,015	0,033	?	?
6	120	?	20,08	?	?	62,8	?
7	?	?	12,18	0,025	?	?	0,2
8	60	96	?	?	0,025	?	?
9	?	60	?	0,01	?	157	?
10	75	?	4,48	?	?	?	0,1
11	?	20	?	0,04	0,1	?	?
12	33	?	3,74	?	?	94,2	?
13	?	?	4,95	0,02	?	?	0,04
14	85	170	?	?	0,01	?	?
15	?	120	?	0,012	?	188,4	?
16	110	?	9,03	?	?	?	0,08
17	?	90	?	0,04	0,02	?	?
18	150	?	4,49	?	?	104,7	?
19	?	?	2,46	0,01	?	?	0,03
20	45	30	?	?	0,06	?	?
21	?	50	?	0,05	?	78,5	?
22	48	?	11,03	?	?	?	0,12
23	?	25	?	0,04	0,08	?	?
24	135	?	3,86	?	?	209	?
25	?	?	3,67	0,02	?	?	0,02
26	60	15	?	?	0,04	?	?
27	?	12	?	0,09	?	52,3	?
28	105	?	8,17	?	?	?	0,06

Задача 16.6. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью L, конденсатора емкостью C и обладает активным сопротивлением R. За один период разность потенциалов на обкладках конденсатора уменьшается в n раз. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	L, Гн	C, мкФ	R, Ом	n
1	?	8	2,0	1,134
2	0,1	?	5,0	1,099
3	0,05	45	?	1,152
4	0,22	3,52	2,5	?
5	?	2,25	0,8	1,0076
6	0,01	?	1,2	1,12
7	0,2	12,8	?	1,106
8	0,15	7,35	30	?
9	?	14,4	4,5	1,185
10	0,04	?	1,0	1,029
11	0,26	6,5	?	1,019
12	0,12	27	4,0	?
13	?	6,05	3,5	1,129
14	0,16	?	7,0	1,166
15	0,3	10,8	?	1,027
16	0,02	72	2,2	?
17	?	2,56	15	1,46
18	0,25	?	3,6	1,145
19	0,06	150	?	1,17
20	0,14	56	2,5	?
21	?	1,5	20	1,37
22	0,18	?	4,5	1,073
23	0,03	2,43	?	1,089
24	0,28	7	15	?
25	?	80	2,6	1,177
26	0,08	?	12	1,207
27	0,24	2,16	?	1,048
28	0,32	5,12	6,0	?

Задача 16.7. Колебательный тур имеет емкость C и индуктивность L. Логарифмический декремент затия равен κ. За время t' в контуре вследствие затухания теряется $\Delta W/W_0$ эии. Найти неизвестную величину согласно номеру задания. Выполнить дополнительное задание.

Номер задания	C, мкФ	L, Гн		t', с	$\Delta W/W_0$, %	Пояснить зависимость
1				0,15	?	$\frac{\Delta W}{W_0} = f(t')$
2	12	0,03	6	0,20	?	
3				0,25	?	
4				0,30	?	
5			(		?	$\frac{\Delta W}{W_0} = f(\kappa)$
6	14,4	0,1	(	0,8	?	
7			(		?	
8			(		?	
9			0	?		$t'_{90\%} = f(\kappa)$
10	18	0,5	0	?	90	
11			0	?		
12			0			
13				?	60	$\frac{\Delta W}{W_0} = f(t')$
14	80	0,2	0	?	70	
15				?	80	
16				?	90	
17				1,5	?	$\frac{\Delta W}{W_0} = f(t')$
18	16	0,25	0,	3,0	?	
19				4,5	?	
20				6,0	?	
21			0,	?		$t'_{99\%} = f(\kappa)$
22	40	0,4	0,(	?	99	
23			0,(	?		
24			0,(	?		
25			0,		?	$\frac{\Delta W}{W_0} = f(\kappa)$
26	90	0,1	0,(	1,0	?	
27			0,(		?	
28			0,(		?	

Задача 16.8. На пружине, коэффициент жесткости которой k, висит железный шарик массой m. Со стороны переменного магнитного поля на шарик действует синусоидальная сила, амплитудное значение которой F_0 и циклическая частота – Ω. Коэффициент сопротивления среды – r. Найти амплитуду вынужденных колебаний при $\Omega = b\omega_0$, где ω_0 – собственная частота колебаний пружинного маятника. Построить график зависимости амплитуды колебаний от частоты вынуждающей силы.

Номер задания	k, Н/м	m, кг	F_0, Н	b	r, Н·с/м
1				0,2	
2	820	0,2	3,0	0,4	0,025
3				0,6	
4				0,8	
5				0,85	
6	820	0,2	3,0	0,9	0,025
7				0,95	
8				0,99	
9				1,01	
10	820	0,2	3,0	1,05	0,025
11				1,25	
12				1,5	
13				0,5	
14	650	0,1	2,0	0,6	0,12
15				0,7	
16				0,8	
17				0,95	
18	650	0,1	2,0	0,99	0,12
19				1,0	
20				1,01	
21				1,05	
22	650	0,1	2,0	1,10	0,12
23				1,15	
24				1,20	
25				1,4	
26	650	0,1	2,0	1,6	0,12
27				1,8	
28				2,0	

Задача 16.9. Груз массой m подвесили на пружину, которая при этом растянулась на x см. Если систему вывести из положения равновесия и отпустить, она совершает затухающие колебания с коэффициентом затухания β, причем $\beta << \omega_0$, где ω_0 – частота собственных колебаний системы. Если на эту систему действует периодическая вынуждающая сила, амплитудное значение которой F_0, на частоте $\omega_{рез} \approx \omega_0$ наблюдается возрастание амплитуды колебаний до резонансного значения, равного $A_{рез}$. Найти неизвестную величину согласно номеру задания.

Номер задания	m, кг	x, см	β, $с^{-1}$	F_0, Н	$A_{рез}$, см
1	?	0,5	0,3	1,2	22,6
2	0,12	?	0,22	4,0	108,2
3	0,25	0,7	?	2,5	89,1
4	0,08	0,26	0,12	?	127,25
5	0,1	0,15	0,28	1,8	?
6	?	0,36	0,16	2,1	41,9
7	0,35	?	0,05	1,0	57,7
8	0,2	0,22	?	2,4	89,9
9	0,04	0,1	0,2	?	25,25
10	0,15	0,25	0,14	1,2	?
11	?	0,18	0,31	0,5	21,86
12	0,3	?	0,08	3,6	131,2
13	0,14	0,12	?	1,5	118,6
14	0,2	0,45	0,09	?	35,7
15	0,26	0,2	0,1	3,0	?
16	?	0,35	0,26	2,2	80,0
17	0,36	?	0,24	3,5	20,5
18	0,16	0,24	?	1,4	34,2
19	0,3	0,32	0,1	?	15,06
20	0,24	0,6	0,15	2,6	?
21	?	0,14	0,32	1,7	12,7
22	0,22	?	0,16	2,0	64,2
23	0,05	0,3	?	0,6	35,0
24	0,28	0,42	0,18	?	20,6
25	0,18	0,4	0,25	0,9	?
26	?	0,16	0,35	3,2	39,0
27	0,32	?	0,07	1,6	88,4
28	0,06	0,28	?	0,8	45,1

Задача 16.10. В колебательный контур, имеющий индуктивность L, емкость C и сопротивление R, подключена последовательно к элементам контура переменная ЭДС, изменяющаяся по закону $\epsilon = \epsilon_m \cos\omega t$. Добротность контура равна Q. При малом затухании ($\beta^2 << \omega_0^2$) резонансные значения заряда на обкладках конденсатора, силы тока в контуре и напряжения на обкладках конденсатора равны $q_{рез}$, $I_{рез}$ и $U_{рез}$ соответственно. Найти неизвестные величины.

Номер задания	L, Гн	C, мкФ	R, Ом	ϵ_m, В	ω_0, рад/с	Q	$q_{рез}$, Кл	$I_{рез}$, А	$U_{рез}$, В
1	0,15	0,22	?	3,0	?	120	?	?	?
2	?	0,15	?	?	4714	210	$3{,}78\cdot10^{-5}$	?	?
3	0,2	?	5,0	?	?	?	?	0,5	250
4	?	0,28	?	0,9	?	?	?	0,3	180
5	?	0,3	6,4	1,5	?	?	?	?	135
6	0,14	?	4,52	?	4518	?	$9{,}8\cdot10^{-5}$	?	?
7	?	0,4	?	3,2	?	85	?	0,4	?
8	0,3	?	?	?	?	125	?	0,2	175
9	?	?	14,9	?	3536	95	?	?	190
10	0,1	0,26	?	?	?	130	$4{,}73\cdot10^{-5}$	?	?
11	?	?	4,5	?	4200	?	?	0,2	108
12	?	?	?	0,8	6250	150	?	0,1	?
13	0,32	?	?	2,5	5590	140	?	?	?
14	?	0,3	5,9	?	4714	?	$1{,}08\cdot10^{-4}$	?	?
15	0,4	?	?	3,15	?	?	?	0,35	252
16	0,2	?	?	?	?	110	?	0,4	176
17	0,18	0,1	?	1,2	?	?	?	?	180
18	0,24	?	?	?	5270	180	$4{,}05\cdot10^{-5}$	?	?
19	?	0,25	5,0	?	?	90	?	0,8	?
20	?	0,8	2,0	0,4	?	?	?	?	50
21	?	0,2	12,25	?	?	100	?	?	140
22	0,2	0,4	6,73	?	?	?	$1{,}68\cdot10^{-4}$	?	?
23	?	?	?	7,2	3600	70	?	0,6	?
24	?	?	?	3,0	5400	?	?	0,15	270
25	?	?	4,54	2,2	4082	180	?	?	?
26	?	0,5	?	?	3651	150	$2{,}04\cdot10^{-4}$	?	?
27	0,28	?	12,0	?	?	?	?	0,3	360
28	?	0,6	?	1,5	?	?	?	0,5	120

ТЕМА 17. ВОЛНОВОЕ ДВИЖЕНИЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Контрольные вопросы

17.1. Какое движение называется волновым? Запишите волновое уравнение плоской волны и его решение. Как называют: а) длиной волны; б) фазовой скоростью?

17.2. Что называется фронтом волны? Что такое волновая поверхность? В чем состоит принцип Гюйгенса?

17.3. Что называется волновым числом? Как оно связано с длиной волны? Что такое волновой вектор?

17.4. Какие волны называются стоячими? Запишите уравнение стоячей волны. По какому закону меняется амплитуда стоячей волны?

17.5. Что называют узлами и пучностями в стоячей волне? Запишите условия возникновения узлов и пучностей. Укажите наиболее простой способ получения стоячей волны. Объясните, как происходит отражение волны от более плотной и менее плотной сред.

17.6. Запишите уравнение электромагнитной волны. Назовите основные свойства электромагнитных волн. Какие параметры среды определяют скорость распространения в ней электромагнитных волн? Запишите формулу для расчета скорости электромагнитной волны в однородной и изотропной среде. Какая связь существует между напряженностями электрического и магнитного полей электромагнитной волны, распространяющейся в однородной и изотропной среде?

17.7. Что называется пакетом (группой) волн? Как распространяется волновой пакет в пространстве? Запишите уравнение волнового пакета. Каким законом описывается амплитуда колебаний в волновом пакете? Что называется групповой скоростью? Чему она равна?

17.8. Какая связь существует между групповой и фазовой скоростями? Запишите формулу, определяющую эту связь. Какую величину называют дисперсией? Что она показывает? Какие среды называют диспергирующими, а какие – недиспергирующими?

17.9. Что называется плотностью энергии, переносимой волной? Чему равна плотность энергии электромагнитной волны, распространяющейся в однородной и изотропной среде? Как определить плотность потока энергии, переносимой электромагнитной волной? Что характеризует вектор Умова–Пойнтинга?

17.10. Что называют потоком энергии? Как поток энергии связан с вектором Умова–Пойнтинга? Как определить энергию, поглощаемую за определенное время поверхностью, на которую падает электромагнитная волна?

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс общей физики. М., 1988. Т. 2 (§ 93–99, 104–107).
2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ 29.1–29.7, 30.1–30.5).
3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., (§ 153–157, 161–164).

Задача 17.1. Колебания частотой ν и амплитудой A распространяются в однородной среде. Длина волны равна λ, фазовая скорость — c, максимальная скорость частиц воздуха — v_{max}. Найти неизвестные величины согласно номеру задания.

Номер задания	ν, Гц	A, мм	λ, м	c, м/с	v_{max}, м/с
1	?	0,3	0,825	?	0,754
2	?	0,5	1,1	330	?
3	450	?	0,75	?	0,68
4	5000	0,46	?	350	?
5	3500	?	0,4	?	3,3
6	2200	?	?	836	4,15
7	?	0,28	0,08	320	?
8	80	0,25	5,0	?	?
9	?	0,42	0,12	?	7,92
10	140	0,56	?	910	?
11	1100	?	0,64	?	3,456
12	?	0,32	0,525	420	?
13	?	0,26	0,5	600	?
14	?	0,15	0,84	?	0,707
15	630	?	?	756	1,425
16	4800	0,2	?	720	?
17	?	0,4	0,26	520	?
18	86	?	4,2	?	0,433
19	100	1,15	?	330	?
20	?	0,6	1,2	?	1,131
21	750	0,7	?	825	?
22	5000	?	0,125	?	3,14
23	?	0,45	3,2	?	0,34
24	?	?	0,9	405	0,99
25	500	0,25	0,7	?	?
26	?	0,8	1,6	?	1,257
27	4000	?	?	480	2,01
28	90	0,6	?	378	?

Задача 17.2. Уравнение незатухающих колебаний источника имеет вид $\xi = f_1(t)$. Найти смещение ξ_1 точки, находящейся на расстоянии x_1 от источника колебаний, спустя время t_1 после начала колебаний, если скорость распространения колебаний равна c. На какое расстояние продвинется фронт волны к моменту времени t_2? Решить согласно номеру задания в таблице, выполнить дополнительное задание.

Номер задания	$\xi = f_1(t)$, см	x_1, м	t_1, с	t_2, с	c, м/с	Построить график
1			$1{,}1\cdot10^{-2}$	0,2		$\xi = f(t)$ при
2	$\xi = 3\cos 500\pi t$	6,4	$1{,}2\cdot10^{-2}$	0,4	320	$x = \text{const}$
3			$1{,}3\cdot10^{-2}$	0,6		
4			$1{,}4\cdot10^{-2}$	0,8		
5		5,2		1,0		$\xi = f(x)$ при
6	$\xi = 3\cos 500\pi t$	5,6	10^{-2}	1,2	320	$t = \text{const}$
7		6,0		1,4		
8		6,4		1,6		
9			10^{-2}	2,0		$\xi = f(t)$ при
10	$\xi = 4\sin 600\pi t$	0,75	$1{,}02\cdot10^{-2}$	3,0	300	$x = \text{const}$
11			$1{,}04\cdot10^{-2}$	4,0		
12			$1{,}06\cdot10^{-2}$	5,0		
13		0,6		0,5		$\xi = f(x)$ при
14	$\xi = 4\sin 600\pi t$	0,8	10^{-2}	1,0	300	$t = \text{const}$
15		1,0		1,5		
16		1,2		2,0		
17			0,10	0,2		$\xi = f(t)$ при
18	$\xi = 5\cos 66\pi t$	9,9	0,11	0,4	330	$x = \text{const}$
19			0,12	0,6		
20			0,13	0,8		
21		2		1,0		$\xi = f(x)$ при
22		4	0,1	1,2	330	$t = \text{const}$
23	$\xi = 5\cos 66\pi t$	6		1,4		
24		8		1,6		
25			$1{,}25\cdot10^{-2}$	2,0		$\xi = f(t)$ при
26	$\xi = 2\sin 160\pi t$	1,28	$1{,}5\cdot10^{-2}$	3,0	320	$x = \text{const}$
27			$1{,}75\cdot10^{-2}$	4,0		
28			$2{,}0\cdot10^{-2}$	5,0		

Задание 17.3. Разность фаз двух колеблющихся точек, находящихся соответственно на расстоянии x_1 и x_2 от источника колебаний, составляет $\Delta\varphi$. Волновое число, соответствующее данной волне, равно k. Найти неизвестную величину согласно номеру в таблице. Определить длину волны.

Номер задания	x_1, м	x_2, м	$\Delta\varphi$, рад	k, рад/м
1	?	12,0	π	0,628
2	0,4	?	$\pi/4$	12,566
3	11,0	16,0	?	0,314
4	0,2	0,7	$1,5\pi$	?
5	?	6,5	2π	1,571
6	3,75	?	$\pi/2$	6,283
7	6,0	8,5	?	1,257
8	5,0	5,667	$\pi/6$	?
9	?	6,0	3π	3,14
10	4,1	?	$\pi/2$	15,708
11	2,0	3,25	?	1,257
12	1,2	1,755	$\pi/3$	?
13	?	1,2625	$\pi/2$	25,133
14	5,2	?	$0,1\pi$	0,942
15	2,1	2,5167	?	37,699
16	5,5	6,75	π	?
17	?	3,933	5π	18,849
18	6,25	?	$\pi/4$	0,628
19	0,7	0,8	?	31,416
20	8,2	9,867	$\pi/6$	?
21	?	1,325	$\pi/4$	6,283
22	1,4	?	2π	15,708
23	3,1	4,35	?	1,257
24	0,8	1,2	π	?
25	?	1,7	4π	12,566
26	0,55	?	$\pi/2$	31,416
27	10,0	14,0	?	1,57
28	11,5	12,75	$\pi/4$	?

Задача 17.4. Стоячая волна, образованная при сложении двух одинаковых волн, имеющих длину волны λ, амплитуду A и распространяющихся навстречу одна другой, на расстоянии x от одного из источников колебаний имеет амплитуду B. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	λ, м	A, см	x, м	B, см
1	?	3,0	0,5	4,243
2	8,0	?	4,0	10,0
3	1,5	2,5	?	2,5
4	5,0	4,0	0,625	?
5	?	1,5	0,25	2,598
6	0,8	?	0,1	2,828
7	1,2	2,5	?	3,535
8	2,0	1,0	0,25	?
9	?	3,0	0,2	4,243
10	0,6	?	0,1	2,0
11	0,4	0,5	?	1,0
12	4,0	2,0	0,5	?
13	?	0,5	0,1	0,5
14	0,3	?	0,05	1,0
15	6,0	2,0	?	3,464
16	3,2	1,5	0,4	?
17	?	1,0	0,2	1,0
18	1,8	?	0,15	5,196
19	6,0	3,5	?	6,062
20	0,9	0,2	0,075	?
21	?	5,0	1,25	7,07
22	8,0	?	1,0	5,657
23	1,5	4,2	?	4,2
24	2,4	1,5	0,2	?
25	?	2,0	0,75	3,464
26	6,0	?	0,5	5,196
27	0,8	0,2	?	0,283
28	3,0	0,5	0,25	?

Задача 17.5. Найти положение узлов и пучностей и начертить графи стоячей волны, образованной сложением падающей и отраженной от границ раздела двух сред бегущей волны, если известно, что расстояние между n и k-й пучностями стоячей волны равно Δx и отражение происходит в точк находящейся на расстоянии x от источника. Учесть условия отражения от гр ницы двух сред.

Номер задания	n	k	Δx, м	x, м	Плотность среды, от которой происходит отражение
1 2	2	5	0,75	1,5	Более плотная Менее плотная
3 4	4	8	0,4	1,0	Более плотная Менее плотная
5 6	3	7	2,4	4,8	Более плотная Менее плотная
7 8	2	6	4,0	7,0	Более плотная Менее плотная
9 10	1	4	0,24	0,4	Более плотная Менее плотная
11 12	1	5	1,2	1,5	Более плотная Менее плотная
13 14	2	4	0,28	0,7	Более плотная Менее плотная
15 16	1	7	4,8	7,2	Более плотная Менее плотная
17 18	1	3	0,4	1,2	Более плотная Менее плотная
19 20	3	5	0,8	2,0	Более плотная Менее плотная
21 22	2	6	0,64	0,96	Более плотная Менее плотная
23 24	1	5	16,0	32,0	Более плотная Менее плотная
25 26	3	6	6,0	14,0	Более плотная Менее плотная
27 28	2	3	0,32	1,6	Более плотная Менее плотная

Задача 17.6. В однородной изотропной среде с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ и относительной магнитной проницаемостью μ, близкой к единице, распространяется плоская электромагнитная волна, амплитуда напряженности электрического поля волны равна E_m, амплитуда напряженности магнитного поля — H_m. Фазовая скорость распространения волны — v. Найти неизвестные величины согласно номеру задания.

Номер задания	ϵ	E_m, В/м	$H_m \cdot 10^{-3}$, А/м	$v \cdot 10^8$, м/с
	?	?	8,56	1,86
	2,6	?	2,14	?
	?	2,5	?	2,12
	6	0,6	?	?
	2,0	?	1,88	?
	6,0	1,0	?	?
	?	?	7,96	3,0
	?	0,4	?	2,12
	1,0	1,5	?	?
0	?	0,1	?	1,224
1	?	?	4,28	1,86
2	2,0	?	3,0	?
3	?	2,0	?	2,12
4	2,6	?	0,856	?
5	6,0	0,5	?	?
6	?	?	26,0	1,224
7	2,0	?	7,51	?
8	2,6	0,8	?	?
9	?	?	1,327	3,0
0	?	3,0	?	2,12
1	6,0	0,2	?	?
2	?	1,5	?	1,224
3	1,0	?	5,31	?
4	?	?	1,06	3,0
5	2,0	?	2,25	?
6	6,0	1,2	?	?
7	?	?	4,28	1,86
8	?	4,0	?	3,0

Задача 17.7. Запишите уравнение, описывающее распространяющийся в кристалле вдоль заданной оси волновой пакет, образовавшийся при сложении двух электромагнитных волн с одинаковым амплитудным значением электрического вектора E_m, имеющих циклические частоты ω_1 и ω_2 и волновые числа k_1 и k_2 соответственно. Определите фазовую скорость каждой волны (с точностью до двух различающихся значащих цифр) и групповую скорость волнового пакета.

Номер задания	E_m, В/м	k_1, $10^6\pi$ рад/м	k_2, $10^6\pi$ рад/м	ω_1, $10^{14}\pi$ рад/с	ω_2, $10^{14}\pi$ рад/с
1	1,25	2,98	3,11	5,81	6,05
2	0,5	3,05	3,39	5,93	6,59
3	1,4	3,11	3,66	6,05	7,10
4	0,02	3,39	3,93	6,59	7,61
5	0,55	3,66	4,11	7,10	7,95
6	0,07	3,93	4,16	7,61	8,02
7	0,15	4,11	4,94	7,95	9,46
8	0,2	4,16	6,59	8,02	12,29
9	1,6	4,94	9,33	9,46	16,16
10	0,05	6,59	10,8	12,29	17,11
11	0,8	9,33	10,8	16,16	17,11
12	0,45	2,98	3,05	5,81	5,93
13	0,1	3,05	3,11	5,93	6,05
14	0,75	3,11	3,39	6,05	6,59
15	0,08	3,39	3,66	6,59	7,10
16	0,25	3,66	3,93	7,10	7,61
17	0,01	3,93	4,11	7,61	7,95
18	0,65	4,11	4,16	7,95	8,02
19	0,4	4,16	4,94	8,02	9,46
20	1,0	4,94	6,59	9,46	12,29
21	1,5	6,59	9,33	12,29	16,16
22	0,06	1,59	2,98	3,12	5,81
23	1,8	2,98	3,39	5,81	6,59
24	0,3	3,05	3,66	5,93	7,10
25	1,2	3,11	3,93	6,05	7,61
26	0,04	1,59	3,05	3,12	5,93
27	0,35	3,39	4,11	6,59	7,95
28	0,6	3,66	4,16	7,10	8,02

Задача 17.8. Электромагнитные колебания, распространяясь в однородной среде, имеют групповую скорость u и фазовую v. Дисперсия в диапазоне длин волн $d\lambda$ вблизи λ равна D. Определить неизвестную величину согласно номеру задания в таблице; пояснить, в диспергирующей или недиспергирующей среде распространяется электромагнитная волна, положительной или отрицательной дисперсией обладает среда.

Номер задания	λ, нм	v, 10^8 м/с	u, 10^8 м/с	D, 10^{12} с$^{-1}$
1	?	1,82	1,78	5,55
2	804	?	1,80	9,95
3	1050	1,95	?	1,9
4	234	1,76	1,24	?
5	?	1,94	1,91	3,15
6	608	?	1,89	8,22
7	194	1,66	?	92,8
8	512	1,90	1,82	?
9	?	1,96	1,93	2,94
10	437	?	1,86	13,73
11	280	1,78	?	50,0
12	720	1,95	1,85	?
13	?	1,96	1,92	4,76
14	362	?	1,36	132,6
15	523	1,91	?	5,73
16	486	1,93	1,72	?
17	?	1,95	1,93	3,1
18	546	?	1,89	9,16
19	304	1,86	?	217,1
20	590	1,94	1,89	?
21	?	1,93	1,78	29,53
22	185	?	1,14	237,84
23	656	1,94	?	4,57
24	405	1,91	1,53	?
25	?	1,73	0,65	504,67
26	480	?	1,76	33,34
27	670	1,95	?	16,42
28	1256	1,96	1,92	?

Задача 17.9. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна, в которой напряженность электрического поля меняется по закону $E = E_m \cos(\omega t - kx)$, а напряженность магнитного поля — по закону $H = H_m \cos(\omega t - kx)$. Найти мгновенное значение величины вектора Умова—Пойнтинга в точке x_1 в момент времени t_1 и ее среднее за период и максимальное значение.

Номер задания	$E = E_m \cos(\omega t - kx)$, В/м	x_1, м	t_1, с
1	$E = 2\cos(2{,}5 \cdot 10^8\, \pi t - 0{,}83\, \pi x)$	1,205	$4{,}667 \cdot 10^{-9}$
2			$5 \cdot 10^{-9}$
3			$5{,}32 \cdot 10^{-9}$
4			$8 \cdot 10^{-9}$
5	$E = 12\cos(5 \cdot 10^6\, \pi t - 1{,}667 \cdot 10^{-2}\, \pi x)$	60	$2{,}334 \cdot 10^{-7}$
6			$2{,}5 \cdot 10^{-7}$
7			$2{,}66 \cdot 10^{-7}$
8			$4 \cdot 10^{-7}$
9	$E = 8\cos(1{,}25 \cdot 10^7\, \pi t - 4{,}167 \cdot 10^{-2}\, \pi x)$	24	$9{,}33 \cdot 10^{-8}$
10			10^{-7}
11			$1{,}064 \cdot 10^{-7}$
12			$1{,}6 \cdot 10^{-7}$
13	$E = 20\cos(6{,}25 \cdot 10^8\, \pi t - 2{,}083\, \pi x)$	0,48	$3{,}2 \cdot 10^{-9}$
14			$2{,}128 \cdot 10^{-9}$
15			$2 \cdot 10^{-9}$
16			$1{,}867 \cdot 10^{-9}$
17	$E = 6\cos(3{,}125 \cdot 10^9\, \pi t - 9{,}6 \cdot 10^{-2}\, \pi x)$	10,42	$4 \cdot 10^{-10}$
18			$6{,}4 \cdot 10^{-10}$
19			$4{,}256 \cdot 10^{-10}$
20			$3{,}734 \cdot 10^{-10}$
21	$E = 15\cos(8{,}33 \cdot 10^7\, \pi t - 0{,}278\, \pi x)$	3,6	$1{,}4 \cdot 10^{-8}$
22			$1{,}5 \cdot 10^{-8}$
23			$2{,}4 \cdot 10^{-8}$
24			$1{,}6 \cdot 10^{-8}$
25	$E = 30\cos(1{,}67 \cdot 10^8\, \pi t - 0{,}556\, \pi x)$	1,8	$8 \cdot 10^{-9}$
26			$7 \cdot 10^{-9}$
27			$7{,}5 \cdot 10^{-9}$
28			$1{,}2 \cdot 10^{-8}$

дача 17.10. В вакууме распространяется плоская электромагнитная во максимальная величина электрического вектора которой равна E_m. Наи волны перпендикулярно к направлению распространения расположена пля поверхность площадью S. За время τ, значительно превышающее пе-риолебаний электрического и магнитного векторов в электромагнитной во данная поверхность поглощает энергию, равную W. Найти неизвестную вену согласно номеру задания в таблице.

Но зад	E_m, В/м	S, м^2	τ, мин	W, Дж
	?	30	5	2,985
	1,2	?	25	5,732
	0,1	40	?	0,955
	3,0	6	40	?
	?	24	4	30,57
	1,4	?	15	11,7
	3,0	3	?	21,5
	0,6	15	50	?
	?	4	1	2,866
	0,8	?	14	7,133
	4,0	26	?	132,4
	0,1	20	20	?
	?	8	30	0,764
	1,8	?	8	6,19
	5,0	36	?	143,3
	2,0	25	45	?
	?	12	2	47,77
	1,6	?	40	65,22
	3,5	32	?	156,0
	0,5	5	12	?
	?	14	60	1070
	0,3	?	3	0,86
	1,5	22	?	47,29
	4,5	10	35	?
	?	16	55	17,5
	2,5	?	10	29,86
	0,4	35	?	8,92
	5,0	2	16	?

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

ТЕМА 18. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

Контрольные вопросы

18.1 В чем состоит явление интерференции волн? Какие волны называются когерентными? Что называется оптической разностью хода двух лучей? При каких разности хода и разности фаз двух лучей наблюдается максимум, а при каких – минимум интенсивности света в точке наблюдения?

18.2. Расскажите, какими способами на практике можно получить когерентные волны. Поясните, в чем состоял опыт Юнга. Что называют шириной интерференционной полосы? Чему она равна? Чему равно расстояние между соседними интерференционными полосами? От чего оно зависит?

18.3. Почему, если на пути одного из интерферирующих лучей поместить прозрачную пластинку или кювету с прозрачной жидкостью или газом, интерференционная картина смещается? Обоснуйте свой ответ. Приведите примеры практического использования этого явления.

18.4. Как происходит интерференция света в тонких пленках? Что такое полосы равного наклона? Как они возникают?

18.5. На чем основано "просветление оптики"? Как рассчитать толщину просветляющего покрытия? От чего она зависит?

18.6. Как происходит интерференция света в тонких клинообразных пластинках? Что такое полосы равной толщины? Как они возникают?

18.7. Как происходит интерференция на "воздушном клине", образованном двумя плоскостями, ограничивающими прозрачные среды? При каких условиях наблюдаются в этом случае максимумы и минимумы интенсивности отраженного света?

18.8. Что такое кольца Ньютона? Как они возникают? Как записать условия возникновения светлых и темных колец в проходящем и отраженном свете? Каким образом можно определить, светлое или темное пятно будет в центре интерференционной картины?

18.9. На чем основан принцип работы интерферометров? Что представляет собой интерферометр Майкельсона? Как выглядит интерференционная картина в этом интерферометре при использовании нерасходящегося пучка света? Какие измерения он позволяет выполнить?

18.10. Поясните, как возникает интерференционная картина при использовании зеркал Френеля. Чему равно расстояние между соседними интерференционными полосами в этом случае?

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс общей физики. М., 1988. Т. 2 (§ 119–123).
2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики, М., 1989 (§ 31.1–31.5).
3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 171–176).

Задача 18.1. Расстояние между щелями в опыте Юнга равно d, расстояние от щели до экрана – l. Расстояние между двумя соседними полосами, соответствующее длине волны λ, равно Δx. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	d, мм	l, м	λ, мкм	Δx, мм
1	0,7	0,32	0,35	?
2	4,0	2,0	?	0,23
3	3,1	?	0,62	0,30
4	?	4,6	0,40	0,92
5	1,5	3,5	0,66	?
6	7,0	28	?	1,36
7	4,5	?	0,55	1,10
8	?	5,0	0,38	1,00
9	10	30	0,65	?
10	2,1	4,2	?	0,84
11	2,6	?	0,52	1,20
12	?	24	0,34	2,04
13	1,6	6,2	0,48	?
14	3,0	18	?	3,12
15	2,4	?	0,60	2,50
16	?	4,4	0,54	2,97
17	0,2	0,8	0,50	?
18	2,1	2,2	?	0,66
19	4,0	?	0,36	0,72
20	?	7,5	0,44	2,20
21	1,8	4,5	0,64	?
22	6,5	26	?	2,28
23	2,7	?	0,45	2,50
24	?	40	0,58	4,64
25	4,0	25	0,32	?
26	0,9	3,6	?	1,80
27	3,4	?	0,68	4,00
28	?	4,8	0,56	3,84

Задача 18.2. Во сколько раз увеличится расстояние между соседними интерференционными полосами на экране в опыте Юнга, если свет одного цвета заменить светом другого цвета.

Номер задания	Первоначальный цвет	λ_1, мкм	Последующий цвет	λ_2, мкм
1			Синий	0,48
2	Красный	0,70	Желтый	0,58
3			Зеленый	0,55
4			Фиолетовый	0,40
5			Зеленый	0,55
6	Желтый	0,59	Зелено-голубой	0,51
7			Красный	0,70
8			Фиолетовый	0,41
9			Зелено-голубой	0,51
10	Фиолетовый	0,40	Красный	0,64
11			Красный	0,69
12			Зеленый	0,54
13			Желтый	0,59
14	Зелено-голубой	0,51	Фиолетовый	0,41
15			Красный	0,64
16			Красный	0,72
17	Синий	0,48		
18	Зеленый	0,55	Оранжевый	0,62
19	Фиолетовый	0,40		
20	Красный	0,70		
21	Зеленый	0,55		
22	Желтый	0,59	Синий	0,46
23	Красный	0,70		
24	Фиолетовый	0,4		
25	Фиолетовый	0,42		
26	Синий	0,48	Зеленый	0,54
27	Желтый	0,58		
28	Красный	0,72		

Задача 18.3. В опыте Юнга на пути одного из интерферирующих лучей помещалась тонкая прозрачная пластинка толщиной d и коэффициентом преломления n, вследствие чего интерференционная картина смещалась на m полос. Длина волны падающего света – λ, свет падает на пластинку нормально. Найти неизвестную величину согласно номеру задания, выполнить дополнительное задание.

Номер задания	d, мкм	n	m	λ, мкм	Построить градуировочный график
1	?		2		
2	?	1,5	5	0,60	$m = f(d)$
3	?		8		
4	?		10		
5		?	6		
6	10	?	10	0,50	$m = f(n)$
7		?	4		
8		?	8		
9			?	0,55	
10	15	1,3	?	0,45	$m = f(\lambda)$
11			?	0,65	
12			?	0,35	
13	?			0,55	
14	?	1,4	5	0,40	$d = f(\lambda)$
15	?			0,65	
16	?			0,35	
17	?	1,3			
18	?	1,4	10	0,45	$d = f(n)$
19	?	1,5			
20	?	1,6			
21		1,36		?	
22	7,5	1,75	8	?	$n = f(\lambda)$
23		1,62		?	
24		1,48		?	
25		?	4		
26	11	?	9,6	0,55	$n = f(m)$
27		?	7		
28		?	8,4		

Задача 18.4. Пучок параллельных лучей длиной волны λ падает в воздухе под углом α на тонкую пленку с показателем преломления n_1, находящуюся на материале, показатель преломления которого n_2. Наименьшая толщина пленки, при которой отраженные лучи будут максимально ослаблены интерференцией, равна d_1, максимально усилены – d_2. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	λ, мкм	α, град	n_1	n_2	d_1, мкм	d_2, мкм
1	?	45	1,10	1,30	?	0,6865
2	0,35	?	1,25	1,50	0,0971	?
3	0,66	60	?	1,10	?	0,1347
4	0,41	30	1,40	1,65	?	?
5	?	60	1,45	1,14	?	0,1397
6	0,44	?	1,30	1,15	0,2017	?
7	0,55	30	?	1,46	?	0,2521
8	0,38	45	1,20	1,40	?	?
9	?	45	1,15	1,45	?	0,2371
10	0,48	?	1,35	1,20	0,1914	?
11	0,40	60	?	1,65	?	0,2219
12	0,63	30	1,50	1,25	?	?
13	?	30	1,40	1,25	?	0,1109
14	0,54	?	1,20	1,35	0,1392	?
15	0,36	60	?	1,55	?	0,1856
16	0,46	45	1,55	1,15	?	?
17	?	60	1,60	1,30	?	0,0892
18	0,39	?	1,10	1,40	0,1437	?
19	0,43	45	?	1,60	?	0,1698
20	0,50	30	1,30	1,10	?	?
21	?	45	1,55	1,25	?	0,1160
22	0,37	?	1,15	1,35	0,102	?
23	0,56	60	?	1,55	?	0,2546
24	0,42	30	1,35	1,15	?	?
25	?	30	1,45	1,60	?	0,1286
26	0,45	?	1,50	1,20	0,1591	?
27	0,60	45	?	1,50	?	0,284
28	0,34	60	1,25	1,45	?	?

Задача 1 Для улучшения качества линз в оптических приборах широко используют "просветление" оптики, т.е. нанесение пленочного покрытия такой толщи d, чтобы при нормальном падении лучей в отраженном свете осуществлялся интерференционный минимум порядка m для света с длиной волны $\lambda = 10^{-7}$ м, соответствующей наибольшей чувствительности человеческого глаза зеленому свету. Показатель преломления линзы – n_1, показатель преломления просветляющей пленки – n_2. Найти неизвестные величины согласно номера задания в таблице.

Номер задания	n_1	n_2	m	d, мкм
1			0	?
2	1,6	1,5	1	?
3			2	?
4			3	?
5		?		0,825
6	1,75	?	4	0,728
7		?		0,884
8		?		0,773
9			?	1,233
10	1,5	1,45	?	0,8534
11			?	0,6638
12			?	1,043
13		1,35		?
14	1,3	1,40	2	?
15		1,45		?
16		1,50		?
17		?	5	
18	1,15	?	6	1,375
19		?	7	
20		?	8	
21		1,20	?	0,6875
22	1,15	1,25	?	0,44
23		1,30	?	0,6346
24		1,35	?	0,4074
25			0	?
26	1,35	1,4	1	?
27			2	?
28			3	?

Задача 18.6. В тонкой клинообразной пластинке с углом между гранями α, находящейся в воздухе, наблюдаются в отраженном свете при нормальном падении лучей с длиной волны λ интерференционные полосы, расстояние между которыми равно Δx. Показатель преломления материала пластинки – n. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице, выполнить дополнительное задание.

Номер задания	Светофильтр	λ, мкм	α, мин	n	Δx, мм	Построить график
1			1		?	
2	Фиолетовый	0,41	2	1,5	?	$\Delta x = f(\alpha)$
3			3		?	
4			4		?	
5				1,45	?	
6	Красный	0,70	0,5	1,55	?	$\Delta x = f(n)$
7				1,65	?	
8				1,75	?	
9	?	?			0,752	
10	?	?	1	1,6	0,505	$\Delta x = f(\lambda)$
11	?	?			0,44	
12	?	?			0,634	
13			?		0,398	
14	Желтый	0,59	?	1,7	0,239	$\Delta x = f(\alpha)$
15			?		0,298	
16			?		0,596	
17	Красный	0,70			?	
18	Красный	0,64	2	1,3	?	$\Delta x = f(\lambda)$
19	Зеленый	0,51			?	
20	Фиолетовый	0,42			?	
21				?	1,154	
22	Синий	0,47	0,5	?	1,01	$\Delta x = f(n)$
23				?	1,243	
24				?	1,077	
25	Красный	0,72			?	
26	Желтый	0,58	1	1,4	?	$\Delta x = f(\lambda)$
27	Зеленый	0,55			?	
28	Синий	0,48			?	

Задача 18.7. Между двумя прозрачными пластинками с показателем преломления n_1, находящимися в жидкой или газообразной среде с показателем преломления n_2, попала нить диаметром d так, что образовался клин. Расстояние от нити до вершины клина – L. При нормальном падении на пластинку лучей с длиной волны λ в отраженном свете наблюдается m интерференционных минимумов и максимумов на l длины пластинки. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	n_1	n_2	d, мкм	L, см	λ, мкм	m	l, см
1	1,5	?	2	10	0,3472	5	3,1
2	1,75	1,0	?	12	0,4091	11	5,4
3	1,6	1,00077	16	?	0,4982	9	3,5
4	1,42	1,63	10	15	?	12	3,0
5	1,58	1,02	12	30	0,5814	?	5,7
6	1,65	1,16	2,5	17	0,4199	13	?
7	1,5	?	7	11	0,3733	6	1,6
8	1,47	1,2	?	15	0,6240	4	5,2
9	1,34	1,05	8	?	0,4536	10	5,4
10	1,62	1,0	15	22	?	8	3,1
11	1,49	1,1	3	14	0,4007	?	1,7
12	1,7	1,00038	5	16	0,6044	6	?
13	1,36	?	13	23	0,4845	7	2,5
14	1,55	1,54	?	8	0,5133	3	1,0
15	1,43	1,33	9	?	0,4309	5	0,9
16	1,8	1,12	10	18	?	8	3,9
17	1,45	1,0	17	21	0,5667	?	1,4
18	1,72	1,2	20	24	0,3500	4	?
19	1,38	?	4	9	0,5123	6	2,6
20	1,68	1,4	?	12	0,4480	10	3,2
21	1,76	1,08	4	?	0,6336	3	3,3
22	1,5	1,6	18	25	?	7	1,4
23	1,35	1,004	6	10	0,4016	?	1,0
24	1,44	1,1	11	19	0,5459	7	?
25	1,73	?	19	20	0,5146	6	1,3
26	1,48	1,005	?	11	0,4568	3	1,5
27	1,55	1,4	14	?	0,3733	7	0,8
28	1,64	1,18	5	13	?	9	5,3

Задача 18.8. В установке для наблюдения колец Ньютона пространство между линзой с показателем преломления n_1 и пластинкой с показателем преломления n_3 заполнено газом или жидкостью с показателем преломления n_2. При наблюдении в проходящем (отраженном) свете с длиной волны λ радиус m-го светлого (темного) кольца равен r_m. Радиус кривизны линзы – R. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице; определить, светлое или темное пятно будет в центре интерференционной картины.

Номер задания	Условия наблюдения	n_1	n_2	n_3	λ, мкм	Кольцо	m	r_m, мм	R, м
1	В отраженном свете	1,5	1,0	1,8	0,70	Темное	2	?	0,5
2							3	?	
3							4	?	
4							5	?	
5	В проходящем свете	1,5	1,0	1,8	0,55	Темное	?	1,11	0,5
6							?	0,83	
7							?	0,64	
8							?	0,98	
9	В отраженном свете	1,8	1,63	1,5	?	Светлое	3	0,81	0,6
10					?			0,74	
11					?			0,88	
12					?			0,66	
13	В проходящем свете	1,5	1,63	1,5	0,4240	Светлое	6	1,06	?
14					0,5477			0,84	?
15					0,6405			2,06	?
16					0,7232			2,42	?
17	В отраженном свете	1,5	1,63	1,7	0,50	Светлое	5	0,88	?
18								1,24	?
19								2,77	?
20								3,92	?
21	В проходящем свете	1,5	1,63	1,7	0,64	Темное	2	?	8,0
22							4	?	
23							6	?	
24							8	?	
25	В отраженном свете	1,7	1,0	1,5	0,45	Светлое	?	0,80	0,4
26			1,05				?	0,66	
27			1,1				?	0,95	
28			1,15				?	0,84	

Задача 18.9. Вни интерферометра Майкельсона с нерасходящимся пучком света помещединаковые откачанные кюветы длиной l . Концы кювет закрыты плоскопаельными стеклами. Когда одну из кювет заполнили веществом с показан преломления n , интерференционная картина для длины волны λ сместь на m полос. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таб.

Номер задания	м	n	λ, мкм	m
1		1,33	0,5802	2275
2		?	0,6702	1119
3		1,03	?	654
4		1,08	0,4201	?
5		1,02	0,4507	355
6		?	0,7212	416
7		1,25	?	3214
8		1,13	0,5200	?
9		1,008	0,6000	400
10		?	0,4099	3220
11		1,07	?	1860
12		1,003	0,6818	?
13		1,5	0,6400	3125
14		?	0,50	4640
15		1,18	?	800
16		1,20	0,7002	?
17		1,12	0,5607	2140
18		?	0,6512	1290
19		1,15	?	1020
20		1,02	0,4297	?
21		1,06	0,6194	1550
22		?	0,4828	1160
23		1,54	?	1660
24		1,1	0,5503	?
25		1,12	0,5399	489
26		?	0,6896	812
27		1,41	?	1405
28		1,05	0,4	?

Задача 18.10. На зеркала Френеля, угол между которыми φ, от узкой щели, находящейся на расстоянии r от линии пересечения зеркал, падает монохроматический свет длиной волны λ. Отраженный от зеркал свет дает интерференционную картину на экране, отстоящем на расстоянии b от линии пересечения зеркал, расстояние между интерференционными полосами при этом равно Δx. Найти неизвестную величину.

Номер задания	φ, мин	b, м	r, м	λ, мкм	Δx, мм
1				0,45	?
2	10	2,5	0,12	0,51	?
3				0,60	?
4				0,68	?
5				?	7,67
6	5	3,0	0,10	?	6,82
7				?	5,86
8				?	4,26
9			?		19,18
10	2	2,0	?	0,65	10,72
11			?		8,01
12			?		6,77
13		?			6,87
14	8	?	0,07	0,55	5,86
15		?			3,83
16		?			2,65
17	?				6,82
18	?	4,0	0,15	0,43	4,09
19	?				2,56
20	?				1,70
21	10				?
22	20	3,5	0,05	0,70	?
23	30				?
24	40				?
25			?		1,87
26	20	5,0	?	0,51	2,24
27			?		3,17
28			?		5,52

ТЕМА 19. ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Контрольные вопросы

19.1. В чем состоит явление дифракции света? При каких условиях его можно наблюдать? Какие два типа дифракции Вы знаете? Сформулируйте принцип Гюйгенса и поясните его. Чем его дополнил Френель? На чем основан метод зон Френеля?

19.2. При каких условиях в случае дифракции параллельных монохроматических лучей на круглом отверстии в центре дифракционной картины будет светлое пятно, а при каких — темное?

19.3. При удалении точки наблюдения от диафрагмы с малым круглым отверстием минимумы и максимумы в центре дифракционной картины поочередно сменяют друг друга. Поясните, почему это происходит. При каких условиях наблюдаются последние минимум и максимум?

19.4. Как меняется число зон Френеля, видимых из точки наблюдения, если перемещать диафрагму с малым круглым отверстием от точечного источника к точке наблюдения? При каком положении диафрагмы с отверстием из точки наблюдения видно наименьшее число зон Френеля?

19.5. Какой вид имеет дифракционная картина при дифракции параллельных монохроматических лучей на маленьком круглом экране? Какие зоны Френеля видны при этом? Как рассчитать ширину зоны Френеля?

19.6. Какой тип дифракции наблюдается при нормальном падении параллельных лучей на узкую щель? Под какими углами на экране наблюдаются дифракционные максимумы и минимумы освещенности?

19.7. Как рассчитать расстояние на экране между двумя минимумами или максимумами при дифракции параллельного пучка монохроматического света на узкой щели?

19.8. Как можно наблюдать дифракцию на дифракционной решетке? Чем дифракционная картина в этом случае отличается от дифракционной картины, получаемой на одиночной узкой щели? Под какими углами наблюдаются главные дифракционные максимумы? Под какими углами наблюдаются на экране минимумы? Каким образом происходит разложение белого света в спектр при дифракции немонохроматического света на дифракционной решетке?

19.9. Что называется линейной и угловой дисперсиями спектрального прибора? Что такое разрешающая сила спектрального прибора? Как разрешающая сила связана с числом щелей дифракционной решетки?

19.10. Как происходит дифракция на пространственной решетке? Запишите формулу Вульфа–Брэггов. На чем основаны: а) два метода рентгеноструктурного анализа кристиллической решетки; б) рентгеновская спектроскопия?

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс общей физики. М., 1988. Т. 2 (§ 125–132).
2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ 32.1–32.7).
3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 177–184).

Задача 19.1. Вычислить радиус m-й зоны Френеля, если длина волны света, проходящего через сфетофильтр, равна λ, расстояние от волновой поверхности до источника света – a, а до точки наблюдения – b. Построить график зависимости радиуса m-й зоны Френеля от изменяющегося параметра.

Номер задания	Фронт волны	Светофильтр	λ, мкм	a, м	b, м	m
1 2 3 4	Сферический	Зеленый	0,55	0,3	2,2	1 2 3 4
5 6 7 8	Плоский	Зеленый	0,55	∞	2,2	1 2 3 4
9 10 11 12	Сферический	Фиолетовый Зеленый Оранжевый Красный	0,40 0,52 0,60 0,70	0,3	1,5	2
13 14 15 16	Плоский	Фиолетовый Зеленый Оранжевый Красный	0,40 0,52 0,60 0,70	∞	1,5	2
17 18 19 20	Сферический	Синий	0,47	0,3	1 2 3 4	2
21 22 23 24	Плоский	Синий	0,47	∞	1 2 3 4	2
25 26 27 28	Сферический	Красный	0,64	0,1 0,2 0,3 0,4	1,8	3

Задача 19.2. Свет монохроматического источника длиной волны λ падает нормально на диафу с круглым отверстием радиусом r. За диафрагмой на расстоянии L от находится экран. Каким будет центр дифракционной картины на экране: ным или светлым? Число зон Френеля, укладывающихся в отверстии диафы при наблюдении из центра дифракционной картины, равно m. Найти нестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	λ, мк	r, мм	L, м	m
1	0,500	0,4	0,08	?
2	0,577	1,5	?	3
3	0,408	?	0,2	6
4	?	0,9	1,8	1
5	0,416	0,8	0,22	?
6	0,641	1,0	?	2
7	0,533	?	0,54	5
8	?	0,5	0,16	4
9	0,457	1,1	0,53	?
10	0,643	0,6	?	7
11	0,485	?	1,32	1
12	?	1,4	1,45	2
13	0,706	1,2	0,34	?
14	0,544	0,7	?	5
15	0,440	?	1,94	3
16	?	0,9	0,23	6
17	0,676	0,5	0,37	?
18	0,402	1,3	?	3
19	0,538	?	0,52	7
20	?	0,8	0,47	4
21	0,521	1,0	0,96	?
22	0,457	0,4	?	5
23	0,417	?	1,20	2
24	?	1,2	3,0	1
25	0,571	0,6	0,21	?
26	0,620	1,4	?	2
27	0,483	?	0,70	5
28	?	0,9	0,39	4

Задача 19.3. На диафрагму с круглым отверстием радиусом r падает нормально параллельный пучок света длиной волны λ. При удалении экрана от диафрагмы последний минимум наблюдается на расстоянии b'_{min} между диафрагмой и экраном, а последний максимум – на расстоянии b'_{max}. Найти неизвестные величины согласно номеру задания.

Номер задания	r, мм	λ, мкм	b'_{min}, м	b'_{max}, м
1	1,2	0,45	?	?
2	0,4	?	?	0,291
3	?	0,67	?	1,21
4	?	0,53	0,236	?
5	1,8	?	3,857	?
6	0,7	0,46	?	?
7	1,3	?	?	3,38
8	?	0,51	?	1,255
9	?	0,64	0,125	?
10	1,4	?	2,04	?
11	0,3	0,40	?	?
12	1,0	?	?	1,667
13	?	0,47	0,0957	?
14	?	0,70	?	1,428
15	1,6	0,62	?	?
16	0,5	?	0,236	?
17	?	0,44	?	2,75
18	?	0,58	0,4225	?
19	0,9	?	?	1,246
20	1,5	?	2,5	?
21	0,6	0,50	?	?
22	?	0,38	?	0,948
23	?	0,55	1,31	?
24	1,1	?	?	1,73
25	1,7	?	2,26	?
26	0,8	0,48	?	?
27	?	0,60	?	2,82
28	?	0,42	0,048	?

Задача 19.4. Круглое отверстие радиусом r в диафрагме освещается монохроматическим светом длиной волны λ. Дифракционная картина рассматривается в точке, находящейся на расстоянии L от источника света. Сколько раз в центре дифракционной картины будет наблюдаться полное затемнение при перемещении диафрагмы с расстояния a_1 до расстояния a_2 от источника света?

Номер задания	r, мм	λ, мкм	L, м	a_1, м	a_2, м
1					0,5
2	1,5	0,55	2,5	0,4	1,0
3					1,5
4					2,0
5				0,2	
6	0,8	0,40	1,4	0,3	1,0
7				0,4	
8				0,5	
9	0,8				
10	0,9	0,45	1,0	0,3	0,8
11	1,0				
12	1,1				
13		0,4			
14	1,3	0,5	3,0	1,0	1,8
15		0,6			
16		0,7			
17					0,8
18	1,0	0,64	1,5	0,3	1,0
19					1,2
20					1,4
21				0,6	
22	1,2	0,40	2,8	1,0	2,0
23				1,2	
24				1,6	
25		0,43			
26	0,9	0,52	1,0	0,1	0,7
27		0,66			
28		0,72			

Задача 19.5. Параллельный пучок монохроматических лучей длиной волны λ встречает на своем пути маленький круглый экран радиусом r. Дифракционная картина наблюдается в точке, расположенной за экраном на перпендикуляре к центру экрана на расстоянии b от него. Ширина зоны Френеля, непосредственно прилегающей к экрану, равна Δx. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	λ, мкм	r, мм	b, м	Δx, мм
1	?	2,1	0,3	0,05
2	0,4464	?	0,25	0,06
3	0,6060	0,4	?	0,21
4	0,5389	1,5	1,0	?
5	?	0,8	0,9	0,22
6	0,4667	?	1,2	0,20
7	0,5639	2,0	?	0,35
8	0,6651	1,1	0,53	?
9	?	2,2	1,1	0,10
10	0,6162	?	0,52	0,18
11	0,4589	1,4	?	0,13
12	0,5789	0,5	0,19	?
13	?	1,6	0,45	0,09
14	0,508	?	0,7	0,14
15	0,667	0,9	?	0,23
16	0,425	0,3	0,5	?
17	?	0,6	0,36	0,16
18	0,5398	?	0,43	0,11
19	0,6625	1,2	?	0,25
20	0,488	2,3	2,8	?
21	?	1,8	1,7	0,26
22	0,6343	?	0,9	0,33
23	0,4009	0,7	?	0,15
24	0,5902	1,3	0,65	?
25	?	1,0	1,1	0,24
26	0,5022	?	0,4	0,07
27	0,6925	1,7	?	0,12
28	0,4444	1,9	1,8	?

Задача 19.6. На щель падормально параллельный пучок монохроматического света длиной волн Ширина щели в z раз больше длины волны. Под какими углами будут ндаться дифракционные минимумы и максимумы освещенности m-го по:а,

Номер задания	Наблюдаемкстремум	z	m
1 2 3 4	Минимум	6	1 2 3 4
5 6 7 8	Максимум	6	1 2 3 4
9 10 11 12	Минимум	9	1 3 5 7
13 14 15 16	Максимум	9	1 3 5 7
17 18 19 20	Минимум	5	1 2 3 4
21 22 23 24	Максимум	5	1 2 3 4
25 26 27 28	Минимум	10	3 4 6 7

Задача 19.7. На щель шириной b нормально падает параллельный пучок монохроматического света длиной волны λ. Ширина изображения щели на экране, удаленном на расстояние L от линзы, равна Δx. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице. Шириной изображения считать расстояние между первыми дифракционными минимумами, расположенными по обе стороны от главного максимума освещенности.

Номер задания	b, мкм	λ, мкм	L, м	Δx, см
1	?	0,50	0,65	8,14
2	10	?	1,20	16,36
3	6	0,58	?	17,48
4	21	0,44	0,90	?
5	?	0,57	1,05	4,79
6	18	?	1,35	10,51
7	13	0,40	?	8,00
8	11	0,66	0,75	?
9	?	0,60	1,30	5,20
10	15	?	0,55	3,30
11	20	0,42	?	3,36
12	19	0,51	1,00	?
13	?	0,45	0,85	7,66
14	35	?	0,70	2,40
15	20	0,64	?	4,48
16	8	0,56	1,40	?
17	?	0,52	0,60	2,71
18	12	?	0,95	9,04
19	14	0,48	?	7,55
20	16	0,63	1,10	?
21	?	0,43	0,80	5,74
22	13	?	1,45	10,27
23	22	0,55	?	3,85
24	27	0,67	1,15	?
25	?	0,65	0,50	1,91
26	17	?	0,72	4,41
27	9	0,47	?	1,05
28	14	0,54	0,25	?

Задача 19.8. На дифракционную решетку, имеющую n штрихов на 1 мм длины, нормально падает пучок света. На экране, отстоящем на расстоянии L от линзы, наблюдается дифракционный спектр, расстояние между двумя заданными линиями в котором равно Δx. Найти неизвестную величину.

Номер задания	Первая линия			Вторая линия			n, мм$^{-1}$	L, м	Δx, см
	цвет	порядок	λ_1, мкм	цвет	порядок	λ_2, мкм			
1	Красный	Слева 1	0,68	Красный	Справа 1	0,68			?
2	Красный	Слева 2	0,68	Красный	Справа 2	0,68	400	0,5	?
3	Зеленый	Слева 1	0,55	Зеленый	Справа 1	0,55			?
4	Зеленый	Слева 2	0,55	Зеленый	Справа 2	0,55			?
5	Красный		0,68	Красный		0,68			?
6	Синий	Слева 1	0,46	Синий	Слева 2	0,46	500	0,8	?
7	Оранжевый		0,60	Оранжевый		0,60			?
8	Зеленый		0,55	Зеленый		0,55			
9				Красный		0,68		?	8,02
10	Фиолетовый	Справа 2	0,40	Красный	Справа 1	0,64	600	?	5,25
11				Оранжевый		0,60		?	3,22
12				Зеленый		0,55		?	11,85
13	Синий		0,46	Синий		0,46	?		28,36
14	Зеленый	Слева 1	0,51	Зеленый	Справа 1	0,51	?	0,6	4,59
15	Зеленый		0,55	Зеленый		0,55	?		13,28
16	Оранжевый		0,60	Оранжевый		0,60	?		10,84
17	Синий	Слева 1	0,46	Синий	Справа 1	0,46			?
18	Синий	Слева 2	0,46	Синий	Справа 2	0,46	300	0,4	?
19	Оранжевый	Слева 1	0,60	Оранжевый	Справа 1	0,60			?
20	Оранжевый	Слева 2	0,60	Оранжевый	Справа 2	0,60			?
21	Фиолетовый	Слева 1	0,40	Фиолетовый	Справа 1	0,40		?	58,33
22	Фиолетовый	Слева 2	0,40	Фиолетовый	Справа 2	0,40	700	?	54,07
23	Красный	Слева 1	0,64	Красный	Справа 1	0,64		?	25,05
24	Красный	Слева 2	0,64	Красный	Справа 2	0,64		?	60,53
25	Красный	Слева 1	0,68	Красный	Справа 1	0,68	?		24,15
26	Синий	Слева 2	0,46	Синий	Справа 2	0,46	?	0,7	11,63
27	Оранжевый	Слева 2	0,60	Оранжевый	Справа 2	0,60	?		30,97
28	Фиолетовый	Слева 3	0,40	Фиолетовый	Справа 3	0,40	?		8,42

Задача 19.9. Дифракционная решетка шириной l имеет число щелей N и постоянную решетки d. Разрешающая способность решетки для длины волны λ в порядке m равна $R = \lambda/(\Delta\lambda)$, ее угловая дисперсия $D = \Delta\varphi/(\Delta\lambda)$, где $\Delta\lambda$ – разница в длинах волн двух соседних максимумов, которые может разрешить дифракционная решетка. Найти неизвестные величины.

Номер задания	l, см	d, см	N	m	λ, Å	$\Delta\lambda$, Å	R	D, см$^{-1}$
1	?	?	?	2	?	0,2	20000	4000
2	?	$2\cdot10^{-3}$	5000	2	5500	?	?	?
3	4,0	?	5000	3	?	0,3	?	?
4	6,0	?	4000	3	6000	?	?	?
5	4,5	$5\cdot10^{-4}$	?	?	?	0,2	?	6000
6	3,0	?	?	4	6000	?	?	2500
7	?	$6\cdot10^{-4}$	?	3	5000	?	25000	?
8	?	$5\cdot10^{-4}$	7500	?	?	0,3	?	4000
9	2,0	?	?	1	6400	?	8000	?
10	2,5	?	12500	2	5000	?	?	?
11	6,3	$1,5\cdot10^{-3}$	?	2	?	0,5	?	?
12	?	$1,25\cdot10^{-3}$	3200	?	?	0,75	6400	?
13	2,0	$5\cdot10^{-4}$	?	3	6000	?	?	?
14	1,4	$7\cdot10^{-4}$	?	4	?	0,7	?	?
15	?	?	8750	?	?	0,25	17500	5000
16	1,8	?	2700	?	4050	?	?	4500
17	?	$7\cdot10^{-4}$	?	1	?	0,6	10000	?
18	?	?	?	2	?	0,4	12600	6300
19	2,8	?	7000	2	?	0,35	?	?
20	3,2	?	?	3	?	0,3	?	4800
21	5,0	10^{-3}	?	?	?	0,25	?	3000
22	1,5	$1,25\cdot10^{-3}$	?	3	4200	?	?	?
23	2,5	?	?	2	5250	?	5000	?
24	2,4	?	3000	?	?	0,9	6000	?
25	?	$2\cdot10^{-3}$	1500	1	4800	?	?	?
26	?	?	4500	?	?	0,6	9000	6000
27	?	$5\cdot10^{-4}$	6500	1	?	1,0	?	?
28	1,6	?	?	2	?	1,5	3000	?

Задача 19.10. На грань криста падает параллельный пучок рентгеновских лучей длиной волны λ. Расстояние между атомными плоскостями равно d. Когда лучи падают под углом θ к поверхности кристалла, наблюдается интерференционный максимум порядка m. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	λ, нм	d, нм	θ	m
1			?	1
2	0,075	8	?	2
3			?	3
4			?	4
5			$5^\circ 56'$	
6	0,062		$7^\circ 25'$	1
7			$5^\circ 05'$	
8			$11^\circ 56'$	
9	?		$19^\circ 28'$	
10	?		$13^\circ 30'$	2
11	?		$15^\circ 28'$	
12	?		$7^\circ 40'$	
13	0,045		$8^\circ 50'$	?
14	0,060		$7^\circ 50'$	?
15	0,025		$1^\circ 38'$	?
16	0,037		$4^\circ 49'$	?
17			?	
18	0,05		?	2
19			?	
20			?	
21			$10^\circ 29'$	
22	0,08		$5^\circ 06'$	1
23			$12^\circ 09'$	
24			$6^\circ 58'$	
25	?		59°	
26	?		$68^\circ 13'$	3
27	?		$16^\circ 36'$	
28	?		$25^\circ 23'$	

ТЕМА 20. ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

Контрольные вопросы

20.1. Какова суть явления поляризации света? Какие виды поляризации света Вы знаете? Как происходит поляризация света при отражении от поверхности диэлектрика? Когда отраженный луч бывает полностью поляризован? Как при этом поляризован луч преломленный? Сформулируйте закон Брюстера. В чем состоит явление полного внутреннего отражения? Какой угол называют предельным углом падения?

20.2. Что называется интенсивностью света? В каких единицах она измеряется? Что такое поляризатор? Какую часть интенсивности естественного света пропускает поляризатор? Почему? Сформулируйте закон Малюса и поясните его.

20.3. Чем реальные поляризаторы отличаются от идеальных? Что такое анализатор? Какой вид примет закон Малюса для интенсивности света, прошедшего реальные (несовершенные) поляризатор и анализатор?

20.4. Как будет изменяться интенсивность естественного света, прошедшего поляризатор и анализатор, плоскости поляризации которых расположены под углом α, если луч после отражения от зеркальной поверхности пустить в обратном направлении? Чем отличаются процессы отражения от металлической и диэлектрической поверхностей. Как при этом учесть коэффициент отражения поверхности?

20.5. Какой свет называется эллиптически поляризованным? Как на практике можно получить эллиптически поляризованный свет? Как получить свет, поляризованный по кругу? Вспомните сложение взаимно перпендикулярных колебаний. Каким будет результирующее движение, если разность фаз складываемых колебаний равна: 0; $\pm\pi/2$; $\pm\pi$? Выведите аналогичные формулы для сложения колебаний двух взаимно перпендикулярных световых векторов.

20.6. В чем состоит явление двойного лучепреломления? Какой луч называют обыкновенным, а какой – необыкновенным? Как поляризованы обыкновенный и необыкновенный лучи? Что называется оптической осью кристалла? Какие одноосные кристаллы относят к положительным, а какие – к отрицательным? Что такое четвертьволновая пластинка? Как с помощью такой пластинки из плоскополяризованного (линейно-поляризованного) луча монохроматического света получить лучи с эллиптической и круговой поляризацией?

20.7. Что будет наблюдаться, если между двумя поляризаторами поместить пластинку, вырезанную из одноосного кристалла параллельно оптической оси? Какая оптическая разность хода обыкновенного и необыкновенного лучей возникнет при их прохождении через пластинку? Чему равны разность фаз и разность хода этих лучей после второго поляризатора, если: а) плоскости поляризации первого и второго поляризаторов параллельны; б) плоскости поляризации взаимно перпендикулярны?

20.8. Что такое искусственное двойное лучепреломление? Когда его можно наблюдать? Приведите примеры использования искусственного двойного лучепреломления в технике. Поясните, в чем состоит эффект Керра. Что представляет собой ячейка Керра? От чего зависят разность хода и разность фаз

между обыкновенным и необыкновенным лучами, возникающие при прохождении света через ячейку Керра?

20.9. Какие вещества называют оптически активными? В каком направлении в кристаллических веществах наблюдается наиболее сильный эффект вращения плоскости поляризации? Что называется постоянной вращения вещества? От чего она зависит?

20.10. Какой свет является частично поляризованным? Как на практике отличить частично поляризованный свет от полностью эллиптически поляризованного? Что называют степенью поляризации света? Как ее рассчитать?

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс общей физики. М., 1988. Т. 2 (§ 134–141).
2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ 34.1–34.5).
3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 191–196).

Задача 20.1. Предельный угол падения при полном внутреннем отражении для некоторого вещества равен $i_{пр}$, показатель преломления вещества — n. Угол падения, при котором отраженный луч оказывается максимально поляризованным, равен $i_Б$. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице, выполнить дополнительное задание.

Номер задания	n	$i_{пр}$	$i_Б$	Построить график зависимости
1	1,4	?	?	
2	1,5	?	?	$i_Б = f(n)$
3	1,6	?	?	
4	1,7	?	?	
5	?	$53^\circ 08'$	?	
6	?	$33^\circ 45'$	?	$i_{пр} = f(n)$
7	?	$47^\circ 48'$	?	
8	?	$37^\circ 03'$	?	
9	?	?	$58^\circ 38'$	
10	?	?	$52^\circ 01'$	$i_Б = f(n)$
11	?	?	$52^\circ 51'$	
12	?	?	$55^\circ 46'$	
13	1,35	?	?	
14	1,45	?	?	$i_{пр} = f(n)$
15	1,55	?	?	
16	1,65	?	?	
17	?	$44^\circ 46'$	?	
18	?	$39^\circ 16'$	?	$i_Б = f(n)$
19	?	$50^\circ 17'$	?	
20	?	$35^\circ 33'$	?	
21	?	?	$60^\circ 24'$	
22	?	?	$56^\circ 50'$	$i_{пр} = f(n)$
23	?	?	$53^\circ 52'$	
24	?	?	$59^\circ 14'$	
25	1,80	?	?	
26	1,44	?	?	$i_Б = f(n)$
27	1,75	?	?	
28	1,62	?	?	

Задача 20.2. Естественный свет, интенсивность которого равна I_0, проходит два идеальных николя, плоскости поляризации которых составляют угол α. Интенсивность света, прошедшего первый николь, равна I_P, интенсивность света после второго николя — I_A. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	I_0, Вт/м^2	I_P, Вт/м^2	I_A, Вт/м^2	α, град
1	?	?	0,0582	10
2	0,28	?	?	60
3	?	0,05	0,025	?
4	?	0,34	?	80
5	?	0,18	0,1479	?
6	?	?	0,0362	55
7	0,10	?	0,0293	?
8	0,34	?	?	65
9	?	0,09	0,0795	?
10	0,40	?	0,0234	?
11	?	0,20	?	20
12	0,16	?	?	35
13	0,36	?	0,0592	?
14	?	0,10	?	40
15	?	?	0,1068	25
16	?	0,08	0,0776	?
17	?	0,16	?	75
18	?	?	0,029	50
19	?	0,12	0,09	?
20	0,32	?	?	15
21	?	?	0,03	30
22	?	0,06	0,0248	?
23	0,30	?	?	70
24	?	0,09	?	20
25	0,06	?	0,028	?
26	0,20	?	?	10
27	?	0,15	0,0375	?
28	?	0,07	?	45

Задача 20.3. Естественный свет проходит через несовершенные анализатор и поляризатор, расположенные так, что угол между их плоскостями равен α. При этом поляризатор отражает и поглощает β_P падающего на него света, а анализатор — β_A. Интенсивность света, прошедшего анализатор, равна k интенсивности света, падающего на поляризатор. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	α, град	β_P, %	β_A, %	k, %
1	?	4	2	23,52
2	40	?	9	25,36
3	65	11	?	7,31
4	10	16	3	?
5	?	5	7	7, 89
6	70	?	4	5, 28
7	30	12	?	26, 70
8	45	17	15	?
9	?	10	16	15,62
10	20	?	5	39,00
11	50	15	?	15,45
12	75	6	8	?
13	?	18	17	22,83
14	80	?	6	1,37
15	40	13	?	23,23
16	15	2	4	?
17	?	20	14	4,02
18	50	?	7	17,29
19	25	7	?	36,28
20	60	21	13	?
21	?	9	12	23,50
22	30	?	8	31,74
23	55	14	?	12,59
24	70	19	10	?
25	?	8	11	13,47
26	35	?	9	26,26
27	75	22	?	2,22
28	60	3	5	?

Задача 20.4. Естественный свет проходит через два идеальных николя, плоскости поляризации которых расположены под углом θ. После прохождения через второй николь свет падает на зеркало с коэффициентом отражения k таким образом, что при отражении плоскость поляризации не меняется. Отразившись, свет проходит опять оба николя. Интенсивность света после обратного прохождения через оба николя стала в m раз меньше интенсивности падающего естественного света. Найти неизвестную величину.

Номер задания	θ, град	k	m
1	20		?
2	30	0,75	?
3	40		?
4	50		?
5		?	9,87
6		?	7,41
7	35	?	14,81
8		?	6,35
9	?		30,8
10	?	0,6	9,68
11	?		4,94
12	?		7,4
13		0,1	?
14	45	0,2	?
15		0,3	?
16		0,4	?
17		?	7,41
18	25	?	5,93
19		?	4,56
20		?	3,95
21	?		3,28
22	?	0,7	89,57
23	?		3,67
24	?		8,3
25	15		?
26	30	0,5	?
27	45		?
28	60		?

Задача 20.5. Два когерентных плоскополяризованных луча, у которых плоскости колебаний электрического вектора взаимно перпендикулярны, распространяются вдоль одной прямой. Показать, какой будет поляризация результирующего луча света, полученного при сложении двух плоскополяризованных лучей, если у них амплитуды колебаний электрического вектора отличаются в k раз ($k = A_1/A_2$), а разность фаз колебаний равна $\delta\varphi(\delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1)$. Под каким углом α к плоскости колебаний электрического вектора $\mathbf{E}_1$ первого луча расположена плоскость, в которой аплитуда колебаний результирующего вектора E максимальна?

Номер задания	$k = A_1/A_2$	$\delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$
1	0,5	0
2	1,0	$\pi/2$
3	1,4	$-\pi$
4	0,9	$-\pi/2$
5	0,4	$-\pi/2$
6	0,8	π
7	2,0	$\pi/2$
8	1,0	0
9	2,6	$-\pi$
10	1,0	$-\pi/2$
11	3,5	0
12	0,6	$\pi/2$
13	1,3	$-\pi/2$
14	0,7	$\pi/2$
15	1,0	π
16	1,5	0
17	1,0	$\pi/2$
18	2,2	0
19	1,5	$-\pi/2$
20	0,7	π
21	1,6	$-\pi$
22	1,4	$\pi/2$
23	0,4	0
24	1,0	$-\pi/2$
25	4,0	0
26	0,6	$-\pi$
27	0,8	$-\pi/2$
28	2,1	$\pi/2$

Задача 20.6. Из некого одноосного кристалла параллельно оптической оси кристалла вырезанная пластинка, ориентировочная толщина которой равна d'. Если толщпластинки чуть-чуть уменьшить до значения d, то с ее помощью можно превть луч линейно поляризованного видимого монохроматического света с той волны λ в луч с круговой поляризацией. Показатели преломления крпла для обыкновенного и необыкновенного лучей равны соотвстственно n_e. Найти неизвестную величину.

Номер задания	Тип кристалла	d', мкм	d, мкм	λ, мкм	n_o	n_e
1		36	?	0,44	1,52	1,48
2			5,7	?	1,71	1,735
3	Отрицательный	Минимальная	5,4	0,65	?	1,72
4	Положительный	Минимальная	2,7	0,39	1,63	?
5		60	?	0,55	1,80	1,84
6			21	?	1,54	1,515
7	Положительный	Минимальная	2,5	0,46	?	1,726
8	Отрицательный	Минимальная	4,4	0,40	1,74	?
9		72	?	0,41	1,78	1,81
10			6,8	?	1,66	1,635
11	Отрицательный	Минимальная	3,4	0,54	?	1,53
12	Положительный	Минимальная	3,1	0,49	1,58	?
13		150	?	0,45	1,49	1,515
14			32,5	?	1,61	1,59
15	Положительный	Минимальная	2,75	0,43	?	1,76
16	Отрицательный	Минимальная	3,05	0,61	1,70	?
17		50	?	0,38	1,79	1,75
18			2,0	?	1,55	1,48
19	Положительный	Минимальная	7,9	0,63	?	1,65
20	Отрицательный	Минимальная	3,1	0,50	1,75	?
21		350	?	0,48	1,48	1,49
22			39,2	?	1,55	1,535
23	Положительный	Минимальная	5,0	0,60	?	1,85
24	Положительный	Минимальная	3,0	0,40	1,76	?
25		75	?	0,49	1,65	1,665
26			5,3	?	1,72	1,69
27	Положительный	Минимальная	7,25	0,58	?	1,61
28	Отрицательный	Минимальная	5,0	0,40	1,58	?

Задача 20.7. Пластинка, вырезанная из одноосного кристалла параллельно оптической оси, помещена между двумя поляризаторами так, что ее оптическая ось составляет угол 45° с плоскостями поляризации обоих поляризаторов. Минимальная толщина пластинки, при которой с длиной волны λ_1 будет максимально усилен, а с длиной волны λ_2 – максимально ослаблен, равна d. Разница показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей в кристалле для света с длиной волны λ_1 равна Δn_1, для света с длиной волны λ_2 равна Δn_2. Найти неизвестную величину.

Номер задания	Плоскости поляризации поляризаторов	d, мм	λ_1, мкм	λ_2, мкм	Δn_1	Δn_2
1		?	0,62	3	0,013	0,014
2	Параллельны	0,238	?	5	0,024	0,027
3		0,325	0,52		0,008	0,009
4		0,143	0,43	3	?	0,028
5		0,344	0,47	0	0,014	?
6	Перпендикулярны	?	0,35	0	0,019	0,026
7		0,130	?	0	0,030	0,037
8		10,675	0,61		0,007	0,008
9		0,062	0,45		?	0,034
10	Параллельны	1,408	0,58		0,013	?
11		?	0,37		0,020	0,025
12		0,052	?		0,029	0,032
13		0,560	0,48		0,018	0,022
14	Перпендикулярны	0,329	0,40	0	?	0,026
15		0,729	0,53	0	0,010	?
16		?	0,49	0	0,025	0,031
17		1,358	?	0	0,028	0,036
18	Параллельны	0,843	0,46	0	0,017	0,020
19		0,737	0,55	0	?	0,030
20		2,79	0,54	0	0,021	?
21		?	0,50	0	0,016	0,019
22	Перпендикулярны	1,307	?	0	0,009	0,011
23		0,285	0,38	?	0,026	0,030
24		0,66	0,44	0	?	0,018
25		0,3	0,36	0	0,011	?
26	Параллельны	?	0,60	0	0,027	0,031
27		0,442	?	0	0,015	0,019
28		14,790	0,51	?	0,022	0,025

Задача 20.8. В установке по наблюдению эффекта Керра к конденсатору, длина пластин которого l и расстояние между ними d, приложена разность потенциалов U. Разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей в жидкой среде для длины волны 0,6 мкм равна $n_o - n_e$, а постоянная Керра для данной длины волны при комнатной температуре — $2{,}2 \cdot 10^{-12}$ м/В^2. При прохождении ячейки Керра между обыкновенным и необыкновенным лучами возникает разность хода, равная Δ, и разность фаз, равная δ. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	l, см	d, мм	U, В	$n_o - n_e$	Δ, мкм	δ
1	?	2,67	?	$4{,}17 \cdot 10^{-7}$	0,05	?
2	10	1,41	?	$1{,}2 \cdot 10^{-6}$	?	?
3	?	?	1150	$9 \cdot 10^{-7}$	?	$0{,}255\pi$
4	5	2,0	1200	?	?	?
5	?	?	1500	$3 \cdot 10^{-6}$	0,11	?
6	8	?	1340	$1{,}8 \cdot 10^{-6}$	?	?
7	?	1,2	?	$4{,}1 \cdot 10^{-6}$	?	$\pi/2$
8	7,5	?	900	?	?	$\pi/4$
9	?	2,1	1050	?	0,09	?
10	16	?	1400	?	0,13	?
11	?	1,0	850	?	?	$0{,}2\pi$
12	?	1,3	?	$7{,}5 \cdot 10^{-7}$	?	$0{,}4\pi$
13	12	1,8	?	?	0,07	?
14	?	2,2	?	$8 \cdot 10^{-7}$	0,15	?
15	?	1,6	800	?	0,12	?
16	9	?	1400	?	?	$0{,}3\pi$
17	15	1,46	?	$2{,}5 \cdot 10^{-6}$	?	?
18	12,5	?	750	?	0,1	?
19	?	?	1100	$7 \cdot 10^{-7}$	?	$0{,}15\pi$
20	?	1,7	1450	?	?	$0{,}45\pi$
21	10,5	1,9	?	?	0,08	?
22	18,5	?	1000	?	0,16	?
23	13	?	1300	?	?	$0{,}35\pi$
24	?	?	1360	$2 \cdot 10^{-6}$	0,14	?
25	11	1,5	1250	?	?	?
26	14	?	950	$1{,}5 \cdot 10^{-6}$	?	?
27	?	1,1	?	$8{,}5 \cdot 10^{-7}$	0,06	?
28	?	0,9	?	$9{,}5 \cdot 10^{-7}$	?	$0{,}55\pi$

Задача 20.9. Поляризованный в вертикальной плоскости дневной свет проходит через вырезанную перпендикулярно к оптической оси правовращающую кварцевую пластинку толщиной l, за которой установлен поляризатор. Длина волны света, который преобладает в луче, вышедшем из поляризатора, если плоскость поляризатора составляет с вертикалью угол φ, равна λ. Найти неизвестную величину, считая постоянную вращения α кварца изменяющейся линейно с длиной волны от $\alpha_1 = 31^\circ$ на 1 мм при $\lambda_1 = 0{,}5$ мкм до $\alpha_2 = 17^\circ$ на 1 мм при $\lambda_2 = 0{,}65$ мкм.

Номер задания	l, мм	φ	λ, мкм	Цвет
1		30°	?	?
2	1,0	26°	?	?
3		21°	?	?
4		19°	?	?
5		?	0,650	Красный
6	0,75	?	0,590	Желтый
7		?	0,555	Зеленый
8		?	0,510	Зелено-голубой
9	?	16°		Зелено-голубой
10	?	23°	0,505	
11	?	27°30′		
12	?	36°30′		
13	1,25		?	?
14	1,05	21°	?	?
15	0,81		?	?
16	0,7		?	?
17	0,6	?		
18	0,7	?	0,6	Оранжевый
19	0,8	?		
20	0,9	?		
21	?		0,650	Красный
22	?	24°	0,625	Красный
23	?		0,595	Оранжевый
24	?		0,552	Зеленый
25		17°	?	?
26	0,65	15°	?	?
27		13°30′	?	?
28		11°	?	?

Задача 20.10. Определить коэцient отражения и степень поляризации отраженного и преломленного лучеи падении естественного света на стекло с показателем преломления n пслом i . Выполнить дополнительное задание.

Номер задания	n	i , град	Построить график зависимости
1 2 3 4	1,5 1,6 1,7 1,8	45	Коэффициента отражения от показателя преломления стекла
5 6 7 8	1,5	20 30 40 50	Коэффициента отражения от угла падения естественного света
9 10 11 12	1,55 1,65 1,75 1,85	35	Степени поляризации отраженного луча от показателя преломления стекла
13 14 15 16	1,6	20 30 40 50	Степени поляризации отраженного луча от угла падения естественного света
17 18 19 20	1,5 1,6 1,7 1,8	25	Степени поляризации преломленного луча от показателя преломления стекла
21 22 23 24	1,7	20 30 40 50	Степени поляризации преломленного луча от угла падения естественного света
25 26 27 28	1,5 1,6 1,7 1,8	Угол Бр тера	Степени поляризации преломленного луча от коэффициента преломления

ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ И ФИЗИКИ ТВЕГО ТЕЛА. ОСНОВЫ ФИЗИКИ АТОМНОГО ЯДРА

ТЕМА 21. КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ИЗЛУЧЕНИЯ

Контрольные вопросы

21.1. Что такое тепловое излучение? Какое излученазывают равновесным? Что называется энергетической светимостью ? Что называют: а) испускательной способностью тела; б) его поглощатей способностью? Какая связь существует между испускательной и поглоттьной способностями одного и того же тела? Каким законом эта связь вкается? Какие тела называют: а) абсолютно черным; б) абсолютно бельв) серым? Какое устройство может служить моделью абсолютно черного т Сформулируйте закон Стефана– Больцмана и поясните его.

21.2. Как, зная температуру абсолютно черного телпределить энергию, излучаемую этим телом по всем направлениям в тее определенного времени? Какая часть этой энергии будет передана заданплощади другого тела?

21.3. Какой вид примет закон Стефана–Больцмана энергетической светимости тел, которые не являются абсолютно черн? Какой смысл имеет при этом коэффициент в выражении для энергетской светимости?

21.4. Сформулируйте закон смещения Вина и пояснит.

21.5. Запишите формулу Планка. Поясните ее. Какозический смысл имеет универсальная функция Кирхгофа?

21.6. Что такое фотон? Чему равны энергия и импультона? Как определить массу фотона?

21.7. В чем заключается явление внешнего фотоэффекПри каких условиях это явление наблюдается? Что называется "красноіницей" фотоэффекта? Что такое работа выхода электрона из металла?ормулируйте законы внешнего фотоэффекта. Запишите уравнение Эйнна для фотоэффекта и поясните его.

21.8. Что называют задерживающей разностью потнов? От чего она зависит? В чем состоит метод определения постоянной Іка, основанный на внешнем фотоэффекте? Объясните зависимость фотоот разности потенциалов между электродами при внешнем фотоэффекте.

21.9. Чем обусловлено давление света на поверхностьгорой он поглощается или от которой отражается? Как рассчитать это давл?

21.10. В чем состоит эффект Комптона? Чем объясся это явление? Что называется комптоновской длиной волны частицы?и определяется длина волны смещенной линии? По какой формуле ее сно рассчитать?

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс общей физики. М., 1987. Т. 3 (§ 1–11).
2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ -35.3, 36.1–36.6).
3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 197–207).

Задача 21.1. Поток энергии, излучаемой из смотрового окошка плавильной печи, равен Φ. Температура внутри печи – T, площадь смотрового окошка – S. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	Φ, Вт	T, К	S, см^2
1	18,70	?	
2	41,73	?	5
3	49,85	?	
4	81,40	?	
5	18,57		?
6	32,50	950	?
7	41,78		?
8	46,43		?
9	?	700	
10	?	800	6
11	?	900	
12	?	1000	
13		?	3
14	40	?	5
15		?	7
16		?	9
17	10,5	800	?
18	17,1	1000	?
19	61,46	1200	?
20	76,64	1400	?
21	?	850	4
22	?		6
23	?		8
24	?		10
25	14,43	?	
26	21,64	?	8
27	37,14	?	
28	94,56	?	

Задача 21.2. Определить энергию, получаемую за время t площадью S освещенной Солнцем поверхности планет Солнечной системы или звезд нашей галактики (при нормальном падении лучей). Температура поверхности Солнца равна 6000 К, диаметр Солнца – $1{,}39 \cdot 10^6$ км, расстояние от Солнца до планеты (или звезды) – r. Поглощением энергии в атмосфере пренебречь.

Номер задания	Планета Солнечной системы (звезда)	r, км	t	S, м^2
1	Меркурий	$5{,}8 \cdot 10^7$	1 с	1
2			1 мин	100
3	Венера	$1{,}08 \cdot 10^8$	1 с	1
4			1 мин	100
5	Земля	$1{,}5 \cdot 10^8$	1 с	1
6			1 мин	100
7	Марс	$2{,}28 \cdot 10^8$	1 с	1
8			1 мин	100
9	Юпитер	$7{,}78 \cdot 10^8$	1 с	1
10			1 мин	100
11	Сатурн	$1{,}426 \cdot 10^9$	1 с	1
12			1 мин	100
13	Уран	$2{,}87 \cdot 10^9$	1 с	1
14			1 мин	100
15	Нептун	$4{,}5 \cdot 10^9$	1 с	1
16			1 мин	100
17	Плутон	$5{,}9 \cdot 10^9$	1 с	1
18			1 мин	100
19	α-Центавра	$4 \cdot 10^{13}$	1 мин	100
20			1 ч	2500
21	α-Большого Пса	$8{,}1 \cdot 10^{13}$	1 мин	100
22			1 ч	2500
23	α-Орла	$1{,}5 \cdot 10^{14}$	1 мин	100
24			1 ч	2500
25	α-Ориона	$6 \cdot 10^{15}$	1 мин	100
26			1 ч	2500
27	β-Близнецов	$3{,}2 \cdot 10^{14}$	1 мин	100
28			1 ч	2500

Задача 21.3. Электрическая лампа мощностью P имеет площадь излучающей поверхности, равную S. Температура нити накала – T, излучение нити составляет k излучения абсолютно черного тела при данной температуре. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице; потерями тепла, связанными с теплопроводностью, пренебречь.

Номер задания	P, Вт	S, см^2	T, К	k, %
1	?	2,16	2430	70
2	25	?	2365	30
3	150	1,73	?	45
4	60	0,58	2390	?
5	?	1,56	2410	50
6	100	?	2400	55
7	50	0,42	?	65
8	200	1,65	2440	?
9	?	0,85	2360	40
10	500	?	2415	75
11	200	2,87	?	35
12	250	3,28	2405	?
13	?	0,57	2355	25
14	250	?	2425	60
15	100	1,44	?	40
16	150	2,50	2435	?
17	?	1,18	2397	45
18	60	?	2385	65
19	200	2,11	?	50
20	50	0,4	2370	?
21	?	3,75	2450	65
22	100	?	2380	60
23	60	0,98	?	30
24	300	3,33	2435	?
25	?	0,9	2300	35
26	25	?	2375	40
27	150	1,65	?	55
28	500	3,41	2420	?

Задача 21.4. Чему равна длина волны, соответствующая максимуму излучательной способности абсолютно черного тела, имеющего температуру, равную температуре T излучающего тела? В какой области спектра находится максимум излучательной способности?

Номер задания	Излучающее тело	T, К
1	Поверхность Солнца	5800
2	Железо при температуре плавления	1803
3	Спираль электрической лампочки	2300
4	Поверхность Земли	300
5	Корпус ракеты при взлете	1100
6	Поверхность звезд "белых карликов"	10^4
7	Алюминий при температуре плавления	932
8	Вода при температуре кипения	373
9	Атомная бомба в момент взрыва	10^7
10	Пламя спиртовой горелки	1400
11	Расплавленное олово при пайке	505
12	Поверхность "красных" звезд	3000
13	Дуговой разряд при электросварке	4250
14	Латунь при температуре плавления	1173
15	Человеческое тело	310
16	Поверхность "желтых" звезд	6000
17	Внутренняя поверхность ствола пушки при стрельбе	500
18	Платина при температуре плавления	2043
19	Поверхность металла при ковке	900
20	Вода при температуре замерзания	273
21	Плавильная печь (через смотровое окно)	1600
22	Медь при температуре плавления	1373
23	Поверхность "голубых" звезд	$3 \cdot 10^4$
24	Горячий утюг	450
25	Пламя газовой горелки	2000
26	Камера сгорания ракетного двигателя	3300
27	Свинец при температуре плавления	600
28	Поверхность редких "горячих" звезд	10^5

Задача 21.5. Определить, во сколько раз испускательная способность абсолютно черного тела вблизи длины волны λ_1 при температуре T_1 больше его испускательной способности вблизи длины волны λ_2 при температуре T_2.

Номер задания	λ_1, мкм	T_1, К	λ_2, мкм	T_2, К
1		1000		
2	1,2	2000	0,6	1000
3		3000		
4		4000		
5	0,75			
6	1,25	2000	0,5	2000
7	1,5			
8	1,75			
9			0,5	
10	2,0	1500	1,0	1500
11			1,5	
12			2,5	
13				1300
14	2,2	1300	0,7	1400
15				1500
16				1600
17	1,0			
18	1,5	1700	0,45	1700
19	1,7			
20	2,0			
21			0,40	
22	0,45	6000	0,55	6000
23			0,60	
24			0,70	
25				1000
26	2,4	1200	0,65	1200
27				1400
28				1600

Задача 21.6. Энергия фотона, соответствующего длине волны λ и частоте излучения ν, равна ϵ, масса фотона m, импульс – p. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	λ, м	ν, Гц	ϵ, Дж	m, кг	p, кг·м/с
1	$1{,}6\cdot10^{-12}$	?	?	?	?
2	?	$5\cdot10^{18}$	?	?	?
3	?	?	$4\cdot10^{-14}$	?	?
4	?	?	?	$6\cdot10^{-31}$	?
5	?	?	?	?	$2\cdot10^{-21}$
6	$5\cdot10^{-10}$	?	?	?	?
7	?	$3\cdot10^{15}$	?	?	?
8	?	?	$2\cdot10^{-12}$	?	?
9	?	?	?	$4\cdot10^{-32}$	?
10	?	?	?	?	$5\cdot10^{-20}$
11	$2{,}5\cdot10^{-11}$	?	?	?	?
12	?	$8\cdot10^{14}$	?	?	?
13	?	?	$7\cdot10^{-13}$	?	?
14	?	?	?	$2\cdot10^{-30}$	?
15	?	?	?	?	$9\cdot10^{-19}$
16	$8\cdot10^{-9}$	?	?	?	?
17	?	$2\cdot10^{16}$	?	?	?
18	?	?	$3\cdot10^{-15}$	?	?
19	?	?	?	$8\cdot10^{-33}$	?
20	?	?	?	?	$6\cdot10^{-22}$
21	$4\cdot10^{-13}$	?	?	?	?
22	?	$7\cdot10^{17}$	?	?	?
23	?	?	$9\cdot10^{-16}$	?	?
24	?	?	?	$3\cdot10^{-31}$	?
25	?	?	?	?	$4\cdot10^{-23}$
26	$9\cdot10^{-8}$	?	?	?	?
27	?	$4\cdot10^{19}$	?	?	?
28	?	?	$5\cdot10^{-17}$	?	?

ача 21.7. Красная граница фотоэффекта равна λ_0, максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона W_{max}, при этом доля энергии фотона, израсходованная на работу вырывания фотоэлектрона, составляет k. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	λ_0, мкм	W_{max}, эВ	k
	0,66		?
	0,473	0,5	?
	0,276		?
	0,545		?
		?	0,9
	0,621	?	0,8
		?	0,7
		?	0,6
	?	0,767	
	?	0,465	0,75
	?	1,48	
	?	0,637	
		0,074	?
	0,5176	0,209	?
		0,327	?
		0,457	?
	0,887	?	
	0,776	?	0,8
	0,276	?	
	0,234	?	
	?		0,95
	?	0,65	0,85
	?		0,75
	?		0,70
	0,472	0,054	?
	0,621	0,105	?
	0,262	0,772	?
	0,776	0,478	?

Задача 21.8. При фотоэффекте с поверхности металла, освещаемого излучением с длиной волны λ, вырываются электроны, работа выхода которых из металла равна $A_{вых}$. Фотоэффект наблюдается для излучения с длиной волны $\lambda < \lambda_0$, где λ_0 – красная граница фотоэффекта. Задерживающая разность потенциалов равна $U_з$. Определить неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	λ, мкм	$A_{вых}$, эВ	λ_0, мкм	$U_з$, В
1	?	?	0,565	0,9
2	?	1,9	?	0,36
3	0,2	4,74	?	?
4	0,3	?	?	0,34
5	0,25	?	0,289	?
6	0,46	2,3	?	?
7	?	?	0,522	0,1
8	?	1,4	?	0,37
9	?	?	0,621	0,07
10	0,42	?	?	0,16
11	0,23	?	0,282	?
12	0,21	5,3	?	?
13	?	?	0,284	0,41
14	?	2,4	?	0,135
15	0,72	?	0,776	?
16	0,26	4,5	?	?
17	0,31	?	0,327	?
18	0,22	?	?	0,33
19	?	?	0,259	0,38
20	?	2,63	?	0,13
21	0,28	4,25	?	?
22	0,32	?	0,341	?
23	0,48	?	?	0,24
24	?	2,49	?	0,61
25	?	?	0,376	0,25
26	0,54	?	?	0,14
27	0,29	3,92	?	?
28	?	4,7	?	0,95

Задача 21.9. Пучок монохроматического света длиной волны λ падает нормально на плоскую поверхность с отражательной способностью ρ. При этом за время Δt на поверхность падает N фотонов. Поток энергии равен Φ, а сила давления, испытываемая этой поверхностью, – F. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	λ, мкм	ρ	Δt, с	$N, 10^{20}$	Φ, Вт	$F, 10^{-7}$ Н
1	?	?	1,0	0,823	36,36	2
2	0,46	?	8,5	93,2	?	30
3	0,60	0,7	?	5,33	88,24	?
4	0,53	?	5,0	?	154,8	8
5	?	0,95	6,5	1,685	?	0,5
6	0,55	0,3	3,0	?	92,3	?
7	0,48	?	?	6,79	56,25	3
8	?	0,75	4,5	17,5	154,3	?
9	0,58	0,45	?	0,796	?	0,6
10	0,44	0,6	2,0	4,98	?	?
11	0,65	?	?	3,817	116,7	7
12	0,52	0,9	1,5	?	31,58	?
13	0,43	0,35	9,0	?	?	0,3
14	?	?	5,5	14,05	92,3	6
15	0,50	0,5	?	0,176	2,0	?
16	?	0,25	8,0	5,41	?	0,8
17	0,62	?	10,0	?	180	9
18	?	0,65	2,5	6,4	127,3	?
19	0,45	0,8	?	0,795	?	0,7
20	0,59	?	7,0	16,85	?	5
21	0,54	0,2	6,0	?	?	0,4
22	?	?	9,5	106,52	342,85	20
23	0,42	0,85	3,5	3,6	?	?
24	0,64	0,15	?	2,1	26,1	?
25	0,68	?	1,0	?	70,6	4
26	?	0,55	4,0	2,1	?	0,9
27	0,56	1,0	?	0,338	?	0,2
28	0,40	0,4	7,5	?	171,4	?

Задача 21.10. Часть фотонов при рассеянии на электронах, которые можно считать свободными, в результате эффекта Комптона была отклонена от первоначального направления на угол θ. Кинетическая энергия и импульс электронов до соударения с фотонами были пренебрежимо малы. Энергия фотонов ϵ до рассеяния соответствует излучению с длиной волны λ. Энергия ϵ' рассеянных фотонов соответствует излучению с длиной волны λ'. Найти неизвестные величины. Выполнить дополнительное задание.

Номер задания	θ, град	ϵ, МэВ	λ, Å	ϵ', МэВ	λ', Å	Построить график
1	30		0,5		?	
2	60				?	$\Delta\lambda = f(\theta)$
3	90				?	
4	120				?	
5	?				0,2087	
6	?		0,2		0,2398	$\lambda' = f(\theta)$
7	?				0,2200	
8	?				0,2452	
9	?			0,2757		
10	?	0,4		0,1653		$\epsilon' = f(\theta)$
11	?			0,2246		
12	?			0,1753		
13	60			?		
14	90	0,7		?		$\Delta\epsilon = f(\theta)$
15	120			?		
16	150			?		
17	120		0,2		?	
18			0,4		?	$\Delta\lambda = f(\lambda)$
19			0,6		?	
20			0,8		?	
21	40		?			
22	80		?		0,65	$\Delta\lambda = f(\theta)$
23	120		?			
24	160		?			
25	40	?				
26	80	?		0,1		$\Delta\epsilon = f(\theta)$
27	120	?				
28	160	?				

ТЕМА 22. ЭЛЕМЕНТЫ АТОМНОЙ ФИЗИКИ И КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

Контрольные вопросы

22.1. Сформулируйте постулаты Бора. Запишите формулу для разрешенных значений энергии электрона в атоме водорода. Какие значения (согласно теории Бора) может принимать момент импульса электрона в атоме водорода?

22.2. В чем состоит корпускулярно-волновой дуализм свойств материи? Приведите примеры явлений, подтверждающих корпускулярно-волновой дуализм. В чем состоит гипотеза де Бройля? Запишите и объясните формулы де Бройля для длины волны и частоты волнового процесса, соответствующего движущейся частице. В атомной и ядерной физике часто используют внесистемные единицы измерения энергии — электрон-вольт и длины волны — ангстрем. Как эти единицы измерения связаны с единицами СИ?

22.3. Почему при отражении пучка электронов небольших энергий от поверхности монокристалла наблюдается дифракционная картина? Запишите выражение, определяющее условия возникновения дифракционных максимумов и поясните его.

22.4. Сформулируйте принцип неопределенности Гейзенберга. Запишите соотношение неопределенности для координаты и импульса, для энергии и момента времени и поясните их. Как, зная неопределенность в определении энергии, найти неопределенность в определении длины волны? Как, зная неопределенность в определении импульса, определить неопределенность в определении длины волны?

22.5. Что такое неопределенность в определении импульса на примере пучка электронов в электронно-лучевой трубке? Чему равна неопределенность в определении координаты электрона при формировании электронного пучка?

22.6. Запишите уравнение Шредингера для свободной движущейся частицы и поясните его. Какой вид имеет уравнение Шредингера для частицы, движущейся в стационарном силовом поле? Какой смысл имеет квадрат модуля волновой функции? Что такое относительная плотность вероятности пребывания частицы в данной области?

22.7. Какой вид имеет волновая функция, описывающая состояние частицы в бесконечно глубокой одномерной прямоугольной потенциальной яме? Чем отличаются волновые функции, описывающие частицы в такой потенциальной яме на различных энергетических уровнях? На каком расстоянии от стенки потенциальной ямы максимальна вероятность нахождения частицы на первом, втором и т.д. уровнях?

22.8. Запишите выражение для собственных значений энергии частицы, находящейся в бесконечно глубокой одномерной прямоугольной потенциальной яме. От чего зависит расстояние между соседними уровнями энергии?

22.9. Запишите уравнение Шредингера для водородоподобного иона и поясните его. В каких случаях это уравнение имеет однозначные конечные и непрерывные решения? Какой смысл имеют положительные и отрицательные значения энергии электронов? Запишите выражение для возможных значений энергии электрона в водородоподобном ионе. Какими квантовыми числами

характеризуется состояние электрона в атоме? Какие значения эти квантовые числа могут принимать? В чем состоит принцип Паули? Как обозначают состояния электронов в атоме? Какие переходы между энергетическими уровнями допускает "правило отбора"?

22.10. Как возникают серии спектральных линий в атомарных спектрах испускания и поглощения? Запишите формулы для серий Лаймана, Бальмера, Пашена, Брэккета, Пфунда. Как определить границы серий?

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс общей физики. М., 1987. Т. 3 (§ 12–28, 30–33, 36).

2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ 37.1–37.9, 38.1–38.5, 39.1–39.8).

3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 208–227, 232).

Задача 22.1. Исходя из теории Бора, рассчитать численные значения физических величин, характеризующих движение электрона, находящегося на n-й орбите в атоме водорода.

Номер задания	n	Определить
1	1	Радиус n-й боровской орбиты
2	2	
3	3	
4	4	
5	1	Скорость электрона на n-й боровской орбите
6	2	
7	3	
8	4	
9	1	Период обращения электрона на n-й орбите
10	2	
11	3	
12	4	
13	1	Кинетическую энергию электрона на n-й боровской орбите
14	2	
15	3	
16	4	
17	1	Полную энергию электрона на n-й боровской орбите
18	2	
19	3	
20	4	
21	1	Угловую скорость электрона на n-й боровской орбите
22	2	
23	3	
24	4	
25	1	Потенциал ионизации атома водорода в основном и в возбужденных состояниях
26	2	
27	3	
28	4	

Задача 22.2. Частица, ускоренная разностью потенциалов U, имеет длину волны де Бройля, равную λ. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	Движущаяся частица	U, В	λ, Å
1		1	?
2	Электрон	10^2	?
3		10^3	?
4		10^4	?
5		?	0,064
6	Протон	?	0,045
7		?	0,037
8		?	0,032
9	?	1000	0,3873
10	?	100	0,0286
11	?	10	0,0905
12	?	1	0,2862
13		5	?
14	α-частица	10	?
15		50	?
16		100	?
17		?	1,83
18	Электрон	?	1,0
19		?	0,5
20		?	0,316
21	?	5	0,128
22	?	50	1,734
23	?	75	1,416
24	?	15	0,074
25		25	?
26	Протон	50	?
27		75	?
28		100	?

Задача 22.3. ыте Дэвиссона и Джермера пучок электронов, ускоренных разностью пциалов U, падал нормально на поверхность монокристалла с постоянной :тки d и рассеивался поверхностью монокристалла таким образом, чифракционные максимумы наблюдались под углом θ_n (θ_n — угол межервоначальным и рассеянным поверхностью пучками электронов, n — цок максимума). Под какими углами наблюдались первые четыре макема для электронных пучков различных энергий и для различных монокаллов, рассеивающих электронный пучок?

Номер задания	n	U, В	d, Å
1	1		
2	2	350	2,8
3	3		
4	4		
5	1		
6	2	200	2,8
7	3		
8	4		
9	1		
10	2	200	3,5
11	3		
12	4		
13	1		
14	2	350	3,5
15	3		
16	4		
17	1		
18	2	200	3,14
19	3		
20	4		
21	1		
22	2	700	3,14
23	3		
24	4		
25	1		
26	2	700	1,42
27	3		
28	4		

Задача 22.4. Возбужденный атом испускает фотон в течение промежутка времени Δt. Длина волны излучения равна λ, ширина спектральной линии — $\Delta\lambda$. Энергия фотона равна ϵ, неопределенность в определении энергии и положения фотона — $\Delta\epsilon$ и Δx соответственно. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице. Проанализировать полученные результаты.

Номер задания	λ, Å	$\Delta\lambda$, Å	Δt, с	ϵ, эВ	$\Delta\epsilon$, эВ	Δx, см
1	6000	?	10^{-8}	?	?	?
2	6000	?	10^{-9}	?	?	?
3	4500	?	10^{-8}	?	?	?
4	4500	?	10^{-9}	?	?	?
5	?	?	?	0,9	10^{-7}	?
6	?	?	?	0,9	10^{-6}	?
7	?	?	?	1,2	10^{-7}	?
8	?	?	?	1,2	10^{-6}	?
9	5500	0,1	?	?	?	?
10	5500	0,01	?	?	?	?
11	7000	0,1	?	?	?	?
12	7000	0,01	?	?	?	?
13	?	?	?	1,0	?	0,1
14	?	?	?	1,0	?	10
15	?	?	?	3,0	?	0,1
16	?	?	?	3,0	?	10
17	?	?	10^{-8}	1,5	?	?
18	?	?	10^{-10}	1,5	?	?
19	?	?	10^{-8}	2,5	?	?
20	?	?	10^{-10}	2,5	?	?
21	2500	?	?	?	10^{-5}	?
22	2500	?	?	?	10^{-8}	?
23	6500	?	?	?	10^{-5}	?
24	6500	?	?	?	10^{-8}	?
25	7500	?	?	?	?	200
26	7500	?	?	?	?	0,2
27	4000	?	?	?	?	200
28	4000	?	?	?	?	0,2

Задача 22.5. В электронно-лучевой трубке ускоряющее напряжение пучка электронов равно U, диаметр пучка – d, длина пути электрона – l. Определить неопределенность в значении импульса Δp_x и неконтролируемое смещение Δs электронов на экране, вызываемое квантовым эффектом.

Номер задания	U, кВ	d, м	l, м	Пояснить зависимость
1	1			
2	5	10^{-5}	0,5	$\Delta s = f(U)$
3	10			
4	15			
5		10^{-5}		
6	10	$5 \cdot 10^{-5}$	0,3	$\Delta s = f(d)$
7		10^{-4}		
8		$5 \cdot 10^{-4}$		
9			0,2	
10	15	$2 \cdot 10^{-5}$	0,4	$\Delta s = f(l)$
11			0,6	
12			0,8	
13	8			
14	10	10^{-5}	0,45	$\Delta p_x = f(U)$
15	12			
16	14			
17		10^{-6}		
18	7,5	$4 \cdot 10^{-6}$	0,35	$\Delta p_x = f(d)$
19		$8 \cdot 10^{-6}$		
20		$1,2 \cdot 10^{-5}$		
21			0,25	
22	13	$2,5 \cdot 10^{-5}$	0,5	$\Delta p_x = f(l)$
23			0,75	
24			1,0	
25		$2 \cdot 10^{-5}$		
26	16	$4 \cdot 10^{-5}$	0,65	$\Delta s = f(\Delta p_x)$
27		$6 \cdot 10^{-5}$		
28		$8 \cdot 10^{-5}$		

Задача 22.6. Пучок электронов с энергией W встречает на своем пути полубесконечный потенциальный барьер высотой U. Относительная плотность вероятности пребывания электрона на расстоянии x от начала барьера равна η. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	W, эВ	U, эВ	x, Å	η
1	?	22	0,5	0,48
2	25	?	1,9	0,14
3	40	45	?	0,25
4	31	33	1,0	?
5	?	30	1,5	0,11
6	21	?	2,6	0,02
7	33	35	?	0,56
8	28	32	0,8	?
9	?	22	1,2	0,12
10	36	?	2,0	0,016
11	18	20	?	0,23
12	24	26	1,8	?
13	?	28	0,7	0,29
14	29	?	2,2	0,006
15	22	25	?	0,41
16	34	37	1,3	?
17	?	24	0,9	0,27
18	26	?	1,4	0,057
19	32	35	?	0,1
20	19	20	2,5	?
21	?	31	0,6	0,42
22	23	?	2,4	0,085
23	37	39	?	0,175
24	30	35	1,6	?
25	?	40	0,4	0,44
26	20	?	1,7	0,049
27	35	36	?	0,44
28	27	29	2,2	?

Задача 22.7. Частица ...дится в бесконечно глубокой одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l на n-м энергетическом уровне. Определить вероятность ...ждения частицы на расстоянии x_1 от стенки потенциальной ямы в интервале от x_1 до $x_1 + \Delta x$.

Номер задания	n	x_1	Δx
1	1	$0{,}125l$	$0{,}01l$
2		$0{,}25l$	
3		$0{,}375l$	
4		$0{,}5l$	
5	2	$0{,}125l$	$0{,}01l$
6		$0{,}25l$	
7		$0{,}375l$	
8		$0{,}5l$	
9	3	$0{,}125l$	$0{,}01l$
10		$0{,}25l$	
11		$0{,}375l$	
12		$0{,}5l$	
13	4	$0{,}125l$	$0{,}01l$
14		$0{,}25l$	
15		$0{,}375l$	
16		$0{,}5l$	
17	1	$0{,}5l$	$0{,}002l$
18			$0{,}004l$
19			$0{,}006l$
20			$0{,}008l$
21	2	$0{,}25l$	$0{,}02l$
22			$0{,}03l$
23			$0{,}04l$
24			$0{,}05l$
25	3	$0{,}5l$	$0{,}05l$
26			$0{,}1l$
27			$0{,}15l$
28			$0{,}2l$

Задача 22.8. Частица массой m находится в конечно глубокой одномерной потенциальной яме шириной l. Рассчитать состояния ΔW_n между соседними n-м и $(n+1)$-м энергетическими уровнями различных частиц.

Номер задания	Вид частицы	n	l, м	Выяснить зависимость
1	Электрон	1	10^{-10}	$\Delta W_n = f(n)$
2		2		
3		3		
4		4		
5	Молекула водорода	1	10^{-10}	$\Delta W_n = f(l)$
6			10^{-8}	
7			10^{-6}	
8			10^{-4}	
9	Электрон	1	10^{-9}	$\Delta W_n = f(m)$
10	Протон			
11	α-частица			
12	Молекула водорода			
13	Электрон	1	10^{-10}	$\Delta W_n = f(l)$
14			10^{-8}	
15			10^{-6}	
16			10^{-4}	
17	Протон	1	10^{-10}	$\Delta W_n = f(n)$
18		2		
19		3		
20		4		
21	α-частица	2	10^{-9}	$\Delta W_n = f(m)$
22	Молекула водорода			
23	Электрон			
24	Протон			
25	α-частица	1	10^{-11}	$\Delta W_n = f(n)$
26		2		
27		3		
28		4		

Задача 22.9. Электрон в атоме водорода при воздействии внешних факторов перешел из одного состояния в другое. Его орбитальный магнитный момент изменился при этом на $\Delta\mu$, а энергия — на ΔW. Определить неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	Начальное состояние	Конечное состояние	$\Delta\mu$, Дж/Тл	ΔW, эВ
1	$2p$	$1s$	?	?
2	$4f$	$3d$	?	?
3	$2p$	$5d$	?	?
4	$3s$	$2p$	?	?
5	?	?	$-9{,}6\cdot10^{-24}$	$-1{,}9$
6	?	?	$1{,}31\cdot10^{-23}$	$-2{,}8$
7	?	?	$-9{,}6\cdot10^{-24}$	$-2{,}5$
8	?	?	$1{,}31\cdot10^{-23}$	10,2
9	?		?	$-12{,}8$
10	?	$1s$	?	$-10{,}2$
11	?		?	$-12{,}1$
12	?		?	$-13{,}1$
13	$2s$	?	?	2,5
14	$3s$	?	?	0,66
15	$4s$	?	?	$-2{,}5$
16	$5s$	?	?	$-0{,}97$
17	$2s$	$5p$	?	?
18	$4d$	$2p$	?	?
19	$5f$	$3d$	?	?
20	$2p$	$4s$	?	?
21	?	?	$9{,}41\cdot10^{-24}$	1,14
22	?	?	$-1{,}31\cdot10^{-23}$	2,5
23	?	?	$-9{,}32\cdot10^{-24}$	$-0{,}17$
24	?	?	$-9{,}35\cdot10^{-24}$	$-0{,}3$
25	?		?	$-3{,}0$
26	?	$2s$	?	$-2{,}5$
27	?		?	$-1{,}9$
28	?		?	$-2{,}8$

Задача 22.10. Рассчитать длины волн в спектре излучения атома водорода, соответствующих переходам, указанным в таблице. Определить длины волн, соответствующие границам серии. Постоянную Ридберга для $1/\lambda$ считать равной $R_\nu = 1{,}097 \cdot 10^7$ м$^{-1}$.

Номер задания	Серия излучения	Переходы электрона	
		начальное состояние	конечное состояние
1	Лаймана	$2p$	$1s$
2		$3p$	
3		$4p$	
4		$5p$	
5	Лаймана	$6p$	$1s$
6		$7p$	
7		$8p$	
8		$9p$	
9	Бальмера	$3p$	$2s$
10		$4p$	
11		$5p$	
12		$6p$	
13	Бальмера	$7p$	$2s$
14		$8p$	
15		$9p$	
16		$10p$	
17	Пашена	$4f$	$3d$
18		$5f$	
19		$6f$	
20		$7f$	
21	Брэккета	$5g$	$4f$
22		$6g$	
23		$7d$	
24		$8d$	
25	Пфунда	$6f$	$5g$
26		$7f$	
27		$8h$	
28		$9h$	

Контрольные вопросы

23.1. Вспомните классическую теорию теплоемкости металла, сформулируйте закон Дюлонга и Пти. При каких условиях этот закон дает хорошее совпадение с экспериментальными данными? Что лежит в основе теории теплоемкости Эйнштейна? При каких условиях она дает количественно неверный результат? Какую поправку внес Дебай в теорию теплоемкости? Что такое характеристическая температура? Поясните закон T^3 Дебая.

23.2. Какие колебания носят нормальными колебаниями системы? Чему равна максимальная частота нормальных колебаний решетки? Чему равна наименьшая длина волны возбуждаемая в кристалле? Как максимальная частота нормальных колебаний связана с характеристической температурой Дебая? Что такое фонон? Почему его называют квазичастицей? Распространяется ли принцип Паули на фононы? Почему?

23.3. Какие частицы подчиняются статистике Бозе—Эйнштейна? Запишите выражение распределения Бозе—Эйнштейна и поясните его. Какие частицы подчиняются статистике Ферми—Дирака? Запишите выражение этого распределения, проанализируйте его. На чем основана квантовая теория свободных электронов в металле. Что такое уровень Ферми? Чему равна вероятность нахождения электрона на этом уровне? Что такое плотность состояний? Чему она равна? Чему равна энергия на уровня Ферми при $T = 0$? Как она зависит от температуры?

23.4. Как осуществляется переход электронов на более высокие уровни? Какой вид принимает график функции распределения Ферми—Дирака при $T > 0$. Как можно оценить долю электронов, которые при нагревании металла до определенной температуры будут иметь энергию, большую, чем энергия электронов на уровне Ферми?

23.5. Как квантовая механика объясняет наличие сопротивления у металлов? Для чего вводится понятие эффективной массы электрона? Что такое средняя дрейфовая скорость электронов в металле? Чему равна удельная электропроводность металла? Какими экспериментальными методами можно определить концентрацию свободных электронов в металле?

23.6. Чем отличаются системы разрешенных энергетических уровней у металлов, полупроводников и диэлектриков? Какой полупроводник называют собственным? Что является носителем заряда в собственном полупроводнике? Как собственная проводимость полупроводника зависит от температуры? Чему равна энергия активации собственной проводимости?

23.7. Какие полупроводники относят к n-типу, а какие — к p-типу? Что такое доноры и акцепторы? Чему равна энергия активации примесной проводимости? Чему равна концентрация примесных носителей заряда при температурах ниже и выше температуры, соответствующей энергии активации примесных носителей?

23.8. В чем заключается явление внутреннего фотоэффекта? Что такое фотопроводимость полупроводника? Что называют красной границей внутреннего фотоэффекта? Как ее определяют?

23.9. Что такое работа выхода электрона из металла, потенциал выхода?

В чем состоит явление термоэлектронной эмиссии? Формулируйте закон Богусловского—Лэнгмюра (закон трех вторых). Запиш выражение зависимости тока насыщения от температуры и поясните его.

23.10. Что называется внешней и внутренней контэй разностью потенциалов? Чем обусловлено их возникновение? Как можрассчитать их значения?

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс общей физики. М., 1987. Т. 3 (§45-
2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (41.1–41.8, 42.1–42.3, 43.1–43.6, 44.1–44.4).
3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 234–249).

Задача 23.1. Учитывая, что интеграл, входящий в дебаевское выражение для теплоемкости, при $x_m \to \infty$ (т.е. при $T \to 0$) принимает значение, равное $4\pi^4/15$, определить количество теплоты Q, необходимой для нагревания кристалла заданного вещества массой m от температуры T_1 до температуры T_2. Характеристическую температуру Дебая для заданного вещества принять равной θ. Считать, что условие $T \ll \theta$ выполняется.

Номер задания	Заданное вещество	m, г	T_1, К	T_2, К	θ, К
1			4	6	
2	Серебро	0,5	6	8	208
3			8	10	
4			10	12	
5			5	10	
6	Алюминий	20	10	15	396
7			15	20	
8			20	25	
9	Аргон (в твер-		4,0	4,5	
10	дом состоянии)	0,3	4,5	5,0	
11			5,0	5,5	92
12			5,5	6,0	
13			4,0	4,5	
14	Свинец	15	4,5	5,0	76
15			5,0	5,5	
16			5,5	6,0	
17			4	8	
18	Хлористый	10	8	12	320
19	натрий		12	16	
20			16	20	
21			10	20	
22	Бериллий	0,4	20	30	1400
23			30	40	
24			40	50	
25			4	6	
26	Медь	25	6	8	310
27			8	10	
28			10	12	

Задача 23.2. В кристалле химически простого вещества скорость распространения поперечных волн равна $v_\perp$, продольных — $v_\parallel$, концентрация атомов вещества — n. Найти максимальную частоту нормальных колебаний решетки и характеристическую температуру Дебая.

Номер задания	Заданный кристалл	$v_\perp$, м/с	$v_\parallel$, м/с	n
1	Одномерный кристалл (цепочки атомов колеблются вдоль прямой, на которой находятся)	$v_\perp = v_\parallel =$ $= 3000$	$v_\perp = v_\parallel =$ $= 3000$	10^9 м$^{-1}$
2				$5 \cdot 10^9$ м$^{-1}$
3				10^{10} м$^{-1}$
4				$2 \cdot 10^9$ м$^{-1}$
5	Двухмерный кристалл (атомы находятся в вершинах прямоугольных ячеек и колеблются в плоскости)	$v_\perp = v_\parallel =$ $= 3000$	$v_\perp = v_\parallel =$ $= 3000$	10^{19} м$^{-2}$
6				$2{,}5 \cdot 10^{19}$ м$^{-2}$
7				$5 \cdot 10^{19}$ м$^{-2}$
8				$7{,}5 \cdot 10^{19}$ м$^{-2}$
9	Трехмерный кристалл (атомы находятся в вершинах прямоугольных кристаллических ячеек)	$v_\perp = v_\parallel =$ $= 3000$	$v_\perp = v_\parallel =$ $= 3000$	$1{,}25 \cdot 10^{29}$ м$^{-3}$
10				$5 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$
11				$7{,}5 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$
12				10^{29} м$^{-3}$
13	Трехмерный кристалл	800	2500	$5 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$
14		1200	3200	
15		1600	3800	
16		2000	4300	
17	Бериллий	8830	12550	$1{,}23 \cdot 10^{29}$ м$^{-3}$
18				
19				
20				
21	Серебро	1590	3600	$5{,}86 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$
22				
23				
24				
25	Свинец	700	2160	$3{,}28 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$
26				
27				
28				

Задача 23.3. Определить энергиимпульс электрона на уровне Ферми в металле, плотность которого равнаитая, что на каждый атом металла приходится β свободных электронов, 3 — число электронов на внешней оболочке отдельного атома элемента (зериментально определенные значения β могут быть значительно ниже, нагер у алюминия — 2,2). Зависимостью энергии на уровне Ферми от темперы пренебречь.

Номер задания	Металл	кг/м^3	β
1	Алюминий	598,9	3
2	Натрий	58,4	1
3	Ниобий	570	1
4	Платина	1450	1
5	Медь	960	1
6	Тантал	6600	2
7	Хром	190	1
8	Калий	62	1
9	Вольфрам	9300	2
10	Цинк	7140	2
11	Иридий	22400	2
12	Железо	7874	2
13	Бериллий	1847,7	2
14	Молибден	10200	1
15	Литий	534	1
16	Никель	8900	2
17	Бор	2340	3
18	Уран	18950	2
19	Золото	19320	1
20	Титан	4500	2
21	Ванадий	6110	2
22	Осмий	22570	2
23	Торий	11720	2
24	Кобальт	8900	2
25	Индий	7310	3
26	Серебро	10500	1
27	Цезий	1870	1
28	Магний	1738	2

Задача 23.4. Считая энергию электронов на уровне Ферми в заданном металле равной W_F, определить долю электронов (в процентах), которые при нагревании металла до температуры T выйдут за пределы уровня Ферми.

Номер задания	Металл	W_F, эВ	T, К
1	Медь	7,0	300
2			600
3			1000
4			1300
5	Золото	5,5	300
6			600
7			1000
8			1300
9	Кобальт	11,7	300
10			1000
11			1300
12			1700
13	Тантал	8,4	300
14			1000
15			1700
16			3000
17	Иридий	9,8	300
18			1000
19			1700
20			2500
21	Платина	6,0	300
22			1000
23			1700
24			2000
25	Вольфрам	9,2	300
26			1000
27			2000
28			3600

Задача 23.5. Используя экспериментально полученные значения постоянной Холла R_H, рассчитать энергию электронов в металле на уровне Ферми, плотность тока и среднюю дрейфовую скорость электронов под действием внешнего электрического поля напряженностью E. Удельное сопротивление металла равно ρ. Сравнить результаты с результатами задачи 23.3, объяснить незначительное различие результатов.

Номер задания	Металл	R_H, 10^{-11} м^3/К	ρ, мкОм·м	E, В/м
1				0,05
2	Серебро	8,4	0,016	0,1
3				0,15
4				0,2
5				0,10
6	Медь	5,5	0,0172	0,12
7				0,14
8				0,16
9				10^{-4}
10	Золото	7,2	0,024	10^{-3}
11				10^{-2}
12				0,1
13				$2{,}5\cdot10^{-3}$
14	Натрий	25	0,049	$5\cdot10^{-3}$
15				$7{,}5\cdot10^{-3}$
16				10^{-2}
17				$2\cdot10^{-4}$
18	Литий	17	0,06	$5\cdot10^{-4}$
19				$2\cdot10^{-3}$
20				$5\cdot10^{-3}$
21				0,02
22	Алюминий	4,0	0,028	0,04
23				0,06
24				0,08
25				0,1
26	Висмут	5000	1,065	0,2
27				0,3
28				0,4

Задача 23.6. Рассчитать удельную проводимость σ собственного полупроводника при температуре T и величину σ_0, входящую в выражение для удельной проводимости собственного полупроводника, если известно, что при 18 °С ширина запрещенной зоны равна ΔW_0, концентрация носителей заряда одного знака — n, подвижность электронов и дырок — u_n и u_p соответственно. Зависимостью ширины запрещенной зоны от температуры пренебречь.

Номер задания	Полупроводник	ΔW_0, эВ	n, м$^{-3}$	u_n, м^2/(В·с)	u_p, м^2/(В·с)	T, К
1						300
2	Германий	0,8	$2{,}5\cdot10^{19}$	0,36	0,18	350
3						400
4						450
5						300
6	Кремний	1,12	$1{,}6\cdot10^{16}$	0,19	0,05	350
7						400
8						450
9						300
10	Теллур	0,36	10^{22}	0,17	0,12	350
11						400
12						450
13	Арсенид					300
14	галлия	1,43	$1{,}1\cdot10^{13}$	0,85	0,04	350
15						400
16						450
17						300
18	Арсенид	0,36	$2\cdot10^{21}$	3,0	0,046	350
19	индия					400
20						450
21						300
22	Сульфид	0,41	10^{22}	0,06	0,07	350
23	свинца					400
24						450
25	Карбид					300
26	кремния	2,86	10^7	0,01	0,002	350
27						400
28						450

Задача 23.7. Во сколько раз в примесном полупроводнике изменится число примесных носителей заряда с энергией активации $\Delta W_{пр}$ при изменении температуры от T_1 до T_2, если концентрация примесей очень мала (менее 0,01 %)? При какой температуре происходит активация примесей? Зависимостью энергии активации от температуры можно пренебречь.

Номер задания	Примесный полупроводник	$\Delta W_{пр}$, эВ	T_1, К	T_2, К
1	Германий, легированный фосфором	0,012	45	50
2			50	55
3			55	60
4			60	65
5	Германий, легированный сурьмой	0,0096	35	40
6			40	45
7			45	50
8			50	55
9	Германий, легированный бором	0,01	35	40
10				45
11				50
12				55
13	Кремний, легированный фосфором	0,044	50	100
14			100	150
15			150	200
16			200	250
17	Кремний, легированный мышьяком	0,049	50	100
18				150
19				200
20				250
21	Кремний, легированный галлием	0,065	150	200
22			200	250
23			250	300
24			300	350
25	Кремний, легированный индием	0,16	300	400
26			400	500
27			500	600
28			600	700

Задача 23.8. Энергия активации собственной проводимости полупроводника равна ΔW_0, примесной проводимости для данного легирующего вещества — ΔW. Красная граница внутреннего фотоэффекта — λ_0. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице. Буквами (d) и (a) обозначены донорные и акцепторные примеси.

Номер задания	Полупроводник	Легирующий элемент	ΔW_0, эВ	ΔW, эВ	λ_0, мкм
1	Германий Ge		0,8		?
2	Кремний Si		1,12		?
3	Селен Se		1,7		?
4	Теллур Te		0,36		?
5		Литий Li (d)		0,033	?
6	Кремний Si	Сурьма Sb (d)		0,039	?
7		Фосфор P (d)		0,044	?
8		Мышьяк As (d)		0,049	?
9		Бор B (a)		0,045	?
10	Кремний Si	Алюминий Al (a)		0,057	?
11		Галлий Ga (a)		0,065	?
12		Индий In (a)		0,16	?
13	Оксид меди Cu_2O		1,56		?
14	Сульфид свинца PbS		0,41		?
15	Арсенид галлия GaAs		1,43		?
16	Арсенид индия InAs		0,36		?
17		? (d)		?	25,32
18	Кремний Si	? (d)		?	31,81
19		? (a)		?	19,09
20		? (a)		?	21,77
21		Литий Li (d)		0,0095	?
22	Германий Ge	Сурьма Sb (d)		0,0096	?
23		Фосфор P (d)		0,012	?
24		Мышьяк As (d)		0,013	?
25		Бор B (a)		0,010	?
26	Германий Ge	Алюминий Al (a)		0,010	?
27		Галлий Ga (a)		0,011	?
28		Индий In (a)		0,011	?

Задача 23.9. При повышении температуры металла, работа выхода электронов из которого равна A, от T_1 до T_2 ток насыщения термоэлектронной эмиссии увеличивается на β. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	A, эВ	T_1, К	T_2, К	β, %
1	?	1990	2000	17,96
2	4,12	3085	3100	?
3	?	880	886	48,2
4	4,58	2010	2020	?
5	?	1960	1990	38,4
6	4,54	3120	3140	?
7	?	1700	1715	31,65
8	2,8	1100	1115	?
9	?	1600	1610	24,0
10	4,41	1695	1710	?
11	?	895	902	1,57
12	4,3	2650	2700	?
13	?	890	895	31,84
14	4,4	1294	1300	?
15	?	1650	1658	17,64
16	4,0	2500	2520	?
17	?	2586	2600	11,67
18	4,7	3293	3300	?
19	?	2000	2007	12,15
20	4,3	1990	2000	?
21	?	1270	1280	39,18
22	3,3	2038	2050	?
23	?	650	652	26,93
24	3,9	2050	2090	?
25	?	1650	1660	21,5
26	4,54	2960	3000	?
27	?	1680	1692	25,9
28	3,64	880	890	?

Задача 23.10. Два металла, концентрации свободных электронов в которых равны n_1 и n_2 соответственно, приводятся в контакт. Возникающая при этом внутренняя контактная разность потенциалов равна $\Delta\varphi_{\text{внутр}}$. Найти неизвестную величину согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	n_1, м$^{-3}$	n_2, м$^{-3}$	$\Delta\varphi_{\text{внутр}}$, В
1	10^{29}	10^{28}	?
2		$2\cdot10^{28}$	?
3		$3\cdot10^{28}$	?
4		$4\cdot10^{28}$	?
5	$2\cdot10^{29}$	?	6,88
6		?	9,78
7		?	10,25
8		?	6,28
9	?	$5\cdot10^{28}$	9,52
10	?		2,37
11	?		5,35
12	?		1,82
13	$6\cdot10^{28}$	10^{28}	?
14	$7\cdot10^{28}$		?
15	$8\cdot10^{28}$		?
16	$9\cdot10^{28}$		?
17	$8{,}5\cdot10^{28}$	?	2,78
18		?	5,357
19		?	5,034
20		?	3,93
21	?	$2\cdot10^{28}$	3,80
22	?		9,78
23	?		0,834
24	?		5,17
25	$1{,}5\cdot10^{29}$	$2\cdot10^{28}$	?
26		$4\cdot10^{28}$	?
27		$6\cdot10^{28}$	?
28		$8\cdot10^{28}$	?

ТЕМА 24. ОСНОВЫ ФИЗИКИ АТОМНОГО ЯДРА

Контрольные вопросы

24.1. Какие частицы входят в состав атомного ядра? Что такое нуклоны? Чем определяются зарядовое и массовое числа? Какое число определяет принадлежность ядра данному химическому элементу? По какой формуле можно рассчитать приближенное значение радиуса ядра? Поясните, что понимают под энергией связи и дефектом массы ядра. Что означает удельная энергия связи нуклонов в ядре?

24.2. Какие ядра называют: а) изотопами; б) изобарами; в) изотонами; г) изомерами? Приведите примеры.

24.3. Если естественное химически чистое вещество имеет два устойчивых изотопа, то как, зная массовые числа изотопов и массовое число химического элемента, определить процентное содержание изотопов в естественном веществе?

24.4. Какими свойствами обладают ядерные силы? Что такое виртуальные частицы? Какова их роль в сильном взаимодействии нуклонов? Какие частицы относят к мезонам? Какие схемы описывают: а) распады пионов и мюонов; б) обменное вазимодействие нуклонов?

24.5. Что называют радиоактивностью? Запишите закон радиоактивного распада и поясните его. Что понимают под периодом полураспада ядер данного вещества? Что такое среднее время жизни радиоактивного ядра?

24.6. Что называют активностью радиоактивного вещества? Как она меняется со временем? Какая связь существует между количеством радиоактивного вещества и его активностью?

24.7. Что представляют собой α- и β-частицы? Запишите общие схемы α- и β-распадов ядер и поясните их, уделив особое внимание законам сохранения. Что такое γ-лучи? Почему α-распад обычно сопровождается испусканием γ-лучей?

24.8. Что называется эффективным сечением ядерного взаимодействия? Чему равна внесистемная единица измерения эффективного сечения ядерных процессов 1 барн?

24.9. Как рассчитать энергию, выделяемую при ядерной реакции? Какой смысл имеет отрицательная энергия ядерной реакции? Что необходимо для того, чтобы такая ядерная реакция могла протекать?

24.10. Поясните, что лежит в основе метода определения возраста археологических находок по изотопу углерода ^{14}C.

ЛИТЕРАТУРА

1. *И.В. Савельев.* Курс общей физики. М., 1987. Т. 3 (§ 66–77, 81–82).
2. *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* Курс физики. М., 1989 (§ 45.1–45.9, 46.1–46.8).
3. *Т.И. Трофимова.* Курс физики. М., 1985 (§ 250–274).

Задача 24.1. Ядро содержит p протонов и n нейтронов. Определить, какому химическому элементу принадлежит данное ядро, записать его символ с указанием массового и зарядового чисел. Определить приблизительный радиус ядра химического элемента и его удельную энергию связи, если масса атома равна m_a.

Номер задания	p	n	m_a, а.е.м.
1	6	6	12,0000
2	16	20	35,9671
3	18	18	35,9675
4	10	10	19,9924
5	14	14	27,9769
6	18	22	39,9624
7	7	8	15,0001
8	19	21	39,9640
9	20	20	39,9626
10	6	7	13,0034
11	10	11	20,9938
12	18	20	37,9627
13	20	23	42,9588
14	14	15	28,9765
15	8	9	16,9991
16	14	16	29,9738
17	20	26	45,9537
18	7	7	14,0031
19	22	24	45,9526
20	10	12	21,9914
21	23	27	49,9472
22	24	26	49,9461
23	22	28	49,9448
24	8	8	15,9949
25	22	26	47,9479
26	8	10	17,9992
27	20	28	47,9525
28	24	28	51,9405

Задача 24.2. Определить количество протонов и нейтронов, входящих в состав устойчивых изотопов химических элементов, указанных в таблице.

Номер задания	Атомный номер элемента	Химический элемент	Символ изотопа
1	1	Водород	^{1}H, ^{2}H
2	2	Гелий	^{3}He, ^{4}He
3	3	Литий	^{6}Li, ^{7}Li
4	5	Бор	^{10}B, ^{11}B
5	6	Углерод	^{12}C, ^{13}C
6	7	Азот	^{14}N, ^{15}N
7	8	Кислород	^{16}O, ^{17}O, ^{18}O
8	10	Неон	^{20}Ne, ^{21}Ne, ^{22}Ne
9	12	Магний	^{24}Mg, ^{25}Mg, ^{26}Mg
10	14	Кремний	^{28}Si, ^{29}Si, ^{30}Si
11	16	Сера	^{32}S, ^{33}S, ^{34}S, ^{36}S
12	17	Хлор	^{35}Cl, ^{37}Cl
13	18	Аргон	^{36}Ar, ^{38}Ar, ^{40}Ar
14	19	Калий	^{39}K, ^{40}K, ^{41}K
15	20	Кальций	^{40}Ca, ^{42}Ca, ^{43}Ca, ^{44}Ca, ^{46}Ca, ^{48}Ca
16	22	Титан	^{46}Ti, ^{47}Ti, ^{48}Ti, ^{49}Ti, ^{50}Ti
17	23	Ванадий	^{50}V, ^{51}V
18	24	Хром	^{50}Cr, ^{52}Cr, ^{53}Cr, ^{54}Cr
19	26	Железо	^{54}Fe, ^{56}Fe, ^{57}Fe, ^{58}Fe
20	28	Никель	^{58}Ni, ^{60}Ni, ^{61}Ni, ^{62}Ni, ^{64}Ni
21	29	Медь	^{63}Cu, ^{65}Cu
22	30	Цинк	^{64}Zn, ^{66}Zn, ^{67}Zn, ^{68}Zn, ^{70}Zn
23	31	Галлий	^{69}Ga, ^{71}Ga
24	32	Германий	^{70}Ge, ^{72}Ge, ^{73}Ge, ^{74}Ge, ^{76}Ge
25	34	Селен	^{74}Se, ^{76}Se, ^{77}Se, ^{78}Se, ^{80}Se, ^{82}Se
26	35	Бром	^{79}Br, ^{81}Br
27	42	Молибден	^{92}Mo, ^{94}Mo, ^{95}Mo, ^{96}Mo, ^{97}Mo, ^{98}Mo
28	50	Олово	^{112}Sn, ^{114}Sn, ^{116}Sn, ^{119}Sn, ^{122}Sn, ^{124}Sn

Задача 24.3. Естественное химически чистое вещество имеет атомную массу A. Оно состоит из двух изотопов с атомными массами A_1 и A_2. Процентное содержание первого изотопа в естественном веществе составляет g_1, второго – g_2. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	A, а.е.м	A_1, а.е.м.	A_2, а.е.м.	g_1, %	g_2, %
1	?	14,0031	15,0001	?	0,365
2	50,9415	?	50,9439	0,24	?
3	4,0026	3,0160	?	?	99,99987
4	?	62,9296	64,9278	69,1	?
5	69,72	?	70,9247	?	39,8
6	35,453	34,9688	?	75,77	?
7	?	78,9183	80,9185	?	49,46
8	1,0079	?	2,0141	99,985	?
9	85,468	84,9118	?	?	27,85
10	?	6,0151	7,0160	7,5	?
11	107,868	?	108,9048	?	48,6
12	50,9415	49,9471	?	0,24	?
13	?	10,0129	11,0093	?	80,1
14	4,0026	?	4,0026	$1{,}3\cdot10^{-4}$	?
15	12,011	12,000	?	?	1,11
16	?	112,9041	114,9039	4,28	?
17	35,453	?	36,9659	?	24,23
18	10,81	10,0129	?	19,9	?
19	?	120,9038	122,9042	?	42,7
20	63,546	?	64,9278	69,1	?
21	1,0079	1,008	?	?	0,015
22	?	68,9256	70,9247	60,2	?
23	6,941	?	7,0160	?	92,5
24	14,0067	14,0031	?	99,635	?
25	?	137,9069	138,9060	?	99,911
26	12,011	?	13,0033	98,89	?
27	79,904	78,9183	?	?	49,46
28	?	84,9118	86,9092	72,15	?

Задание 4. Записать схему распада пиона или мюона и схему обменного взаимодействия нуклонов, подставив вместо вопросительного знака символ нужной частицы.

Номер задания	Схема распада пиона или мюона	Схема обменного взаимодействия нуклонов
1	$? \to \mu^+ + \nu$	$n + p \rightleftarrows ? + \pi^- + ? \rightleftarrows p + n$
2	$\pi^0 \to ? + \gamma$	$p + n \rightleftarrows ? + \pi^0 + n \rightleftarrows p + n$
3	$\mu^+ \to ? + \nu + \tilde{\nu}$	$n + n \rightleftarrows n + ? + n \rightleftarrows n + n$
4	$? \to e^+ + e^- + e^+ + e^-$	$? + n \rightleftarrows n + \pi^+ + n \rightleftarrows n + ?$
5	$\mu^- \to ? + \nu + \tilde{\nu}$	$p + p \rightleftarrows ? + \pi^0 + p \rightleftarrows p + p$
6	$\pi^- \to ? + \tilde{\nu}$	$? + n \rightleftarrows p + \pi^0 + n \rightleftarrows ? + n$
7	$\pi^0 \to \gamma + \gamma + ?$	$p + n \rightleftarrows ? + \pi^+ + ? \rightleftarrows n + p$
8	$\pi^0 \to ? + e^- + \gamma$	$n + ? \rightleftarrows n + \pi^0 + n \rightleftarrows ? + n$
9	$? \to e^+ + \nu + \tilde{\nu}$	$? + p \rightleftarrows p + \pi^- + p \rightleftarrows p + ?$
10	$\pi^+ \to ? + \nu$	$p + p \rightleftarrows p + ? + p \rightleftarrows p + p$
11	$\pi^0 \to e^+ + ? + \gamma$	$n + n \rightleftarrows ? + \pi^0 + n \rightleftarrows n + n$
12	$\mu^- \to e^- + \nu + ?$	$p + ? \rightleftarrows p + \pi^0 + n \rightleftarrows p + ?$
13	$? \to \gamma + \gamma$	$? + n \rightleftarrows n + \pi^0 + n \rightleftarrows n + ?$
14	$\mu^+ \to e^+ + ? + \tilde{\nu}$	$p + ? \rightleftarrows n + \pi^+ + n \rightleftarrows ? + p$
15	$\pi^- \to \mu^- + ?$	$p + n \rightleftarrows p + ? + n \rightleftarrows p + n$
16	$? \to \gamma + \gamma + \gamma$	$? + p \rightleftarrows p + \pi^0 + p \rightleftarrows p + ?$
17	$\pi^0 \to ? + e^+ + e^- + e^+$	$p + p \rightleftarrows p + ? + p \rightleftarrows p + p$
18	$? \to \mu^- + \tilde{\nu}$	$n + ? \rightleftarrows p + \pi^- + p \rightleftarrows ? + n$
19	$\mu^- \to e^- + ? + \tilde{\nu}$	$p + n \rightleftarrows n + ? + n \rightleftarrows n + p$
20	$\pi^0 \to ? + \gamma + \gamma$	$? + n \rightleftarrows n + \pi^0 + n \rightleftarrows n + ?$
21	$? \to e^+ + e^- + \gamma$	$n + n \rightleftarrows n + \pi^0 + ? \rightleftarrows n + n$
22	$\pi^0 \to e^+ + e^- + e^+ + ?$	$p + n \rightleftarrows n + ? + n \rightleftarrows n + p$
23	$? \to e^- + \nu + \tilde{\nu}$	$p + p \rightleftarrows p + \pi^0 + ? \rightleftarrows p + p$
24	$\pi^+ \to \mu^+ + ?$	$p + n \rightleftarrows p + \pi^0 + ? \rightleftarrows p + n$
25	$\mu^+ \to e^+ + \nu + ?$	$n + p \rightleftarrows p + ? + p \rightleftarrows p + n$
26	$\pi^0 \to \gamma + ?$	$n + ? \rightleftarrows p + \pi^- + p \rightleftarrows ? + n$
27	$\pi^0 \to \gamma + ? + \gamma$	$p + ? \rightleftarrows p + \pi^0 + p \rightleftarrows ? + p$
28	$\pi^0 \to e^+ + e^- + ?$	$? + n \rightleftarrows p + \pi^0 + n \rightleftarrows ? + n$

Задача 24.5. В радиоактивном веществе с постоянной распада λ и периодом полураспада T за время t распалось k ядер их первоначального количества. Среднее время жизни радиоактивного ядра равно τ. Найти неизвестные величины согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	λ, лет$^{-1}$	T, лет	t	k, %	τ
1	0,0546	?	10 лет	?	?
2	?	?	?	26,2	65,8 сут
3	0,0565	?	?	36,36	?
4	?	5,26	4 года	?	?
5	?	86	?	43,12	?
6	?	?	16 лет	?	25,4 года
7	?	?	1 год	64,46	?
8	0,3466	?	2,5 года	?	?
9	?	?	?	43,73	43,3 года
10	0,0433	?	?	47,77	?
11	?	5730	3000 лет	?	?
12	?	17,6	?	44,62	?
13	?	?	10^4 лет	?	34625 лет
14	?	?	100 сут	43,75	?
15	0,1318	?	5 лет	?	?
16	?	?	?	51,71	5,5 лет
17	$8{,}06\cdot10^{-3}$	?	?	53,50	?
18	?	30	25 лет	?	?
19	?	12,7	?	58,26	?
20	?	?	100 сут	?	105,3 сут
21	?	?	200 сут	38,63	?
22	0,2666	?	3 года	?	?
23	?	?	?	51,32	8266,6 года
24	0,025	?	?	52,76	?
25	?	16	20 лет	?	?
26	?	2,6	?	60,67	?
27	?	?	200 сут	?	238 сут
28	?	?	300 сут	49,66	?

Задача 24.6. Определить активность a препарата массой m радиоактивного изотопа с периодом полураспада T через время t. Массовое число радиоактивного изотопа равно A. Проанализировать зависимость активности препарата от изменяющегося параметра. Считать, что все атомы изотопа радиоактивны.

Номер задания	Изотоп	m, мкг	T	t	Проанализировать зависимость
1 2 3 4	${}_{86}Rn^{222}$	0,15	3,8 сут	2 сут 4 сут 6 сут 8 сут	$a = f(t)$
5 6 7 8	${}_{88}Ra^{228}$	0,1 0,2 0,3 0,4	6,7 года	5 лет	$a = f(m)$
9 10 11 12	${}_{81}Tl^{210}$ ${}_{82}Pb^{210}$ ${}_{83}Bi^{210}$ ${}_{84}Po^{210}$	0,25	1,3 мин 22 года 5 сут 138,4 сут	24 ч	$a = f(T)$
13 14 15 16	${}_{82}Pb^{209}$	0,3	3,3 ч	6 ч 12 ч 18 ч 24 ч	$a = f(t)$
17 18 19 20	${}_{81}Tl^{207}$ ${}_{87}Fr^{221}$ ${}_{82}Pb^{210}$ ${}_{89}Ac^{227}$	0,16	4,8 мин 4,8 мин 21,8года 21,8года	5 мин 5 мин 25 лет 25 лет	$a = f(A)$
21 22 23 24	${}_{89}Ac^{225}$	0,05 0,1 0,15 0,2	10 сут	30 сут	$a = f(m)$
25 26 27 28	${}_{83}Bi^{213}$	0,25	47 мин	1 ч 2 ч 3 ч 4 ч	$a = f(t)$

Задача 24.7. Ядро радиоактивного элемента, подвергнувшись ряду преобразований, потеряло n α-частиц и m β-частиц и превратилось в ядро другого элемента. Найти неизвестные изотопы согласно номеру задания в таблице.

Номер задания	Исходный элемент	n	m	Образовавшийся элемент
1		1	2	?
2		3	2	?
3	$_{92}U^{238}$	5	2	?
4		6	3	?
5	?	5	4	
6	?	2	4	$_{82}Pb^{206}$
7	?	2	3	
8	?	1	?	
9		1	2	?
10		3	2	?
11	$_{90}Th^{232}$	5	2	?
12		5	3	?
13	?	6	3	
14	?	4	3	
15	?	3	2	$_{83}Bi^{209}$
16	?	1	2	
17		2	2	?
18		5	2	?
19	$_{92}U^{235}$	6	3	?
20		7	4	?
21	?	5	3	
22	?	4	2	
23	?	3	2	$_{82}Pb^{208}$
24	?	1	2	
25		3	1	?
26		3	2	?
27	$_{93}Np^{237}$	6	2	?
28		7	3	?

Задача 24.оток тепловых нейтронов, пройдя в заданном материале плотностью ρ тояние d, ослабляется в β раз. Эффективное се ение реакции захвата нена ядром атома мишени равно σ. Найти неизвестную величину согласно ру задания в таблице.

Номер задания	Маал	ρ, кг/м^3	σ, барн	d, см	β
1	Алний	2699	?	79,4	3
2	Берий	1848	?	888,8	
3	Бо	2340	?	0,011	
4	Вай	6110	?	2,98	
5	Вольам	19300	19,2	?	2
6	Же	7874	2,53	?	
7	Ин	7310	190	?	
8	Ир	22400	430	?	
9	Ма	1738	0,063	10	?
10	Ме	8960	3,69		?
11	Мо ен	10200	2,4		?
12	Ни	8900	4,6		?
13	Ни	8570	?	6,1	1,5
14	Оло	7298	?	18,26	
15	Ос	22570	?	0,39	
16	Пла	21450	?	0,76	
17	Плий	19860	1025	?	50
18	Рту	13546	38	?	
19	Сер	10500	62	?	
20	Тан	16600	21,3	?	
21	Ти	4500	5,8	6	?
22	Хр	7190	2,09		?
23	Ци	7140	1,07		?
24	Цинний	6510	0,18		?
25	Ур	18950	?	1,88	2
26	Гр	2265	?	1357	
27	Се	2000	?	37,67	
28	Ка(жидкий)	800	?	28,56	

Задача 24.9. Записать в полной форме уравнение ядерной реакции. Определить неизвестный элемент или частицу согласно номеру задания в таблице. Вычислить энергию, выделяемую в результате ядерной реакции.

Номер задания	Сокращенная форма записи ядерной реакции	Номер задания	Сокращенная форма записи ядерной реакции
1	$^{14}N\,(?,p)\,^{17}O$	15	$^{95}Mo\,(?,n)\,^{96}Tc$
2	$^{2}H\,(d,n)?$	16	$?\quad(d,\alpha)\,^{4}He$
3	$^{9}Be\,(d,2\alpha)?$	17	$^{24}Mg(d,\alpha)\,?$
4	$^{6}Li(?,p)\,^{7}Li$	18	$^{3}He(?,p)\,^{4}He$
5	$^{9}Be\,(\alpha,?)\,^{12}C$	19	$?(p,n)\,^{113}Sn$
6	$^{2}H\,(d,?)\,^{3}H$	20	$^{65}Cu(d,2n)?$
7	$^{35}Cl\,(n,?)\,^{35}S$	21	$^{7}Li\,(p,?)\,^{4}He$
8	$?\,(p,\alpha)\,^{4}He$	22	$^{3}He\,(?,2p)\,^{4}He$
9	$?\,(\alpha,n)\,^{30}P$	23	$^{54}Fe(n,p)?$
10	$^{3}H(d,n)?$	24	$^{32}S(?,p)\,^{32}P$
11	$^{56}Fe(d,?)\,^{54}Mn$	25	$^{6}Li(p,?)\,^{3}He$
12	$^{7}Li(?,n)\,2^{4}He$	26	$^{6}Li\,(n,\alpha)?$
13	$^{10}B(\alpha,n)\,?$	27	$?\,(p,\alpha)\,^{22}Na$
14	$^{3}H(^{3}H,2n)?$	28	$^{14}N(n,p)?$

Задача 24.10. Определить возраст археологических находок из древесины и древней ткани, если активность образцов по изотопу ^{14}C составляет β активности образцов из свежих растений. Период полураспада изотопа ^{14}C равен 5730 лет.

Образец из древней древесины				Образец из древней ткани			
номер задания	β, %	номер задания	β, %	номер задания	β, %	номер задания	β, %
1	80	8	1	15	98	22	84
2	60	9	0,8	16	96	23	82
3	40	10	0,6	17	94	24	80
4	20	11	0,4	18	92	25	78
5	10	12	0,2	19	90	26	76
6	5	13	0,05	20	88	27	74
7	2	14	0,01	21	86	28	72

ОТВЕТЫ

МЕХАНИКА

Номер задания	1.1	1.2
1	12 м/с; 1,33 с	0,2 с; 2,2 м/с; -9 м/с^2; 1 м/с^2
2	8 м; 0,53 с	1,5 с; 20,8 м/с; 1,2 м/с^2; 3,2 м/с^2
3	0,4 с; 1,26 с	2,5 с; 10,5 м/с; 0,6 м/с^2; 1,8 м/с^2
4	3 м; 0,25 с	1,2 с; 6,2 м/с; 3 м/с^2; $-1,5$ м/с^2
5	10 м/с; 0,7 с	3,5 с; 9,5 м/с; 1 м/с^2; -3 м/с^2
6	22 м; 2,93 с	4 с; 3,8 м/с; $-3,5$ м/с^2; 0,2 м/с^2
7	0,6 с; 3 с	0,2 с; 14,5 м/с; $-2,5$ м/с^2; 2,5 м/с^2
8	15 м; 0,92 с	5 с; 2 м/с; $-0,2$ м/с^2; $-0,8$ м/с^2
9	25 м/с; 0,4 с	6 с; 15,2 м/с; $-0,7$ м/с^2; 1,2 м/с^2
10	5 м; 0,4 с	3,5 с; 0,3 м/с; $-3,6$ м/с^2; $-1,4$ м/с^2
11	0,6 с; 2,6 с	3,5 с; 12,4 м/с; 3,2 м/с^2; $-1,6$ м/с^2
12	10 м; 0,955 с	10 с; 20 м/с; 1 м/с^2; 0,6 м/с^2
13	10 м/с; 2,5 с	1,5 с; 4,9 м/с; -3 м/с^2; $-1,4$ м/с^2
14	14 м; 2,8 с	1 с; 16,3 м/с; 0,3 м/с^2; $-3,2$ м/с^2
15	1,5 с; 3 с	4 с; 16,6 м/с; 3,6 м/с^2; 0,4 м/с^2
16	1 м; 0,96 с	0,5 с; 5,4 м/с; $-1,6$ м/с^2; 2,8 м/с^2
17	16 м/с; 0,75 с	10 с; 19 м/с; 0,9 м/с^2; 0,8 м/с^2
18	16 м; 0,64 с	2 с; 13 м/с; $-2,5$ м/с^2; 3 м/с^2
19	0,5 с; 1 с	20 с; 12 м/с; $-0,4$ м/с^2; $-0,2$ м/с^2
20	9 м; 2,375 с	2 с; 9,6 м/с; 1,3 м/с^2; $-1,7$ м/с^2
21	40 м/с; 0,35 с	4,5 с; 25,5 м/с; 2,4 м/с^2; -1 м/с^2
22	10 м; 1 с	2,5 с; 12,5 м/с; 1,4 м/с^2; $-1,8$ м/с^2
23	0,8 с; 1,45 с	3 с; 15,2 м/с; 3 м/с^2; 0,4 м/с^2
24	5 м; 1,42 с	1,5 с; 14,4 м/с; $-0,4$ м/с^2; 2,8 м/с^2
25	20 м/с; 1,2 с	1 с; 15,4 м/с; 3,4 м/с^2; 1,2 м/с^2
26	12 м; 0,6 с	1,5 с; 18,8 м/с; $-0,8$ м/с^2; 3,6 м/с^2
27	0,4 с; 0,87 с	0,5 с; 12,3 м/с; -4 м/с^2; 0,6 м/с^2
28	4 м; 0,72 с	2,5 с; 13 м/с; 1,6 м/с^2; 2,4 м/с^2

Номер задания	1.3
1	$y = 1{,}5x^2$; $\mathbf{v} = 2\mathbf{i} + 12t\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 12\mathbf{j}$; 18,1 м/с; 12 м/с^2
2	$y = 5{,}5x^2$; $\mathbf{v} = \mathbf{i} + 11t\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 11\mathbf{j}$; 33 м/с; 11 м/с^2
3	$y = 3x^2$; $\mathbf{v} = 4\mathbf{i} + 96t\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 96\mathbf{j}$; 48,1 м/с; 96 м/с^2
4	$y = 2x^2$; $\mathbf{v} = 3\mathbf{i} + 36t\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 36\mathbf{j}$; 36,1 м/с; 36 м/с^2
5	$y = 1{,}67x$; $\mathbf{v} = 6t\mathbf{i} + 10t\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 6\mathbf{i} + 10\mathbf{j}$; 23,3 м/с; 11,7 м/с^2
6	$y = 2x$; $\mathbf{v} = 4t\mathbf{i} + 8t\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 4\mathbf{i} + 8\mathbf{j}$; 26,8 м/с; 8,94 м/с^2
7	$y = 1{,}5x$; $\mathbf{v} = 4t\mathbf{i} + 6t\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 4\mathbf{i} + 6\mathbf{j}$; 3,6 м/с; 7,2 м/с^2
8	$y = 1{,}5x$; $\mathbf{v} = 8t\mathbf{i} + 12t\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 8\mathbf{i} + 12\mathbf{j}$; 2,9 м/с; 14,4 м/с^2
9	$y = -3\sqrt{x}$; $\mathbf{v} = 32t\mathbf{i} - 12\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 32\mathbf{i}$; 12,4 м/с; 32 м/с^2
10	$y = -3{,}5\sqrt{x}$; $\mathbf{v} = 8t\mathbf{i} - 7\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 8\mathbf{i}$; 32,76 м/с; 8 м/с^2
11	$y = -5\sqrt{x}$; $\mathbf{v} = 18t\mathbf{i} - 15\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 18\mathbf{i}$; 39 м/с; 18 м/с^2
12	$y = -1{,}5\sqrt{x}$; $\mathbf{v} = 50t\mathbf{i} - 7{,}5\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 50\mathbf{i}$; 21,36 м/с; 50 м/с^2
13	$y = -2{,}2x^2$; $\mathbf{v} = 1{,}5\mathbf{i} - 10t\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = -10\mathbf{j}$; 10,1 м/с; -10 м/с^2
14	$y = -1{,}5x^2$; $\mathbf{v} = 2\mathbf{i} - 12t\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = -12\mathbf{j}$; 24,1 м/с; -12 м/с^2
15	$y = -8x^2$; $\mathbf{v} = 0{,}5\mathbf{i} - 4t\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = -4\mathbf{j}$; 2,06 м/с; -4 м/с^2
16	$y = -0{,}5x^2$; $\mathbf{v} = 3\mathbf{i} - 9t\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = -9\mathbf{j}$; 45,1 м/с; -9 м/с^2
17	$y = 2\sqrt{x}$; $\mathbf{v} = 72t\mathbf{i} + 12\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 72\mathbf{i}$; 24,7 м/с; 72 м/с^2
18	$y = 4\sqrt{x}$; $\mathbf{v} = 32t\mathbf{i} + 16\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 32\mathbf{i}$; 25 м/с; 32 м/с^2
19	$y = \sqrt{x}$; $\mathbf{v} = 18t\mathbf{i} + 3\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 18\mathbf{i}$; 14,7 м/с; 18 м/с^2
20	$y = 2{,}5\sqrt{x}$; $\mathbf{v} = 8t\mathbf{i} + 5\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 8\mathbf{i}$; 24,5 м/с; 8 м/с^2
21	$y = -6x$; $\mathbf{v} = 0{,}4t\mathbf{i} - 2{,}4t\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 0{,}4\mathbf{i} - 2{,}4\mathbf{j}$; 4,87 м/с; 2,4 м/с^2
22	$y = -2x$; $\mathbf{v} = 3t\mathbf{i} - 6t\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 3\mathbf{i} - 6\mathbf{j}$; 16,8 м/с; 6,7 м/с^2
23	$y = -4x$; $\mathbf{v} = t\mathbf{i} - 4t\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = \mathbf{i} - 4\mathbf{j}$; 6,2 м/с; 4,1 м/с^2
24	$y = -2{,}5x$; $\mathbf{v} = 4t\mathbf{i} - 10t\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 4\mathbf{i} - 10\mathbf{j}$; 2,15 м/с; 10,8 м/с^2
25	$y = 5x$; $\mathbf{v} = 0{,}4\mathbf{i} + 2\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 0$; 2,04 м/с; 0
26	$y = 2x$; $\mathbf{v} = 2{,}5\mathbf{i} + 5\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 0$; 5,6 м/с; 0
27	$y = 1{,}5x$; $\mathbf{v} = 3\mathbf{i} + 4{,}5\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 0$; 5,4 м/с; 0
28	$y = 2{,}5x$; $\mathbf{v} = 8\mathbf{i} + 20\mathbf{j}$; $\mathbf{a} = 0$; 21,5 м/с; 0

Номер задания	1.4	
1		83°
2		76°
3	$\operatorname{tg}\alpha = \frac{}{2}$;	69,4°
4		63,4°
5		7°
6	$\operatorname{tg}\alpha = \frac{}{2l}$	14°
7		20,5°
8		26,6°
9		45°
10	$\operatorname{tg}\alpha = \frac{}{2}$	26,6°
11		18,4°
12		14°
13		56,3°
14	$\operatorname{tg}\alpha = \frac{}{}$;	36,8°
15		26,6°
16		20,5°
17		53,1°
18	$\operatorname{tg}\alpha = \frac{}{2}$;	45°
19		38,6°
20		33,7°
21		38,6°
22	$\operatorname{tg}\alpha = \frac{}{2}$;	21,8°
23		14,9°
24		11,3°
25		45°
26	$\operatorname{tg}\alpha = \frac{}{2}$;	63,4°
27		71,6°
28		76°

Номер задания	1.5	1.6	1.7
1	6,67 м/с; 4,43 м	2,78 м	8 м; 58°
2	3,82 м/с; 0,71 м	3,94 м	6,64 м/с; 4 м
3	22,8 м/с; 13,25 м	19,3 м	10 м; 0,8 м
4	3,16 м/с; 1,14 м	52,14 м	9,5 м/с; 41,2°
5	8,48 м/с; 2,94 м	2,24 м	35,5°; 3,5 м
6	0 м/с; 17,3 м	8,85 м	12 м; 50,2°
7	6,56 м/с; 1,18 м	23,4 м	9,4 м/с; 4 м
8	16,5 м/с; 11,7 м	48,4 м	6 м; 0,5 м
9	0,747 м/с; 0,42 м	0,87 м	8,95 м/с; 49,4°
10	11,16 м/с; 11,9 м	3,71 м	42,5°; 6 м
11	2,08 м/с; 0,583 м	10,2 м	4 м; 70,7°
12	3,05 м/с; 0,436 м	21,94 м	14,09 м/с; 2 м
13	28,9 м/с; 15,2 м	0,196 м	4,5 м; 0,2 м
14	26 м/с; 25,3 м	0,28 м	6,3 м/с; 42°
15	9,47 м/с; 2,94 м	0,673 м	83°; 0,5 м
16	2,1 м/с; 0,24 м	2,27 м	9 м; 80°
17	12,74 м/с; 5,63 м	23 м	31,3 м/с; 0,5 м
18	28,17 м/с; 12,4 м	72,7 м	5 м; 1 м
19	14,1 м/с; 5,16 м	167,8 м	13,28 м/с; 56,3°
20	36 м/с; 23,1 м	323,3 м	47,7°; 2,5 м
21	3,27 м/с; 1,1 м	15,6 м	13 м; 41°
22	3,3 м/с; 0,76 м	158,8 м	20,35 м/с; 0,5 м
23	22,9 м/с; 8,67 м	583,1 м	7 м; 3 м
24	7,57 м/с; 0,94 м	1440 м	8,85 м/с; 63,4°
25	17,4 м/с; 3,7 м	0,25 м	84°; 0,4 м
26	13,9 м/с; 10,4 м	0,617 м	11 м; 79,7°
27	5,76 м/с; 1,75 м	1,1 м	8,97 м/с; 5,5 м
28	15 м/с; 7,7 м	1,65 м	13 м; 2 м

Номер задания	1.8	1.9
1	3,675 м	4,56 м/с²; 0,28 м/с²; 4,55 м/с²; 86,7 см
2	3 м/с²	7,21 м/с²; 3,58 м/с²; 6,26 м/с²; 86,4 см
3	1,5 с	9,88 м/с²; 7,92 м/с²; 5,9 м/с²; 2 м
4	2,0	12,554 м/с²; 11,53 м/с²; 4,97 м/с²; 5,95 м
5	1,8 м	6,46 м/с²; 6,0 м/с²; 2,4 м/с²; 2,82 м
6	0,5 м/с²	9,37 м/с²; 7,74 м/с²; 5,28 м/с²; 2,95 м
7	0,4 с	20,116 м/с²; 18,35 м/с²; 8,24 м/с²; 12,77 м
8	4,0	24,74 м/с²; 23,3 м/с²; 8,3 м/с²; 25 м
9	0,7 м	7,473 м/с²; 0,19 м/с²; 7,470 м/с²; 2,31 м
10	2 м/с²	9,81 м/с²; 1,62 м/с²; 8,65 м/с²; 2,24 м
11	1 с	12,186 м/с²; 9,20 м/с²; 7,9 м/с²; 4,31 м
12	0,75	14,54 м/с²; 13 м/с²; 6,5 м/с²; 9,96 м
13	54,86 см	10,85 м/с²; 6,35 м/с²; 8,79 м/с²; 2,7 м
14	0,4 м/с²	11,74 м/с²; 8,3 м/с²; 8,3 м/с²; 3,78 м
15	2 с	12,64 м/с²; 9,98 м/с²; 7,76 м/с²; 5,49 м
16	0,35	13,54 м/с²; 11,5 м/с²; 7,19 м/с²; 8,03 м
17	9,6 см	3,31 м/с²; 3,035 м/с²; 1,32 м/с²; 15,6 см
18	1 м/с²	4,63 м/с²; 4,33 м/с²; 1,64 м/с²; 40,8 см
19	1,2 с	6,05 м/с²; 5,78 м/с²; 1,8 м/с²; 97,3 см
20	0,2	7,52 м/с²; 7,28 м/с²; 1,9 м/с²; 2,06 м
21	1,63 м	5,0 м/с²; 4,715 м/с²; 1,66 м/с²; 48,9 м
22	1,5 м/с²	3,69 м/с²; 3,16 м/с²; 1,9 м/с²; 13,47 м
23	0,5 с	2,41 м/с²; 1,41 м/с²; 1,95 м/с²; 3,92 м
24	1,0	1,265 м/с²; 0,4 м/с²; 1,2 м/с²; 3,33 м
25	4,05 м	3,354 м/с²; 3,19 м/с²; 1,04 м/с²; 24,6 м
26	3,5 м/с²	3,424 м/с²; 3,23 м/с²; 1,12 м/с²; 25,8 м
27	1,6 с	3,5 м/с²; 3,29 м/с²; 1,2 м/с²; 27,1 м
28	2,5	3,58 м/с²; 3,34 м/с²; 1,28 м/с²; 28,3 м

Номер задания	1.10
1	3,06 с: 11,48 м; 79,4 м
2	4,33 с; 22,96 м; 91,74 м
3	5,30 с; 34,4 м; 79,45 м
4	5,9 с; 42,8 м; 45,9 м
5	$y = 0{,}577x - 7{,}27 \cdot 10^{-3}x^2$; 11,48 м; 79,4 м
6	$y = x - 1{,}09 \cdot 10^{-2}x^2$; 22,96 м; 91,74 м
7	$y = 1{,}73x - 2{,}18 \cdot 10^{-2}x^2$; 34,4 м; 79,45 м
8	$y = 3{,}73x - 8{,}136 \cdot 10^{-2}x^2$; 42,8 м; 45,9 м
9	106 м; 68,8 м
10	129,8 м; 45,87 м
11	183,5 м; 22,94 м
12	354,5 м; 6,15 м
13	0,51 с; 0,32 м; 2,2 м
14	1,02 с; 1,27 м; 8,83 м
15	1,53 с; 2,87 м; 19,86 м
16	2,04 с; 5,1 м; 35,31 м
17	2,94 м; 1,91 м
18	11,77 м; 7,645 м
19	26,48 м; 17,2 м
20	47,1 м; 30,58 м
21	24,08 м/с; 28,26° к горизонтали
22	21,27 м/с; 4,3° к горизонтали
23	22,75 м/с; −21,2° к горизонтали
24	27,85 м/с; −40,4° к горизонтали
25	8,64 м/с^2; 4,64 м/с^2
26	9,78 м/с^2; 0,735 м/с^2
27	9,14 м/с^2; 3,55 м/с^2
28	7,47 м/с^2; 6,36 м/с^2

Номер задания	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
1	1,5 кг	4 с	0 кг	3,65 с; 35,5 м	3,92 м/с^2; 27,44 Н
2	6,5 Н	4 с	,3 м^3	4,86 с; 47,25 м	5,88 м/с^2; 31,36 Н
3	1,25 с	1 с	кг	6,08 с; 59,1 м	7,84 м/с^2; 35,28 Н
4	0,25 Н	2 с	00 Н	7,29 с; 70,9 м	9,8 м/с^2; 39,2 Н
5	2 кг	6 с	9 кг/м^3	6670 Н; 41,67 м	3,92 м/с^2; 11,76 Н
6	1,5 с	3 с	50 кг	8890 Н; 55,55 м	5,88 м/с^2; 7,84 Н
7	0,2 кг	5 с	м^3	11111 Н; 69,44 м	7,84 м/с^2; 3,92 Н
8	9,1 Н	1 с	5,3 кг	13333 Н; 83,33 м	9,8 м/с^2; 0
9	2 Н	2 с	250 Н	8,33 с; 69,4 м	2,45 м/с^2; 12,25 Н
10	2 с	5 с	,0 кг/м^3	11,11 с; 123,4 м	4,9 м/с^2; 14,7 Н
11	4 с	7 с	20 кг	13,89 с; 193 м	7,35 м/с^2; 17,15 Н
12	1 кг	3 с	6,8 м^3	16,67 с; 278 м	9,8 м/с^2; 19,6 Н
13	1,4 Н	1 с	0 кг	6670 Н; 44,45 м	2,45 м/с^2; 7,35 Н
14	3 с	5 с	400 Н	7780 Н; 44,45 м	4,9 м/с^2; 4,9 Н
15	7,6 Н	2 с	,1 кг/м^3	8890 Н; 44,45 м	7,35 м/с^2; 2,45 Н
16	0,3 кг	6 с	00 кг	10000 Н; 44,45 м	9,8 м/с^2; 0
17	2,5 с	4 с	23,75 м^3	18817 Н; 3,1 с	6,86 м/с^2; 8,33 Н
18	1,75 Н	1 с	0,3 кг	31250 Н; 2,4 с	7,84 м/с^2; 8,82 Н
19	1,5 кг	7 с	600 Н	46770 Н; 1,96 с	8,82 м/с^2; 9,31 Н
20	0,1 кг	3 с	,8 кг/м^3	65261 Н; 1,66 с	9,8 м/с^2; 9,8 Н
21	1,5 с	2с;	60 кг	14814 Н; 2,25 с	6,86 м/с^2; 1,47 Н
22	4 с	2 с	18,64 м^3	7407 Н; 4,5 с	7,84 м/с^2; 0,98 Н
23	4 кг	1с;	16,3 кг	4938 Н; 6,75 с	8,82 м/с^2; 0,49 Н
24	4,81 Н	1с;	4300 Н	3704 Н; 9 с	9,8 м/с^2; 0
25	0,4 кг	2 с	1,2 кг/м^3	5 с; 62,5 м	1,96 м/с^2; 47,04 Н
26	1 Н	4 с	125 кг	7,5 с; 93,75 м	2,94 м/с^2; 50,96 Н
27	3,18 Н	3 с	180 м^3	10 с; 125 м	3,92 м/с^2; 54,88 Н
28	2,2 с	1с;	7,9 кг	12,5 с; 156,25 м	4,9 м/с^2; 58,8 Н

Номер задания	2.6		
1	$a = g\dfrac{m_1(\sin\alpha_1 - k_1\cos\alpha_1) - m_2 k_2}{m_1 + m_2}$;	2,1 м/с²;	3,56 Н
2		3,1 м/с²;	4,6 Н
3		4,0 м/с²;	5,5 Н
4		4,8 м/с²;	6,2 Н
5	$a = g\dfrac{m_1(\sin\alpha_1 - k_1\cos\alpha_1) - m_2(\sin\alpha_2 + k_2\cos\alpha_2)}{m_1 + m_2}$;	1,05 м/с²;	0,9 Н
6		1,65 м/с²;	0,96 Н
7		2,05 м/с²;	1,0 Н
8		2,33 м/с²;	1,03 Н
9	$a = g\dfrac{m_1(\sin\alpha_1 - k_1\cos\alpha_1) - m_2}{m_1 + m_2}$;	2,2 м/с²;	12,1 Н
10		1,7 м/с²;	11,5 Н
11		1,2 м/с²;	10,95 Н
12		0,67 м/с²;	10,46 Н
13	$a = g\dfrac{m_3 - 2m_1(\sin\alpha + k\cos\alpha)}{m_1 + m_2 + m_3}$;	1,6 м/с²; 0,82 Н;	0,82 Н
14		3,24 м/с²; 0,98 Н;	0,98 Н
15		4,33 м/с²; 1,1 Н;	1,1 Н
16		5,1 м/с²; 1,175 Н;	1,175 Н
17	$a = g\dfrac{m_3 - k(m_1 + m_2)}{m_1 + m_2 + m_3}$;	5,76 м/с²; 2 Н;	0,67 Н
18		5,4 м/с²; 2,2 Н;	0,74 Н
19		5,0 м/с²; 2,4 Н;	0,8 Н
20		4,65 м/с²; 2,575 Н;	0,86 Н
21	$a = g\dfrac{m_3 - k(m_1 + m_2)}{m_1 + m_2 + m_3}$;	4,165 м/с²; 0,56 Н;	0,56 Н
22		6,05 м/с²; 0,75 Н;	0,75 Н
23		6,99 м/с²; 0,85 Н;	0,85 Н
24		7,55 м/с²; 0,9 Н;	0,9 Н
25	$a = g\dfrac{m_1(\sin\alpha_1 - k_1\cos\alpha_1) - m_2}{m_1 + m_2}$;	1,28 м/с²;	5,54 Н
26		0,94 м/с²;	5,37 Н
27		0,6 м/с²;	5,2 Н
28		0,26 м/с²;	5,03 Н

Номер задания	2.7	2.8	2.9	2.10
1	13 м/с	75 кг	18,1 т	75 г
2	40 %	3,25 кг	18 км/ч	18 м/с
3	24 м/с	1,4 м/с	60°	60°
4	9,56 м/с	0,6 с	89,4 кг	0,64 Н·с
5	11 м/с	10,2 м	–457 м/с	40 г
6	80 %	1,3 м/с	19,8 км/ч	5 м/с
7	18 м/с	65 кг	21,1 т	60°
8	–10,83 м/с	6 кг	36 км/ч	0,78 Н·с
9	16 м/с	1,3 м/с	30°	60 г
10	50 %	0,55 с	104,5 кг	8 м/с
11	22 м/с	15,24 м	–436 м/с	45°
12	–21 м/с	4,2 кг	21,2 км/ч	2,12 Н·с
13	14 м/с	60 кг	25,1 т	100 г
14	20 %	2,5 кг	24 км/ч	20 м/с
15	20 м/с	1,5 м/с	45°	45°
16	–4,86 м/с	0,58 с	80 кг	1,82 Н·с
17	10 м/с	10,83 м	497 м/с	15 г
18	70 %	1,45 м/с	48,2 км/ч	10 м/с
19	–10 м/с	70 кг	13,1 т	30°
20	16,125 м/с	4,5 кг	30 км/ч	0,15 Н·с
21	12 м/с	2 м/с	60°	50 г
22	30 %	0,65 с	99,4 кг	15 м/с
23	–14 м/с	16,48 м	472 м/с	60°
24	19,3 м/с	4 кг	15,8 км/ч	2,2 Н·с
25	15 м/с	55 кг	15,1 т	80 г
26	60 %	8,5 кг	24 км/ч	12 м/с
27	–15 м/с	1,2 м/с	30°	45°
28	–45 м/с	0,58 с	94,5 кг	0,49 Н·с

Номер задания	3.1	3.2
1	60 Дж; 8 Вт	0,9 Дж
2	320 Дж; 24 Вт	0,567 Дж
3	780 Дж; 40 Вт	0,483 Дж
4	1440 Дж; 56 Вт	0,45 Дж
5	120 Дж; 120 Вт	0,59 Дж
6	288 Дж; 144 Вт	0,65 Дж
7	504 Дж; 168 Вт	0,71 Дж
8	768 Дж; 192 Вт	0,77 Дж
9	270 Дж; 135 Вт	1,886 Дж
10	1140 Дж; 285 Вт	1,31 Дж
11	2610 Дж; 435 Вт	1,075 Дж
12	4680 Дж; 585 Вт	0,946 Дж
13	200 Дж; 50 Вт	0,8 Дж
14	650 Дж; 70 Вт	1,6 Дж
15	1350 Дж; 90 Вт	2,4 Дж
16	2300 Дж; 110 Вт	3,2 Дж
17	–6 Дж; 12 Вт	–0,015 Дж
18	4,5 Дж; 30 Вт	–0,065 Дж
19	24 Дж; 48 Вт	–0,115 Дж
20	52,5 Дж; 66 Вт	–0,165 Дж
21	40 Дж; 0,8 Вт	3 Дж
22	208 Дж; 7,2 Вт	3 Дж
23	504 Дж; 13,6 Вт	3,75 Дж
24	928 Дж; 20 Вт	4,65 Дж
25	400 Дж; 40 Вт	0,266 Дж
26	2400 Дж; 120 Вт	0,359 Дж
27	6000 Дж; 200 Вт	0,547 Дж
28	11200 Дж; 280 Вт	0,828 Дж

Номер задания	3.3	3.4	
1	2 кг	3,84 Дж; 2,16 Дж	6,00 Дж
2	10 см	2,16 Дж; 3,84 Дж	
3	9,2 Н	0,96 Дж; 5,04 Дж	
4	0,2	0,24 Дж; 5,76 Дж	
5	3 кг	24, 58 Дж; 13,83 Дж	38,41 Дж
6	40 см	13,83 Дж; 24,58 Дж	
7	2,5 Н	6,14 Дж; 32,27 Дж	
8	0,15	1,53 Дж; 36,88 Дж	
9	2,5 кг	19,2 Дж; 10,8 Дж	30 Дж
10	30 см	10,8 Дж; 19,2 Дж	
11	3,75 Н	4,8 Дж; 25,2 Дж	
12	0,25	1,2 Дж; 28,8 Дж	
13	1,5 кг	1,15 Дж; 0,65 Дж	1,8 Дж
14	15 см	0,65 Дж; 1,15 Дж	
15	1,25 Н	0,29 Дж; 1,51 Дж	
16	0,05	0,07 Дж; 1,73 Дж	
17	1 кг	20,74 Дж; 11,66 Дж	32,4 Дж
18	12 см	11,66 Дж; 20,74 Дж	
19	4,8 Н	5,18 Дж; 27,23 Дж	
20	0,3	1,3 Дж; 31,1 Дж	
21	3 кг	7,68 Дж; 4,32 Дж	12 Дж
22	25,4 см	4,32 Дж; 7,68 Дж	
23	1,2 Н	1,92 Дж; 10,08 Дж	
24	0,12	0,48 Дж; 11,52 Дж	
25	1 кг	19,2 Дж; 10,8 Дж	30 Дж
26	20 см	10,8 Дж; 19,2 Дж	
27	5,46 Н	4,8 Дж; 25,2 Дж	
28	0,28	1,2 Дж; 28,8 Дж	

Номер задания	3.5
1	1,8425 Дж; $\mathbf{F} = -(4x\mathbf{i} + 6y\mathbf{j} + 0{,}5\mathbf{k})$; 6,34 Н; 4,545 Н
2	4,2 Дж; $\mathbf{F} = -[(4/x^2)\mathbf{i} - 6\mathbf{k}]$; 6,08 Н; 17,09 Н
3	−15,5 Дж; $\mathbf{F} = -[5x\mathbf{i} + 5y\mathbf{j} + (3/z^2)\mathbf{k}]$; 9,53 Н; 16,5 Н
4	65,8 Дж; $\mathbf{F} = -(\mathbf{i} + 4y\mathbf{j} + 4z\mathbf{k})$; 27,2 Н; 15,65 Н
5	1,64 Дж; $\mathbf{F} = 2y\mathbf{j} + 3{,}5\mathbf{k}$; 3,64 Н; 3,77 Н
6	−29,34 Дж; $\mathbf{F} = (2/x^2)\mathbf{i} - 10y\mathbf{j} - 4z\mathbf{k}$; 25,46 Н; 35,23 Н
7	$5{,}5\cdot10^{-2}$ Дж; $\mathbf{F} = -[2x\mathbf{i} + 1{,}2\mathbf{j} + (2/z^2)\mathbf{k}]$; 2,83 Н; 2,546 Н
8	4 Дж; $\mathbf{F} = -[3\mathbf{i} + (1{,}5/y^2)\mathbf{j} + 1{,}1\mathbf{k}]$; 6,8 Н; 9,9 Н
9	−2,8 Дж; $\mathbf{F} = \mathbf{i} + 2{,}2[(1/y^2)\mathbf{j} + (1/z^2)\mathbf{k}]$; 1,54 Н; 6,2 Н
10	0,4675 Дж; $\mathbf{F} = -(2x\mathbf{i} + 4\mathbf{j})$; 4,04 Н; 4,01 Н
11	0,841 Дж; $\mathbf{F} = (1/x^2)\mathbf{i} - 12y\mathbf{j} + 4{,}8\mathbf{k})$; 12,93 Н; 10,75 Н
12	−0,66 Дж; $\mathbf{F} = \mathbf{j} + 2z\mathbf{k}$; 2,236 Н; 1,89 Н
13	−3,167 Дж; $\mathbf{F} = (6/x^2)\mathbf{i} + (4/y^2)\mathbf{j} + (2/z^2)\mathbf{k}$; 1,55 Н; 3,83 Н
14	0,65 Дж; $\mathbf{F} = -(10x\mathbf{i} + \mathbf{j} + 10z\mathbf{k})$; 8,66 Н; 7,87 Н
15	−15,5 Дж; $\mathbf{F} = 2x\mathbf{i} - 4y\mathbf{j}$; 15,62 Н; 11,3 Н
16	−0,24 Дж; $\mathbf{F} = -[1{,}5\mathbf{i} + \mathbf{j} + (1{,}4/z^2)\mathbf{k}]$; 2,05 Н; 2,28 Н
17	−14,4 Дж; $\mathbf{F} = (3{,}8/y^2)\mathbf{j} + 4z\mathbf{k}$; 16,02 Н; 12,06 Н
18	−0,68 Дж; $\mathbf{F} = -[2\mathbf{i} + 3{,}2y\mathbf{j} + (1/z^2)k]$; 4,09 Н; 2,75 Н
19	0,524 Дж; $\mathbf{F} = (5/x^2)\mathbf{i} - (4/z^2)\mathbf{k}$; 1,14 Н; 2,19 Н
20	−1,7625 Дж; $\mathbf{F} = -(2x\mathbf{i} - 4\mathbf{j} - 4\mathbf{k})$; 6,18 Н; 6,0 Н
21	12,475 Дж; $\mathbf{F} = -[4x\mathbf{i} - 0{,}4\mathbf{j} - (5/z^2)\mathbf{k}]$; 125 Н; 31,27 Н
22	1,8 Дж; $\mathbf{F} = (8/x^2)\mathbf{i} - 2{,}5z\mathbf{k}$; 4 Н; 2,5 Н
23	−2,75 Дж; $\mathbf{F} = -(2\mathbf{i} - 2y\mathbf{j})$; 8,25 Н; 7,28 Н
24	−4,418 Дж; $\mathbf{F} = (6/y^2)\mathbf{j} - 4{,}4z\mathbf{k}$; 7,19 Н; 17,24 Н
25	1,95 Дж; $\mathbf{F} = -[4\mathbf{i} + (1/y^2)\mathbf{j}]$; 4 Н; 4 Н
26	2,34 Дж; $\mathbf{F} = (3{,}5/x^2)\mathbf{i} - 2\mathbf{j} - \mathbf{k}$; 2,237 Н; 2,240 Н
27	−0,814 Дж; $\mathbf{F} = -(4{,}4x\mathbf{i} + 2{,}2\mathbf{j})$; 2,37 Н; 2,82 Н
28	0,46 Дж; $\mathbf{F} = -(4y\mathbf{j} + 8z\mathbf{k})$; 12,185 Н; 11,32 Н

Номер задания	3.6	3.7	
1		$1{,}21 \cdot 10^8$ м	0 м/с; 2 м/с
2		$2{,}48 \cdot 10^8$ м	−0,75 м/с; 0,5 м/с
3	$6{,}24 \cdot 10^7$ Дж/кг	$3{,}76 \cdot 10^8$ м	−1,1 м/с
4		$5 \cdot 10^8$ м	1,08
5		$1{,}2 \cdot 10^9$ м	−0,27 м/с; 0,6 м/с
6		$1{,}8 \cdot 10^9$ м	0,175 м/с; −1,4 м/с
7	$5{,}4 \cdot 10^7$ Дж/кг	$2{,}4 \cdot 10^9$ м	2 м/с
8		$3 \cdot 10^9$ м	10,457
9		$1{,}7 \cdot 10^6$ м	−12,74 м/с; 1,5 м/с
10		$3{,}4 \cdot 10^6$ м	6,1 м/с; 3,2 м/с
11	$1{,}287 \cdot 10^7$ Дж/кг	$5{,}1 \cdot 10^6$ м	−0,1 м/с
12		$6{,}8 \cdot 10^6$ м	0,422
13		$1{,}065 \cdot 10^8$ м	−42 м/с; 2,8 м/с
14		$2{,}84 \cdot 10^8$ м	−0,107 м/с; −1,5 м/с
15	$1{,}785 \cdot 10^9$ Дж/кг	$4{,}6 \cdot 10^8$ м	2,5 м/с
16		$6{,}39 \cdot 10^8$ м	41,85
17		$5{,}4 \cdot 10^8$ м	0,257 м/с; 0,9 м/с
18		$1{,}14 \cdot 10^9$ м	0,462 м/с; −1,2 м/с
19	$6{,}3 \cdot 10^8$ Дж/кг	$1{,}74 \cdot 10^9$ м	1,8 м/с
20		$2{,}34 \cdot 10^9$ м	1,21
21		$1{,}225 \cdot 10^9$ м	4,8 м/с; 2,4 м/с
22		$2{,}475 \cdot 10^9$ м	−0,49 м/с; −2,0 м/с
23	$2{,}3 \cdot 10^8$ Дж/кг	$3{,}725 \cdot 10^9$ м	−0,3 м/с
24		$4{,}975 \cdot 10^9$ м	1,125
25		$1{,}4 \cdot 10^6$ м	−20,27 м/с; 3,2 м/с
26		$2{,}66 \cdot 10^7$ м	−4 м/с; 0,8 м/с
27	$5{,}67 \cdot 10^6$ Дж/кг	$2{,}786 \cdot 10^8$ м	0,5 м/с
28		$2{,}8 \cdot 10^9$ м	0,3125

Номер задания	3.8	3.9	3.10
1	0,5 см; 8 см	87,4 %	0,38
2	5 см; 0,3 см	88,5 %	60 см
3	9,8 см; 12,8 см	90,2 %	45°
4	0,5 кг; 22 см	92,3 %	50 см
5	0,04 см; 13,45 см	92,5 %	0,43
6	8 см; 0,5 см	86,3 %	1,5 м
7	17 см; 24,48 см	81 %	60°
8	0,02 кг; 26 см	76,5 %	10 см
9	1,63 см; 33 см	91,5 %	0,21
10	28 см; 1,12 см	95,5 %	1,04 м
11	7 см; 15,75 см	97,0 %	30°
12	0,05 кг; 13 см	97,7 %	30 см
13	0,286 см; 18,3 см	89 %	0,09
14	18 см; 0,15 см	91 %	1,6 м
15	9 см; 13,6 см	94 %	45°
16	0,1 кг; 30 см	97 %	40 см
17	0,31 см; 30,86 см	96 %	0,31
18	6 см; 0,67 см	92,5 %	2,56 м
19	21 см; 30,24 см	89,2 %	30°
20	0,08 кг; 10 см	86 %	20 см
21	2,4 см; 29,4 см	93,2 %	0,18
22	24 см; 2,67 см	96,4 %	15,6 см
23	4 см; 8,6 см	97,6 %	45°
24	0,2 кг; 27 см	98,2 %	25 см
25	0,92 см; 33,12 см	90,4 %	0,24
26	16 см; 0,095 см	91,5 %	4,71 м
27	11 см; 28,16 см	94,3 %	60°
28	0,06 кг; 15 см	97,6 %	60 см

Номер задания	4.1	4.2
1	4,5 рад/с; 0,81 рад	2,513 рад/с^2; 20
2	10,5 рад/с; 4,23 рад	14 с$^{-1}$; 455
3	4,275 рад/с; 1,94 рад	10 с$^{-1}$; 2,1 рад/с^2
4	6,8 рад/с; 4,4 рад	25 с; 100
5	0,4 рад/с; 0,026 рад	4 с; 2 с$^{-1}$
6	1,7 рад/с; 0,21 рад	50 с; 1,88 рад/с^2
7	4,84 рад/с; 0,83 рад	0,94 рад/с^2; 120
8	4,53 рад/с; 1,085 рад	5 с$^{-1}$; 62,5
9	8,44 рад/с; 4,62 рад	3 с$^{-1}$; 1,257 рад/с^2
10	7,52 рад/с; 4,46 рад	60 с; 510
11	8,44 рад/с; 4,24 рад	5 с; 3,5 с$^{-1}$
12	4,95 рад/с; 2,75 рад	80 с; 1,57 рад/с^2
13	16,87 рад/с; 2,36 рад	1,57 рад/с^2; 312,5
14	52 рад/с; 4,8 рад	6 с$^{-1}$; 60
15	75,16 рад/с; 30 рад	13 с$^{-1}$; 1,09 рад/с^2
16	33,75 рад/с; 1,35 рад	15 с; 18,75
17	6 рад/с; 3,6 рад	45 с; 10 с$^{-1}$
18	8 рад/с; 6,93 рад	20 с; 1,73 рад/с^2
19	5 рад/с; 5 рад	1,257 рад/с^2; 360
20	4,08 рад/с; 4,68 рад	12 с$^{-1}$; 210
21	12,2 рад/с; 2,73 рад	7,3 с$^{-1}$; 0,834 рад/с^2
22	6,55 рад/с; 1,44 рад	65 с; 211,25
23	9,9 рад/с; 2,1 рад	10 с; 4 с$^{-1}$
24	18,4 рад/с; 3,2 рад	30 с; 1,885 рад/с^2
25	16,5 рад/с; 2,43 рад	2,6 рад/с^2; 7,5
26	15,6 рад/с; 1,69 рад	3,5 с$^{-1}$; 122,5
27	10,4 рад/с; 0,49 рад	8 с$^{-1}$; 1,117 рад/с^2
28	9,9 рад/с; 0,94 рад	40 с; 170

Номер задания	4.3
1	0,32 м/с^2; 0,11 м/с^2; 0,3 м/с^2; 0,75 рад/с; 0,15 м/с
2	0,4 м; 0,7 м/с^2; 0,576 м/с^2; 1,2 рад/с; 0,48 м/с
3	0,75 м; 10,53 рад/с^2; 0,456 с; 17,28 м/с^2; 7,9 м/с^2
4	5,5 м; 0,22 рад/с^2; 1,8 с; 1,49 м/с^2; 0,88 м/с^2
5	0,27 с; 10,6 м/с^2; 1,96 м/с^2; 10,4 м/с^2; 0,7 рад/с
6	1,5 м; 11 м/с^2; 9,83 м/с^2; 4,8 м/с^2; 2,56 рад/с
7	0,156 м; 48,4 рад/с^2; 0,05 с; 7,55 м/с^2; 0,375 м/с^2
8	9 м; 0,6 рад/с^2; 6,3 м/с^2; 3,24 м/с^2; 5,4 м/с
9	0,34 рад/с^2; 2,87 м/с^2; 2,312 м/с^2; 1,7 м/с^2; 3,4 м/с
10	0,2 м; 7,24 м/с^2; 0,8 м/с^2; 6,0 рад/с; 1,2 м/с
11	0,8 м; 6,92 рад/с^2; 0,246 с; 2,312 м/с^2; 5,54 м/с^2
12	4,5 рад/с^2; 0,263 с; 4,71 м/с^2; 1,18 рад/с; 1,18 м/с
13	0,93 рад/с^2; 1,6 с; 7,3 м/с^2; 6,75 м/с^2; 4,5 м/с
14	3,75 м; 1,5 с; 6,18 м/с^2; 5,4 м/с^2; 1,2 рад/с
15	0,35 рад/с^2; 0,694 м/с^2; 0,66 м/с^2; 0,21 м/с^2; 1,05 рад/с
16	1,2 м; 0,64 рад/с^2; 3,167 м/с^2; 3,1 м/с^2; 0,77 м/с^2
17	0,75 рад/с^2; 1,3 м/с^2; 0,6 м/с^2; 1,2 рад/с; 0,96 м/с
18	1,316 с; 4,33 м/с^2; 2,5 м/с^2; 1,316 рад/с; 3,29 м/с
19	0,5 м; 11 рад/с^2; 0,18 с; 5,85 м/с^2; 1,0 м/с
20	1,6 рад/с^2; 0,6 с; 4,62 м/с^2; 2,3 м/с^2; 0,96 рад/с
21	0,4 с; 3,15 м/с^2; 0,96 м/с^2; 3 м/с^2; 1,2 м/с
22	1,0 рад/с^2; 0,334 м/с^2; 0,15 м/с^2; 0,3 м/с^2; 0,7 рад/с
23	1,29 с; 3,8 м/с^2; 1,26 м/с^2; 2,33 м/с^2; 1,63 м/с
24	1,39 м; 2,4 с; 2,12 м/с^2; 0,7 м/с^2; 1,67 м/с
25	1,73 рад/с^2; 1,156 с; 6,54 м/с^2; 6 м/с^2; 2 рад/с
26	0,6 м; 2,25 рад/с^2; 1,43 м/с^2; 1,35 м/с^2; 0,54 м/с
27	2,5 рад/с^2; 0,7 с; 6,25 м/с^2; 1,77 рад/с; 3,53 м/с
28	0,833 м; 2,64 м/с^2; 1,73 м/с^2; 1,44 м/с^2; 1,2 м/с

Номер задания	4.4	4.5
1	$9{,}1\cdot10^{-3}$ кг·м^2	0,144 Н·м
2	$1{,}72\cdot10^{-2}$ кг·м^2	0,23 Н·м
3	$2{,}53\cdot10^{-2}$ кг·м^2	0,27 Н·м
4	$3{,}34\cdot10^{-2}$ кг·м^2	0,441 Н·м
5	$6{,}81\cdot10^{-3}$ кг·м^2	3,2 Н·м
6	$1{,}45\cdot10^{-2}$ кг·м^2	6,144 Н·м
7	$2{,}53\cdot10^{-2}$ кг·м^2	2,49 Н·м
8	$3{,}92\cdot10^{-2}$ кг·м^2	0,94 Н·м
9	$1{,}2\cdot10^{-2}$ кг·м^2	0,256 Н·м
10	$4{,}8\cdot10^{-2}$ кг·м^2	0,391 Н·м
11	$1{,}08\cdot10^{-1}$ кг·м^2	0,362 Н·м
12	$1{,}92\cdot10^{-1}$ кг·м^2	0,537 Н·м
13	$6{,}76\cdot10^{-3}$ кг·м^2	$1{,}72\cdot10^{-2}$ Н·м
14	$1{,}26\cdot10^{-2}$ кг·м^2	$5{,}94\cdot10^{-2}$ Н·м
15	$1{,}85\cdot10^{-2}$ кг·м^2	0,125 Н·м
16	$2{,}43\cdot10^{-2}$ кг·м^2	$7{,}68\cdot10^{-2}$ Н·м
17	$3{,}49\cdot10^{-2}$ кг·м^2	$2{,}1\cdot10^{-2}$ Н·м
18	$8{,}72\cdot10^{-2}$ кг·м^2	$9{,}35\cdot10^{-2}$ Н·м
19	$1{,}64\cdot10^{-1}$ кг·м^2	0,21 Н·м
20	$2{,}66\cdot10^{-1}$ кг·м^2	0,5 Н·м
21	$6\cdot10^{-3}$ кг·м^2	$5{,}48\cdot10^{-3}$ Н·м
22	$1{,}35\cdot10^{-2}$ кг·м^2	$2{,}156\cdot10^{-2}$ Н·м
23	$2{,}4\cdot10^{-2}$ кг·м^2	$3{,}08\cdot10^{-2}$ Н·м
24	$3{,}75\cdot10^{-2}$ кг·м^2	0,1486 Н·м
25	$2{,}77\cdot10^{-3}$ кг·м^2	0,218 Н·м
26	$4{,}27\cdot10^{-3}$ кг·м^2	0,523 Н·м
27	$6{,}13\cdot10^{-3}$ кг·м^2	2,34 Н·м
28	$8{,}35\cdot10^{-3}$ кг·м^2	3,01 Н·м

Номер задания	4.6	4.7
1	2,675 м/с^2; 2,14 Н; 1,87 Н; 1,6 Н	2,24 Дж
2	2,07 м/с^2; 2,3 Н; 2,1 Н; 1,9 Н	3,24 Дж
3	1,52 м/с^2; 2,5 Н; 2,34 Н; 2,18 Н	3,57 Дж
4	1,0 м/с^2; 2,64 Н; 2,54 Н; 2,44 Н	6,81 Дж
5	5,4 м/с^2; 3 Н; 3 Н; 4,35 Н; 4,35 Н	$5{,}42 \cdot 10^{-2}$ Дж
6	3,56 м/с^2; 5,35 Н; 5,35 Н; 6,24 Н; 6,24 Н	$7{,}96 \cdot 10^{-2}$ Дж
7	2,12 м/с^2; 7,16 Н; 7,16 Н; 7,7 Н; 7,7 Н	$5{,}2 \cdot 10^{-2}$ Дж
8	0,96 м/с^2; 8,6 Н; 8,6 Н; 8,84 Н; 8,84 Н	$6{,}0 \cdot 10^{-2}$ Дж
9	0,65 м/с^2; 3,14 Н; 3,2 Н; 0,92 Н	0,6 Дж
10	1,73 м/с^2; 3,46 Н; 3,64 Н; 1,62 Н	$4 \cdot 10^{-3}$ Дж
11	2,58 м/с^2; 3,72 Н; 3,98 Н; 2,17 Н	0,113 Дж
12	3,27 м/с^2; 3,93 Н; 4,25 Н; 2,62 Н	1,44 Дж
13	2,98 м/с^2; 2,97 Н; 2,97 Н; 3,42 Н; 3,42 Н	$5{,}55 \cdot 10^{-3}$ Дж
14	4,1 м/с^2; 3,65 Н; 3,65 Н; 4,26 Н; 4,26 Н	$1{,}5 \cdot 10^{-2}$ Дж
15	4,93 м/с^2; 4,14 Н; 4,14 Н; 4,88 Н; 4,88 Н	$3 \cdot 10^{-2}$ Дж
16	5,54 м/с^2; 4,5 Н; 4,5 Н; 5,33 Н; 5,33 Н	$3{,}1 \cdot 10^{-2}$ Дж
17	1,12 м/с^2; 2,37 Н; 2,15 Н	0,9 Дж
18	0,74 м/с^2; 2,9 Н; 2,75 Н	0,84 Дж
19	0,4 м/с^2; 3,38 Н; 3,3 Н	3,2 Дж
20	0,1 м/с^2; 3,79 Н; 3,77 Н	0,42 Дж
21	1,51 м/с^2; 8,3 Н; 8,15 Н	0,268 Дж
22	1,436 м/с^2; 8,38 Н; 8,1 Н	0,65 Дж
23	1,368 м/с^2; 8,45 Н; 8,04 Н	0,476 Дж
24	1,3 м/с^2; 8,5 Н; 7,98 Н	0,23 Дж
25	2,31 м/с^2; 3,75 Н; 3,29 Н; 1,32 Н	0,164 Дж
26	1,73 м/с^2; 4,04 Н; 3,69 Н; 1,48 Н	1,134 Дж
27	1,15 м/с^2; 4,33 Н; 4,1 Н; 1,64 Н	1,436 Дж
28	0,58 м/с^2; 4,61 Н; 4,49 Н; 1,8 Н	$5 \cdot 10^{-2}$ Дж

Номер задания	4.8	4.9	4.10
1	83,5 см	60 г; 15 см; 13,33 рад/с	120 кг
2	1,19 м	140 г; 20 рад/с; $2{,}19 \cdot 10^{-3}$ кг·м^2	12 м
3	89,5 см	30 см; 10 рад/с; 0,216 кг·м^2/с	80 кг
4	89,5 см	50 г; 50 см; $8{,}75 \cdot 10^{-2}$ кг·м^2/с	7,0 м
5	2,03 м/с	80 г; 25 см; 7,2 рад/с	2,45 м
6	2,43 м/с	200 г; 20 рад/с; 0,1156 кг·м^2/с	1,8
7	2,35 м/с	19 см; $3{,}61 \cdot 10^{-3}$ кг·м^2; $7{,}22 \cdot 10^{-2}$кг·м^2/с	110 кг
8	2,35 м/с	70 г; 2,4 м/с; $6{,}3 \cdot 10^{-3}$ кг·м^2	9 м
9	27,3°	120 г; 16 см; $3{,}072 \cdot 10^{-3}$кг·м^2	70 кг
10	20,1°	400 г; 8 рад/с; 0,392 кг·м^2/с	12 м
11	20,1°	3 м/с; 25 рад/с; $2{,}16 \cdot 10^{-3}$ кг·м^2	3,81 м
12	18,7°	240 г; 9,5 рад/с; $9{,}12 \cdot 10^{-2}$ кг·м^2/с	1,6
13	Шар	150 г; 20 см; $6{,}6 \cdot 10^{-2}$ кг·м^2/с	90 кг
14	Диск (сплошной цилиндр)	45 см; 3,6 м/с; 8 рад/с	10,8 м
15	Шар	9 рад/с; $1{,}3 \cdot 10^{-2}$кг·м^2; 0,1166 кг·м^2/с	55 кг
16	Обруч (полый цилиндр)	10 см; 35 рад/с; $1{,}6 \cdot 10^{-3}$ кг·м^2	14 м
17	99,1 см	250 г; 3 м/с; 20 рад/с	2,59 м
18	99,1 см	24 см; 1,8 м/с; $3{,}456 \cdot 10^{-3}$ кг·м^2	1,4
19	92,5 см	2,4 м/с; $3{,}52 \cdot 10^{-2}$кг·м^2; 0,2112 кг·м^2/с	100 кг
20	1,32 м	35 см; $9{,}8 \cdot 10^{-3}$ кг·м^2; 0,1176 кг·м^2/с	8 м
21	2,68 м/с	160 кг; 1,98 м/с; $7{,}744 \cdot 10^{-3}$ кг·м^2	60 кг
22	2,59 м/с	26 см; 2,6 м/с; $1{,}69 \cdot 10^{-2}$ кг·м^2	10 м
23	2,24 м/с	12 рад/с; $1{,}26 \cdot 10^{-2}$ кг·м^2; 0,1512 кг·м^2/с	7,17 м
24	2,59 м/с	18 см; 14 рад/с; $2{,}27 \cdot 10^{-2}$ кг·м^2/с	2,0
25	30°	100 г; 4 м/с; 0,1 кг·м^2/с	80 кг
26	22°	14 см; 13 рад/с; $2{,}35 \cdot 10^{-3}$ кг·м^2	10 м
27	22°	220 г; 24 см; 11 рад/с	75 кг
28	20,5°	2,4 м/с; $1{,}79 \cdot 10^{-3}$ кг·м^2; $2{,}69 \cdot 10^{-2}$ кг·м^2/с	5,5 м

Номер задания	5.1	5.2	5.3
1	1,00 Н; 11,5°	$1{,}46 \cdot 10^{-2}$ Н	0,73 мм на восток
2	1,06 Н; 22,2°	$5{,}83 \cdot 10^{-2}$ Н	1,03 мм на восток
3	1,15 Н; 31,5°	0,13 Н	1,26 мм на восток
4	1,265 Н; 39,2°	0,23 Н	1,43 мм на восток
5	3,57 м/с^2; 4,17 Н	1,58 Н	1,36 мм на запад
6	5,66 м/с^2; 3,4 Н	3,164 Н	1,93 мм на запад
7	8,23 м/с^2; 2,56 Н	4,746 Н	2,36 мм на запад
8	11,69 м/с^2; 1,526 Н	6,328 Н	2,68 мм на запад
9	0,15 кг; 8,23 м/с^2	$2{,}05 \cdot 10^{-2}$ Н	2,42 мм на запад
10	0,25 кг; 6,87 м/с^2	$4{,}1 \cdot 10^{-2}$ Н	3,43 мм на запад
11	0,4 кг; 5,66 м/с^2	$6{,}15 \cdot 10^{-2}$ Н	4,20 мм на запад
12	0,5 кг; 4,57 м/с^2	$8{,}2 \cdot 10^{-2}$ Н	4,77 мм на запад
13	1,73 м/с^2; 4,98 Н	0,304 Н	2,94 мм на восток
14	2,63 м/с^2; 3,55 Н	0,563 Н	4,16 мм на восток
15	3,57 м/с^2; 2,09 Н	0,96 Н	5,10 мм на восток
16	4,57 м/с^2; 1,73 Н	1,54 Н	5,80 мм на восток
17	0,3 кг; 30°	0,05 Н	18,96 мм на восток
18	0,25 кг; 35°	0,1 Н	15,48 мм на восток
19	0,4 кг; 5°	0,15 Н	10,94 мм на восток
20	0,12 кг; 40°	0,2 Н	3,8 мм на восток
21	3,0 м/с^2; 17°	$1{,}32 \cdot 10^{-2}$Н	53,62 мм на восток
22	5,0 м/с^2; 27°	$2{,}64 \cdot 10^{-2}$ Н	43,78 мм на восток
23	6,1 м/с^2; 32°	$3{,}96 \cdot 10^{-2}$ Н	30,96 мм на восток
24	7,1 м/с^2; 36°	$5{,}27 \cdot 10^{-2}$ Н	10,75 мм на восток
25	1,1 Н; 27°	0,17 Н	7,74 мм на восток
26	2,2 Н; 27°	2,76 Н	0 мм
27	3,3 Н; 27°	13,95 Н	0 мм
28	4,4 Н; 27°	44,1 Н	2,65 мм на восток

Номер задания	5.4
1	837,3 км/ч; курс $2^{\circ}44'$ на восток от южного направления
2	768,9 км/ч; курс $2^{\circ}11'$ на запад от южного направления
3	763,6 км/ч; курс $2^{\circ}33'$ на восток от южного направления
4	839,7 км/ч; курс $2^{\circ}55'$ на запад от южного направления
5	724,1 км/ч; курс $43^{\circ}03'$ на запад от северного направления
6	710,8 км/ч; курс $47^{\circ}55'$ на запад от северного направления
7	787,2 км/ч; курс $47^{\circ}54'$ на запад от северного направления
8	775 км/ч; курс $43^{\circ}06'$ на запад от северного направления
9	994,7 км/ч; курс $2^{\circ}45'$ на восток от северного направления
10	913,7 км/ч; курс $2^{\circ}09'$ на восток от северного направления
11	908,4 км/ч; курс $2^{\circ}28'$ на запад от северного направления
12	980 км/ч; курс $1^{\circ}51'$ на запад от северного направления
13	720,1 км/ч; курс $46^{\circ}45'$ на восток от северного направления
14	725,0 км/ч; курс $42^{\circ}54'$ на восток от северного направления
15	668,8 км/ч; курс $47^{\circ}32'$ на восток от северного направления
16	679,3 км/ч; курс $43^{\circ}20'$ на восток от северного направления
17	794,15 км/ч; курс $91^{\circ}47'$ на запад от северного направления
18	851,2 км/ч; курс $92^{\circ}13'$ на запад от северного направления
19	857,3 км/ч; курс $87^{\circ}20'$ на запад от северного направления
20	774,2 км/ч; курс $86^{\circ}53'$ на запад от северного направления
21	858,35 км/ч; курс $47^{\circ}36'$ на восток от южного направления
22	939,8 км/ч; курс $47^{\circ}36'$ на восток от южного направления
23	930,0 км/ч; курс $43^{\circ}04'$ на восток от южного направления
24	868,9 км/ч; курс $43^{\circ}04'$ на восток от южного направления
25	827,2 км/ч; курс $89^{\circ}02'$ на восток от северного направления
26	814,16 км/ч; курс $91^{\circ}44'$ на восток от северного направления
27	877,3 км/ч; курс $92^{\circ}35'$ на восток от северного направления
28	889,4 км/ч; курс $86^{\circ}29'$ на восток от северного направления

Номер задания	5.5	5.6	5.7
1	$-7{,}063\cdot10^7$ м/с	−1,51 %	39,8 с
2	$-7{,}143\cdot10^7$ м/с	−6,19 %	39,19 с
3	$-5{,}294\cdot10^7$ м/с	−14,56 %	38,16 с
4	$1{,}6875\cdot10^8$ м/с	−27,89 %	36,66 с
5	$9{,}5\cdot10^6$ м/с	20°	0,5
6	$1{,}001\cdot10^6$ м/с	40°	0,35
7	$10^7\cdot$м/с	80°	0,2
8	$5\cdot10^7$ м/с	60°	0,1
9	10^8 м/с	0,3	17 сут. 7 ч 41 мин
10	$8\cdot10^7$ м/с	0,45	34 сут. 15 ч 23 мин
11	$4\cdot10^7$ м/с	0,15	51 сут. 23 ч 4,6 мин
12	$7\cdot10^7$ м/с	0,6	69 сут. 6 ч 46 мин
13	$1{,}845\cdot10^8$ м/с	−3,175 %	12,5 недель
14	$1{,}97\cdot10^8$ м/с	−2,6 %	25 недель
15	$2{,}1\cdot10^8$ м/с	−1,3 %	37,5 недель
16	$2{,}25\cdot10^8$ м/с	−0,2 %	50 недель
17	$-1{,}2\cdot10^8$ м/с	60°	0,25
18	$-1{,}3\cdot10^8$ м/с	10°	0,75
19	$-1{,}5\cdot10^8$ м/с	85°	0,6
20	$-1{,}4\cdot10^8$ м/с	35°	0,4
21	$1{,}1\cdot10^8$ м/с	0,2	2 мес. 28 (29) дн. 3,5 ч
22	$1{,}8\cdot10^8$ м/с	0,4	5,5 мес.
23	$9{,}5\cdot10^7$ м/с	0,1	7 мес. 6 дн.
24	$1{,}25\cdot10^8$ м/с	0,3	7 мес. 6 дн.
25	$1{,}95\cdot10^8$ м/с	−0,564 %	5 лет 1 мес. 29 (30) дн.
26	$1{,}3\cdot10^7$ м/с	−2,276 %	5 лет 9 мес. 8 (9) дн.
27	$-7{,}82\cdot10^7$ м/с	−5,198 %	7 лет 6 мес. 21 (22) дн.
28	$-1{,}1446\cdot10^8$ м/с	−9,446 %	11 лет 5 мес. 18 (19) дн.

ер ния	5.8	5.9	5.10
	5 с	1,00755	$1{,}276\cdot10^{-30}$ кг; $1{,}148\cdot10^{-13}$ Дж; 0,286
	$5\cdot10^{7}$ м	1,0799	$1{,}518\cdot10^{-30}$ кг; $1{,}3665\cdot10^{-13}$ Дж; 0,4
	$6\cdot10^{5}$ м	1,22	$2{,}09\cdot10^{-30}$ кг; $1{,}881\cdot10^{-13}$ Дж; 0,564
	$3\cdot10^{6}$ м	1,512	$6{,}458\cdot10^{-30}$ кг; $5{,}812\cdot10^{-13}$ Дж; 0,859
	0,1 с	5,024	$2{,}342\cdot10^{-27}$ кг; $2{,}108\cdot10^{-10}$ Дж; 0,286
	30 км	2,064	$2{,}788\cdot10^{-27}$ кг; $2{,}51\cdot10^{-10}$ Дж; 0,4
	400 км	1,698	$3{,}837\cdot10^{-27}$ кг; $3{,}4536\cdot10^{-10}$ Дж; 0,564
	3000 км	1,549	$1{,}186\cdot10^{-26}$ кг; $1{,}067\cdot10^{-9}$ Дж; 0,859
	0, 02 с	0, 6	$1{,}237\cdot10^{-27}$ кг; $1{,}1136\cdot10^{-10}$ Дж; 0,286
10	$2\cdot10^{8}$ м	0,7	$1{,}473\cdot10^{-27}$ кг; $1{,}3255\cdot10^{-10}$ Дж; 0,4
11	$7{,}984\cdot10^{8}$ м	0,8	$2{,}027\cdot10^{-27}$ кг; $1{,}8245\cdot10^{-10}$ Дж; 0,564
12	$2{,}4\cdot10^{6}$ м	0,95	$6{,}264\cdot10^{-27}$ кг; $5{,}638\cdot10^{-10}$ Дж; 0,859
13	2 м	1,18	$3{,}368\cdot10^{-28}$ кг; $3{,}031\cdot10^{-11}$ Дж; 0,286
14	9 м	1,2726	$4{,}008\cdot10^{-28}$ кг; $3{,}607\cdot10^{-11}$ Дж; 0,4
15	50 м	1,3227	$5{,}5175\cdot10^{-28}$ кг; $4{,}966\cdot10^{-11}$ Дж; 0,564
16	400 м	1,3525	$1{,}705\cdot10^{-27}$ кг; $1{,}534\cdot10^{-10}$ Дж; 0,859
17	$8\cdot10^{-11}$ с	1,16	$2{,}345\cdot10^{-27}$ кг; $2{,}111\cdot10^{-10}$ Дж; 0,286
18	$5{,}2\cdot10^{-10}$ с	1,39	$2{,}792\cdot10^{-27}$ кг; $2{,}512\cdot10^{-10}$ Дж; 0,4
19	$1{,}3\cdot10^{-8}$ с	1,76	$3{,}8426\cdot10^{-27}$ кг; $3{,}458\cdot10^{-10}$ Дж; 0,564
20	$1{,}5\cdot10^{-7}$ с	2,57	$1{,}187\cdot10^{-26}$ кг; $1{,}0686\cdot10^{-9}$ Дж; 0,859
21	$9\cdot10^{6}$ м	0,76	$3{,}4825\cdot10^{-28}$ кг; $3{,}134\cdot10^{-11}$ Дж; 0,286
22	$1{,}2\cdot10^{8}$ м	0,65	$4{,}145\cdot10^{-28}$ кг; $3{,}73\cdot10^{-11}$ Дж; 0,4
23	$1{,}73\cdot10^{8}$ м	0,55	$5{,}706\cdot10^{-28}$ кг; $5{,}135\cdot10^{-11}$ Дж; 0,564
24	$5{,}995\cdot10^{9}$ м	0,7	$1{,}763\cdot10^{-27}$ кг; $1{,}587\cdot10^{-10}$ Дж; 0,859
25	$7\cdot10^{-7}$ с	1,25	$2{,}641\cdot10^{-28}$ кг; $2{,}377\cdot10^{-11}$ Дж; 0,286
26	$9\cdot10^{-6}$ с	1,2	$3{,}143\cdot10^{-28}$ кг; $2{,}829\cdot10^{-11}$ Дж; 0,4
27	$5\cdot10^{-5}$ с	1,15	$4{,}326\cdot10^{-28}$ кг; $3{,}894\cdot10^{-11}$ Дж; 0,564
28	$6\cdot10^{-4}$ с	1,1	$1{,}337\cdot10^{-27}$ кг; $1{,}203\cdot10^{-10}$ Дж; 0,859

Номер задания	6.1	6.2	6.3
1	$\mu = 28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; азот	38,8 г	5,94 кг/м^3
2	0,12 кг/м^3	1,953 м^3	5,39 кг/м^3
3	10^5 Па	$2{,}1 \cdot 10^5$ Па	4,93 кг/м^3
4	585,6 К	300 К	4,54 кг/м^3
5	$\mu = 83{,}8 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; криптон	37,65 г	0,186 кг/м^3
6	1,685 кг/м^3	$1{,}25 \cdot 10^{-2}$ м^3	0,243 кг/м^3
7	10^3 Па	$1{,}3 \cdot 10^4$ Па	0,35 кг/м^3
8	300 К	280 К	0,627 кг/м^3
9	$\mu = 40 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; аргон	10 г	0,648 кг/м^3
10	0,051 кг/м^3	$5{,}2 \cdot 10^{-3}$ м^3	0,823 кг/м^3
11	$2{,}5 \cdot 10^5$ Па	$2{,}2 \cdot 10^5$ Па	1,126 кг/м^3
12	250 К	250 К	1,783 кг/м^3
13	$\mu = 4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; гелий	11 г	1,47 кг/м^3
14	1,685 кг/м^3	4,36 м^3	1,23 кг/м^3
15	10^4 Па	$4{,}35 \cdot 10^5$ Па	1,06 кг/м^3
16	500 К	350 К	0,93 кг/м^3
17	$\mu = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; водород	22,5 г	1,73 кг/м^3
18	0,091 кг/м^3	0,277 м^3	1,77 кг/м^3
19	$5 \cdot 10^5$ Па	$2{,}51 \cdot 10^5$ Па	1,82 кг/м^3
20	200 К	451 К	1,87 кг/м^3
21	$\mu = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; кислород	44,74 г	3,49 кг/м^3
22	0,028 кг/м^3	$4{,}15 \cdot 10^{-3}$ м^3	3,70 кг/м^3
23	$5 \cdot 10^4$ Па	$8{,}9 \cdot 10^4$ Па	3,95 кг/м^3
24	450 К	400 К	4,22 кг/м^3
25	$\mu = 20 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; неон	8 г	2,45 кг/м^3
26	0,24 кг/м^3	$8{,}31 \cdot 10^{-3}$ м^3	2,16 кг/м^3
27	$1{,}9 \cdot 10^5$ Па	$2{,}3 \cdot 10^4$ Па	1,93 кг/м^3
28	350 К	501 К	1,74 кг/м^3

Номер задания	6.4	6.5
1	$2{,}635\cdot10^{25}$ м$^{-3}$; $4{,}55\cdot10^{-21}$ Дж	545,3 Дж; 545,3 Дж; 0
2	350 К; $5{,}18\cdot10^{25}$ м$^{-3}$	5453,4 Дж; 5453,4 Дж; 0
3	$4\cdot10^{5}$ Па; 450 К	18178 Дж; 10906 Дж; 7272 Дж
4	$5\cdot10^{3}$ Па; $5{,}175\cdot10^{-21}$ Дж	991,52 Дж; 495,76 Дж; 495,76 Дж
5	$3{,}62\cdot10^{25}$ м$^{-3}$; $6{,}2\cdot10^{-21}$ Дж	2597 Дж; 1558 Дж; 1039 Дж
6	250 К; $2{,}9\cdot10^{24}$ м$^{-3}$	5540 Дж; 2770 Дж; 2770 Дж
7	$3\cdot10^{5}$ Па; 400 К	2968 Дж; 1781 Дж; 1187 Дж
8	$8\cdot10^{4}$ Па; $5{,}59\cdot10^{-21}$ Дж	2493 Дж; 2493 Дж; 0
9	$3{,}15\cdot10^{23}$ м$^{-3}$; $4{,}76\cdot10^{-21}$ Дж	3439 Дж; 2063 Дж; 1376 Дж
10	380 К; $5{,}7\cdot10^{25}$ м$^{-3}$	714 Дж; 714 Дж; 0
11	$1{,}5\cdot10^{5}$ Па; 400 К	2720 Дж; 1360 Дж; 1360 Дж
12	10^{4} Па; $5{,}4\cdot10^{-21}$ Дж	1496 Дж; 1496 Дж; 0
13	$1{,}3\cdot10^{25}$ м$^{-3}$; $5{,}8\cdot10^{-21}$ Дж	390 Дж; 234 Дж; 156 Дж
14	520 К; $1{,}4\cdot10^{25}$ м$^{-3}$	374 Дж; 374 Дж; 0
15	10^{3} Па; 220 К	6232 Дж; 3739 Дж; 2493 Дж
16	$2\cdot10^{5}$ Па; $7{,}45\cdot10^{-21}$ Дж	831 Дж; 415,5 Дж; 415,5 Дж
17	$4{,}26\cdot10^{25}$ м$^{-3}$; $7\cdot10^{-21}$ Дж	2550 Дж; 1275 Дж; 1275 Дж
18	250 К; $2{,}3\cdot10^{24}$ м$^{-3}$	3339 Дж; 2003 Дж; 1336 Дж
19	$5\cdot10^{4}$ Па; 270 К	3224 Дж; 1934 Дж; 1290 Дж
20	$4\cdot10^{5}$ Па; 10^{-20} Дж	14023 Дж; 14023 Дж; 0
21	$1{,}5\cdot10^{24}$ м$^{-3}$; $4{,}97\cdot10^{-21}$ Дж	566,6 Дж; 283,3 Дж; 283,3 Дж
22	370 К; $5{,}5\cdot10^{25}$ м$^{-3}$	742 Дж; 445 Дж; 297 Дж
23	10^{5} Па; 300 К	649,2 Дж; 389,5 Дж; 259,7 Дж
24	$3\cdot10^{4}$ Па; $6{,}2\cdot10^{-21}$ Дж	311,6 Дж; 311,6 Дж; 0
25	$3\cdot10^{25}$ м$^{-3}$; $1{,}24\cdot10^{-20}$ Дж	10284 Дж; 10284 Дж; 0
26	330 К; $2{,}2\cdot10^{25}$ м$^{-3}$	2364 Дж; 1418 Дж; 946 Дж
27	$3\cdot10^{3}$ Па; 250 К	34279 Дж; 20567 Дж; 13712 Дж
28	$5\cdot10^{4}$ Па; $8{,}3\cdot10^{-21}$ Дж	1870 Дж; 935 Дж; 935 Дж

Номер задания	6.6	6.7	6.8
1	8 г	$5 \cdot 10^3$ Па; 18,75 Дж	5
2	9,53 г	$2 \cdot 10^{-3}$ м^3; 549 К	80 К
3	57,7 К	300 К; 200 Дж	200 К
4	891,2 Дж	$4 \cdot 10^{-3}$ м^3; $4 \cdot 10^5$ Па	11,2 Дж
5	9,73 г	$3 \cdot 10^{-3}$ м^3; $2 \cdot 10^5$ Па	30 Дж
6	1 г	350 К; 7,2 Дж	6
7	– 60 К	$2{,}4 \cdot 10^{-3}$ м^3; 359,4 К	60 К
8	– 130,9 Дж	$4{,}5 \cdot 10^5$ Па; 210 Дж	150 К
9	10 г	$8 \cdot 10^3$ Па; 6 Дж	15,4 Дж
10	4 г	471 К; 1014 Дж	35 Дж
11	40 К	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$ м^3; 262,5 К	3
12	798 Дж	$2{,}8 \cdot 10^{-3}$ м^3; 10^5 Па	30 К
13	4 г	$9 \cdot 10^4$ Па; 180 Дж	120 К
14	9 г	$4 \cdot 10^{-3}$ м^3; 560 К	4,17 Дж
15	– 20 К	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$ м^3; 250 К	32 Дж
16	– 1271 Дж	$3 \cdot 10^5$ Па; 220 Дж	3
17	1,166 г	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$ м^3; $3 \cdot 10^5$ Па	100 К
18	5,34 г	10^{-3} м^3; 320 К	100 К
19	31,35 К	420 К; 288 Дж	6 Дж
20	– 282,5 Дж	$4{,}2 \cdot 10^5$ Па; 189 Дж	24 Дж
21	5 г	$3 \cdot 10^{-3}$ м^3; $5 \cdot 10^4$ Па	5
22	6 г	560 К; 540 Дж	40 К
23	70 К	350 К; 850 Дж	160 К
24	– 3621 Дж	$2{,}6 \cdot 10^{-3}$ м^3; $7{,}5 \cdot 10^3$ Па	10,7 Дж
25	7 г	$3{,}5 \cdot 10^{-3}$ м^3; 10^4 Па	10 Дж
26	22 г	555 К; 882 Дж	6
27	– 50 К	$2 \cdot 10^{-3}$ м^3; 320 К	50 К
28	264,7 Дж	$2{,}52 \cdot 10^5$ Па; 540 Дж	140 К

3116 Дж/ (кг·К); 5194 Дж/ (кг·К); 3; гелий
1385 Дж/ (кг·К); $18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; 6; пары воды
909 Дж/ (кг·К); 1,4; $32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; кислород
623 Дж/ (кг·К); 1039 Дж/ (кг·К); 1,667; неон

755,5 Дж/ (кг·К); $44 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; 6; углекислый газ
1385 Дж/ (кг·К); 1,333; 6; пары воды
742 Дж/ (кг·К); 1,4; $28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; азот
623 Дж/ (кг·К); $20 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; 3; неон

1,667; $83{,}8 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; 3; криптон
14542 Дж/ (кг·К); $2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; 5; водород
755,5 Дж/ (кг·К); 1,333; 6; углекислый газ
519,4 Дж/ (кг·К); 1,667; $40 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; аргон

566,6 Дж/ (кг·К); $44 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; 6; углекислый газ
742 Дж/ (кг·К); 1,4; 5; азот
623 Дж/ (кг·К); 1,667; 3; неон
10388 Дж/ (кг·К); 1,4; $2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; водород

649,2 Дж/ (кг·К); 908,9 Дж/ (кг·К); 5; кислород
5194 Дж/ (кг·К); $4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; 3; гелий
566,6 Дж/ (кг·К); 755,5 Дж/ (кг·К); 1,333; углекислый газ
14542 Дж/ (кг·К); 1,4; $2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; водород

1385 Дж/ (кг·К); 1847 Дж/ (кг·К); 6; пары воды
649,2 Дж/ (кг·К); $32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; 5; кислород
755,5 Дж/ (кг·К); 1,333; $44 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; углекислый газ
311,6 Дж/ (кг·К); 519,4 Дж/ (кг·К); 1,667; аргон

1,4; $28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; 5; азот
1847 Дж/ (кг·К); 1,333; $18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; пары воды
10388 Дж/ (кг·К); 14542 Дж/ (кг·К); 1,4; водород
3116 Дж/ (кг·К); 1,667; 3; гелий

Номер задания	6.10
1	2576 Дж/ (кг·К) ; 3739,5 Дж/ (кг·К)
2	4529 Дж/ (кг·К) ; 6440 Дж / (кг·К)
3	6482 Дж/ (кг·К) ; 9141 Дж/ (кг·К)
4	8435 Дж/ (кг·К) ; 11842 Дж/ (кг·К)
5	379,1 Дж/ (кг·К) ; 597,3 Дж/ (кг К)
6	446,7 Дж / (кг·К) ; 675,2 Дж/ (кг·К)
7	514,2 Дж/ (кг·К) ; 753,1 Дж/ (кг·К)
8	581,7 Дж/ (кг·К) ; 831 Дж/ (кг·К)
9	2622,8 Дж/ (кг·К) ; 4336,8 Дж/ (кг·К)
10	2129,4 Дж/ (кг·К) ; 3479,8 Дж/ (кг·К)
11	1636 Дж/ (кг·К) ; 2622,8 Дж/ (кг·К)
12	1142 Дж/ (кг·К) ; 1765,9 Дж/ (кг·К)
13	2671 Дж / (кг·К) ; 3739,5 Дж/ (кг·К)
14	4600 Дж/ (кг·К) ; 6440 Дж/ (кг·К)
15	6529 Дж/ (кг·К) ; 9141 Дж/ (кг·К)
16	8458,4 Дж/ (кг·К) ; 11842 Дж/ (кг·К)
17	628,4 Дж/ (кг·К) ; 1012,8 Дж/ (кг·К)
18	633,6 Дж/ (кг·К) ; 986,8 Дж/ (кг·К)
19	638,8 Дж/ (кг·К) ; 960 Дж/ (кг·К)
20	644 Дж/ (кг·К) ; 934,9 Дж/ (кг·К)
21	2522,7 Дж/ (кг·К) ; 4204,5 Дж/ (кг·К)
22	1929 Дж/ (кг·К) ; 3215 Дж/ (кг·К)
23	1335,5 Дж/ (кг·К) ; 2226 Дж/ (кг·К)
24	742 Дж/ (кг·К) ; 1237 Дж/ (кг·К)
25	397,7 Дж/ (кг·К) ; 623,2 Дж/ (кг·К)
26	483,8 Дж/ (кг·К) ; 727 Дж/ (кг·К)
27	569,8 Дж/ (кг·К) ; 831 Дж/ (кг·К)
28	656 Дж/ (кг·К) ; 935 Дж/ (кг·К)

Номер задания	7.1	7.2
1	20,775 Дж/моль·К; 720 Дж	4 г; 2326,8 Дж; 1662 Дж
2	$6 \cdot 10^5$ Па; 13500 Дж	340 К; 1456,8 Дж; 416,2 Дж
3	$5 \cdot 10^{-3}$ м^3; 1237,5 Дж	8 г; 712,3 Дж; 1780,7 Дж
4	1,3; 945 Дж	1,4; 2576 Дж; 736 Дж
5	24 Дж; 24 Дж	2,5 г; 3490,2 Дж; 8725,5 Дж
6	24,93 Дж/моль·К; 900 Дж	290 К; 3163 Дж; 2259,3 Дж
7	10^3 Па; 45 Дж	2,8; 9162 Дж; 6544,3 Дж
8	10^{-3} м^3; 175 Дж	360 К; 5385 Дж; 13462 Дж
9	14,4 Дж; 14,4 Дж	50 г; 12842,7 Дж; 3210,7 Дж
10	750 Дж; 1,2	320 К; 241,7 Дж; 725,2 Дж
11	12,465 Дж/моль·К; 472,5 Дж	2,5; 2493 Дж; 1869,75 Дж
12	$2 \cdot 10^4$ Па; 360 Дж	380 К; 7105 Дж; 1776,2 Дж
13	$2 \cdot 10^{-2}$ м^3; 18 Дж	300 К; 1246,5 Дж; 747,9 Дж
14	1,5; 3000 Дж	3,5; 1662 Дж; 2493 Дж
15	900 Дж; 900 Дж	20 г; 519,4 Дж; 779,1 Дж
16	12,465 Дж/моль·К; 1039,5 Дж	240 К; 2393,3 Дж; 1436 Дж
17	$5 \cdot 10^4$ Па; 75 Дж	16 г; 6980,4 Дж; 1994,4 Дж
18	$5 \cdot 10^{-2}$ м^3; 5625 Дж	1,32; 2094 Дж; 598,3 Дж
19	1440 Дж; 1,6	200 К; 2036 Дж; 1454,25 Дж
20	468,75 Дж; 468,75 Дж	32 г; 964 Дж; 2410 Дж
21	24,93 Дж/моль·К; 576 Дж	280 К; 15357 Дж; 23035 Дж
22	$3 \cdot 10^5$ Па; 4500 Дж	1,2; 1371 Дж; 822,7 Дж
23	$4 \cdot 10^{-3}$ м^3; 840 Дж	310 К; 8243,5 Дж; 12365,3 Дж
24	210 Дж; 210 Дж	3,6 г; 10377 Дж; 4150,8 Дж
25	1,4; 192 Дж	1,25; 623,2 Дж; 467,4 Дж
26	20,775 Дж/моль·К; 5687,5 Дж	5,5 г; 2991,6 Дж; 747,9 Дж
27	$4 \cdot 10^5$ Па; 1080 Дж	1,86; 622,55 Дж; 1867,65 Дж
28	$6 \cdot 10^{-3}$ м^3; 3510 Дж	370 К; 738 Дж; 184,5 Дж

Номер задания	7.3	7.4
1	340 К; 1,6	2; 6,7 кДж; 0,2 кДж
2	$4 \cdot 10^{-3}$ м^3; 138 Дж	10^{-2} м^3; 27,6 кДж; 25,2 кДж
3	$8 \cdot 10^3$ Па; 2,4	$8 \cdot 10^4$ Па; 570 Дж; 120 Дж
4	5,15 г; 1605,6 Дж	$5 \cdot 10^{-3}$ м^3; $8 \cdot 10^4$ Па; 1,2 кДж
5	660 К; 2,5	$1{,}5 \cdot 10^{-2}$ м^3; 19,05 кДж; 2,4 кДж
6	$8{,}2 \cdot 10^{-3}$ м^3; 1,85	1; $2 \cdot 10^4$ Па; 630 Дж
7	$3{,}82 \cdot 10^4$ Па; 44,94 Дж	$4{,}5 \cdot 10^{-2}$ м^3; 862,5 Дж; 75 Дж
8	36,3 г; 535,5 Дж	$6 \cdot 10^{-3}$ м^3; 10^5 Па; 1290 Дж
9	300 К; 279,8 Дж	10^5 Па; 3450 Дж; 300 Дж
10	$2 \cdot 10^{-2}$ м^3; 1,3	$3 \cdot 10^{-3}$ м^3; $6 \cdot 10^4$ Па; 585 Дж
11	$1{,}5 \cdot 10^5$ Па; 630,9 Дж	$3 \cdot 10^5$ Па; 12 кДж; 3 кДж
12	0,248 г; 2,2	3; $8 \cdot 10^3$ Па; 126 Дж
13	230 К; 39 Дж	$4{,}8 \cdot 10^{-2}$ м^3; 10,8 кДж; 1,8 кДж
14	$2 \cdot 10^{-3}$ м^3; 96,6 Дж	2; 10^4 Па; 240 Дж
15	10^5 Па; 1,2	132 Дж; 114 Дж; 18 Дж
16	24,65 г; 1,75	$2 \cdot 10^{-3}$ м^3; $1{,}5 \cdot 10^5$ Па; 1750 Дж
17	250 К; 1,5	$4{,}5 \cdot 10^5$ Па; 5,44 кДж; 1,5 кДж
18	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$ м^3; 78,8 Дж	$3 \cdot 10^{-2}$ м^3; $9 \cdot 10^4$ Па; 7,8 кДж
19	$3 \cdot 10^5$ Па; 1,25	2; 2146,5 Дж; 99 Дж
20	0,167 г; 78,9 Дж	1; $7{,}5 \cdot 10^{-2}$ м^3; 22,5 кДж
21	280 К; 2,0	12,4 кДж; 11,4 кДж; 1 кДж
22	$2{,}5 \cdot 10^{-3}$ м^3; 1,45	10^{-3} м^3; 3625 Дж; 3125 Дж
23	$2 \cdot 10^5$ Па; 65,7 Дж	$6 \cdot 10^{-3}$ м^3; 384 Дж; 24 Дж
24	4,6 г; 159,2 Дж	$5 \cdot 10^4$ Па; 10^5 Па; 9 кДж
25	310 К; 176,25 Дж	3; 2,01 кДж; 90 Дж
26	$1{,}2 \cdot 10^{-3}$ м^3; 1,35	$1{,}5 \cdot 10^5$ Па; $3 \cdot 10^5$ Па; 13,875 кДж
27	$2 \cdot 10^4$ Па; 126 Дж	$2 \cdot 10^{-2}$ м^3; 4,52 кДж; 140 Дж
28	25 г; 1,55	$9 \cdot 10^4$ Па; 630 Дж; 120 Дж

Ном задач	7.5	7.6	7.7
1	5	10 г; 397,4 К	30 г
2	1,5	1,25; 1,1	2,4
3	481 К	290 К; 497,3 Дж	618,4 Дж
4	98 К	357,1 К; 2,2	520 м/с
5	3	2,6; 294 Дж	15 г
6	2,5	40 г; 315 К	1,5
7	508 К	356 К; −234 Дж	1519 Дж
8	95 К	20 г; 1,2	450 м/с
9	6	280 К; 1,5	26 г
10	2	11 г; 328 К	3,0
11	308 К	2,2; 2,0	64,8 Дж
12	35,4 К	310 К; −65,1 Дж	420 м/с
13	3	310,4 К; 2,5	10 г
14	1,25	2,5; 60,126 Дж	2,0
15	383 К	16 г; 269,8 К	1399 Дж
16	110,4 К	362 К; 69,3 Дж	500 м/с
17	5	8 г; 3,0	20 г
18	1,3	280 К; 1,2	1,2
19	417 К	4 г; 480 К	339,3 Дж
20	62 К	2,0; 2,7	350 м/с
21	6	300 К; −4,85 Дж	25 г
22	1,5	296 К; 2,4	2,5
23	302 К	1,5; −47,02 Дж	1486 Дж
24	149 К	44 г; 242,2 К	400 м/с
25	5	375 К; 23,8 Дж	35 г
26	1,2	14 г; 1,4	2,2
27	390 К	200 К; 2,3	78,7 Дж
28	194,2 К	7 г; 366,5 К	380 м/с

Номер задания	7.8
1	$2 \cdot 10^5$ Па; 582,7 м/с; 516,4 м/с
2	0,02 кг/м^3; 948,7 м/с; 774,6 м/с
3	10^4 Па; 612,4 м/с; 564,2 м/с
4	1,4 кг/м^3; 522 м/с; 463 м/с
5	$1{,}2 \cdot 10^5$ Па; 526 м/с; 430 м/с
6	0,04 кг/м^3; 612,4 м/с; 564,2 м/с
7	$8 \cdot 10^4$ Па; 696,4 м/с; 617,2 м/с
8	0,9 кг/м^3; 547,7 м/с; 447,2 м/с
9	$2{,}5 \cdot 10^5$ Па; 584 м/с; 538 м/с
10	0,2 кг/м^3; 798 м/с; 707 м/с
11	$8 \cdot 10^3$ Па; 894 м/с; 730 м/с
12	1,5 кг/м^3; 447 м/с; 412 м/с
13	$5 \cdot 10^4$ Па; 412 м/с; 365 м/с
14	0,5 кг/м^3; 693 м/с; 565,7 м/с
15	$1{,}5 \cdot 10^5$ Па; 567 м/с; 522,3 м/с
16	0,01 кг/м^3; 1009 м/с; 894,4 м/с
17	10^5 Па; 433 м/с; 353,5 м/с
18	3 кг/м^3; 500 м/с; 460,6 м/с
19	$3 \cdot 10^5$ Па; 522 м/с; 463 м/с
20	0,04 кг/м^3; 774,6 м/с; 632,5 м/с
21	$4 \cdot 10^3$ Па; 1225 м/с; 1128 м/с
22	2,4 кг/м^3; 460,7 м/с; 408 м/с
23	$5 \cdot 10^3$ Па; 522 м/с; 426,4 м/с
24	0,14 кг/м^3; 463 м/с; 426,5 м/с
25	$8 \cdot 10^4$ Па; 583 м/с; 516,4 м/с
26	2,5 кг/м^3; 600 м/с; 490 м/с
27	$2 \cdot 10^5$ Па; 577 м/с; 532 м/с
28	0,4 кг/м^3; 357 м/с; 316 м/с

Номер задания	7.9	7.10
1	$5{,}38\cdot10^{9}$ 1/с; 80,8 нм	4460 м
2	$4{,}9\cdot10^{9}$ 1/с; 97 нм	4825 м
3	$4{,}55\cdot10^{9}$ 1/с; 113 нм	5193 м
4	$4{,}25\cdot10^{9}$ 1/с; 129,3 нм	5560 м
5	10^{5} Па; 72 нм	78,5 %
6	$2\cdot10^{5}$ Па; 36 нм	61,6 %
7	$3\cdot10^{5}$ Па; 24 нм	48,4 %
8	$4\cdot10^{5}$ Па; 18 нм	38 %
9	320 К; $9{,}8\cdot10^{9}$ 1/с	34,3 %
10	340 К; $9{,}5\cdot10^{9}$ 1/с	37,25 %
11	360 К; $9{,}2\cdot10^{9}$ 1/с	40 %
12	380 К; $9{,}0\cdot10^{9}$ 1/с	42,4 %
13	$8\cdot10^{4}$ Па; $3{,}8\cdot10^{9}$ 1/с	N_2 ($\mu = 28\cdot10^{-3}$ кг/моль)
14	10^{5} Па; $4{,}76\cdot10^{9}$ 1/с	O_2 ($\mu = 32\cdot10^{-3}$ кг/моль)
15	$2\cdot10^{5}$ Па; $9{,}5\cdot10^{9}$ 1/с	H_2O ($\mu = 18\cdot10^{-3}$ кг/моль)
16	$4\cdot10^{5}$ Па; $1{,}9\cdot10^{10}$ 1/с	CO_2 ($\mu = 44\cdot10^{-3}$ кг/моль)
17	300 К; 86 нм	5,5 км
18	500 К; 143,4 нм	4 км
19	200 К; 57,4 нм	88 км
20	400 К; 114,7 нм	6,3 км
21	$2\cdot10^{9}$ 1/с; 221,6 нм	1,76 км
22	$4\cdot10^{8}$ 1/с; 1108 нм	4 км
23	$4\cdot10^{9}$ 1/с; 110,8 нм	7,23 км
24	$2\cdot10^{10}$ 1/с; 22,16 нм	12,7 км
25	$9\cdot10^{9}$ 1/с; 51,8 нм	$-30\ ^{\circ}C$
26	$7{,}83\cdot10^{9}$ 1/с; 69 нм	$0\ ^{\circ}C$
27	$7\cdot10^{9}$ 1/с; 86,3 нм	$+40\ ^{\circ}C$
28	$6{,}4\cdot10^{9}$ 1/с; 103,5 нм	$+20\ ^{\circ}C$

Номер задания	8.1	8.2
1	10,3 %; 411,55 К; 320 К; 22,2 %	600 Дж; 450 К
2	9,6 %; 411,5 К; 365,8 К; 11 %	400 Дж; 400 К
3	3,16 %; 320 К; 257 К; 19,6 %	200 Дж; 350 К
4	13 %; 535 К; 411,55 К; 23 %	800 Дж; 500 К
5	28,4 %; 440,13 К; 310 К; 29,57 %	2475 Дж; 225 К
6	15 %; 411,55 К; 313,7 К; 23,8 %	3025 Дж; 275 К
7	24,1 %; 391 К; 271 К; 30,7 %	3300 Дж; 300 К
8	26,7 %; 512,15 К; 363,9 К; 29 %	2750 Дж; 250 К
9	7,6 %; 273,7 К; 228,4 К; 16,5 %	1800 Дж; 500 К
10	22,2 %; 457,3 К; 355,6 К; 22,3 %	1440 Дж; 400 К
11	13,8 %; 457,3 К; 378,9 К; 17,14 %	2160 Дж; 600 К
12	18,7 %; 480,14 К; 386,9 К; 19,4 %	1080 Дж; 300 К
13	34,1 %; 365 К; 224 К; 38,7 %	360 Дж; 260 К
14	23,4 %; 446 К; 292,66 К; 34,3 %	200 Дж; 300 К
15	36,7 %; 402,4 К; 240,1 К; 40,34 %	280 Дж; 280 К
16	27,5 %; 411,5 К; 267,5 К; 35 %	440 Дж; 240 К
17	21 %; 411,55 К; 265,2 К; 35,5 %	1309 Дж; 275 К
18	37,8 %; 457,3 К; 263,4 К; 42,4 %	1107,7 Дж; 325 К
19	15,3 %; 411,55 К; 288,5 К; 29,9 %	1200 Дж; 300 К
20	8,8 %; 365,8 К; 280,8 К; 23,25 %	1028,6 Дж; 350 К
21	12 %; 376 К; 320,1 К; 14,9 %	1046 Дж; 260 К
22	11,1 %; 474 К; 411,55 К; 13,2 %	971,4 Дж; 280 К
23	12,2 %; 528,8 К; 457,28 К; 13,5 %	1007,4 Дж; 270 К
24	11,8 %; 463 К; 400 К; 13,6 %	1088 Дж; 250 К
25	24 %; 411,55 К; 278,35 К; 32,4 %	2500 Дж; 500 К
26	19 %; 503 К; 375 К; 25,45 %	1750 Дж; 350 К
27	20 %; 439 К; 287,9 К; 34,4 %	2250 Дж; 450 К
28	16,8 %; 514,44 К; 366 К; 28,8 %	2000 Дж; 400 К

Номер задани	8.3	8.4
1	25 кДж; 50°С; 0,0847; 10,8	100 г
2	1,5 кДж; 1°С; 19,5 кДж; 0,077	200 К
3	15°С; 172,6 кДж; 184,6 кДж; 14,38	750 К
4	26°С; 140 кДж; 153,33 кДж; 0,087	4,04 Дж/К
5	3,6 кДж; –7,7°С; 176,4 кДж; 49	8 г
6	3 кДж; 11,6°С; 78 кДж; 0,0385	0,05 м^3
7	15,3 °С; 120 кДж; 0,032; 30	0,6 м^3
8	87 °С; 30 кДж; 40 кДж; 3	33,4 Дж/К
9	47°С; 340 кДж; 0,059; 16	22 г
10	16,8 кДж; 156,8 кДж; 0,107; 8,33	265 К
11	9,6 кДж; –16,5 °С; 86,4 кДж; 9	315 К
12	20,5 °С; 86 кДж; 0,07; 13,33	1,16 Дж/К
13	8 кДж; 30,2 °С; 0,0666; 14	16 г
14	235,84 кДж; 258 кДж; 0,085; 10,72	0,2 м^3
15	5,76 кДж; 25,9 °С; 66,24 кДж; 11,5	0,8 м^3
16	71,5 °С; 240 кДж; 255 кДж; 0,059	3,27 Дж/К
17	38,4 кДж; – 9 °С; 281,6 кДж; 7,33	66 г
18	4,5 кДж; 42 °С; 40,5 кДж; 0,11	0,75 м^3
19	18,2 °С; 250 кДж; 0,107; 8,33	0,4 м^3
20	6 кДж; 98,4 °С; 0,125; 7	8,64 Дж/К
21	20 кДж; –7,5 °С; 200 кДж; 0,1	28 г
22	55,75 °С; 32 кДж; 40 кДж; 4	280 К
23	68,7 °С; 116 кДж; 0,2; 3,83	390 К
24	18 кДж; 218 кДж; 0,0825 ; 11,1	4,32 Дж/К
25	37,7 °С; 392 кДж; 420 кДж; 0,066	20 г
26	–3 °С; 85 кДж; 0,12; 7,5	369 К
27	4 кДж; 29,8 °С; 0,059; 16	420 К
28	360,4 кДж; 397,4 кДж; 0,093; 9,74	2,225 Дж/К

Номер задания	8.5	8.6	8.7	
1	1880 Дж/К	200	0,026 %	
2	842 Дж/К	1,5	0,019 %	0,44 %
3	4612 Дж/К	$3 \cdot 10^{99}$	0,015 %	
4	2639 Дж/К	1,1	0,013 %	
5	2,65 Дж/К	1,5	0,27 %	
6	5,7 Дж/К	$6{,}835 \cdot 10^{97}$	0,2 %	0,158 %
7	0,59 Дж/К	0,5	0,16 %	
8	10,34 Дж/К	500	0,14 %	
9	– 12,8 Дж/К	150	0,93 %	
10	– 29,3 Дж/К	1,8	0,7 %	0,127 %
11	8,7 Дж/К	1,6	0,56 %	
12	– 68,4 Дж/К	$1{,}23 \cdot 10^{95}$	0,46 %	
13	– 735,4 Дж/К	2,5	0,068 %	
14	– 1446,35 Дж/К	1,25	0,051 %	0,04 %
15	– 3357,5 Дж/К	$3{,}34 \cdot 10^{84}$	0,041 %	
16	– 6666,8 Дж/К	170	0,034 %	
17	24,12 Дж/К	0,4	0,098 %	
18	51,5 Дж/К	100	0,073 %	0,263 %
19	92,86 Дж/К	$2 \cdot 10^{90}$	0,058 %	
20	131,1 Дж/К	1,4	0,049 %	
21	159,6 Дж/К	$3{,}1 \cdot 10^{92}$	0,386 %	
22	301,56 Дж/К	150	0,29 %	0,113 %
23	28,5 Дж/К	2,0	0,23 %	
24	539,14 Дж/К	1,45	0,19 %	
25	– 243,18 Дж/К	$1{,}52 \cdot 10^{79}$	0,28 %	
26	– 328,83 Дж/К	350	0,21 %	0,196 %
27	– 266,5 Дж/К	$1{,}7 \cdot 10^{61}$	0,17 %	
28	– 101,1 Дж/К	1,3	0,14 %	

Номер задания	8.8	8.9	8.10
1	0,065 %; 27,8 °С	2 кг	1,127
2	0,08 %; 178,3 °С	0,05 м^3	2,8
3	0,085 %; 328,7 °С	0,25 м^3	1,52
4	0,09 %; 629,5 °С	1,83 К	1,98
5	0,09 %; 15,8 °С	6 кг	2,74
6	0,096 %; 160 °С	0,01 м^3	1,93
7	0,097 %; 304 °С	0,75 м^3	2,97
8	0,098 %; 593 °С	0,2 К	4,05
9	0,03 %; 64 °С	1,5 кг	2,08
10	0,02 %; 232,4 °С	0,31 м^3	1,41
11	0,05 %; 401 °С	0,75 м^3	2,67
12	0,08 %; 738 °С	0,22 К	**3,24**
13	0,08 %; 35 °С	0,8 кг	2,14
14	0,013 %; 189 °С	0,1 м^3	2,11
15	0,021 %; 343 °С	0,5 м^3	2,24
16	0,056 %; 651 °С	0,23 К	3,18
17	0,55 %; – 8,25 °С	5 кг	1,32
18	0,3 %; 124 °С	0,026 м^3	1,85
19	0,175 %; 256,5 °С	5 м^3	4,07
20	0,05 %; 521 °С	0,32 К	1,2
21	0,088 %; 27,8 °С	0,4 кг	1,28
22	0,016 %; 178 °С	0,1 м^3	1,17
23	0,02 %; 328,7 °С	1,0 м^3	2,73
24	0,056 %; 629,5 °С	3,13 К	1,35
25	0,47 %; 102,5 °С	0,1 кг	1,93
26	0,28 %; 290 °С	0,08 м^3	1,83
27	0,18 %; 478 °С	0,45 м^3	2,1
28	0,09 %; 853 °С	1,24 К	**2,45**

Номер задания	9.1	9.2	9.3	9.4
1	$1,72 \cdot 10^{-4}$ Н	10^{-9} Кл	322 В/м	$6,9 \cdot 10^{-12}$ м
2	$8,23 \cdot 10^{-5}$ Н	$2 \cdot 10^{-9}$ Кл	318,2В/м	$4 \cdot 10^{-11}$ м
3	$1,35 \cdot 10^{-4}$ Н	0,6 м	230,4 В/м	$8 \cdot 10^{-12}$ м
4	$3,375 \cdot 10^{-5}$ Н	0,33 м	161 В/м	$1,4 \cdot 10^{-13}$ м
5	$9,49 \cdot 10^{-5}$ Н	$2 \cdot 10^{-9}$ Кл	360 В/м	$7,2 \cdot 10^{-12}$ м
6	$2 \cdot 10^{-5}$ Н	$9 \cdot 10^{-8}$ Кл	150 В/м	$4 \cdot 10^{-12}$ м
7	10^{-5} Н	1,207 м	85,7 В/м	$2,75 \cdot 10^{-11}$ м
8	$1,38 \cdot 10^{-5}$ Н	0,775 м	56,25 В/м	$1,65 \cdot 10^{-11}$ м
9	$3,77 \cdot 10^{-4}$ Н	$2,4 \cdot 10^{-8}$ Кл	229 В/м	$5,5 \cdot 10^{-10}$ м
10	$1,33 \cdot 10^{-4}$ Н	$1,875 \cdot 10^{-10}$ Кл	57,3 В/м	$1,2 \cdot 10^{-10}$ м
11	$1,89 \cdot 10^{-4}$ Н	0,724 м	25,46 В/м	$5,74 \cdot 10^{-11}$ м
12	$7,78 \cdot 10^{-5}$ Н	0,414 м	14,3 В/м	$1,84 \cdot 10^{-11}$ м
13	$7,64 \cdot 10^{-5}$ Н	$3,11 \cdot 10^{-9}$ Кл	805 В/м	$1,1 \cdot 10^{-10}$ м
14	$5,1 \cdot 10^{-5}$ Н	$1,6 \cdot 10^{-9}$ Кл	318,2 В/м	$7,75 \cdot 10^{-10}$ м
15	$4 \cdot 10^{-5}$ Н	0,383 м	166,4 В/м	$3,37 \cdot 10^{-9}$ м
16	$1,8 \cdot 10^{-5}$ Н	0,667 м	100,6 В/м	$1,17 \cdot 10^{-8}$ м
17	$3,375 \cdot 10^{-4}$ Н	$1,2 \cdot 10^{-10}$ Кл	995 В/м	$4,76 \cdot 10^{-12}$ м
18	$3,375 \cdot 10^{-4}$ Н	$5 \cdot 10^{-8}$ Кл	527,2 В/м	$6 \cdot 10^{-12}$ м
19	$5,06 \cdot 10^{-4}$ Н	0,324 м	302,3 В/м	$1,32 \cdot 10^{-11}$ м
20	$1,69 \cdot 10^{-4}$ Н	0,333 м	190 В/м	$1,34 \cdot 10^{-12}$ м
21	$3,15 \cdot 10^{-5}$ Н	10^{-8} Кл	3742,5 В/м	$4 \cdot 10^{-13}$ м
22	$3,18 \cdot 10^{-5}$ Н	$1,6 \cdot 10^{-9}$ Кл	1348,7 В/м	$4,3 \cdot 10^{-12}$ м
23	$4,65 \cdot 10^{-5}$ Н	0,516 м	559,8 В/м	$2,75 \cdot 10^{-12}$ м
24	$2,7 \cdot 10^{-5}$ Н	0,29 м	272,6 В/м	$9,5 \cdot 10^{-12}$ м
25	$4,82 \cdot 10^{-6}$ Н	$9 \cdot 10^{-9}$ Кл	1800 В/м	$1,14 \cdot 10^{-12}$ м
26	$1,14 \cdot 10^{-5}$ Н	$5,4 \cdot 10^{-8}$ Кл	450 В/м	$1,3 \cdot 10^{-9}$ м
27	$1,52 \cdot 10^{-5}$ Н	1,2 м	200 В/м	$8,82 \cdot 10^{-12}$ м
28	$1,22 \cdot 10^{-5}$ Н	0,618 м	112,5 В/м	$1,53 \cdot 10^{-11}$ м

Номер задания	9.5		9,6
1	6 см	0,534 В/м	эквипотенциальные
2	20,92 В	1,068 В/м	поверхности-эллипсоиды
3	6 см	0,8 В/м	вращения с полуосями
4	$7{,}57\cdot10^{4}$ м/с	0,5 В/м	$\sqrt{a\varphi}, \sqrt{b\varphi}, \sqrt{b\varphi}$
5	10 см	7 В/м	эквипотенциальные
6	1252 В	7 В/м	поверхности-плоскости,
7	36 см	7 В/м	параллельные плоскости
8	$8\cdot10^{4}$ м/с	7 В/м	*yoz*
9	11 см	1,73 В/м	эквипотенциальные
10	36,4 В	0,87 В/м	поверхности-сферы
11	6 см	0,5 В/м	радиуса $\sqrt{a\varphi}$
12	$9\cdot10^{6}$ м/с	0,71 В/м	
13	7 см	5 В/м	эквипотенциальные
14	470,7 В	5 В/м	поверхности-плоскости,
15	2 см	5 В/м	параллельные плоскости
16	$5\cdot10^{4}$ м/с	5 В/м	*x oy*
17	4 см	45,65 В/м	эквипотенциальные
18	174 В	25,6 В/м	поверхности-эллипсоиды
19	9 см	23,4 В/м	вращения с полуосями
20	10^{5} м/с	12,8 В/м	$\sqrt{\varphi/a}, \sqrt{\varphi/a}, \sqrt{\varphi/b}$
21	17 см	28 В/м	эквипотенциальные
22	256 В	34,2 В/м	поверхности-гиперболоиды
23	48 см	17,4 В/м	вращения
24	$2\cdot10^{7}$ м/с	29,4 В/м	
25	7 см	9 В/м	эквипотенциальные
26	2092 В	9 В/м	поверхности-плоскости,
27	0,6 см	9 В/м	параллельные плоскости
28	$1{,}5\cdot10^{5}$ м/с	9 В/м	*xoy*

Номер задания	9.7	9.8	9.9	9.10
1	$5{,}1\cdot10^{-2}$ В·м	56,5 В	$-1{,}3\cdot10^{-6}$ Дж	5 г
2	$4\cdot10^{-2}$ В·м	56,5 В	$-3{,}8\cdot10^{-7}$ Дж	$1{,}43\cdot10^{-5}$ Кл
3	$5{,}4\cdot10^{-2}$ В·м	56,5 В	$2{,}2\cdot10^{-7}$ Дж	20 см
4	0,1·В·м	56,5 В	$3{,}5\cdot10^{-7}$ Дж	8 см
5	0,257 В·м	49,9 В	$3{,}77\cdot10^{-7}$ Дж	19,8 г
6	0,223 В·м	29,2 В	$9{,}4\cdot10^{-7}$ Дж	$3{,}8\cdot10^{-7}$ Кл
7	0,182 В·м	20,7 В	$1{,}5\cdot10^{-6}$ Дж	54 см
8	0,129 В·м	16,1 В	$1{,}88\cdot10^{-6}$ Дж	35,7 см
9	0,2 В·м	34,9 В	$-9{,}2\cdot10^{-5}$ Дж	$5{,}2\cdot10^{-5}$ Кл/м^3
10	0,176 В·м	19,4 В	$-5{,}2\cdot10^{-5}$ Дж	$6{,}1\cdot10^{-5}$ Кл/м^3
11	0,144 В·м	12,3 В	$7{,}3\cdot10^{-5}$ Дж	$1{,}4\cdot10^{-4}$ Кл/м^3
12	0,1 В·м	8,5 В	$2\cdot10^{-4}$ Дж	$8{,}4\cdot10^{-6}$ Кл/м^3
13	$3{,}83\cdot10^{-3}$ В·м	28,9 В	$-3{,}9\cdot10^{-6}$ Дж	20°
14	$7{,}66\cdot10^{-3}$ В·м	19 В	$-1{,}6\cdot10^{-6}$ Дж	20°
15	$1{,}15\cdot10^{-2}$ В·м	14,2 В	$1{,}26\cdot10^{-6}$ Дж	5,2°
16	$1{,}53\cdot10^{-2}$ В·м	11,3 В	$3{,}16\cdot10^{-6}$ Дж	42,3°
17	1,3 В·м	21,7 В	$5{,}4\cdot10^{-6}$ Дж	$6{,}9\cdot10^{-8}$ Кл
18	0,96 В·м	14,3 В	$4\cdot10^{-6}$ Дж	$2{,}84\cdot10^{-7}$ Кл
19	0,90 В·м	10,7 В	$1{,}8\cdot10^{-6}$ Дж	11,8 г
20	0,88 В·м	8,5 В	$-2{,}7\cdot10^{-6}$ Дж	19 г
21	0, 21 В·м	113 В	$3{,}13\cdot10^{-4}$ Дж	$6{,}5\cdot10^{-7}$ Кл
22	0,30 В·м	113 В	$1{,}57\cdot10^{-3}$ Дж	39,3 г
23	0,37 В·м	113 В	$3{,}13\cdot10^{-3}$ Дж	$7{,}3\cdot10^{-6}$ Кл
24	0,43 В·м	113 В	$1{,}57\cdot10^{-2}$ Дж	30,25 г
25	0,35 В·м	13,2 В	$1{,}13\cdot10^{-3}$ Дж	4,3 г
26	0,53 В·м	6,6 В	$3{,}39\cdot10^{-3}$ Дж	$2{,}4\cdot10^{-7}$ Кл
27	0,7 В·м	4 В	$5{,}65\cdot10^{-3}$ Дж	42 см
28	0,875 В·м	2,6 В	$7{,}91\cdot10^{-3}$ Дж	1,2 см

Номер задания	10.1
1	$2{,}23\cdot10^{-29}$ м^3; $1{,}97\cdot10^{-36}$ Кл·м
2	$3{,}5\cdot10^{5}$ Па; $2{,}37\cdot10^{-29}$ м^3
3	1,04; $1{,}83\cdot10^{-36}$ Кл·м
4	$4{,}73\cdot10^{-29}$ м^3 ; 7 кВ/м
5	1,03; $2{,}07\cdot10^{-29}$ м^3
6	$2\cdot10^{6}$ Па; $1{,}65\cdot10^{-36}$ Кл·м
7	$3{,}1\cdot10^{-29}$ м^3; $3{,}3\cdot10^{-36}$ Кл·м
8	$2\cdot10^{5}$ Па; $1{,}66\cdot10^{-29}$ м^3
9	$6{,}21\cdot10^{-29}$ м^3; 24 кВ/м
10	$1{,}5\cdot10^{6}$ Па; 6 кВ/м
11	1,008; 14 кВ/м
12	1,01; $3{,}66\cdot10^{-36}$ Кл·м
13	$1{,}24\cdot10^{-29}$ м^3; 12 кВ/м
14	$3\cdot10^{6}$ Па; $2{,}76\cdot10^{-29}$ м^3
15	1,015; $7{,}76\cdot10^{-29}$ м^3
16	$5\cdot10^{5}$ Па; 20 кВ/м
17	1,02; 10 кВ/м
18	$1{,}45\cdot10^{-29}$ м^3; $2{,}82\cdot10^{-36}$ Кл·м
19	$4\cdot10^{6}$ Па; $3{,}67\cdot10^{-36}$ Кл·м
20	1,02; $9{,}2\cdot10^{-29}$ м^3
21	1,035; 15 кВ/м
22	1,05; $3{,}66\cdot10^{-36}$ Кл·м
23	$3{,}31\cdot10^{-29}$ м^3; 8 кВ/м
24	$6\cdot10^{5}$ Па; 13 кВ/м
25	1,05; $5{,}175\cdot10^{-29}$ м^3
26	$3\cdot10^{5}$ Па; $1{,}38\cdot10^{-29}$ м^3
27	$4{,}5\cdot10^{6}$ Па; $1{,}95\cdot10^{-36}$ Кл·м
28	$3{,}73\cdot10^{-29}$ м^3; $6{,}6\cdot10^{-36}$ Кл·м

Номер задания	10.2
1	50 В/м; $8{,}85\cdot10^{-10}$ Кл/м^2; $4{,}425\cdot10^{-10}$ Кл/м^2; $4{,}425\cdot10^{-10}$ Кл/м^2
2	312 В/м; $2{,}76\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $1{,}7\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $1{,}7\cdot10^{-9}$ Кл/м^2
3	140 В/м; 3,5; 40 В/м; $8{,}85\cdot10^{-10}$ Кл/м^2
4	328,8 В/м; 4,11; $2{,}91\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $2{,}2\cdot10^{-9}$ Кл/м^2
5	135 В/м; 45 В/м; $1{,}195\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $7{,}965\cdot10^{-10}$ Кл/м^2
6	2,8; $1{,}41\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $7{,}17\cdot10^{-10}$ Кл/м^2; $7{,}17\cdot10^{-10}$ Кл/м^2
7	176,3 В/м; 80,1 В/м; $8{,}5\cdot10^{-10}$ Кл/м^2; $8{,}5\cdot10^{-10}$ Кл/м^2
8	3,44; 59,3 В/м; $1{,}8\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $1{,}275\cdot10^{-9}$ Кл/м^2
9	153,7 В/м; 4,39; $1{,}05\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $1{,}05\cdot10^{-9}$ Кл/м^2
10	100 В/м; 25 В/м; $8{,}85\cdot10^{-10}$ Кл/м^2; $6{,}64\cdot10^{-10}$ Кл/м^2
11	270 В/м; 75 В/м; $1{,}73\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $1{,}73\cdot10^{-9}$ Кл/м^2
12	140 В/м; 2,33; $1{,}24\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $7{,}08\cdot10^{-10}$ Кл/м^2
13	120 В/м; 2,4; 50 В/м; $6{,}195\cdot10^{-10}$ Кл/м^2
14	4,32; 99,4 В/м; $3{,}8\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $2{,}92\cdot10^{-9}$ Кл/м^2
15	30 В/м; $1{,}59\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $1{,}33\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $1{,}33\cdot10^{-9}$ Кл/м^2
16	272 В/м; $2{,}41\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $1{,}7\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $1{,}7\cdot10^{-9}$ Кл/м^2
17	84 В/м; 2,8; 30 В/м; $4{,}78\cdot10^{-10}$ Кл/м^2
18	159,8 В/м; 4; $1{,}414\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $1{,}06\cdot10^{-9}$ Кл/м^2
19	147 В/м; 42 В/м; $1{,}3\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $9{,}29\cdot10^{-10}$ Кл/м^2
20	3,8; $2{,}354\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $1{,}735\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $1{,}735\cdot10^{-9}$ Кл/м^2
21	147 В/м; 35 В/м; $9{,}9\cdot10^{-10}$ Кл/м^2; $9{,}9\cdot10^{-10}$ Кл/м^2
22	2,7; 110 В/м; $2{,}63\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $1{,}655\cdot10^{-9}$ Кл/м^2
23	288 В/м; 3,2; $1{,}75\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $1{,}75\cdot10^{-9}$ Кл/м^2
24	175 В/м; 70 В/м; $1{,}55\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $9{,}3\cdot10^{-10}$ Кл/м^2
25	126 В/м; $1{,}115\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $8{,}5\cdot10^{-10}$ Кл/м^2; $8{,}5\cdot10^{-10}$ Кл/м^2
26	130 В/м; 2,6; $1{,}15\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $7{,}08\cdot10^{-10}$ Кл/м^2
27	132 В/м; 3,3; 40 В/м; $8{,}14\cdot10^{-10}$ Кл/м^2
28	4,5; 119,8 В/м; $4{,}78\cdot10^{-9}$ Кл/м^2; $3{,}72\cdot10^{-9}$ Кл/м^2

Номер задания	10.3	10.4	10.5
1	4/м;126 В/м	$1,76 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2; 10,8°	$2,25 \cdot 10^{-5}$ Н
2	7/м; 138,5 В/м	$2,65 \cdot 10^{-8}$ Кл/м^2; 40,9°	$5,625 \cdot 10^{-6}$ Н
3	1/м; 42,6 В/м	$6,07 \cdot 10^{-8}$ Кл/м^2; 2,98	$2,5 \cdot 10^{-6}$ Н
4	кВ/м; 213 В/м	$2,64 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2; 28,86°	$1,4 \cdot 10^{-6}$ Н
5	3В/м; 84,75 В/м	$1,83 \cdot 10^{-8}$ Кл/м^2; 28,2°	$3 \cdot 10^{-7}$ Кл/м
6	3м; 104,6 В/м	$3,65 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2; 2,77	10^{-8} Кл/м
7	3м; 235,4 В/м	$6,2 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2; 43°	$8 \cdot 10^{-8}$ Кл/м
8	1В/м; 26,15 В/м	$2,27 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2; 46,84°	$6 \cdot 10^{-8}$ Кл/м
9	1/м; 18,8 В/м	$1,53 \cdot 10^{-8}$ Кл/м^2; 6	10^{-7} Кл·м
10	1м; 25,1 В/м	$2,04 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2; 48°	$2 \cdot 10^{-8}$ Кл·м
11	4 В/м; 16,14 В/м	$1,13 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2; 24,6°	$1,2 \cdot 10^{-9}$ Кл·м
12	4 В/м; 1,4 В/м	$1,53 \cdot 10^{-8}$ Кл/м^2; 1,64	$7 \cdot 10^{-9}$ Кл·м
13	9/м.; 75,3 В/м	$3,44 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2; 29,6°	0,1 м
14	1В/м; 113 В/м	$1,16 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2; 40,37°	0,25 м
15	9/м; 113 В/м	$1,18 \cdot 10^{-8}$ Кл/м^2; 3,78	0,7 м
16	9 В/м; 125,5 В/м	$9,41 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2; 23°	0,5 м
17	6/м; 169,5 В/м	$1,17 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2; 4°	$2,7 \cdot 10^{-5}$ Н
18	1/м; 8,4 В/м	$3 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2; 6,9	$1,62 \cdot 10^{-5}$ Н
19	2/м; 113 В/м	$5,13 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2; 7,12°	$2 \cdot 10^{-5}$ Н
20	6/м; 261 В/м	$4,37 \cdot 10^{-8}$ Кл/м^2; 7,65°	$4 \cdot 10^{-5}$ Н
21	01 В/м	$2,51 \cdot 10^{-8}$ Кл/м^2; 0,26	0,25 м
22	06 В/м	$1,37 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2; 10,52°	0,15 м
23	0,25 В/м	$9,2 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2; 21,8°	0,4 м
24	0,75 В/м	$3 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2; 3	0,3 м
25	08, 5 В/м	$1,085 \cdot 10^{-8}$ Кл/м^2; 35,2°	$6 \cdot 10^{-8}$ Кл
26	04,6 В/м	$1,54 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2; 23,5°	10^{-8} Кл
27	06 В/м	$4,52 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2; 7,6	$5 \cdot 10^{-8}$ Кл
28	01,3 В/м	$3,83 \cdot 10^{-10}$ Кл/м^2; 58°	$2 \cdot 10^{-8}$ Кл

Номер задания	10.6
1	$6{,}2\cdot10^{-7}$ Кл/м^2; 2163 В; 23 пФ; $5{,}4\cdot10^{-5}$ Дж
2	0,1 м; $1{,}89\cdot10^{-7}$ Кл; 4189 В; $3{,}95\cdot10^{-4}$ Дж
3	8,6 см; $8{,}67\cdot10^{-6}$ Кл/м^2; 13,3 кВ; $5{,}3\cdot10^{-3}$ Дж
4	7,8 см; $1{,}125\cdot10^{-6}$ Кл; $1{,}47\cdot10^{-5}$ Кл/м^2; 703 пФ
5	$8{,}8\cdot10^{-8}$ Кл; 2262 В; 38,9 пФ; $9{,}95\cdot10^{-5}$ Дж
6	3; $9{,}55\cdot10^{-7}$ Кл/м^2; 16,7 пФ; $2{,}7\cdot10^{-5}$ Дж
7	2,63 см; 3,88; $2{,}6\cdot10^{-8}$ Кл; 11,34 пФ
8	10,5; $4{,}42\cdot10^{-6}$ Кл/м^2; 2857 В; $2{,}86\cdot10^{-4}$ Дж
9	4,5; $4{,}9\cdot10^{-8}$ Кл; $2{,}4\cdot10^{-6}$ Кл/м^2; 2449 В
10	2,3; $2{,}7\cdot10^{-8}$ Кл; $4{,}3\cdot10^{-7}$ Кл/м^2; 17,8 пФ
11	6,8 см; $7{,}14\cdot10^{-8}$ Кл; $1{,}23\cdot10^{-6}$ Кл/м^2; $7{,}5\cdot10^{-5}$ Дж
12	3 см; 2,43; 11 кВ; 8,1 пФ
13	6,25 см; $2\cdot10^{-6}$ Кл/м^2; 6 кВ; 16,7 пФ
14	1,8; $8\cdot10^{-7}$ Кл/м^2; 10 кВ; 40 пФ
15	9,8; $7{,}6\cdot10^{-7}$ Кл; 6338 В; $2{,}4\cdot10^{-3}$ Дж
16	5 см; $2{,}54\cdot10^{-6}$ Кл/м^2; 36,36 пФ; $8{,}8\cdot10^{-5}$ Дж
17	6,13 см; 3,67; $4{,}25\cdot10^{-8}$ Кл; $3{,}6\cdot10^{-5}$ Дж
18	5,18; $2\cdot10^{-7}$ Кл; 3861 В; 51,8 пФ
19	5,6; $1{,}2\cdot10^{-7}$ Кл; $1{,}5\cdot10^{-6}$ Кл/м^2; $1{,}44\cdot10^{-4}$ Дж
20	7,5 см; 5,1; 1667 В; $5{,}83\cdot10^{-5}$ Дж
21	10 см; 4,05; 45 пФ; $9\cdot10^{-5}$ Дж
22	4,5 см; $6{,}93\cdot10^{-8}$ Кл; $2{,}72\cdot10^{-6}$ Кл/м^2; 2309 В
23	5,8; $1{,}1\cdot10^{-7}$ Кл; 77,5 пФ; $7{,}6\cdot10^{-5}$ Дж
24	4,95; $4\cdot10^{-7}$ Кл/м^2; 908 В; $2{,}27\cdot10^{-5}$ Дж
25	5 см; 7714 В; 38,9 пФ; $1{,}16\cdot10^{-3}$ Дж
26	3,86 см; 9,3; $7{,}5\cdot10^{-8}$ Кл; 1871 В
27	$1{,}83\cdot10^{-8}$ Кл; $1{,}62\cdot10^{-6}$ Кл/м^2; 7,33 пФ; $2{,}3\cdot10^{-5}$ Дж
28	7,15 см; $5{,}13\cdot10^{-8}$ Кл; 27 пФ; $4{,}87\cdot10^{-5}$ Дж

Номер задания	10.7	10.8	10.9	10.10
1	3 кВ	10 $см^2$	50 $см^2$	20 пФ
2	2,25 кВ	0,8 мм	5,52	15 пФ
3	4,5 кВ	140 В	120 В	13,33 пФ
4	2,7 кВ	$2{,}3 \cdot 10^{-7}$ Дж	1,6 см	18 пФ
5	$2 \cdot 10^{-8}$ Кл	2,67 $см^2$	$2{,}55 \cdot 10^{-7}$ Дж	91,9 пФ
6	$4 \cdot 10^{-9}$ Кл	1,7 мм	129,5 $см^2$	18,9 пФ
7	10^{-8} Кл	259,5 В	4,0	73 пФ
8	$4 \cdot 10^{-8}$ Кл	$1{,}42 \cdot 10^{-7}$ Дж	180,4 В	43,24 пФ
9	$1{,}8 \cdot 10^{-8}$ Кл; 5,4 кВ	38,4 $см^2$	2,49 см	26,66 пФ
10	$6 \cdot 10^{-9}$ Кл; 2,7 кВ	2 мм	$1{,}38 \cdot 10^{-4}$ Дж	30 пФ
11	$2 \cdot 10^{-8}$ Кл; 4,5 кВ	60 В	100 $см^2$	20 пФ
12	$1{,}3 \cdot 10^{-8}$ Кл; 5,9 кВ	$1{,}32 \cdot 10^{-7}$ Дж	6,0	22,22 пФ
13	$1{,}2 \cdot 10^{-8}$ Кл; 5,4 кВ	25 $см^2$	80,35 В	6,66 пФ
14	$3 \cdot 10^{-9}$ Кл; 2,7 кВ	1,2 мм	3 см	6 пФ
15	10^{-8} Кл; 4,5 кВ	270 В	$2{,}06 \cdot 10^{-5}$ Дж	8,33 пФ
16	$3{,}3 \cdot 10^{-8}$ Кл; 5,9 кВ	$2{,}52 \cdot 10^{-7}$ Дж	81 $см^2$	11,1 пФ
17	$1{,}5 \cdot 10^{-5}$ Дж; $9 \cdot 10^{-5}$ Дж	15 $см^2$	2,0	15,9 пФ
18	$5{,}625 \cdot 10^{-6}$ Дж; $7{,}2 \cdot 10^{-6}$ Дж	2,5 мм	139 В	8,1 пФ
19	$4{,}5 \cdot 10^{-5}$ Дж; $2{,}25 \cdot 10^{-5}$ Дж	150 В	1,9 см	23,45 пФ
20	$8{,}1 \cdot 10^{-5}$ Дж; $1{,}44 \cdot 10^{-4}$ Дж	$9{,}52 \cdot 10^{-8}$ Дж	$1{,}77 \cdot 10^{-6}$ Дж	14,15 пФ
21	$8{,}1 \cdot 10^{-5}$ Дж	9 $см^2$	199,25 $см^2$	50 пФ
22	$1{,}215 \cdot 10^{-5}$ Дж	3 мм	2,8	40 пФ
23	$6{,}75 \cdot 10^{-5}$ Дж	110 В	220 В	53,33 пФ
24	$1{,}357 \cdot 10^{-4}$ Дж	$2{,}68 \cdot 10^{-7}$ Дж	2,6 см	33,33 пФ
25	$2{,}4 \cdot 10^{-5}$ Дж	12 $см^2$	$2{,}5 \cdot 10^{-4}$ Дж	26,9 пФ
26	$6{,}75 \cdot 10^{-7}$ Дж	1,5 мм	150,6 $см^2$	55,7 пФ
27	0	90 В	3,6	20,53 пФ
28	$8{,}93 \cdot 10^{-5}$ Дж	$1{,}43 \cdot 10^{-7}$ Дж	99 В	45,88 пФ

Номер задания	11.1	11.2	11.3
1	$1{,}33\cdot10^7$ м/с; 41°	400 В	7 Кл; 7 А
2	3,3 см; $1{,}55\cdot10^7$ м/с	2 см	16 Кл; 8 А
3	$7{,}07\cdot10^5$ м/с; 0,3 см	5 см	27 Кл; 9 А
4	$5\cdot10^5$ м/с; 24,65 В/м	28 В	40 Кл; 10 А
5	$1{,}1\cdot10^6$ м/с; $25{,}5^\circ$	3,5 см	10 Кл; 5 А
6	36,2 см; $2\cdot10^6$ м/с	2,5 см	30 Кл; 10 А
7	$8{,}66\cdot10^4$ м/с; 0,45 см	205 В	68 Кл; 17 А
8	$7{,}07\cdot10^4$ м/с; 522 В/м	100 В	130 Кл; 26 А
9	$1{,}33\cdot10^7$ м/с; 41°	8 см	21,5 Кл; 21,5 А
10	5,58 см; $1{,}4\cdot10^7$ м/с	72,7 В	62 Кл; 31 А
11	$5\cdot10^5$ м/с; 2,45 см	500 В	127,5 Кл; 42,5 А
12	$8{,}66\cdot10^6$ м/с; 2465 В/м	1 см	224 Кл; 56 А
13	$8{,}84\cdot10^6$ м/с; $83{,}5^\circ$	320 В	11 Кл; 11 А
14	1,1 см; $1{,}4\cdot10^6$ м/с	2 см	28 Кл; 14 А
15	$5\cdot10^5$ м/с; 2,5 см	2,8 см	51 Кл; 17 А
16	$8{,}66\cdot10^5$ м/с; 24,65 В/м	13,3 В	80 Кл; 20 А
17	$4{,}9\cdot10^5$ м/с; $78{,}2^\circ$	4 см	12 Кл; 6 А
18	6 см; $1{,}155\cdot10^5$ м/с	2 см	19,5 Кл; 6,5 А
19	$7{,}07\cdot10^4$ м/с; 5,2 см	240 В	28 Кл; 7 А
20	$5\cdot10^5$ м/с; $4{,}52\cdot10^4$ В/м	36 В	37,5 Кл; 7,5 А
21	$8{,}84\cdot10^6$ м/с; $83{,}5^\circ$	6 см	10 Кл; 10 А
22	1,97 см; $2\cdot10^6$ м/с	40 В	34 Кл; 17 А
23	$8{,}66\cdot10^5$ м/с; 2,46 см	600 В	78 Кл; 26 А
24	$7{,}07\cdot10^5$ м/с; 28,47 В/м	2,4 см	148 Кл; 37 А
25	$4{,}9\cdot10^5$ м/с; $78{,}2^\circ$	600 В	13 Кл; 13 А
26	1,2 см; $1{,}155\cdot10^5$ м/с	2 см	30 Кл; 15 А
27	$7{,}07\cdot10^4$ м/с; 1 см	10 см	51 Кл; 17 А
28	$5\cdot10^4$ м/с; 906 В/м	36 В	76 Кл; 19 А

Номер задания	11.4	11.5	11.6	11.7
1	0,м; 1 мА/дел.	0,2 А	3,43 кг	2 Ом; 4,5 Вт
2	0, Ом; 1,33 мА/дел.	146 мА	42°	2 А; 2 Вт
3	0, Ом; 0,66 мА/дел.	0,2 А	10^3 кДж	8 В; 8 Вт
4	0 Ом; 2 мА/дел.	149 мА	80 %	2 Ом; 2 А
5	3 ; 0,5 В/дел.	273 мА	2 кг	8 В; 4 А
6	4 ; 1 В/дел.	511 мА	33°	5 Ом; 5 Вт
7	1,м; 0,75 В/дел.	822 мА	$1{,}5 \cdot 10^3$ кДж	6 В; 1,5 Ом
8	6 ; 1,5 В/дел.	216 мА	60 %	0,4 А; 0,2 Вт
9	1 м; 2 В/дел.	625 мА	3,5 кг	2 Ом; 2 А
10	6м; 10 В/дел.	1,67 А	17°	4 В; 4 Вт
11	1 м; 6 В/дел.	208 мА	$1{,}5 \cdot 10^3$ кДж	2 А; 3 Вт
12	2м; 4 В/дел.	0,2 А	70 %	6 В; 3 Ом
13	0,м; 2 мА/дел.	454,5 мА	4 кг	3 А; 4,5 Вт
14	2 3 мА/дел.	303 мА	34°	3 В; 0,5 Ом
15	3 6 мА/дел.	126 мА	$1{,}2 \cdot 10^3$ кДж	2 Ом; 8 Вт
16	0,м; 1,5 мА/дел.	491 мА	75 %	6 В; 3 А
17	0, Ом; 3 мА/дел.	6 А	3 кг	4 Ом; 1 Вт
18	0, Ом; 1,5 мА/дел.	3,33 А	19°	2 А; 4 Вт
19	0, Ом; 1 мА/дел.	1 А	980 кДж	36 В; 108 Вт
20	0, Ом; 5 мА/дел.	0,5 А	60 %	0,75 Ом; 8 А
21	9 ; 20 В/дел.	0,1 А	1,2 кг	6 В; 2 А
22	2 ; 10 В/дел.	0,29 А	21°	2 Ом; 4,5 Вт
23	5м; 40 В/дел.	0,13 А	830 кДж	2 В; 0,5 Ом
24	1 м; 6,67 В/дел.	147,5 мА	45 %	5 А; 12,5 Вт
25	3м; 5 В/дел.	322,6 мА	1,7 кг	4 В; 1 А
26	7м; 2 В/дел.	238,5 мА	16°	6 В; 2 Ом
27	1 м; 10 В/дел.	526 мА	900 кДж	16 В; 32 Вт
28	1м; 3 В/дел.	0,2 А	44 %	1 Ом; 6 А

Номер задания	11.8	11.9	11.10
1	1,05 Ом	1,6 м	2,4 мкА/м^2; 0,01 %
2	17,3 Ом	6,25 мм^2	1,28 мкА/м^2; 0,05 %
3	25,14 мА	$6{,}25\cdot10^{12}$ м$^{-3}$	1,44 мкА/м^2; 0,2 %
4	11 К	$3{,}38\cdot10^{14}$ Ом	2,3 мкА/м^2; 0,1 %
5	19,5 мА	0,24 м	64 мкА/м^2; 0,02 %
6	$6\cdot10^{-3}$ 1/К	6,25 мм^2	68,3 мкА/м^2; 0,025 %
7	2,85 Ом	$6{,}25\cdot10^{12}$ м$^{-3}$	144 мкА/м^2; 0,015 %
8	26,4 Ом	$3{,}125\cdot10^{14}$ Ом	1,54 мкА/м^2; 0,1 %
9	152 мА	0,8 м	0,56 мкА/м^2; 0,12 %
10	64,5 К	6,25 мм^2	5,1 мкА/м^2; 0,1 %
11	17,5 мА	$9{,}4\cdot10^{13}$ м$^{-3}$	57,65 мкА/м^2; 0,08 %
12	$4\cdot10^{-3}$ 1/К	$2{,}1\cdot10^{14}$ Ом	560 мкА/м^2; 0,036 %
13	5,7 Ом	0,4 м	1,44 мА/м^2; 0,003 %
14	0,87 Ом	6,25 мм^2	2,88 мА/м^2; 0,002 %
15	84,9 мА	$3{,}125\cdot10^{15}$ м$^{-3}$	0,32 мА/м^2; 0,05 %
16	29 К	$1{,}25\cdot10^{14}$ Ом	0,8 мА/м^2; 0,002 %
17	104,5 мА	0,24 м	0,8 мА/м^2; 0,2 %
18	$6\cdot10^{-3}$ 1/К	6,25 мм^2	2,56 мА/м^2; 0,1 %
19	30 Ом	$6{,}25\cdot10^{15}$ м$^{-3}$	5,77 мА/м^2; 0,15 %
20	16,5 Ом	$6{,}25\cdot10^{14}$ Ом	12,82 мА/м^2; 0,15 %
21	43,5 мА	0,4 м	147 мкА/м^2; 2 %
22	61,2 К	6,25 мм^2	325 мкА/м^2; 1,5 %
23	9,1 мА	$6{,}25\cdot10^{13}$ м$^{-3}$	485 мкА/м^2; 1 %
24	$4\cdot10^{-3}$ 1/К	$6{,}25\cdot10^{13}$ Ом	1,6 мА/м^2; 0,5 %
25	65,5 Ом	0,18 м	136 мкА/м^2; 2 %
26	10,1 Ом	6,25 мм^2	129 мкА/м^2; 0,8 %
27	133,7 мА	$1{,}25\cdot10^{13}$ м$^{-3}$	125 мкА/м^2; 0,3 %
28	43,9 К	$1{,}25\cdot10^{14}$ Ом	128 мкА/м^2; 0,05 %

Номер задания	12.1	12.2	12.3	12.4
1	2 см	10^{-5} Тл	2,1 А	$1{,}63\cdot10^{-5}$ Тл
2	9,8 А	$5\cdot10^{-6}$ Тл	2,2 см	$1{,}72\cdot10^{-5}$ Тл
3	4,1 Тл	$2\cdot10^{-5}$ Тл	$1{,}3\cdot10^{-5}$ Тл	$1{,}79\cdot10^{-5}$ Тл
4	$4{,}71\cdot10^{-5}$ Н·м	$3\cdot10^{-5}$ Тл	$\approx 90^{\circ}$	$1{,}83\cdot10^{-5}$ Тл
5	30°	$2\cdot10^{-5}$ Тл	12,2 А	$-3{,}8\cdot10^{-6}$ Тл
6	1 см	10^{-5} Тл	8,5 см	$-4{,}85\cdot10^{-6}$ Тл
7	≈ 3 А	$4\cdot10^{-5}$ Тл	$2{,}83\cdot10^{-6}$ Тл	$-5{,}77\cdot10^{-6}$ Тл
8	4,06 Тл	10^{-5} Тл	$\approx 83^{\circ}$	$-6{,}4\cdot10^{-6}$ Тл
9	$1{,}2\cdot10^{-3}$ Н·м	$6\cdot10^{-6}$ Тл	7,5 А	$7{,}92\cdot10^{-6}$ Тл
10	$\approx 30^{\circ}$	$8\cdot10^{-6}$ Тл	16,1 см	$3{,}38\cdot10^{-5}$ Тл
11	3 см	$1{,}6\cdot10^{-5}$ Тл	$1{,}77\cdot10^{-5}$ Тл	$3{,}19\cdot10^{-5}$ Тл
12	0,4 А	$6\cdot10^{-6}$ Тл	$\approx 90^{\circ}$	$2{,}84\cdot10^{-5}$ Тл
13	3 Тл	10^{-5} Тл	3,98 А	$2{,}12\cdot10^{-5}$ Тл
14	$3{,}02\cdot10^{-3}$ Н·м	$1{,}8\cdot10^{-5}$ Тл	1,15 см	$1{,}36\cdot10^{-5}$ Тл
15	45°	$1{,}6\cdot10^{-6}$ Тл	$1{,}49\cdot10^{-5}$ Тл	$8{,}27\cdot10^{-6}$ Тл
16	4 см	$1{,}4\cdot10^{-5}$ Тл	$\approx 101^{\circ}$	$3{,}28\cdot10^{-6}$ Тл
17	2 А	$8\cdot10^{-6}$ Тл	3,35 А	$7{,}35\cdot10^{-6}$ Тл
18	4 Тл	$1{,}2\cdot10^{-5}$ Тл	1,15 см	$7{,}96\cdot10^{-6}$ Тл
19	$6{,}1\cdot10^{-3}$ Н·м	$6\cdot10^{-5}$ Тл	$1{,}71\cdot10^{-6}$ Тл	$9\cdot10^{-6}$ Тл
20	60°	$2\cdot10^{-5}$ Тл	$\approx 83^{\circ}$	$9{,}5\cdot10^{-6}$ Тл
21	5 см	$1{,}8\cdot10^{-5}$ Тл	18,3 А	$5{,}2\cdot10^{-6}$ Тл
22	4,5 А	$4\cdot10^{-5}$ Тл	4,5 см	$3{,}5\cdot10^{-6}$ Тл
23	2 Тл	$1{,}6\cdot10^{-5}$ Тл	$1{,}42\cdot10^{-5}$ Тл	0
24	$2{,}5\cdot10^{-2}$ Н·м	$2\cdot10^{-5}$ Тл	$\approx 101^{\circ}$	$-3\cdot10^{-6}$ Тл
25	60°	$1{,}4\cdot10^{-5}$ Тл	14,9 А	$1{,}3\cdot10^{-5}$ Тл
26	5 см	$6\cdot10^{-5}$ Тл	7,1 см	$5{,}69\cdot10^{-6}$ Тл
27	2 А	$1{,}4\cdot10^{-5}$ Тл	$1{,}72\cdot10^{-5}$ Тл	0
28	2 Тл	$2\cdot10^{-5}$ Тл	$\approx 47^{\circ}$	$-5{,}69\cdot10^{-6}$ Тл

Номер задания	12.5	12.6	12.7
1	4 см	$1{,}32\cdot10^{-6}$ Тл	$-5\cdot10^{-6}$ Тл·м
2	5 А	$3{,}49\cdot10^{-5}$ Тл	$-2{,}76\cdot10^{-6}$ Тл·м
3	2 А	$6{,}86\cdot10^{-5}$ Тл	$3{,}77\cdot10^{-7}$ Тл·м
4	$3\cdot10^{-5}$ Тл	$3{,}46\cdot10^{-5}$ Тл	$1{,}38\cdot10^{-6}$ Тл·м
5	1 см	$3{,}57\cdot10^{-5}$ Тл	$-7{,}54\cdot10^{-7}$ Тл·м
6	4 А	$8\cdot10^{-5}$ Тл	$6{,}28\cdot10^{-7}$ Тл·м
7	5 А	$1{,}56\cdot10^{-5}$ Тл	$1{,}26\cdot10^{-7}$ Тл·м
8	$2\cdot10^{-5}$ Тл	$3{,}96\cdot10^{-6}$ Тл	$4\cdot10^{-6}$ Тл·м
9	5 см	$6{,}44\cdot10^{-6}$ Тл	$-3{,}77\cdot10^{-7}$ Тл·м
10	2 А	$5{,}77\cdot10^{-6}$ Тл	$2{,}14\cdot10^{-6}$ Тл·м
11	6 А	$1{,}73\cdot10^{-5}$ Тл	$1{,}13\cdot10^{-6}$ Тл·м
12	$4\cdot10^{-5}$ Тл	$1{,}2\cdot10^{-5}$ Тл	$-1{,}26\cdot10^{-7}$ Тл·м
13	2 см	$8{,}26\cdot10^{-6}$ Тл	$8\cdot10^{-6}$ Тл·м
14	3 А	$1{,}6\cdot10^{-5}$ Тл	$-6{,}28\cdot10^{-7}$ Тл·м
15	1 А	$9{,}5\cdot10^{-6}$ Тл	$1{,}88\cdot10^{-6}$ Тл·м
16	$9\cdot10^{-5}$ Тл	$9\cdot10^{-6}$ Тл	$2\cdot10^{-6}$ Тл·м
17	6 см	$2{,}53\cdot10^{-5}$ Тл	$2{,}5\cdot10^{-6}$ Тл·м
18	6 А	$4{,}1\cdot10^{-5}$ Тл	$7{,}54\cdot10^{-6}$ Тл·м
19	5 А	$2{,}68\cdot10^{-5}$ Тл	$4{,}77\cdot10^{-6}$ Тл·м
20	$2\cdot10^{-5}$ Тл	$6{,}13\cdot10^{-5}$ Тл	$-1{,}63\cdot10^{-6}$ Тл·м
21	12 см	$1{,}66\cdot10^{-5}$ Тл	$-3{,}14\cdot10^{-6}$ Тл·м
22	2 А	$2{,}2\cdot10^{-5}$ Тл	$3\cdot10^{-6}$ Тл·м
23	1 А	$1{,}51\cdot10^{-5}$ Тл	$-2{,}26\cdot10^{-6}$ Тл·м
24	$3\cdot10^{-5}$ Тл	$3{,}3\cdot10^{-5}$ Тл	$1{,}26\cdot10^{-6}$ Тл·м
25	9 см	$1{,}47\cdot10^{-5}$ Тл	$2{,}26\cdot10^{-6}$ Тл·м
26	1 А	$7{,}35\cdot10^{-6}$ Тл	$-8{,}8\cdot10^{-7}$ Тл·м
27	3 А	$4{,}9\cdot10^{-6}$ Тл	$1{,}88\cdot10^{-6}$ Тл·м
28	$1{,}2\cdot10^{-4}$ Тл	$3{,}68\cdot10^{-6}$ Тл	$6\cdot10^{-6}$ Тл·м

Номер задания	12.8	12.9	12.10
1	2,4 мм	$8 \cdot 10^{-7}$ Тл	$1,3 \cdot 10^{-7}$ Тл
2	$6,28 \cdot 10^{-2}$ Тл	$1,6 \cdot 10^{-6}$ Тл	$2,35 \cdot 10^{-7}$ Тл
3	2,4 А	$2,4 \cdot 10^{-6}$ Тл	$3,14 \cdot 10^{-7}$ Тл
4	4 слоя	$3,2 \cdot 10^{-6}$ Тл	$3,71 \cdot 10^{-7}$ Тл
5	1,4 мм	$4 \cdot 10^{-6}$ Тл	$4,44 \cdot 10^{-7}$ Тл
6	$1,88 \cdot 10^{-2}$ Тл	$3,33 \cdot 10^{-6}$ Тл	$4,83 \cdot 10^{-7}$ Тл
7	6,7 А	$2,86 \cdot 10^{-6}$ Тл	$5,41 \cdot 10^{-7}$ Тл
8	2 слоя	$2,67 \cdot 10^{-6}$ Тл	$5,62 \cdot 10^{-7}$ Тл
9	0,63 мм	$2 \cdot 10^{-6}$ Тл	$3,64 \cdot 10^{-7}$ Тл
10	$2,5 \cdot 10^{-2}$ Тл	$1,49 \cdot 10^{-6}$ Тл	$3,36 \cdot 10^{-7}$ Тл
11	5,5 А	$9,65 \cdot 10^{-7}$ Тл	$2,47 \cdot 10^{-7}$ Тл
12	3 слоя	0	$1,92 \cdot 10^{-7}$ Тл
13	1,56 мм	$8 \cdot 10^{-7}$ Тл	$1,26 \cdot 10^{-6}$ Тл
14	$7,54 \cdot 10^{-3}$ Тл	$1,6 \cdot 10^{-6}$ Тл	$9,42 \cdot 10^{-7}$ Тл
15	6 А	$2,4 \cdot 10^{-6}$ Тл	$6,28 \cdot 10^{-7}$ Тл
16	2 слоя	$3,2 \cdot 10^{-6}$ Тл	$3,14 \cdot 10^{-7}$ Тл
17	3,14 мм	$4 \cdot 10^{-6}$ Тл	$1,12 \cdot 10^{-6}$ Тл
18	$1,88 \cdot 10^{-2}$ Тл	$2,86 \cdot 10^{-6}$ Тл	$8,89 \cdot 10^{-7}$ Тл
19	6 А	$2,22 \cdot 10^{-6}$ Тл	$6,97 \cdot 10^{-7}$ Тл
20	2 слоя	$1,82 \cdot 10^{-6}$ Тл	$5,62 \cdot 10^{-7}$ Тл
21	1 мм	$4,43 \cdot 10^{-7}$ Тл	$3,14 \cdot 10^{-7}$ Тл
22	$5 \cdot 10^{-2}$ Тл	$8,6 \cdot 10^{-7}$ Тл	$1,85 \cdot 10^{-7}$ Тл
23	4 А	$1,26 \cdot 10^{-6}$ Тл	$1,29 \cdot 10^{-7}$ Тл
24	5 слоев	$2 \cdot 10^{-6}$ Тл	$9,8 \cdot 10^{-8}$ Тл
25	0,83 мм	$1,6 \cdot 10^{-6}$ Тл	$2,34 \cdot 10^{-7}$ Тл
26	$1,5 \cdot 10^{-2}$ Тл	$1,33 \cdot 10^{-6}$ Тл	$3,8 \cdot 10^{-7}$ Тл
27	8 А	$1,14 \cdot 10^{-6}$ Тл	$3,82 \cdot 10^{-7}$ Тл
28	3 слоя	10^{-6} Тл	$2,4 \cdot 10^{-7}$ Тл

Номер задания	13.1	13.2
1	10,2 см; $1{,}1\cdot10^{-6}$ с	2 см; 21,76 см
2	$2\cdot10^{-2}$ Тл; $7{,}5\cdot10^{-23}$ кг·м^2/с	0,43 см; 1,57 см
3	1296 В; $2\cdot10^{12}$ м/с^2	2 см; 12,56 см
4	5,1 см; 0	1 см; 2,83 см
5	5 см; $2{,}4\cdot10^{-24}$ кг·м^2/с	$3{,}53\cdot10^{-3}$ Тл; 9,42 см
6	2000 В; $1{,}4\cdot10^{16}$ м/с^2	0,1 Тл; 27,2 см
7	10^{-3} Тл; 0	10^{-2} Тл; 3,14 см
8	10 см; $4\cdot10^{-8}$ с	$1{,}73\cdot10^{-1}$ Тл; 9,1 см
9	$3\cdot10^{-3}$ Тл; $8{,}44\cdot10^{15}$ м/с^2	1800 В; 1 см
10	3 см; 0	3500 В; 0,43 см
11	$2\cdot10^{-3}$ Тл; $1{,}8\cdot10^{-8}$ с	900 В; 1 см
12	2880 В; $1{,}75\cdot10^{-24}$ кг·м^2/с	3500 В; 0,5 см
13	20,4 см; $3{,}3\cdot10^{-6}$ с	7900 В; 9,42 см
14	1600 В; $1{,}3\cdot10^{-22}$ кг·м^2/с	900 В; 16,3 см
15	$2\cdot10^{-2}$ Тл; $9{,}6\cdot10^{11}$ м/с^2	7900 В; 18,8 см
16	3600 В; 0	3200 В; 7,25 см
17	484 В; 0	0,14 Тл; 2 см
18	$5\cdot10^{-2}$ Тл; $2{,}4\cdot10^{-22}$ кг·м^2/с	10^{-1} Тл; 1,5 см
19	20 см; $1{,}9\cdot10^{11}$ м/с^2	$6{,}28\cdot10^{-2}$ Тл; 1 см
20	3600 В; $1{,}64\cdot10^{-6}$ с	$7{,}07\cdot10^{-3}$ Тл; 3 см
21	$5\cdot10^{-3}$ Тл; 0	30°; 21,76 см
22	1280 В; $1{,}5\cdot10^{16}$ м/с^2	30°; 5,44 см
23	20 см; $1{,}94\cdot10^{-24}$ кг·м^2/с	45°; 6,28 см
24	10^{-3} Тл; $3{,}6\cdot10^{-8}$ с	45°; 6,28 см
25	3 см; $1{,}2\cdot10^{-8}$ с	60°; 0,87 см
26	$3\cdot10^{-3}$ Тл; 0	45°; 1 см
27	2 см; $1{,}4\cdot10^{17}$ м/с^2	30°; 2,5 см
28	2000 В; $7{,}3\cdot10^{-24}$ кг·м^2/с	60°; 2,5 см

Номер задания	13.3	13.4	13.5	13.6
1	$6{,}2\cdot10^{-1}$	1,3 А	0,32 мм	2 см
2	$6\cdot10^{-2}$ Т	0,36 Тл	$6{,}6\cdot10^{-5}$ Ом·м	0,2 Тл
3	5 см	$8\cdot10^{-7}$ В	0,6 Тл	45°
4	30°	0,54 мм	0,5 А	$2{,}42\cdot10^{-4}$ Н
5	$3{,}06\cdot10^{-}$ Ж	2,46 А	$1{,}5\cdot10^{-3}$ В	2,5 см
6	0,1 Тл	0,55 Тл	0,65 $м^2$/В·с	1 Тл
7	3 см	$1{,}3\cdot10^{-7}$ В	0,426 мм	60°
8	30°	1,08 мм	$4\cdot10^{-5}$ Ом·м	$1{,}67\cdot10^{-3}$ Н
9	$1{,}4\cdot10^{-}$ К	2,15 А	0,88 Тл	1 см
10	$6\cdot10^{-3}$ Т	0,76 Тл	0,8 А	$6{,}66\cdot10^{-3}$ Тл
11	1,2 см	$7{,}8\cdot10^{-7}$ В	$8{,}8\cdot10^{-4}$ В	45°
12	60°	0,36 мм	$5\cdot10^{-2}$ $м^2$/В·с	$8{,}7\cdot10^{-4}$ Н
13	$2{,}76\cdot10$ Ж	3 А	0,33 мм	3 см
14	$4\cdot10^{-2}$	0,26 Тл	$6\cdot10^{-5}$ Ом·м	0,1 Тл
15	2 см	$4\cdot10^{-7}$ В	1 Тл	30°
16	45°	0,45 мм	0,66 А	$3{,}65\cdot10^{-4}$ Н
17	$3{,}5\cdot10^{-}$ К	5,25 А	$3{,}82\cdot10^{-4}$ В	2 см
18	$4\cdot10^{-3}$	0,4 Тл	$1{,}5\cdot10^{-2}$ $м^2$/В·с	$6{,}06\cdot10^{-2}$ Тл
19	8 см	$5{,}4\cdot10^{-7}$ В	0,18 мм	45°
20	30°	0,11 мм	$1{,}5\cdot10^{-5}$ Ом·м	$1{,}86\cdot10^{-3}$ Н
21	$2{,}76\cdot10$ Ж	7,2 А	0,91 Тл	4 см
22	0,7 Тл	0,84 Тл	0,2 А	0,1 Тл
23	4 см	$1{,}8\cdot10^{-6}$ В	$5{,}35\cdot10^{-4}$ В	60°
24	45°	0,9 мм	$5\cdot10^{-2}$ $м^2$/В·с	$7{,}74\cdot10^{-4}$ Н
25	$5{,}04\cdot10$ Ж	6 А	0,22 мм	5 см
26	$2\cdot10^{-3}$	0,8 Тл	10^{-5} Ом·м	0,2 Тл
27	8,66 см	$9{,}3\cdot10^{-7}$ В	1 Тл	60°
28	30°	0,39 мм	0,1 А	$2{,}23\cdot10^{-4}$ Н

Номер задания	13.7	13.8	13.9	13.10
1	$2,13 \cdot 10^{-6}$ Н·м	60°	2,5 см	0,12 Тл
2	$5 \cdot 10^{-3}$ Тл	20 Гц	6 см	0,5 А
3	10 см	4 см	2 А	6 см
4	45°	120 с	1 А	45°
5	0,2 А	$5,32 \cdot 10^{-2}$ Вб	$5,54 \cdot 10^{-8}$ Дж	60°
6	$1,7 \cdot 10^{-6}$ Н·м	$6 \cdot 10^{-2}$ Тл	2 см	$-2,3 \cdot 10^{-5}$ Дж
7	$7,51 \cdot 10^{-2}$ Тл	45°	10 см	0,2 Тл
8	16 см	10 Гц	2 А	0,8 А
9	60°	2 см	1,25 А	4 см
10	0,4 А	30 с	$4,16 \cdot 10^{-7}$ Дж	30°
11	$3,1 \cdot 10^{-7}$ Н·м	$1,04 \cdot 10^{-2}$ Вб	1,5 см	0
12	$4 \cdot 10^{-3}$ Тл	$8 \cdot 10^{-3}$ Тл	12 см	$-1,7 \cdot 10^{-3}$ Дж
13	8 см	60°	0,4 А	0,6 Тл
14	30°	15 Гц	1,33 А	0,1 А
15	0,2 А	5 см	$4,57 \cdot 10^{-7}$ Дж	5 см
16	$1,1 \cdot 10^{-5}$ Н·м	1 мин	6 см	180°
17	$2 \cdot 10^{-2}$ Тл	1,085 Вб	6 см	90°
18	10 см	$6 \cdot 10^{-3}$ Тл	2,5 А	$-1,38 \cdot 10^{-4}$ Дж
19	60°	45°	2 А	0,25 Тл
20	0,21 А	25 Гц	$3,86 \cdot 10^{-8}$ Дж	1 А
21	$1,9 \cdot 10^{-6}$ Н·м	3 см	4 см	2 см
22	$9,5 \cdot 10^{-3}$ Тл	50 с	9 см	60°
23	6 см	0,235 Вб	1 А	90°
24	30°	0,12 Тл	0,5 А	$3,12 \cdot 10^{-4}$ Дж
25	0,5 А	30°	$2 \cdot 10^{-7}$ Дж	0,4 Тл
26	$4,08 \cdot 10^{-6}$ Н·м	10 Гц	3 см	0,5 А
27	$8 \cdot 10^{-3}$ Тл	6 см	4 см	3 см
28	10 см	45 с	1,25 А	0°

Номер задания	14.1	14.2	14.3	14.4
1	$2{,}8\cdot10^{-5}$ Вб·м	1165	20,375°; 0,98	0,02 Тл
2	$1{,}5\cdot10^{-4}$	683	$2{,}048\cdot10^{-3}$ Тл; 43,6°	30 см
3	1 см	517	$4{,}987\cdot10^{-4}$ Тл; 29,75°	40 рад/с
4	$5\cdot10^{-3}$ Тл	430	45,567°; 1,02	60°
5	$4{,}1\cdot10^{-6}$ Вб·м	0,6 Тл	$8{,}186\cdot10^{-3}$ Тл; 60,75°	$8{,}1\cdot10^{-2}$ В
6	$-1{,}76\cdot10^{-4}$	0,9 Тл	$3{,}33\cdot10^{-3}$ Тл; 1,005	0,11 Тл
7	2 см	1,0 Тл	59,75°; 0,99	20 см
8	$2\cdot10^{-3}$ Тл	1,25 Тл	$5{,}008\cdot10^{-2}$ Тл; 40,113°	30 рад/с
9	$1{,}1\cdot10^{-4}$ Вб·м	5,8 А	20,11°; 1,006	45°
10	$-9\cdot10^{-6}$	2,4 А	$7{,}616\cdot10^{-3}$ Тл; 45,1436°	0,61 В
11	3 см	3,4 А	29,754°; 1,01	0,4 Тл
12	10^{-3} Тл	4,5 А	$3{,}976\cdot10^{-4}$ Тл; 59,8°	25 см
13	$4{,}84\cdot10^{-5}$ Вб·м	882 $м^{-1}$	$1{,}145\cdot10^{-2}$ Тл; 0,656°	50 рад/с
14	$1{,}4\cdot10^{-3}$	1070 $м^{-1}$	85,9°; 800	60°
15	2 см	811 $м^{-1}$	88,36°; $1{,}432\cdot10^{-3}$ Тл	0,15 В
16	$5\cdot10^{-2}$ Тл	757 $м^{-1}$	0,82°; $2\cdot10^{3}$	0,2 Тл
17	$8{,}75\cdot10^{-8}$ Вб·м	3,7 мм	87,8°; 10^{-3}	10 см
18	$-1{,}7\cdot10^{-5}$	4,7 мм	1,05°; $8\cdot10^{-4}$	60 рад/с
19	1 см	3,2 мм	$1{,}397\cdot10^{-1}$ Тл; 88,36°	45°
20	$3\cdot10^{-3}$ Тл	4,1 мм	$2{,}8\cdot10^{-3}$ Тл; 3,28°	0,215 В
21	$1{,}08\cdot10^{-5}$ Вб·м	34,5 см	87°; $3{,}14\cdot10^{-3}$ Тл	0,5 Тл
22	$1{,}4\cdot10^{-3}$	42 см	$2{,}87\cdot10^{-2}$ Тл; 0,683°	15 см
23	1 см	59 см	88°; 110	50 рад/с
24	10^{-2} Тл	1,35 м	1,215°; 900	30°
25	$6{,}93\cdot10^{-8}$ Вб·м	643	89°; 750	0,68 В
26	$1{,}2\cdot10^{-3}$	1126	$1{,}31\cdot10^{-4}$ Тл; 3,214°	0,3 Тл
27	3 см	1416	$1{,}26\cdot10^{-3}$ Тл; 85,45°	30 см
28	10^{-3} Тл	1894	1,312°; 10^{3}	20 рад/с

Номер задания	14.5	14.6	14.7
1	$5{,}25\cdot10^{-3}$ В	0,2 Тл	$2{,}4\cdot10^{-5}$ Гн; 0,6 мм
2	$9{,}02\cdot10^{-3}$ В	32,8 В	480; 0,4 А
3	$1{,}05\cdot10^{-2}$ В	600	$5{,}2\cdot10^{-5}$ Гн; $1{,}8\cdot10^{-3}$ Дж/м^3
4	$9{,}09\cdot10^{-5}$ В	20 см^2	380; 848
5	$8{,}48\cdot10^{-4}$ В	13, 07 В	$5{,}5\cdot10^{-4}$ Гн; 0, 8 А
6	$1{,}697\cdot10^{-3}$ В	1, 25 с	650 ; 0, 3 мм
7	$2{,}545\cdot10^{-3}$ В	0,3 Тл	0,7 мм; 4,2 см
8	$3{,}39\cdot10^{-3}$ В	840	$3{,}13\cdot10^{-5}$ Гн; 1200
9	0,02 В	800	570; 10^{-3} Дж/м^3
10	0,04 В	15 см^2	0,5 мм; 0,6 А
11	0,06 В	12,4 В	3,6 см; 2197
12	0,08 В	1,61 с	1387; 0,26 Дж/м^3
13	$6{,}49\cdot10^{-4}$ В	0,7 Тл	2,7 см; 0,35 А
14	$1{,}3\cdot10^{-3}$ В	65,39 В	$1{,}56\cdot10^{-5}$ Гн; 1 мм
15	$1{,}95\cdot10^{-3}$ В	1000	550; $2{,}1\cdot10^{-3}$ Дж/м^3
16	$2{,}6\cdot10^{-3}$ В	30 см^2	0,4 мм; 2097
17	$7{,}68\cdot10^{-2}$ В	26,97 В	$6{,}36\cdot10^{-5}$ Гн; $4{,}82\cdot10^{-4}$ Дж/м^3
18	$6{,}65\cdot10^{-2}$ В	3,01 с	0,75 А; 3907
19	$5{,}43\cdot10^{-2}$ В	0,4 Тл	418; 2300
20	$3{,}84\cdot10^{-2}$ В	40 см^2	0,12 мм; $4{,}2\cdot10^{-3}$ Дж/м^3
21	$2{,}6\cdot10^{-2}$ В	500	$9{,}34\cdot10^{-6}$ Гн; 0,18 А
22	$5{,}2\cdot10^{-2}$ В	24 см^2	817; 0,2 мм
23	$7{,}8\cdot10^{-2}$ В	68,04 В	2,8 см; 1798
24	0,104 В	4 с	5,6 см; $6{,}2\cdot10^{-5}$ Дж/м^3
25	$3{,}1\cdot10^{-3}$ В	0,5 Тл	250; 0,45 А
26	$6{,}23\cdot10^{-3}$ В	68,36 В	0,88 мм; 4 см
27	$9{,}35\cdot10^{-3}$ В	800	10^{-5} Гн; 923
28	$12{,}47\cdot10^{-3}$ В	25 см^2	1250; 0,106 Дж/м^3

Номер задания	14.8	14.9	14.10
1	23, 1 Ом	$3{,}3\cdot10^{-7}$ А/м^2	$2{,}1\cdot10^{-6}$ А/м
2	0,3 Гн	$8{,}8\cdot10^{-8}$ А/м^2	$2{,}97\cdot10^{-6}$ А/м
3	0,6 А	$2{,}3\cdot10^{-7}$ А/м^2	$4\cdot10^{-6}$ А/м
4	0,25 А	$4{,}4\cdot10^{-7}$ А/м^2	$2{,}55\cdot10^{-6}$ А/м
5	$4\cdot10^{-3}$ с	$3{,}46\cdot10^{-7}$ А/м^2	$-2\cdot10^{-6}$ А/м
6	20 Ом	$2\cdot10^{-7}$ А/м^2	$-2{,}35\cdot10^{-6}$ А/м
7	0,12 Гн	$1{,}25\cdot10^{-7}$ А/м^2	$-4\cdot10^{-6}$ А/м
8	1 А	$8{,}65\cdot10^{-8}$ А/м^2	$-4{,}2\cdot10^{-6}$ А/м
9	0,2 А	$3{,}1\cdot10^{-7}$ А/м^2	$1{,}4\cdot10^{-6}$ А/м
10	$5\cdot10^{-4}$ с	$6{,}2\cdot10^{-7}$ А/м^2	$7{,}1\cdot10^{-6}$ А/м
11	80 Ом	$9{,}3\cdot10^{-7}$ А/м^2	$4{,}7\cdot10^{-7}$ А/м
12	0,7 Гн	$1{,}24\cdot10^{-6}$ А/м^2	$3{,}54\cdot10^{-7}$ А/м
13	0,5 А	10^{-7} А/м^2	$1{,}28\cdot10^{-6}$ А/м
14	0,1 А	$5\cdot10^{-8}$ А/м^2	$2{,}57\cdot10^{-6}$ А/м
15	$1{,}45\cdot10^{-2}$ с	$3\cdot10^{-8}$ А/м^2	$3{,}85\cdot10^{-6}$ А/м
16	80 Ом	$2\cdot10^{-8}$ А/м^2	$5{,}14\cdot10^{-6}$ А/м
17	0,126 Гн	$5{,}8\cdot10^{-8}$ А/м^2	$-3\cdot10^{-6}$ А/м
18	0,2 А	$1{,}2\cdot10^{-7}$ А/м^2	$1{,}77\cdot10^{-6}$ А/м
19	0,02 А	$5{,}2\cdot10^{-7}$ А/м^2	$-2\cdot10^{-6}$ А/м
20	$3\cdot10^{-3}$ с	$2{,}1\cdot10^{-6}$ А/м^2	$-5\cdot10^{-6}$ А/м
21	150 Ом	$7{,}74\cdot10^{-8}$ А/м^2	$2{,}5\cdot10^{-6}$ А/м
22	0,048 Гн	$9{,}91\cdot10^{-8}$ А/м^2	$5\cdot10^{-6}$ А/м
23	0,7 А	$1{,}03\cdot10^{-7}$ А/м^2	$7{,}5\cdot10^{-6}$ А/м
24	0,02 А	$1{,}01\cdot10^{-7}$ А/м^2	10^{-5} А/м
25	$4\cdot10^{-3}$ с	$1{,}1\cdot10^{-7}$ А/м^2	$2{,}5\cdot10^{-7}$ А/м
26	60 Ом	$9{,}1\cdot10^{-8}$ А/м^2	$-8{,}8\cdot10^{-7}$ А/м
27	0,22 Гн	$2{,}4\cdot10^{-8}$ А/м^2	$-2{,}8\cdot10^{-6}$ А/м
28	1,2 А	$6{,}8\cdot10^{-10}$ А/м^2	$-2{,}7\cdot10^{-6}$ А/м

15.1

Номер задания	$x = A\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$, см	T, с	x_0	v_{max}, м/с	a_{max}, м/с^2
1	$x = 0{,}5\cos(5\pi t + \pi/4)$	0,4	0,3	$7{,}85\cdot10^{-2}$	1,23
2	$x = 3{,}2\cos(2{,}5\pi t + \pi/2)$	0,8	0	0,25	1,974
3	$x = 2\cos(10\pi t - \pi/4)$	0,2	1,4	0,628	19,74
4	$x = 1{,}4\cos(12{,}5\pi t - \pi/2)$	0,16	0	0,55	21,6
5	$x = 1{,}5\cos(6{,}25\pi t + \pi/4)$	0,32	1,1	0,29	5,78
6	$x = 0{,}3\cos(20\pi t + \pi/2)$	0,1	0	0,19	11,84
7	$x = 2{,}2\cos(5\pi t - \pi/4)$	0,4	1,5	0,345	5,43
8	$x = 2{,}4\cos(25\pi t - \pi/2)$	0,08	0	1,885	148,0
9	$x = 1{,}2\cos(10\pi t + \pi/2)$	0,2	0	0,37	11,84
10	$x = 3{,}3\cos(50\pi t + \pi)$	0,04	–3	5,18	814,2
11	$x = 0{,}4\cos(5\pi t - \pi/2)$	0,4	0	$6{,}28\cdot10^{-2}$	0,987
12	$x = 2{,}5\cos(12{,}5\pi t - \pi)$	0,16	–2	0,98	38,55
13	$x = 0{,}2\cos(100\pi t + \pi/4)$	0,02	0,1	0,628	197,4
14	$x = 1{,}3\cos(2{,}5\pi t - \pi/4)$	0,8	0,9	0,102	0,8
15	$x = 2{,}4\cos(12{,}5\pi t + \pi/2)$	0,16	0	0,942	37,0
16	$x = 1{,}5\cos(25\pi t - \pi/2)$	0,08	0	1,178	92,5
17	$x = 1{,}2\cos(5\pi t - \pi/2)$	0,4	0	0,188	2,96
18	$x = 3{,}0\cos(50\pi t + \pi/2)$	0,04	0	4,7	740,2
19	$x = 0{,}4\cos(25\pi t - \pi/4)$	0,08	0,2	0,314	24,67
20	$x = 5{,}0\cos(6{,}25\pi t + \pi/4)$	0,32	3,5	0,98	19,28
21	$x = 2{,}0\cos(12{,}5\pi t + \pi)$	0,16	–2	0,785	30,84
22	$x = 3{,}5\cos(20\pi t - \pi)$	0,1	–3	2,2	138,2
23	$x = 4{,}2\cos(6{,}25\pi t + \pi/2)$	0,32	0	0,825	16,2
24	$x = 0{,}5\cos(10\pi t - \pi/2)$	0,2	0	0,157	4,93
25	$x = 2{,}5\cos(20\pi t - \pi/4)$	0,1	1,7	1,57	98,6
26	$x = 0{,}6\cos(25\pi t + \pi/4)$	0,08	0,4	0,47	37,0
27	$x = 4{,}0\cos(100\pi t - \pi/2)$	0,02	0	12,57	3,948
28	$x = 5{,}2\cos(10\pi t + \pi/2)$	0,2	0	1,63	51,32

Номер задания	15.2	15.3	15.4
1	1 см; 1,7 см	$2{,}5 \cdot 10^{-2}$ Н	1,256 с
2	4 см; 5 см	3 см	0,628 с
3	3,0 см/с; 2,05 см	0,4 кг	3,14 с
4	2 см/с; 3,08 см	0,2 с	1,885 с
5	4,7 с; 1,92 см	0,34 Н	0,565 с
6	3 см; 4,01 см	12 см	1,26 с
7	0,5 см; 0,82 см	40 г	0,628 с
8	4 см/с; 6,05 см	1,6 с	0,5 с
9	3 см/с; 1,41 см	197,4 Н	0,83 с
10	4,2 с; 2,84 см	5 см	0,67 с
11	5 см; 6,05 см	1 кг	0,86 с
12	6 см; 6,07 см	0,08 с	0,93 с
13	2,5 см/с; 2,1 см	25,9 Н	0,565 с
14	2,0 см/с; 0,87 см	4 см	0,5 с
15	5,55 с; 4,19 см	0,8 кг	0,377 с
16	0,5 см; 1,86 см	0,4 с	0,628 с
17	2 см; 2,14 см	0,11 Н	0,46 с
18	2 см/с; 0,846 см	6 см	0,66 с
19	1 см/с; 2,97 см	0,2 кг	0,96 с
20	1,8 с; 6,07 см	0,32 с	1,13 с
21	2,0 см; 2,53 см	98,7 Н	0,73 с
22	0,8 см; 0,87 см	1 см	1,16 с
23	6,0 см/с; 6,56 см	50 г	1,465 с
24	3 см/с; 2,42 см	0,8 с	1,64 с
25	3,07 с; 3,06 см	4,74 Н	0,93 с
26	0,2 см; 0,61 см	8 см	1,41 с
27	7,0 см; 7,03 см	0,5 кг	1,96 с
28	3,0 см/с; 1,32 см	0,2 с	2,09 с

Номер задания	15.5	15.6
1	2,5 м	2 см; 2 Н
2	1,24 м	8 Н; 133,3 Н/м
3	84 см	400 Н/м; $2 \cdot 10^{-2}$ Дж
4	50,5 см	2,5 см; $8{,}75 \cdot 10^{-2}$ Дж
5	4 см	4 см; 12 Н
6	8 см	18 Н; 600 Н/м
7	12 см	400 Н/м; 0,5 Дж
8	20 см	1,5 см; $1{,}125 \cdot 10^{-2}$ Дж
9	50 см	1 см; 14 Н
10	1 м	3 Н; 375 Н/м
11	1,5 м	533 Н/м; 0,06 Дж
12	2 м	2,5 см; $6{,}25 \cdot 10^{-2}$ Дж
13	2 см	0,75 см; 1,5 Н
14	4 см	6 Н; 240 Н/м
15	6 см	278 Н/м; $1{,}125 \cdot 10^{-2}$ Дж
16	8 см	4 см; 0,24 Дж
17	14,7 %	5 см; 5 Н
18	32 %	9 Н; 225 Н/м
19	23,5 %	500 Н/м; 0,9 Дж
20	32 %	0,5 см; $4 \cdot 10^{-3}$ Дж
21	5 м	0,3 см; 0,7 Н
22	2,5 м	16 Н; 800 Н/м
23	1 м	200 Н/м; 0,09 Дж
24	50,7 см	0,8 см; $2{,}56 \cdot 10^{-2}$ Дж
25	1 см	0,6 см; 2,5 Н
26	2 см	4 Н; 571,4 Н/м
27	5 см	180 Н/м; $2{,}25 \cdot 10^{-3}$ Дж
28	10 см	3 см; 0,27 Дж

15.7

Номер задания	W_{p1}, Дж	W_p, к	W_{k1}, Дж	W_{k2}, Дж	W, Дж	T, с
1	$3{,}08\cdot10^{-3}$		0			
2	0	1,54·1	$3{,}08\cdot10^{-3}$	$1{,}54\cdot10^{-3}$	$3{,}08\cdot10^{-3}$	1,6
3	$3{,}08\cdot10^{-3}$		0			
4	0		$3{,}08\cdot10^{-3}$			
5	$2{,}22\cdot10^{-4}$		0			
6	0	1,11·1	$2{,}22\cdot10^{-4}$	$1{,}11\cdot10^{-4}$	$2{,}22\cdot10^{-4}$	4
7	$2{,}22\cdot10^{-4}$		0			
8	0		$2{,}22\cdot10^{-4}$			
9	$1{,}54\cdot10^{-2}$		0			
10	0		$1{,}54\cdot10^{-2}$			
11	$1{,}54\cdot10^{-2}$	7,7·1	0	$7{,}7\cdot10^{-3}$	$1{,}54\cdot10^{-2}$	0,16
12	0		$1{,}54\cdot10^{-2}$			
13	$2{,}3\cdot10^{-4}$		0			
14	0		$2{,}3\cdot10^{-4}$			
15	$2{,}3\cdot10^{-4}$	1,15·	0	$1{,}15\cdot10^{-4}$	$2{,}3\cdot10^{-4}$	8
16	0		$2{,}3\cdot10^{-4}$			
17	$1{,}1\cdot10^{-2}$		0			
18	0		$1{,}1\cdot10^{-2}$			
19	$1{,}1\cdot10^{-2}$	5,55·	0	$5{,}55\cdot10^{-3}$	$1{,}1\cdot10^{-2}$	0,4
20	0		$1{,}1\cdot10^{-2}$			
21	$7{,}4\cdot10^{-3}$		0			
22	0		$7{,}4\cdot10^{-3}$			
23	$7{,}4\cdot10^{-3}$	3,7·1	0	$3{,}7\cdot10^{-3}$	$7{,}4\cdot10^{-3}$	0,8
24	0		$7{,}4\cdot10^{-3}$			
25	$2{,}7\cdot10^{-2}$		0			
26	0	1,35²	$2{,}7\cdot10^{-2}$	$1{,}35\cdot10^{-2}$	$2{,}7\cdot10^{-2}$	0,32
27	$2{,}7\cdot10^{-2}$		0			
28	0		$2{,}7\cdot10^{-2}$			

Номер задания	15.8	15.9
1	35 – 1200 пФ	$U_C = 133\cos 3{,}3\cdot 10^3 t)$
2	223 – 1798 м	$U_C = 29{,}4\cos 2\cdot 10^3 t)$
3	$6\cdot 10^{-4}$ Гн; 10 пФ	$U_C = 666{,}6\cos 10t$
4	$2\cdot 10^{-5}$ Гн; 56,5 м	$U_C = 100\cos 324{,}5 t)$
5	8 – 900 пФ	$U_C = 6\cos 3t$
6	42 – 480,6 м	$U_C = 150\cos 90t$
7	$5\cdot 10^{-5}$ Гн; 25 пФ	$U_C = 160\cos 65t$
8	$3\cdot 10^{-4}$ Гн; 206,5 см	$U_C = 0{,}7\cos 2\cdot 10^4 t)$
9	15 – 750 пФ	$U_C = 250\cos 0{,}6t$
10	92,3 – 923 м	$U_C = 800\cos 47\cdot 10^4 t)$
11	$3{,}5\cdot 10^{-4}$ Гн; 1300 пФ	$U_C = 3{,}125\,84t$
12	$7\cdot 10^{-4}$ Гн; 1410,6 м	$U_C = 133{,}3\,260t$
13	$2\cdot 10^{-4}$ Гн; 45 пФ	$U_C = 500\cos\cdot 10^4 t)$
14	$8\cdot 10^{-4}$ Гн; 292 м	$U_C = 500\cos\cdot 10^3 t)$
15	20 – 1100 пФ	$U_C = 28{,}6\cos 9t$
16	73 – 1632,4 м	$U_C = 75\cos t$
17	6 – 1000 пФ	$U_C = 50\cos t$
18	37,7 – 357,6 м	$U_C = 50\cos$
19	$5\cdot 10^{-4}$ Гн; 700 пФ	$U_C = 266{,}6\cos 8\cdot 10^4 t)$
20	10^{-4} Гн; 777,2 м	$U_C = 87{,}5\cos 01t$
21	5 – 1000 пФ	$U_C = 50\cos t$
22	40 – 342,4 м	$U_C = 466{,}6\cos 165t$
23	$9\cdot 10^{-4}$ Гн; 40 пФ	$U_C = 100\cos 7t$
24	$4\cdot 10^{-4}$ Гн; 261,2 м	$U_C = 333{,}3\cos 5{,}7t$
25	50 – 800 пФ	$U_C = 100\cos 1{,}5t$
26	163,2 – 1306 м	$U_C = 140\cos$
27	$6\cdot 10^{-5}$ Гн; 43,8 м	$U_C = 11{,}1\cos 4t$
28	$7\cdot 10^{-4}$ Гн; 30 пФ	$U_C = 6{,}9\cos t$

Номер задания	15.9 (продолжение)
1	$i = 2{,}6\cdot10^{-2}\cos(3{,}3\cdot10^{3}t + \pi/2)$; $U_C = 0$; $i_t = -26$ мА
2	$i = 0{,}06\cos(1{,}2\cdot10^{3}t + \pi/2)$; $U_C = 0$; $i_t = -60$ мА
3	$i = 0{,}426\cos(710t + \pi/2)$; $U_C = 0$; $i_t = -426$ мА
4	$i = 0{,}016\cos(6324{,}5t + \pi/2)$; $U_C = 0$; $i_t = -16$ мА
5	$i = 3{,}46\cdot10^{-3}\cos(577{,}3t + \pi/2)$; $W_{эл} = 0$; $W_м = 1{,}8\cdot10^{-5}$ Дж
6	$i = 0{,}057\cos(1890t + \pi/2)$; $W_{эл} = 0$; $W_м = 2{,}274\cdot10^{-3}$ Дж
7	$i = 0{,}065\cos(8165t + \pi/2)$; $W_{эл} = 0$; $W_м = 6{,}34\cdot10^{-4}$ Дж
8	$i = 0{,}012\cos(1{,}2\cdot10^{4}t + \pi/2)$; $W_{эл} = 0$; $W_м = 3{,}6\cdot10^{-7}$ Дж
9	$i = 0{,}158\cos(790{,}6t + \pi/2)$; $W = W_м = 2{,}5\cdot10^{-2}$ Дж
10	$i = 0{,}357\cos(4{,}47\cdot10^{4}t + \pi/2)$; $W = W_м = 3{,}2\cdot10^{-3}$ Дж
11	$i = 4{,}4\cdot10^{-3}\cos(884t + \pi/2)$; $W = W_м = 7{,}74\cdot10^{-6}$ Дж
12	$i = 0{,}05\cos(1260t + \pi/2)$; $W = W_м = 2{,}625\cdot10^{-3}$ Дж
13	$i = 0{,}25\cos(2{,}5\cdot10^{4}t + \pi/2)$; $W_{эл} = 2{,}5\cdot10^{-3}$ Дж; $W_м = 0$
14	$i = 0{,}125\cos(2{,}5\cdot10^{3}t + \pi/2)$; $W_{эл} = 1{,}25\cdot10^{-2}$ Дж; $W_м = 0$
15	$i = 1{,}95\cdot10^{-2}\cos(9759t + \pi/2)$; $W_{эл} = 2{,}86\cdot10^{-5}$ Дж; $W_м = 0$
16	$i = 0{,}116\cos(1291t + \pi/2)$; $W_{эл} = 3{,}375\cdot10^{-3}$ Дж; $W_м = 0$
17	$i = 0{,}274\cos(9129t + \pi/2)$; $U_C = -50$ В; $i_t = 0$
18	$i = 0{,}09\cos(913t + \pi/2)$; $U_C = -50$ В; $i_t = 0$
19	$i = 0{,}1\cos(2{,}58\cdot10^{4}t + \pi/2)$; $U_C = -266{,}6$ В; $i_t = 0$
20	$i = 0{,}022\cos(3101t + \pi/2)$; $U_C = -87{,}5$ В; $i_t = 0$
21	$i = 0{,}029\cos(1443t + \pi/2)$; $U_C = 0$; $i_t = -29$ мА
22	$i = 5{,}7\cos(8165t + \pi/2)$; $U_C = 0$; $i_t = -5{,}7$ А
23	$i = 0{,}015\cos(3727t + \pi/2)$; $U_C = 0$; $i_t = -15$ мА
24	$i = 0{,}47\cos(785{,}7t + \pi/2)$; $U_C = 0$; $i_t = -470$ мА
25	$i = 0{,}011\cos(3651{,}5t + \pi/2)$; $W = W_{эл} = 1{,}5\cdot10^{-4}$ Дж
26	$i = 0{,}7\cos(10^{4}t + \pi/2)$; $W = W_{эл} = 4{,}9\cdot10^{-3}$ Дж
27	$i = 4\cdot10^{-3}\cos(3984t + \pi/2)$; $W = W_{эл} = 5{,}54\cdot10^{-6}$ Дж
28	$i = 4{,}7\cdot10^{-3}\cos(524t + \pi/2)$; $W = W_{эл} = 3{,}1\cdot10^{-5}$ Дж

Номер задания	15.10	
1		$T = 3{,}6 \cdot 10^{-9}$ с
2		$L = 6{,}7 \cdot 10^{-10}$ Гн
3	$i = 17{,}28\cos(5{,}5 \cdot 10^{8}\pi t + 3\pi/4)$, A	$q_m = 10^{-8}$ Кл
4		$\lambda = 1{,}08$ м
5		$L = 3{,}17 \cdot 10^{-10}$ Гн
6		$q_m = 10^{-8}$ Кл
7	$i = 12{,}56\cos(4 \cdot 10^{8}\pi t)$, A	$\lambda = 1{,}5$ м
8		$T = 5 \cdot 10^{-9}$ с
9		$q_m = 2{,}1 \cdot 10^{-8}$ Кл
10		$\lambda = 1{,}2$ м
11	$i = 33\cos(5 \cdot 10^{8}\pi t + \pi/4)$, A	$T = 4 \cdot 10^{-9}$ с
12		$L = 6{,}75 \cdot 10^{-10}$ Гн
13		$\lambda = 1{,}7$ м
14		$T = 5{,}7 \cdot 10^{-9}$ с
15	$i = 5{,}5\cos(3{,}5 \cdot 10^{8}\pi t)$, A	$L = 4{,}135 \cdot 10^{-9}$ Гн
16		$q_m = 5 \cdot 10^{-9}$ Кл
17		$T = 2{,}5 \cdot 10^{-9}$ с
18		$L = 1{,}58 \cdot 10^{-10}$ Гн
19	$i = 37{,}7\cos(8 \cdot 10^{8}\pi t + 3\pi/4)$, A	$q_m = 1{,}5 \cdot 10^{-8}$ Кл
20		$\lambda = 0{,}75$ м
21		$L = 6{,}25 \cdot 10^{-10}$ Гн
22		$q_m = 8 \cdot 10^{-9}$ Кл
23	$i = 11{,}3\cos(4{,}5 \cdot 10^{8}\pi t + \pi/4)$, A	$T = 4{,}44 \cdot 10^{-9}$ с
24		$\lambda = 1{,}33$ м
25		$q_m = 3{,}6 \cdot 10^{-8}$ Кл
26		$\lambda = 2$ м
27	$i = 33{,}9\cos(3 \cdot 10^{8}\pi t)$, A	$L = 9{,}38 \cdot 10^{-10}$ Гн
28		$T = 6{,}66 \cdot 10^{-9}$ с

Номер задания	16.1	16.2
1	$x = 4,635 \sin (5\pi t + \pi)$ см	1 см; $\pi/6$ рад/с
2	$x = 2,4 \cos (10\pi t - 0,4$м	$\pi/6$ рад/с; $(3 + 12n)$ с, n=0,1,2,...
3	$x = 8,54\cos (5\pi t - 0,13$см	1 с; 0,6 см
4	$x = 6,083 \sin (0,5\pi t - 0)$ см	3 см; 2 с
5	$x = 4,47 \sin (18\pi t + 0,)$ см	$\pi/6$ рад/с; $(2+12n)$ с, n=0,1,2,...
6	$x = 1,8\sin (6\pi t + 0,02\pi$	$5\pi/3$ рад/с; 4,24 см
7	$x = 5,57\cos(25\pi t + 0)$ см	5 см; 6 с
8	$x = 10,8\cos (40\pi t - 0r)$ см	4 с; $(1+4n)$ с, n = 0,1,2,...
9	$x = 12,49\cos (8\pi t - 0f)$ см	$\pi/6$ рад/с; 0,85 см
10	$x = 4,36\sin (14\pi t + 0$ см	2 см; 10π рад/с
11	$x = 4,84\sin (30\pi t - 0)$ см	12 с; $(3 + 12n)$ с, n = 0,1,2,...
12	$x =$ 6 $\cos (2\pi t - 0,1$ см	20 с; 2,83 см
13	$x = 4,335\cos (24\pi t -$) см	4 см; $5\pi/6$ рад/с
14	$x = 11,6 \sin (9\pi t + 0,$ см	$\pi/2$ рад/с; $4n$ с, n=0,1,2,...
15	$x = 5,97\cos (35\pi t - 0\pi)$ см	6 с; 1,2 см
16	$x = 9,9\sin (16\pi t + 0,2\pi$	1 см; 0,4 с
17	$x = 4,44\cos (20\pi t + 0r)$ см	$\pi/2$ рад/с; $(1+4n)$ с, n=0,1,2,...
18	$x = 0,6\sin (3\pi t - 0,3$ м	$\pi/3$ рад/с; 1 см
19	$x = 6,25\sin (28\pi t + 0,$ см	5 см; 12 с
20	$x = 8,62\cos (12\pi t + 0,$ см	20 с; $(5+20n)$ с, n=0,1,2,...
21	$x = 2,91\cos (45\pi t + 0)$ см	$\pi/9$ рад/с; 1,56 см
22	$x = 5,27\sin (4\pi t - 0,$ см	2 см; $5\pi/6$ рад/с
23	$x = 8,0\cos (15\pi t - 0,)$ см	6 с; $(2 + 6n)$ с, n=0,1,2,...
24	$x = 19,8\sin (60\pi t -$ (см	0,5 с; 8 см
25	$x = 2,83\sin (22\pi t + 0)$ см	3 см. 5π рад/с
26	$x = 6,57\cos (50\pi t + 0)$ см	$\pi/6$ рад/с; $(4+12n)$ с, n=0,1,2,...
27	$x = 17,66\sin (7\pi t + 0)$ см	5 с; 2 см
28	$x = 1,06\cos (34\pi t - 8\pi)$ см	4 см; 0,8 с

Номер задания	16.3	16.4
1	$x^2 + y^2 = 4$; окружность	1,2 м
2	$y = -2x$; прямая	5 см
3	$y = 2x$; прямая	8 см
4	$x^2/4 + y^2/16 = 1$; эллипс	10,34 с
5	$y = -7x$; прямая	2 м
6	$x^2 + y^2/49 = 1$; эллипс	4 см
7	$x^2 + y^2 = 1$; окружность	12 см
8	$y = 7x$; прямая	22,8 с
9	$x^2/9 + y^2/225 = 1$; эллипс	3 м
10	$y = 5x$; прямая	3,5 см
11	$y = -5x$; прямая	7 см
12	$x^2 + y^2 = 9$; окружность	14,9 с
13	$y = -3x$; прямая	2,5 м
14	$x^2 + y^2 = 81$; окружность	5 см
15	$x^2/9 + y^2/81 = 1$; эллипс	5 см
16	$y = 3x$; прямая	30,7 с
17	$y = 1,5x$; прямая	1 м
18	$x^2/16 + y^2/36 = 1$; эллипс	7 см
19	$y = -1,5x$; прямая	10 см
20	$x^2 + y^2 = 16$; окружность	8,25 с
21	$x^2 + y^2 = 4$; окружность	1,5 м
22	$x^2/4 + y^2/64 = 1$; эллипс	6 см
23	$y = 4x$; прямая	8 см
24	$y = -4x$; прямая	20,6 с
25	$y = -0,5x$; прямая	3,5 м
26	$y = 0,5x$; прямая	7,5 см
27	$x^2/36 + y^2/9 = 1$; эллипс	12 см
28	$x^2 + y^2 = 9$; окружность	27,44 с

Номер задания	16.5	16.6	16.7
1	80,5 с; 161; 0,01; 0,02	0,02 Гн	38 %
2	3,49; 0,025 $с^{-1}$; 62,8; 0,1	3,6 мкФ	47 %
3	20 с; 2,72; 0,025; 125,6	1,5 Ом	55 %
4	80; 0,1 $с^{-1}$; 0,025; 0,05	1,032	61,5 %
5	66 с; 2,69; 95,2; 0,066	0,25 Гн	19,1 %
6	60; 0,025 $с^{-1}$; 0,05; 0,1	9 мкФ	34,6 %
7	100 с; 25; 0,1; 31,4	4 Ом	47,1 %
8	11; 0,04 $с^{-1}$; 125,6; 0,05	1,934	57,2 %
9	120 с; 3,32; 0,02; 0,04	0,1 Гн	2,17 с
10	30; 0,02 $с^{-1}$; 0,05; 62,8	3,3 мкФ	1,45 с
11	50 с; 7,39; 31,4; 0,2	1,2 Ом	1,09 с
12	40; 0,04 $с^{-1}$; 0,033; 0,067	1,207	0,87 с
13	80 с; 80; 0,02; 157	0,05 Гн	2,3 с
14	5,47; 0,02 $с^{-1}$; 314; 0,02	7,8 мкФ	3 с
15	167 с; 7,4; 0,017; 0,033	1,4 Ом	4 с
16	55; 0,02 $с^{-1}$; 0,04; 78,5	1,514	5,8 с
17	45 с; 6,05; 157; 0,04	0,04 Гн	21,2 %
18	50; 0,01 $с^{-1}$; 0,03; 0,06	36 мкФ	38 %
19	90 с; 60; 0,015; 209	1,0 Ом	51,1 %
20	6,05; 0,04 $с^{-1}$; 52,3; 0,12	1,17	61,5 %
21	40 с; 7,39; 0,04; 0,08	0,06 Гн	5,8 с
22	40; 0,05 $с^{-1}$; 0,06; 52,3	4,5 мкФ	2,9 с
23	50 с; 7,39; 39,3; 0,16	3,0 Ом	1,93 с
24	90; 0,01 $с^{-1}$; 0,015; 0,03	1,266	1,45 с
25	65 с; 130; 0,01; 314	0,2 Гн	27,3 %
26	1,82; 0,01 $с^{-1}$; 78,5; 0,08	2 мкФ	41,2 %
27	8 с; 2,056 с; 0,06; 0,12	5,0 Ом	52,4 %
28	70; 0,02 $с^{-1}$; 0,03; 104,7	1,078	61,5 %

Номер задания	16.8	16.9	16.10
1	0, 38 см	0, 2 кг	6,88 Ом; 5505 рад/с; $7{,}9\cdot10^{-5}$ Кл; 436 мА; 360 В
2	0,44 см	0,2 см	0,3 Гн; 6,73 Ом; 1,2 В; 178 мА ; 252 В
3	0,57 см	0,15 $с^{-1}$	0,8 мкФ;2,5 В; 2500 рад/с; 100; $2\cdot10^{-4}$ Кл
4	1,02 см	1,5 Н	0,1 Гн; 3 Ом; 5952 рад/с; 200; $5\cdot10^{-5}$ Кл
5	1,32 см	39,8 см	0,1 Гн; 5787 рад/с; 90; $4\cdot10^{-5}$ Кл; 234 мА
6	1,925 см	0,3 кг	0,35 мкФ; 2 В; 140; 443 мА; 280 В
7	3,75 см	0,4 см	0,185 Гн; 8 Ом; 3676 рад/с; $1{,}1\cdot10^{-4}$ Кл; 272 В
8	18,3 см	0,1 $с^{-1}$	0,39 мкФ; 7 Ом; 1,4В; 2917 рад/с; $6{,}86\cdot10^{-5}$ Кл
9	18,1 см	0,4 Н	0,4 Гн; 0,2 мкФ; 2 В; $3{,}8\cdot10^{-5}$ Кл; 134 мА
10	3,57 см	45,6 см	4,77 Ом; 1,4 В; 6202 рад/с; 293,5 мА; 182 В
11	0,65 см	0,05 кг	0,13 Гн; 0,44 мкФ; 0,9 В; 120; $4{,}76\cdot10^{-5}$ Кл
12	0,29 см	0,3 см	0,19 Гн; 0,133 мкФ; 8 Ом; $1{,}6\cdot10^{-5}$ Кл; 120 В
13	0,41 см	0,05 $с^{-1}$	0,1 мкФ; 12,8 Ом; $3{,}5\cdot10^{-5}$ Кл; 195 мА; 350 В
14	0,48 см	0,6 Н	0,15 Гн; 3 В; 120; 509 мА; 360 В
15	0,6 см	82,4 см	0,77 мкФ; 9 Ом; 1800 рад/с; 80; $1{,}94\cdot10^{-4}$ Кл
16	0,85 см	0,1 кг	1 мкФ; 4 Ом; 1,6 В; 2200 рад/с; $1{,}82\cdot10^{-4}$ Кл
17	3,12 см	0,1 см	8,94 Ом; 7454 рад/с; 150; $1{,}8\cdot10^{-5}$ Кл; 134 мА
18	12,43 см	0,2 $с^{-1}$	0,15 мкФ; 7 Ом; 1,5 В; 214 мА; 270 В
19	20,67 см	0,5 Н	0,05 Гн; 4 В; 8889 рад/с; $9\cdot10^{-5}$ Кл; 360 В
20	12,26 см	89,3 см	0,05 Гн; 5000 рад/с; 125; $4\cdot10^{-5}$ Кл; 0,2 А
21	2,97 см	0,25 кг	0,3 Гн; 1,4 В; 4082 рад/с; $2{,}8\cdot10^{-5}$ Кл; 114 мА
22	1,46 см	0,5 см	4 В; 3535 рад/с; 105; 594 мА; 420 В
23	0,95 см	0,3 $с^{-1}$	0,23 Гн; 0,33 мкФ; 12 Ом; $1{,}67\cdot10^{-4}$ Кл; 504 В
24	0,7 см	1,0 Н	0,33 Гн; 0,1 мкФ; 20 Ом; 90; $2{,}78\cdot10^{-5}$ Кл
25	0,32 см	20,2 см	0,2 Гн; 0,3 мкФ; $1{,}2\cdot10^{-4}$ Кл; 485 мА; 396 В
26	0,2 см	0,15 кг	0,15 Гн; 3,65 Ом; 2,72 В; 745 мА; 408 В
27	0,14 см	0,6 см	0,195 мкФ; 3,6 В; 4286 рад/с; 100; $7\cdot10^{-5}$ Кл
28	0,1 см	0,25 $с^{-1}$	0,035 Гн; 3 Ом; 6944 рад/с; 80; $7{,}2\cdot10^{-5}$ Кл

Номер задания	17.1	7.2	17.3
1	400 Гц; 330 м/с	0 64 м	7 м; 10 м
2	300 Гц; 0,942 м/с	3 128 м	0,4625 м; 0,5 м
3	0,24 мм; 337,5 м/с	0 192 м	$\pi/2$ рад; 20 м
4	$7 \cdot 10^{-2}$ м; 14,45 м/с	–; 256 м	9,42 рад/м; 0,67 м
5	0,15 мм; 1400 м/с	– см; 320 м	2,5 м; 4 м
6	0,3 мм; 0,38 м	2м; 384 м	4 м; 1 м
7	4000 Гц; 7,04 м/с	1м; 448 м	π рад; 5 м
8	400 м/с; 0,126 м/с	–; 512 м	0,785 рад/м; 8 м
9	3000 Гц; 360 м/с	4 600 м	3 м; 2 м
10	6,5 м; 0,493 м/с	3м; 900 м	4,2 м; 0,4 м
11	0,5 мм; 704 м/с	2м; 1200 м	$\pi/2$ рад; 5 м
12	800 Гц; 1,61 м/с	1[illegible]; 1500 м	1,887 рад/м; 3,33 м
13	1200 Гц; 1,96 м/с	2м; 150 м	1,2 м; 0,25 м
14	750 Гц; 630 м/с	3[illegible]; 300 м	5,53 м; 6,67 м
15	0,36 мм; 1,2 м	0 450 м	5π рад; 0,167 м
16	0,15 м; 6,03 м/с	–м; 600 м	2,5 рад/м; 2,5 м
17	2000 Гц; 5,026 м/с	– см; 66 м	3,1 м; 0,33 м
18	0,8 мм; 361,2 м/с	– см; 132 м	7,5 м; 10 м
19	3,3 м; 0,723 м/с	4м; 198 м	π рад; 0,2 м
20	300 Гц; 360 м/с	– см; 264 м	0,314 рад/м; 20 м
21	1,1 м; 3,3 м/с	4м; 330 м	1,2 м; 1 м
22	0,1 мм; 625 м/с	4м; 396 м	1,8 м; 0,4 м
23	120 Гц; 384 м/с	– см; 462 м	$\pi/2$ рад; 5 м
24	450 Гц; 0,35 мм	–[illegible]; 528 м	7,854 рад/м; 0,8 м
25	350 м/с; 0,785 м/с	– см; 640 м	0,7 м; 0,5 м
26	250 Гц; 400 м/с	– см; 960 м	0,6 м; 0,2 м
27	0,08 мм; 0,12 м	0м; 1280 м	2π рад; 4 м
28	4,2 м; 0,339 м/с	1м; 1600 м	0,628 рад/м; 10 м

Номер задания	17.4
1	4,0 м
2	5,0 см
3	$(0,25 + 0,75n)$ м, $(0,5 + 0,75n)$ м, $n = 0,1,2,...$
4	5,66 см
5	3 м
6	2 см
7	$(0,15 + 0,6n)$ м, $(0,45 + 0,6n)$ м, $n = 0, 1, 2,...$
8	1,414 см
9	1,6 м
10	2 см
11	$0,2n$ м, $n = 0, 1, 2,...$
12	2,83 см
13	0,6 м
14	1 см
15	$(0,5 + 3n)$ м, $(2,5 + 3n)$ м, $n = 0,1,2,...$
16	2,12 см
17	1,2 м
18	3 см
19	$(0,5 + 3n)$ м, $(2,5 + 3n)$ м, $n = 0,1,2,...$
20	0,35 см
21	10 м
22	4 см
23	$(0,25 + 0,75n)$ м, $(0,5 + 0,75n)$ м, $n = 0,1,2,...$
24	2,6 см
25	9 м
26	3 см
27	$(0,1 + 0,2n)$ м, $n = 0,1,2,...$
28	0,87 см

Номер задания	17.5
	Координаты пучностей, м
1	0,125; 0,375; 0,625; 0,875; 1,125; 1,375
2	0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5
3	0,05; 0,15; 0,25; 0,35; 0,45; 0,55; 0,65; 0,75; 0,85; 0,95
4	0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0
5	0,3; 0,9; 1,5; 2,1; 2,7; 3,3; 3,9; 4,5
6	0; 0,6; 1,2; 1,8; 2,4; 3,0; 3,6; 4,2; 4,8
7	0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5; 5,5; 6,5
8	0; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0
9	0,04; 0,12; 0,20; 0,28; 0,36
10	0; 0,08; 0,16; 0,24; 0,32; 0,40
11	0,15; 0,45; 0,75; 1,05; 1,35
12	0; 0,3; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5
13	0,07; 0,21; 0,30; 0,49; 0,63
14	0; 0,14; 0,28; 0,42; 0,56; 0,7
15	0,4; 1,2; 2,0; 2,8; 3,6; 4,4; 5,2; 6,0; 6,8
16	0; 0,8; 1,6; 2,4; 3,2; 4,0; 4,8; 5,6; 6,4; 7,2
17	0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1,1
18	0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2
19	0,2; 0,6; 1,0; 1,4; 1,8
20	0; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,0
21	0,08; 0,24; 0,40; 0,56; 0,72; 0,88
22	0; 0,16; 0,32; 0,48; 0,64; 0,8; 0,96
23	2; 6; 10; 14; 18; 22; 26; 30
24	0; 4; 8; 12; 16; 20; 24; 28; 32
25	1; 3; 5; 7; 9; 11; 13
26	0; 2; 4; 6; 8; 10; 12; 14
27	0,16; 0,48; 0,70; 1,12; 1,44
28	0; 0,32; 0,64; 0,96; 1,28; 1,6

17.5 (продолжение)

Номер задания	Координаты узлов, м
1	0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5
2	0,125; 0,375; 0,625; 0,875; 1,125; 1,375
3	0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0
4	0,05; 0,15; 0,25; 0,35; 0,45; 0,55; 0,65; 0,75; 0,85; 0,95
5	0; 0,6; 1,2; 1,8; 2,4; 3,0; 3,6; 4,2; 4,8
6	0,3; 0,9; 1,5; 2,1; 2,7; 3,3; 3,9; 4,5
7	0; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0
8	0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5; 5,5; 6,5
9	0; 0,08; 0,16; 0,24; 0,32; 0,40
10	0,04; 0,12; 0,2; 0,28; 0,36
11	0; 0,3; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5
12	0,15; 0,45; 0,75; 1,05; 1,35
13	0; 0,14; 0,28; 0,42; 0,56; 0,7
14	0,07; 0,21; 0,30; 0,49; 0,63
15	0; 0,8; 1,6; 2,4; 3,2; 4,0; 4,8; 5,6; 6,4; 7,2
16	0,4; 1,2; 2,0; 2,8; 3,6; 4,4; 5,2; 6,0; 6,8
17	0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2
18	0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1,1
19	0; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,0
20	0,2; 0,6; 1,0; 1,4; 1,8
21	0; 0,16; 0,32; 0,48; 0,64; 0,8; 0,96
22	0,08; 0,24; 0,40; 0,56; 0,72; 0,88
23	0; 4; 8; 12; 16; 20; 24; 28; 32
24	2; 6; 10; 14; 18; 22; 26; 30
25	0; 2; 4; 6; 8; 10; 12; 14
26	1; 3; 5; 7; 9; 11; 13
27	0; 0,32; 0,64; 0,96; 1,28; 1,6
28	0,16; 0,48; 0,70; 1,12; 1,44

Номер задания	17.6	17.7		
		v_1,тыс.км/с	v_2,тыс.км/с	u,тыс.км/с
1	2,6; 2В/м	194,96	194,53	184,6
2	0,5 В/м; $1,86 \cdot 10^8$ м/с	194,43	194,39	194,1
3	2; $9,4 \cdot 10^{-3}$ А/м	194,53	193,99	190,9
4	$3,9 \cdot 10^{-3}$ А/м; $1,224 \cdot 10^8$ м/с	194,39	193,64	188,9
5	0,5 В/м; $2,12 \cdot 10^8$ м/с	193,99	193,43	188,9
6	$6,5 \cdot 10^{-3}$ А/м; $1,224 \cdot 10^8$ м/с	193,6	192,8	178,3
7	1; 3 В/м	193,4	191,5	181,9
8	2; $1,5 \cdot 10^{-3}$ А/м	192,8	186,5	175,7
9	$4 \cdot 10^{-3}$ А/м; $3 \cdot 10^8$ м/с	191,5	173,2	152,6
10	6; $6,5 \cdot 10^{-4}$ А/м	186,5	158,4	114,5
11	2,6; 1 В/м	173,2	158,4	64,6
12	0,8 В/м; $2,12 \cdot 10^8$ м/с	194,96	194,43	171,4
13	2; $7,5 \cdot 10^{-3}$ А/м	194,43	194,53	200
14	0,2 В/м; $1,86 \cdot 10^8$ м/с	194,53	194,39	192,8
15	$3,25 \cdot 10^{-3}$ А/м; $1,224 \cdot 10^8$ м/с	194,39	193,99	188,9
16	6; 4 В/м	194,0	193,6	188,9
17	2 В/м; $2,12 \cdot 10^8$ м/с	193,6	193,4	188,9
18	$3,4 \cdot 10^{-3}$ А/м; $1,86 \cdot 10^8$ м/с	193,4	192,8	140,0
19	1; 0,5 В/м	192,8	191,5	184,6
20	2; $1,13 \cdot 10^{-2}$ А/м	191,5	186,5	171,5
21	$1,3 \cdot 10^{-3}$ А/м; $1,224 \cdot 10^8$ м/с	186,5	173,2	141,2
22	6; $9,75 \cdot 10^{-3}$ А/м	196,2	195,0	193,5
23	2 В/м; $3 \cdot 10^8$ м/с	195,0	194,4	190,2
24	1; 0,4 В/м	194,43	193,99	191,8
25	0,6 В /м; $2,12 \cdot 10^8$ м/с	194,5	193,6	190,2
26	$7,8 \cdot 10^{-3}$ А/м; $1,224 \cdot 10^8$ м/с	196,2	194,4	192,5
27	2,6; 1 В/м	194,4	193,4	188,9
28	1; $1,06 \cdot 10^{-2}$ А/м	194,0	192,8	184,0

Номер задания	17.7 (продолжение)
	$E = 2E_m \cos(\Delta\omega t - \Delta k x)\cos(\omega_0 t - k_0 x)$, В/м
1	$E = 1{,}5\cos(1{,}2\cdot10^{13}\pi t - 6{,}5\cdot10^{4}\pi x)\cos(5{,}93\cdot10^{14}\pi t - 3{,}0\cdot10^{6}\pi x)$
2	$E = \cos(3{,}3\cdot10^{13}\pi t - 1{,}7\cdot10^{5}\pi x)\cos(6{,}26\cdot10^{14}\pi t - 3{,}22\cdot10^{6}\pi x)$
3	$E = 2{,}8\cos(5{,}25\cdot10^{13}\pi t - 2{,}75\cdot10^{5}\pi x)\cos(6{,}575\cdot10^{14}\pi t - 3{,}385\cdot10^{6}\pi x)$
4	$E = 0{,}04\cos(5{,}1\cdot10^{13}\pi t - 2{,}7\cdot10^{5}\pi x)\cos(7{,}1\cdot10^{14}\pi t - 3{,}66\cdot10^{6}\pi x)$
5	$E = 1{,}1\cos(4{,}25\cdot10^{13}\pi t - 2{,}25\cdot10^{5}\pi x)\cos(7{,}525\cdot10^{14}\pi t - 3{,}885\cdot10^{6}\pi x)$
6	$E = 0{,}14\cos(2{,}05\cdot10^{13}\pi t - 1{,}15\cdot10^{5}\pi x)\cos(7{,}815\cdot10^{14}\pi t - 4{,}045\cdot10^{6}\pi x)$
7	$E = 0{,}3\cos(7{,}55\cdot10^{13}\pi t - 4{,}1\cdot10^{5}\pi x)\cos(8{,}705\cdot10^{14}\pi t - 4{,}525\cdot10^{6}\pi x)$
8	$E = 0{,}4\cos(2{,}135\cdot10^{14}\pi t - 1{,}2\cdot10^{6}\pi x)\cos(1{,}015\cdot10^{15}\pi t - 5{,}375\cdot10^{6}\pi x)$
9	$E = 3{,}2\cos(3{,}35\cdot10^{14}\pi t - 2{,}19\cdot10^{6}\pi x)\cos(1{,}28\cdot10^{15}\pi t - 7{,}135\cdot10^{6}\pi x)$
10	$E = 0{,}1\cos(2{,}41\cdot10^{14}\pi t - 2{,}105\cdot10^{6}\pi x)\cos(1{,}47\cdot10^{15}\pi t - 8{,}695\cdot10^{6}\pi x)$
11	$E = 1{,}6\cos(4{,}75\cdot10^{13}\pi t - 7{,}35\cdot10^{5}\pi x)\cos(1{,}66\cdot10^{15}\pi t - 1{,}0065\cdot10^{7}\pi x)$
12	$E = 0{,}9\cos(6\cdot10^{12}\pi t - 3{,}5\cdot10^{4}\pi x)\cos(5{,}87\cdot10^{14}\pi t - 3{,}015\cdot10^{6}\pi x)$
13	$E = 0{,}2\cos(6\cdot10^{12}\pi t - 3\cdot10^{4}\pi x)\cos(5{,}99\cdot10^{14}\pi t - 3{,}08\cdot10^{6}\pi x)$
14	$E = 1{,}5\cos(2{,}7\cdot10^{13}\pi t - 1{,}4\cdot10^{5}\pi x)\cos(6{,}32\cdot10^{14}\pi t - 3{,}25\cdot10^{6}\pi x)$
15	$E = 0{,}16\cos(2{,}55\cdot10^{13}\pi t - 1{,}35\cdot10^{5}\pi x)\cos(6{,}845\cdot10^{14}\pi t - 3{,}525\cdot10^{6}\pi x)$
16	$E = 0{,}5\cos(2{,}55\cdot10^{13}\pi t - 1{,}35\cdot10^{5}\pi x)\cos(7{,}355\cdot10^{14}\pi t - 3{,}795\cdot10^{6}\pi x)$
17	$E = 0{,}02\cos(1{,}7\cdot10^{13}\pi t - 9\cdot10^{4}\pi x)\cos(7{,}78\cdot10^{14}\pi t - 4{,}02\cdot10^{6}\pi x)$
18	$E = 1{,}3\cos(3{,}5\cdot10^{12}\pi t - 2{,}5\cdot10^{4}\pi x)\cos(7{,}985\cdot10^{14}\pi t - 4{,}135\cdot10^{6}\pi x)$
19	$E = 0{,}8\cos(7{,}2\cdot10^{13}\pi t - 3{,}9\cdot10^{5}\pi x)\cos(8{,}74\cdot10^{14}\pi t - 4{,}55\cdot10^{6}\pi x)$
20	$E = 2\cos(1{,}415\cdot10^{14}\pi t - 8{,}25\cdot10^{5}\pi x)\cos(1{,}087\cdot10^{15}\pi t - 5{,}765\cdot10^{6}\pi x)$
21	$E = 3\cos(1{,}935\cdot10^{14}\pi t - 1{,}37\cdot10^{6}\pi x)\cos(1{,}42\cdot10^{15}\pi t - 7{,}96\cdot10^{6}\pi x)$
22	$E = 0{,}12\cos(1{,}345\cdot10^{14}\pi t - 6{,}95\cdot10^{5}\pi x)\cos(4{,}465\cdot10^{14}\pi t - 2{,}285\cdot10^{6}\pi x)$
23	$E = 3{,}6\cos(3{,}9\cdot10^{13}\pi t - 2{,}05\cdot10^{5}\pi x)\cos(6{,}2\cdot10^{14}\pi t - 3{,}185\cdot10^{6}\pi x)$
24	$E = 0{,}6\cos(5{,}85\cdot10^{13}\pi t - 3{,}05\cdot10^{5}\pi x)\cos(6{,}5\cdot10^{14}\pi t - 3{,}355\cdot10^{6}\pi x)$
25	$E = 2{,}4\cos(7{,}8\cdot10^{13}\pi t - 4{,}1\cdot10^{5}\pi x)\cos(6{,}83\cdot10^{14}\pi t - 3{,}52\cdot10^{6}\pi x)$
26	$E = 0{,}08\cos(1{,}405\cdot10^{14}\pi t - 7{,}3\cdot10^{5}\pi x)\cos(4{,}525\cdot10^{14}\pi t - 2{,}32\cdot10^{6}\pi x)$
27	$E = 0{,}7\cos(6{,}8\cdot10^{13}\pi t - 3{,}6\cdot10^{5}\pi x)\cos(7{,}27\cdot10^{14}\pi t - 3{,}75\cdot10^{6}\pi x)$
28	$E = 1{,}2\cos(4{,}6\cdot10^{13}\pi t - 2{,}5\cdot10^{5}\pi x)\cos(7{,}56\cdot10^{14}\pi t - 3{,}91\cdot10^{6}\pi x)$

Номер задания	17.8	17.9			17.10
		$S_{мгн}$, Вт/м^2	$\widetilde{S}$, Вт/м^2	S_{max}, Вт/м^2	
1	720 нм	$7{,}95\cdot10^{-3}$			0,5 В/м
2	$1{,}88\cdot10^{8}$ м/с	$5{,}3\cdot10^{-3}$	$5{,}3\cdot10^{-3}$	$1{,}06\cdot10^{-2}$	2 м^2
3	$1{,}93\cdot10^{8}$ м/с	$2{,}75\cdot10^{-3}$			30 мин
4	$2{,}22\cdot10^{14}$ с$^{-1}$	$1{,}06\cdot10^{-2}$			172 Дж
5	952 нм	0,286			2,0 В/м
6	$1{,}94\cdot10^{8}$ м/с	0,191	0,191	0,382	5 м^2
7	$1{,}48\cdot10^{8}$ м/с	0,10			10 мин
8	$1{,}56\cdot10^{13}$ с$^{-1}$	0,382			21,5 Дж
9	1020 нм	0,128			3,0 В/м
10	$1{,}92\cdot10^{8}$ м/с	0,085			10 м^2
11	$1{,}64\cdot10^{8}$ м/с	0,044	0,085	0,17	4 мин
12	$1{,}39\cdot10^{13}$ с$^{-1}$	0,17			0,32 Дж
13	840 нм	1,06			0,2 В/м
14	$1{,}84\cdot10^{8}$ м/с	0,27			3 м^2
15	$1{,}88\cdot10^{8}$ м/с	0,53	0,53	1,06	2 мин
16	$4{,}32\cdot10^{13}$ с$^{-1}$	0,795			358,3 Дж
17	645 нм	$4{,}78\cdot10^{-2}$			5,0 В/м
18	$1{,}94\cdot10^{8}$ м/с	$9{,}55\cdot10^{-2}$			8 м^2
19	$1{,}2\cdot10^{8}$ м/с	$2{,}48\cdot10^{-2}$	$4{,}78\cdot10^{-2}$	$9{,}55\cdot10^{-2}$	5 мин
20	$8{,}47\cdot10^{12}$ с$^{-1}$	$7{,}16\cdot10^{-2}$			1,194 Дж
21	508 нм	0,45			4,0 В/м
22	$1{,}58\cdot10^{8}$ м/с	0,30			40 м^2
23	$1{,}91\cdot10^{8}$ м/с	0,597	0,299	0,597	12 мин
24	$9{,}4\cdot10^{13}$ с$^{-1}$	0,15			564,3 Дж
25	214 нм	0,6			0,5 В/м
26	$1{,}92\cdot10^{8}$ м/с	1,79			6 м^2
27	$1{,}84\cdot10^{8}$ м/с	1,18	1,194	2,39	20 мин
28	$3{,}2\cdot10^{12}$ с$^{-1}$	2,39			63,7 Дж

Номер задания	18.1	18.2	1
1	0, 16 мм	0,686 (уменьшится в 1,46)	2,4
2	0,46 мкм	0,83 (уменьшится в 1,2)	6,0
3	1,5 м	0,786 (уменьшится в 1,27)	9,6
4	2,0 мм	0,57 (уменьшится в 1,75)	12 м
5	1,54 мм	0,93 (уменьшится в 1,07)	1,3
6	0,34 мкм	0,86 (уменьшится в 1,16)	1,5
7	9,0 м	1,19	1,2
8	1,9 мм	0,695 (уменьшится в 1,44)	1,4
9	1,95 мм	1,275	8,18
10	0,42 мкм	1,60	10,0
11	6.0 м	1,725	6,92
12	4,0 мм	1,35	12,8
13	1,86 мм	1,16	6,87см
14	0,52 мкм	0,8 (уменьшится в 1,24)	5,0 м
15	10,0 м	1,255	8,12см
16	0,8 мм	1,41	4,37см
17	2,0 мм	1,29	15,0м
18	0,63 мкм	1,13	11,2см
19	8,0 м	1,55	9,0 м
20	1,5 мм	0,886 (уменьшится в 1,13)	7,5 м
21	1,6 мм	0,836 (уменьшится в 1,2)	0,33км
22	0,57 мкм	0,78(уменьшится в 1,28)	0,70км
23	15,0 м	0,657 (уменьшится в 1,52)	0,58км
24	5,0 мм	1,15	0,45км
25	2,0 мм	1,286	1,20
26	0,45 мкм	1,125	1,48
27	20,0 м	0,931 (уменьшится в 1,1)	1,35
28	0,7 мм	0,75 (уменьшится в 1,33)	1,42

Номер задания	18.4	18.5	18.6
1	0,52 мкм; 0,343 мкм	0,0917 мкм	0,47 мм
2	60°; 0,194 мкм	0,2750 мкм	0,235 мм
3	1,5; 0,2694 мкм	0,4583 мкм	0,157 мм
4	0,0784 мкм; 0,1568 мкм	0,6417 мкм	0,117 мм
5	0,6498 мкм; 0,2794 мкм	1,5	1,66 мм
6	45°; 0,1008 мкм	1,7	1,552 мм
7	1,2; 0,126 мкм	1,4	1,458 мм
8	0,098 мкм; 0,196 мкм	1,6	1,375 мм
9	0,43 мкм; 0,1185 мкм	6	0,7 мкм (красный)
10	30°; 0,0957 мкм	4	0,47 мкм (синий)
11	1,25; 0,111 мкм	3	0,41 мкм (фиолетовый)
12	0,2227 мкм; 0,1114 мкм	5	0,59 мкм (желтый)
13	0,58 мкм; 0,2218 мкм	0,611 мкм	1′30′′
14	45°; 0,2784 мкм	0,5893 мкм	2′30′′
15	1,3; 0,0928 мкм	0,569 мкм	2′
16	0,1667 мкм; 0,0834 мкм	0,550 мкм	1′
17	0,48 мкм; 0,1784 мкм	1,2	0,463 мм
18	60°; 0,2874 мкм	1,4	0,423 мм
19	1,45; 0,0849 мкм	1,6	0,337 мм
20	0,2083 мкм; 0,1042 мкм	1,8	0,278 мм
21	0,64 мкм; 0,239 мкм	2	1,4
22	45°; 0,204 мкм	1	1,6
23	1,4; 0,1273 мкм	2	1,3
24	0,1675 мкм; 0,0837 мкм	1	1,5
25	0,35 мкм; 0,0643 мкм	0,1964 мкм	0,884 мм
26	30°; 0,07955 мкм	0,3928 мкм	0,712 мм
27	1,27; 0,142 мкм	0,5893 мкм	0,675 мм
28	0,0943 мкм; 0,1886 мкм	0,7857 мкм	0,589 мм

Номер задания	18.7	18.8	18.9	18.10
1	1,4	0,84 мм	2 мм	1,69 мм
2	5,0 мкм	1,025 мм	1,15	1,91 мм
3	25 см	1,18 мм	0,5504 мкм	2,25 мм
4	0,5433 мкм	1,32 мм	914	2,55 мм
5	8	5	4 мм	0,7197 мкм
6	16 см	3	1,06	0,64 мкм
7	1,1	2	0,7 мкм	0,55 мкм
8	3 мкм	4	2500	0,3997 мкм
9	20 см	0,5941 мкм	15 мм	6 см
10	0,5283 мкм	0,4959 мкм	1,3	11 см
11	?	0,7013 мкм	0,6021 мкм	15 см
12	5,3 см	0,3945 мкм	132	18 см
13	1,2	0,72 м	2,0 мм	4 м
14	4 мкм	0,35 м	1,4	3,4 м
15	10 см	1,8 м	0,45 мкм	2,2 м
16	0,6067 мкм	2,2 м	914	1,5 м
17	4	0,5 м	5 мм	3′
18	0,7 см	1,0 м	1,14	5′
19	1,33	5,0 м	0,5 мкм	8′
20	6 мкм	10,0 м	121	12′
21	15 см	2,51 мм	8 мм	8,54 мм
22	0,4608 мкм	3,54 мм	1,1	4,27 мм
23	3	4,34 мм	0,6506 мкм	2,85 мм
24	3,0 см	5,01 мм	945	2,14 мм
25	1,25	4	1,1 мм	12 см
26	5 мкм	3	1,2	10 см
27	12 см	6	0,7 мкм	7 см
28	0,5345 мкм	5	450	4 см

Номер задания	19.1	19.2	19.3	19.4
1	0,38 мм	4; темным	1,6 м; 3,2 м	1
2	0,54 мм	1,3 м; светлым	0,55 мкм; 14,55 см	3
3	0,66 мм	0,7 мм; темным	0,9 мм; 60,5 см	3
4	0,76 мм	0,45 мкм; светлым	0,5 мм; 47,2 см	5
5	1,1 мм	7; светлым	0,42 мкм; 7,71 м	2
6	1,56 мм	0,78 м; темным	53 см; 1,06 м	1
7	1,9 мм	1,2 мм; светлым	0,5 мкм; 1,69 м	0
8	2,2 мм	0,39 мкм; темным	0,8 мм; 62,7 см	0
9	0,45 мм	5; светлым	0,4 мм; 25 см	3
10	0,51 мм	8 см; светлым	0,48 мкм; 4,08 м	3
11	0,55 мм	0,8 мм; светлым	11,25 см; 22,5 см	3
12	0,59 мм	0,676 мкм; темным	0,6 мкм; 83,3 см	4
13	1,1 мм	6; темным	0,3 мм; 19,14 см	1
14	1,25 мм	18 см; светлым	1,0 мм; 71,4 см	0
15	1,34 мм	1,6 мм; светлым	2,065 м; 4,13 м	1
16	1,45 мм	0,587 мкм, темным	0,53 мкм; 47,2 см	0
17	0,465 мм	1; светлым	1,1 мм; 1,375 м	1
18	0,495 мм	1,4 м; светлым	0,7 мм; 84,5 см	1
19	0,506 мм	1,4 мм; светлым	0,65 мкм; 62,3 см	2
20	0,512 мм	0,34 мкм; темным	0,45 мкм; 5 м	7
21	0,97 мм	2; темным	36 см; 72 см	2
22	1,37 мм	7 см; светлым	0,6 мм; 47,4 см	1
23	1,68 мм	1 мм; темным	1,2 мм; 2,62 м	1
24	1,94 мм	0,48 мкм; светлым	0,7 мкм; 86,5 см	1
25	0,426 мм	3; светлым	0,64 мкм; 4,52 м	8
26	0,588 мм	1,58 м; темным	66,7 см; 1,33 м	5
27	0,703 мм	1,3 мм; светлым	1,3 мм; 1,41 м	4
28	0,793 мм	0,519 мкм; темным	0,2 мм; 9,6 см	4

Номер задания	19.5	19.6	19.7	19.8
1	0,708 мкм	$9^\circ 36'$	8 мкм	28,3 см
2	0,9 мм	$19^\circ 28'$	0,68 мкм	64,8 см
3	35 см	30°	0,9 м	22,5 см
4	0,17 мм	$41^\circ 49'$	3,77 см	49 см
5	0,445 мкм	$14^\circ 29'$	25 мкм	45,27 см
6	1,3 мм	$24^\circ 37'$	0,7 мкм	22,54 см
7	2,7 м	$35^\circ 41'$	1,3 м	34,84 см
8	0,15 мм	$48^\circ 35'$	9 см	29,8 см
9	0,409 мкм	$6^\circ 23'$	30 мкм	0,8 м
10	0,8 мм	$19^\circ 28'$	0,45 мкм	0,4 м
11	83 см	$33^\circ 45'$	0,8 м	0,2 м
12	0,1 мм	$51^\circ 03'$	5,37 см	0,6 м
13	0,658 мкм	$9^\circ 36'$	10 мкм	500 $мм^{-1}$
14	1,2 мм	$22^\circ 53'$	0,6 мкм	75 $мм^{-1}$
15	70 см	$37^\circ 40'$	0,7 м	200 $мм^{-1}$
16	0,25 мм	$56^\circ 27'$	19,65 см	150 $мм^{-1}$
17	0,6044 мкм	$11^\circ 32'$	23 мкм	11,15 см
18	1,0 мм	$23^\circ 35'$	0,57 мкм	22,97 см
19	1,0 м	$36^\circ 52'$	1,1 м	14,64 см
20	0,28 мм	$53^\circ 08'$	8,67 см	30,87 см
21	0,59 мкм	$17^\circ 27'$	12 мкм	1,0 м
22	0,7 мм	30°	0,46 мкм	0,4 м
23	58 см	$44^\circ 26'$	0,77 м	0,25 м
24	0,14 мм	$64^\circ 10'$	5,71 см	0,15 м
25	0,4887 мкм	$17^\circ 27'$	34 мкм	250 $мм^{-1}$
26	1,4 мм	$23^\circ 35'$	0,52 мкм	90 $мм^{-1}$
27	61 см	$36^\circ 52'$	0,1 м	180 $мм^{-1}$
28	0,2 мм	$44^\circ 26'$	1,93 см	50 $мм^{-1}$

Ном зада	19.9	19.10
1	5 см; $5\cdot10^{-4}$ см; 10^4; 4000 Å	7°42′
2	10 см; 0,55 Å; 10^4; 1000 $см^{-1}$	15°32′
3	$8\cdot10^{-4}$ см; 4500 Å; $1,5\cdot10^4$; 3750 $см^{-1}$	23°41′
4	$1,5\cdot10^{-3}$ см; 0,5 Å; $1,2\cdot10^4$; 2000 $см^{-1}$	32°23′
5	9000; 3; 5400 Å; $2,7\cdot10^4$	0,3 нм
6	$1,6\cdot10^{-3}$ см; 1875; 0,8 Å; 7500	0,24 нм
7	5,0 см; 8333; 0,2 Å; 5000 $см^{-1}$	0,35 нм
8	3,75 см; 2; 4500 Å; $1,5\cdot10^4$	0,15 нм
9	$2,5\cdot10^{-4}$ см; 8000; 0,8 Å; 4000 $см^{-1}$	0,1 нм
1	$2\cdot10^{-4}$ см; 0,2 Å; $2,5\cdot10^4$; 10^4 $см^{-1}$	0,07 нм
1	4200; 4200 Å; 8400; 1333 $см^{-1}$	0,08 нм
1	4 см; 2; 4800 Å; 1600 $см^{-1}$	0,04 нм
1	4000; 0,5 Å; $1,2\cdot10^4$; 6000 $см^{-1}$	3
1	2000; 5600 Å; 8000; 5714 $см^{-1}$	2
1	3,5 см; $4\cdot10^{-4}$ см; 2; 4375 Å	1
1	$6,67\cdot10^{-4}$ см; 3; 0,5 Å; 8100	2
1	7,0 см; 10^4; 6000 Å; 1429 $см^{-1}$	11°32′
1	2,0 см; $3,175\cdot10^{-4}$ см; 6300; 5040 Å	9°36′
1	$4\cdot10^{-4}$ см; 4900 Å; 14000; 5000 $см^{-1}$	8°13′
1	$6,25\cdot10^{-4}$ см; 5120; 4608 Å; 15360	7°11′
1	5000; 3; 3750 Å; 15000	0,22 нм
1	1200; 1,17 Å; 3600; 2400 $см^{-1}$	0,45 нм
1	10^{-3} см; 2500; 1,05 Å; 2000 $см^{-1}$	0,19 нм
1	$8\cdot10^{-4}$ см; 2; 5400 Å; 2500 $см^{-1}$	0,33 нм
1	3,0 см; 3,2 Å; 1500; 500 $см^{-1}$	0,12 нм
1	1,5 см; $3,33\cdot10^{-4}$ см; 2; 5400 Å	0,13 нм
1	3,25 см; 6500 Å; 6500; 2000 $см^{-1}$	0,04 нм
1	$1,07\cdot10^{-3}$ см; 1500; 4500 Å; 1875 $см^{-1}$	0,06 нм

Номер задания	20.1	20.2	20.3
1	45°35′; 54°28′	0,12 Вт/м²; 0,06 Вт/м²	45°
2	41°49′; 56°19′	0,14 Вт/м²; 0,035Вт/м²	5 %
3	38°41′; 58°	0,1 Вт/м²; 45°	8 %
4	36°02′; 59°32′	0,68 Вт/м²; 0,01 Вт/м²	39,5 %
5	1,25; 51°20′	0,36 Вт/м²; 25°	65°
6	1,8; 60°57′	0,22 Вт/м²; 0,11 Вт/м²	6 %
7	1,35; 53°28′	0,05 Вт/м²; 40°	19 %
8	1,66; 58°57′	0,17 Вт/м²; 0,03 Вт/м²	17,64 %
9	1,64; 37°34′	0,18 Вт/м²; 20°	50°
10	1,28; 51°23′	0,2 Вт/м²; 70°	7 %
11	1,32; 49°15′	0,4 Вт/м²; 0,177 Вт/м²	12 %
12	1,47; 42°52′	0,08 Вт/м²; 0,0537 Вт/м²	2,9 %
13	47°48′; 53°28′	0,18 Вт/м²; 55°	35°
14	43°36′; 55°24′	0,20 Вт/м²; 0,059 Вт/м²	3 %
15	40°11′; 57°10′	0,26 Вт/м²; 0,13 Вт/м²	9 %
16	37°18′; 58°47′	0,16 Вт/м²; 10°	43,9 %
17	1,42; 54°51′	0,32 Вт/м²; 0,01 Вт/м²	70°
18	1,58; 57°40′	0,14 Вт/м²; 0,07 Вт/м²	10 %
19	1,3; 52°26′	0,24 Вт/м²; 30°	5 %
20	1,72; 59°49′	0,16 Вт/м²; 0,149 Вт/м²	8,6 %
21	1,76; 34°37′	0,08 Вт/м²; 0,04 Вт/м²	40°
22	1,53; 40°49′	0,12 Вт/м²; 50°	8 %
23	1,37; 46°54′	0,15 Вт/м²; 0,0175 Вт/м²	11 %
24	1,68; 36°32′	0,18 Вт/м²; 0,0795 Вт/м²	4,26 %
25	33°45′; 60°57′	0,03 Вт/м²; 15°	55°
26	43°59′; 55°13′	0,1 Вт/м²; 0,097 Вт/м²	14 %
27	34°51′; 60°15′	0,3 Вт/м²; 60°	15 %
28	38°07′; 58°19′	0,14 Вт/м²; 0,035 Вт/м²	11,52 %

Номер задания	20.4	20.5	20.6
1	3,42	Плоской; $63^\circ 26'$	35,75 мкм
2	4,74	Круговой;	0,57 мкм
3	7,74	Плоской; $144^\circ 28'$	1,75
4	15,62	Эллиптической; 90°	1,666
5	0,45	Эллиптической; 90°	58,44 мкм
6	0,6	Плоской; $128^\circ 40'$	0,42 мкм
7	0,3	Эллиптической; 0°	1,68
8	0,7	Плоской; 45°	1,717
9	55°	Плоской; $158^\circ 58'$	71,75 мкм
10	40°	Круговой;	0,68 мкм
11	25°	Плоской; $15^\circ 57'$	1,57
12	35°	Эллиптической; 90°	1,62
13	80	Эллиптической; 0°	148,5 мкм
14	40	Эллиптической; 90°	0,52 мкм
15	26,7	Плоской; 135°	1,72
16	20	Плоской; $33^\circ 41'$	1,65
17	0,4	Круговой;	49,875 мкм
18	0,5	Плоской; $24^\circ 27'$	0,56 мкм
19	0,65	Эллиптической; 0°	1,63
20	0,75	Плоской; 125°	1,71
21	15°	Плоской; 148°	348 мкм
22	65°	Эллиптической; 0°	0,47 мкм
23	20°	Плоской; $68^\circ 12'$	1,82
24	40°	Круговой;	1,793
25	4,6	Плоской; 14°	73,5 мкм
26	7,11	Плоской; 121°	0,636 мкм
27	16	Эллиптической; 90°	1,59
28	64	Эллиптической; 0°	1,56

Номер задания	20.7	20.8
1	1,317 мм	12 см; 1500 В; 0,167 π рад
2	0,55 мкм	1344 В; 0,12 мкм; 0,4 π рад
3	0,65 мкм	8,5 см; 1,39 мм; 76,5 нм
4	0,023	$4{,}75\cdot10^{-7}$; 23,75 нм; 0,08 π рад
5	0,017	3,67 см; 1 мм; 0,367 π рад
6	71,3 мкм	1,15 мм; 0,144 мкм; 0,48 π рад
7	0,4 мкм	3,66 см; 2115 В; 0,15 мкм
8	0,7 мкм	1 мм; 10^{-6}; 75 нм
9	0,030	27,3 см; $3{,}3\cdot10^{-7}$; 0,3 π рад
10	0,015	1,8 мм; $8{,}1\cdot10^{-7}$; 0,43 π рад
11	123,3 мкм	6,3 см; $9{,}5\cdot10^{-7}$; 60 нм
12	0,48 мкм	16 см; 980 В; 0,12 мкм
13	0,601 мкм	1196 В; $5{,}83\cdot10^{-7}$; 0,23 π рад
14	0,021	18,75 см; 1713 В; $\pi/2$ рад
15	0,012	36,36 см; $3{,}3\cdot10^{-7}$; 0,4 π рад
16	193,6 мкм	1,61 мм; 10^{-6}; 0,09 мкм
17	0,41 мкм	2009 В; 0,375 мкм; 1,25 π рад
18	0,55 мкм	0,96 мм; $8\cdot10^{-7}$; $\pi/3$ рад
19	0,025	6,43 см; 1,51 мм; 45 нм
20	0,024	14,06 см; $9{,}6\cdot10^{-7}$; 0,135 мкм
21	586,5 мкм	1444 В; $7{,}62\cdot10^{-7}$; 0,27 π рад
22	0,41 мкм	1,24 мм; $8{,}65\cdot10^{-7}$; 0,53 π рад
23	0,45 мкм	1,66 мм; $8{,}08\cdot10^{-7}$; 0,105 мкм
24	0,015	7 см; 1,1 мм; 0,47 π рад
25	0,013	0,1 мкм; $9{,}2\cdot10^{-7}$; 0,34 π рад
26	0,7 мм	0,89 мм; 0,21 мкм; 0,7 π рад
27	0,45 мкм	7 см; 885 В; 0,2 π рад
28	0,58 мкм	17,37 см; 763,5 В; 0,165 мкм

Номер задания	20.9	20.10
1	0,5107 мкм; зеленый;	0,05; 83 %; 4,4 %
2	0,5536 мкм; зеленый	0,064; 79 %; 5,5 %
3	0,6071 мкм; оранжевый	0,079; 75,6 %; 6,5 %
4	0,6286 мкм; красный	0,093; 72,2 %; 7,45 %
5	$12^{\circ}45'$	0,040; 17 %; 0,7 %
6	$16^{\circ}57'$	0,0415; 39 %; 1,7 %
7	$19^{\circ}24'$	0,046; 68,7 %; 3,3 %
8	$22^{\circ}33'$	0,0577; 94,3 %; 5,8 %
9	0,524 мм	0,050; 51,8 %; 2,7 %
10	0,753 мм	0,064; 48,6 %; 3,3 %
11	0,9 мм	0,078; 45,9 %; 3,9 %
12	1,195 мм	0,093; 43,4 %; 4,4 %
13	0,6521 мкм; красный	0,0536; 15,8 %; 1 %
14	0,6179 мкм; оранжевый	0,055; 36,7 %; 2,1 %
15	0,5544 мкм; зеленый	0,0596; 64,9 %; 4,1 %
16	0,5107 мкм; зеленый	0,072; 91,4 %; 7,1 %
17	13°	0,041; 26,9 %; 1,1 %
18	$15^{\circ}10'$	0,054; 25,2 %; 1,4 %
19	$17^{\circ}20'$	0,068; 23,5 %; 1,7 %
20	$19^{\circ}30'$	0,082; 22,3 %; 2,0 %
21	1,41 мм	0,067; 14,9 %; 1,1 %
22	1,24 мм	0,069; 34,5 %; 2,5 %
23	1,08 мм	0,074; 61,3 %; 4,9 %
24	0,92 мм	0,087; 88,3 %; 8,4 %
25	0,5519 мкм; зеленый	0,074; 100 %; 8 %
26	0,5849 мкм; желтый	0,096; 100 %; 10,6 %
27	0,6096 мкм; оранжевый	0,118; 100 %; 13,4 %
28	0,6508 мкм; красный	0,140; 100 %; 16,2 %

Номер задания	21.1	21.2	21.3
1	900 К	10,6 кДж	300 Вт
2	1100 К	$6{,}4{\cdot}10^{7}$ Дж	46,7 мм^2
3	1150 К	3,1 кДж	2411 К
4	1300 К	$1{,}8{\cdot}10^{7}$ Дж	55,6 %
5	4 см^2	1,6 кДж	150 Вт
6	7 см^2	$9{,}5{\cdot}10^{6}$ Дж	96 мм^2
7	9 см^2	686,5 Дж	2381 К
8	10 см^2	$4{,}1{\cdot}10^{6}$ Дж	60 %
9	8,2 Вт	59 Дж	60 Вт
10	14 Вт	$3{,}5{\cdot}10^{5}$ Дж	3,44 см^2
11	22,44 Вт	17,5 Дж	2431 К
12	34,2 Вт	$1{,}05{\cdot}10^{5}$ Дж	40 %
13	1237 К	4,33 Дж	25 Вт
14	1088 К	26 кДж	2,11 см^2
15	1000 К	1,76 Дж	2349 К
16	940 К	10,6 кДж	30 %
17	4,5 см^2	1,025 Дж	100 Вт
18	3,0 см^2	6,15 кДж	0,5 см^2
19	5,2 см^2	$1{,}34{\cdot}10^{-4}$ Дж	2401 К
20	3,5 см^2	0,2 Дж	69,5 %
21	11,9 Вт	$3{,}26{\cdot}10^{-5}$ Дж	500 Вт
22	17,85 Вт	0,05 Дж	91 мм^2
23	23,8 Вт	$9{,}5{\cdot}10^{-6}$ Дж	2446 К
24	29,75 Вт	$14{,}3{\cdot}10^{-3}$ Дж	45 %
25	750 К	$6{\cdot}10^{-9}$ Дж	50 Вт
26	830 К	$9{\cdot}10^{-6}$ Дж	34,5 мм^2
27	950 К	$2{,}1{\cdot}10^{-6}$ Дж	2320 К
28	1200 К	$3{,}1{\cdot}10^{-3}$ Дж	75 %

Номер задания	21.4	21,5
1	мкм; видимой	$5 \cdot 10^3$
2	1 мкм; инфракрасной	$2 \cdot 10^6$
3	5 мкм; инфракрасной	$1{,}5 \cdot 10^7$
4	7 мкм; инфракрасной	$4{,}2 \cdot 10^7$
5	4 мкм; инфракрасной	15,9
6	9 мкм; ультрафиолетовой	57,6
7	1 мкм; инфракрасной	61,0
8	75 мкм; инфракрасной	56,1
9	Å; рентгеновской	1740
10	7 мкм; инфракрасной	3,8
11	4 мкм; инфракрасной	1,18
12	57 мкм; инфракрасной	1,15
13	82 мкм; видимой	157
14	7 мкм; инфракрасной	51
15	5 мкм; инфракрасной	19,2
16	83 мкм; видимой	8,1
17	мкм; инфракрасной	572
18	2 мкм; инфракрасной	1270
19	2 мкм; инфракрасной	1322
20	6 мкм; инфракрасной	1250
21	мкм; инфракрасной	1,083
22	мкм; инфракрасной	1,027
23	97 мкм; ультрафиолетовой	1,097
24	4 мкм; инфракрасной	1,32
25	5 мкм; инфракрасной	$4{,}1 \cdot 10^4$
26	8 мкм; инфракрасной	10^3
27	3 мкм; инфракрасной	73
28	29 мкм; ультрафиолетовой	10,1

Номер задания	21.6
1	$1{,}875\cdot10^{20}$ Гц; $1{,}24\cdot10^{-13}$ Дж; $1{,}38\cdot10^{-30}$ кг; $4{,}13\cdot10^{-22}$ кг·м/с
2	$6\cdot10^{-11}$ м; $3{,}3\cdot10^{-15}$ Дж; $3{,}68\cdot10^{-32}$ кг; $1{,}1\cdot10^{-23}$ кг·м/с
3	$5\cdot10^{-12}$ м; $6\cdot10^{19}$ Гц; $4{,}44\cdot10^{-31}$ кг; $1{,}33\cdot10^{-22}$ кг·м/с
4	$3{,}68\cdot10^{-12}$ м; $8{,}15\cdot10^{19}$ Гц; $5{,}4\cdot10^{-14}$ Дж; $1{,}8\cdot10^{-22}$ кг·м/с
5	$3{,}3\cdot10^{-13}$ м; $9\cdot10^{20}$ Гц; $6\cdot10^{-13}$ Дж; $6{,}67\cdot10^{-30}$ кг
6	$6\cdot10^{17}$ Гц; $3{,}97\cdot10^{-16}$ Дж; $4{,}4\cdot10^{-33}$ кг; $1{,}325\cdot10^{-24}$ кг·м/с
7	10^{-7} м; $2\cdot10^{-18}$ Дж; $2{,}2\cdot10^{-35}$ кг; $6{,}625\cdot10^{-27}$ кг·м/с
8	$9{,}94\cdot10^{-14}$ м; $3\cdot10^{21}$ Гц; $2{,}2\cdot10^{-29}$ кг; $6{,}67\cdot10^{-21}$ кг·м/с
9	$5{,}52\cdot10^{-11}$ м; $5{,}4\cdot10^{18}$ Гц; $3{,}6\cdot10^{-15}$ Дж; $1{,}2\cdot10^{-23}$ кг·м/с
10	$1{,}325\cdot10^{-14}$ м; $2{,}26\cdot10^{22}$ Гц; $1{,}5\cdot10^{-11}$ Дж; $1{,}67\cdot10^{-28}$ кг
11	$1{,}2\cdot10^{19}$ Гц; $7{,}95\cdot10^{-15}$ Дж; $8{,}83\cdot10^{-32}$ кг; $2{,}65\cdot10^{-23}$ кг·м/с
12	$3{,}75\cdot10^{-7}$ м; $5{,}3\cdot10^{-19}$ Дж; $5{,}89\cdot10^{-36}$ кг; $1{,}77\cdot10^{-27}$ кг·м/с
13	$2{,}84\cdot10^{-13}$ м; 10^{21} Гц; $7{,}78\cdot10^{-30}$ кг; $2{,}33\cdot10^{-21}$ кг·м/с
14	$1{,}1\cdot10^{-12}$ м; $2{,}7\cdot10^{20}$ Гц; $1{,}8\cdot10^{-13}$ Дж; $6\cdot10^{-22}$ кг·м/с
15	$7{,}36\cdot10^{-16}$ м; $4\cdot10^{23}$ Гц; $2{,}7\cdot10^{-10}$ Дж; $3\cdot10^{-27}$ кг
16	$3{,}75\cdot10^{16}$ Гц; $2{,}48\cdot10^{-17}$ Дж; $2{,}76\cdot10^{-34}$ кг; $8{,}28\cdot10^{-26}$ кг·м/с
17	$1{,}5\cdot10^{-8}$ м; $1{,}325\cdot10^{-17}$ Дж; $1{,}47\cdot10^{-34}$ кг; $4{,}4\cdot10^{-26}$ кг·м/с
18	$6{,}625\cdot10^{-11}$ м; $4{,}53\cdot10^{18}$ Гц; $3{,}33\cdot10^{-32}$ кг; 10^{-23} кг·м/с
19	$2{,}76\cdot10^{-10}$ м; $1{,}1\cdot10^{18}$ Гц; $7{,}2\cdot10^{-16}$ Дж; $2{,}4\cdot10^{-24}$ кг·м/с
20	$1{,}1\cdot10^{-12}$ м; $2{,}72\cdot10^{20}$ Гц; $1{,}8\cdot10^{-13}$ Дж; $2\cdot10^{-30}$ кг
21	$7{,}5\cdot10^{20}$ Гц; $4{,}97\cdot10^{-13}$ Дж; $5{,}52\cdot10^{-30}$ кг; $1{,}66\cdot10^{-21}$ кг·м/с
22	$4{,}286\cdot10^{-10}$ м; $4{,}64\cdot10^{-16}$ Дж; $5{,}15\cdot10^{-33}$ кг; $1{,}55\cdot10^{-24}$ кг·м/с
23	$2{,}2\cdot10^{-10}$ м; $1{,}36\cdot10^{18}$ Гц; 10^{-32} кг; $3\cdot10^{-24}$ кг·м/с
24	$7{,}36\cdot10^{-12}$ м; $4{,}1\cdot10^{19}$ Гц; $2{,}7\cdot10^{-14}$ Дж; $9\cdot10^{-23}$ кг·м/с
25	$1{,}66\cdot10^{-11}$ м; $1{,}8\cdot10^{19}$ Гц; $1{,}2\cdot10^{-14}$ Дж; $1{,}33\cdot10^{-31}$ кг
26	$3{,}33\cdot10^{15}$ Гц; $2{,}2\cdot10^{-18}$ Дж; $2{,}45\cdot10^{-35}$ кг; $7{,}36\cdot10^{-27}$ кг·м/с
27	$7{,}5\cdot10^{-12}$ м; $2{,}65\cdot10^{-14}$ Дж; $2{,}94\cdot10^{-31}$ кг; $8{,}83\cdot10^{-23}$ кг·м/с
28	$4\cdot10^{-9}$ м; $7{,}55\cdot10^{16}$ Гц; $5{,}56\cdot10^{-34}$ кг; $1{,}67\cdot10^{-25}$ кг·м/с

Номер задания	21.7	21.8	21.9	21.10
1	0,79	0,4 мкм; 2,2 эВ	0,45 мкм; 0,65	0,503 Å
2	0,84	0,55 мкм; 0,654 мкм	0,9; 473,7 Вт	0,512 Å
3	0,9	0,262 мкм; 1,47 В	2 с; $5 \cdot 10^{-7}$ Н	0,524 Å
4	0,82	3,8 эВ; 0,327 мкм	0,55; $2{,}064 \cdot 10^{21}$	0,536 Å
5	0,22 эВ	4,3 эВ; 0,67 В	0,67 мкм; 7,69 Вт	50°
6	0,5 эВ	0,54 мкм; 0,4 В	$7{,}7 \cdot 10^{20}$; $4 \cdot 10^{-7}$ Н	130°
7	0,857 эВ	0,5 мкм; 2,38 эВ	0,6; 5 с	80°
8	1,33 эВ	0,7 мкм; 0,887 мкм	0,50 мкм; $9 \cdot 10^{-7}$ Н	150°
9	0,54 мкм	0,6 мкм; 2 эВ	2,2 с; 12,4 Вт	65°
10	0,89 мкм	2,8 эВ; 0,444 мкм	112,5 Вт; $6 \cdot 10^{-7}$ Н	145°
11	0,28 мкм	4,4 эВ; 1,0 В	0,8; 1 с	90°
12	0,65 мкм	0,234 мкм; 0,615 В	$1{,}24 \cdot 10^{20}$; $2 \cdot 10^{-7}$ Н	130°
13	0,97	0,26 мкм; 4,37 эВ	$1{,}3 \cdot 10^{20}$; 6,67 Вт	0,416 МэВ
14	0,92	0,49 мкм; 0,518 мкм	0,55 мкм; 0,95	0,296 МэВ
15	0,88	1,6 эВ; 0,125 В	3,5 с; 10^{-8} Н	0,23 МэВ
16	0,84	0,276 мкм; 0,278 В	0,7 мкм; 19,2 Вт	0,197 МэВ
17	0,35 эВ	3,8 эВ; 0,207 В	0,5; $5{,}6 \cdot 10^{21}$	0,236 Å
18	0,4 эВ	5,316 эВ; 0,234 мкм	0,4 мкм; $7 \cdot 10^{-7}$ Н	0,436 Å
19	1,125 эВ	0,24 мкм; 4,8 эВ	3 с; 11,67 Вт	0,636 Å
20	1,327 эВ	0,45 мкм; 0,472 мкм	0,85; 81,1 Вт	0,836 Å
21	0,1 мкм	0,292 мкм; 0,186 В	$1{,}63 \cdot 10^{20}$; 10 Вт	0,644 Å
22	0,337 мкм	3,64 эВ; 0,24 В	0,65 мкм; 0,75	0,630 Å
23	0,637 мкм	2,35 эВ; 0,529 мкм	48,67 Вт; $3 \cdot 10^{-7}$ Н	0,614 Å
24	0,819 мкм	0,4 мкм; 0,499 мкм	2,5 с; 10^{-7} Н	0,603 Å
25	0,98	0,35 мкм; 3,3 эВ	0,7; $2{,}4 \cdot 10^{20}$	0,105 МэВ
26	0,95	2,16 эВ; 0,575 мкм	0,6 мкм; 17,42 Вт	0,119 МэВ
27	0,86	0,317 мкм; 0,363 В	4 с; 3 Вт	0,141 МэВ
28	0,77	0,22 мкм; 0,264 мкм	$2{,}6 \cdot 10^{21}$; $8 \cdot 10^{-7}$ Н	0,161 МэВ

Номер задания	22.1	22.2	22.3
1	0,529 Å	12,26 Å	$13^\circ 31'$
2	2,11 Å	1,226 Å	$27^\circ 53'$
3	4,76 Å	0,388 Å	$44^\circ 32'$
4	8,46 Å	0,12 Å	$69^\circ 16'$
5	$2{,}19 \cdot 10^6$ м/с	20 В	18°
6	$1{,}1 \cdot 10^6$ м/с	40,4 В	$38^\circ 13'$
7	$7{,}3 \cdot 10^5$ м/с	59,8 В	$68^\circ 06'$
8	$5{,}48 \cdot 10^5$ м/с	80 В	Не наблюдается
9	$1{,}5 \cdot 10^{-16}$ с	Электрон	$14^\circ 20'$
10	$1{,}2 \cdot 10^{-15}$ с	Протон	$29^\circ 40'$
11	$4{,}1 \cdot 10^{-15}$ с	Протон	$47^\circ 56'$
12	$9{,}7 \cdot 10^{-15}$ с	Протон	$81^\circ 47'$
13	13,6 эВ	0,045 Å	$10^\circ 47'$
14	3,4 эВ	0,032 Å	$21^\circ 58'$
15	1,5 эВ	0,0143 Å	$34^\circ 08'$
16	0,85 эВ	0,010 Å	$48^\circ 26'$
17	–13,6 эВ	45 В	16°
18	–3,4 эВ	150 В	$33^\circ 29'$
19	–1,5 эВ	600 В	$55^\circ 50'$
20	–0,85 эВ	1500 В	Не наблюдается
21	$4{,}15 \cdot 10^{16}$ рад/с	Протон	$8^\circ 29'$
22	$5{,}2 \cdot 10^{15}$ рад/с	Электрон	$17^\circ 09'$
23	$1{,}53 \cdot 10^{15}$ рад/с	Электрон	$26^\circ 15'$
24	$6{,}48 \cdot 10^{14}$ рад/с	Протон	$36^\circ 08'$
25	13,6 В	0,0572 Å	19°
26	3,4 В	0,0405 Å	$40^\circ 41'$
27	1,5 В	0,033 Å	$77^\circ 57'$
28	0,85 В	0,0286 Å	Не наблюдается

Номер задания	22.4*
1	10^{-} 2,07 эВ; $3{,}3\cdot10^{-8}$ эВ; 3 м
2	10^{-} 2,07 эВ; $3{,}3\cdot10^{-7}$ эВ; 0,3 м
3	5,4· Å; 2,755 эВ; $3{,}3\cdot10^{-8}$ эВ; 3 м
4	5,4· Å; 2,755 эВ; $3{,}3\cdot10^{-7}$ эВ; 0,3 м
5	137; $1{,}5\cdot10^{-3}$ Å; $3{,}3\cdot10^{-9}$ с; 1 м
6	137; $1{,}5\cdot10^{-2}$ Å; $3{,}3\cdot10^{-10}$ с; 0,1 м
7	103; $8{,}6\cdot10^{-4}$ Å; $3{,}3\cdot10^{-9}$ с; 1 м
8	103; $8{,}6\cdot10^{-3}$ Å; $3{,}3\cdot10^{-10}$ с; 0,1 м
9	8·1[illegible]с; 2,254 эВ; $4{,}1\cdot10^{-5}$ эВ; 2,4 мм
10	8·1[illegible]с; 2,254 эВ; $4{,}1\cdot10^{-6}$ эВ; 2,4 см
11	$1{,}3^{11}$ с; 1,771 эВ; $2{,}5\cdot10^{-5}$ эВ; 3,9 мм
12	$1{,}3^{10}$ с; 1,771 эВ; $2{,}5\cdot10^{-6}$ эВ; 3,9 см
13	123; 1,22 Å; $3{,}3\cdot10^{-12}$ с; 10^{-4} эВ
14	123; $1{,}22\cdot10^{-2}$ Å; $3{,}3\cdot10^{-10}$ с; 10^{-6} эВ
15	413; 0,136 Å; $3{,}3\cdot10^{-12}$ с; 10^{-4} эВ
16	413; $1{,}36\cdot10^{-3}$ Å; $3{,}3\cdot10^{-10}$ с; 10^{-6} эВ
17	826; $1{,}8\cdot10^{-4}$ Å; $3{,}3\cdot10^{-8}$ эВ; 3 м
18	826; $1{,}8\cdot10^{-2}$ Å; $3{,}3\cdot10^{-6}$ эВ; 3 см
19	49; $6{,}5\cdot10^{-5}$ Å; $3{,}3\cdot10^{-8}$ эВ; 3 м
20	49; $6{,}5\cdot10^{-3}$ Å; $3{,}3\cdot10^{-6}$ эВ; 3 см
21	5·1Å; $3{,}3\cdot10^{-11}$ с; 4,96 эВ; 1 см
22	5·1Å; $3{,}3\cdot10^{-8}$ с; 4,96 эВ; 10 м
23	$3{,}4^{2}$ Å; $3{,}3\cdot10^{-11}$ с; 1,9 эВ; 1 см
24	$3{,}4^{5}$ Å; $3{,}3\cdot10^{-8}$ с; 1,9 эВ; 9,9 м
25	$2{,}2^{-4}$ Å; $6{,}7\cdot10^{-9}$ с; 1,65 эВ; $4{,}9\cdot10^{-8}$ эВ
26	0,1; $6{,}7\cdot10^{-12}$ с; 1,65 эВ; $4{,}9\cdot10^{-5}$ эВ
27	$6{,}4^{5}$ Å; $6{,}6\cdot10^{-9}$ с; 3,1 эВ; $5\cdot10^{-8}$ эВ
28	$6{,}4^{2}$ Å; $6{,}6\cdot10^{-12}$ с; 3,1 эВ; $5\cdot10^{-5}$ эВ

*В рекомемой литературе [1,2,3] соотношения неопределенностей Гейзенберга запы по-разному: $\Delta x\cdot\Delta p_x \geqslant \hbar/2$ [1]; $\Delta x\cdot\Delta p_x \geqslant \hbar$ [2], $\Delta x\cdot\Delta p_x \geqslant \hbar$ [3]. Ответьадачам 22.4; 22.5 даны для первого соотношения, однако порядок величеопределенностей будет одним и тем же во всех трех случаях.

Номер задания	22.5		22.6	22.7	22.8
1		$1{,}5\cdot10^{-7}$ м	20 эВ	0,003	113 эВ
2		$6{,}9\cdot10^{-8}$ м	26 эВ	0,01	188 эВ
3	$5{,}27\cdot10^{-30}$ кг м/с;	$4{,}9\cdot10^{-8}$ м	0,6 Å	0,017	263 эВ
4		$4\cdot10^{-8}$ м	0,23	0,02	338 эВ
5	$5{,}27\cdot10^{30}$ кг·м/с;	$2{,}93\cdot10^{-8}$ м	28 эВ	0,01	0,03 эВ
6	10^{-30} кг·м/с;	$5{,}85\cdot10^{-9}$ м	23 эВ	0,02	$3\cdot10^{-6}$ эВ
7	$5{,}27\cdot10^{-31}$ кг·м/с;	$2{,}93\cdot10^{-9}$ м	0,4 Å	$9{,}4\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-10}$ эВ
8	10^{-31} кг·м/с;	$5{,}85\cdot10^{-10}$ м	0,19	$2{,}0\cdot10^{-5}$	$3\cdot10^{-14}$ эВ
9		$8\cdot10^{-9}$ м	19 эВ	0,0177	1,13 эВ
10		$1{,}6\cdot10^{-8}$ м	40 эВ	0,009	$6{,}14\cdot10^{-4}$ эВ
11	$2{,}6\cdot10^{-30}$ кг·м/с;	$2{,}4\cdot10^{-8}$ м	1 Å	0,0036	$1{,}53\cdot10^{-4}$ эВ
12		$3{,}2\cdot10^{-8}$ м	0,07	0,02	$3\cdot10^{-4}$ эВ
13		$4{,}9\cdot10^{-8}$ м	25 эВ	0,02	113 эВ
14		$4{,}4\cdot10^{-8}$ м	34 эВ	10^{-4}	$1{,}13\cdot10^{-2}$ эВ
15	$5{,}27\cdot10^{-30}$ кг·м/с;	$4\cdot10^{-8}$ м	0,5 Å	0,02	$1{,}13\cdot10^{-6}$ эВ
16		$3{,}7\cdot10^{-8}$ м	0,1	10^{-4}	$1{,}13\cdot10^{-10}$ эВ
17	$5{,}27\cdot10^{-29}$ кг·м/с;	$3{,}94\cdot10^{-7}$ м	22 эВ	0,004	0,0614 эВ
18	$1{,}3\cdot10^{-29}$ кг·м/с;	$9{,}85\cdot10^{-8}$ м	30 эВ	0,008	0,102 эВ
19	$6{,}6\cdot10^{-30}$ кг·м/с;	$4{,}93\cdot10^{-8}$ м	1,3 Å	0,012	0,143 эВ
20	$4{,}4\cdot10^{-30}$ кг·м/с;	$3{,}28\cdot10^{-8}$ м	0,077	0,016	0,184 эВ
21		$8{,}55\cdot10^{-9}$ м	29 эВ	0,040	1,88 эВ
22		$1{,}71\cdot10^{-8}$ м	24 эВ	0,059	10^{-3} эВ
23	$2{,}1\cdot10^{-30}$ кг·м/с;	$2{,}57\cdot10^{-8}$ м	1,2 Å	0,078	$2{,}55\cdot10^{-4}$ эВ
24		$3{,}42\cdot10^{-8}$ м	0,025	0,097	$5{,}1\cdot10^{-4}$ эВ
25	$2{,}6\cdot10^{-30}$ кг·м/с;	$2{,}5\cdot10^{-8}$ м	36 эВ	0,093	$1{,}53\cdot10^{-2}$ эВ
26	$1{,}3\cdot10^{-30}$ кг·м/с;	$1{,}25\cdot10^{-8}$ м	23 эВ	0,15	$2{,}56\cdot10^{-2}$ эВ
27	$8{,}8\cdot10^{-31}$ кг·м/с;	$8{,}35\cdot10^{-9}$ м	0,8 Å	0,166	$3{,}58\cdot10^{-2}$ эВ
28	$6{,}6\cdot10^{-31}$ кг·м/с;	$6{,}26\cdot10^{-9}$ м	0,04	0,169	$4{,}6\cdot10^{-2}$ эВ

Номер задания	22.9	22.10	
1	$-1{,}31\cdot10^{-23}$ Дж/Тл; −10,2 эВ	1215,5 Å	0,091 мкм–0,1215 мкм
2	$-9{,}41\cdot10^{-24}$ Дж/Тл; −0,66 эВ	1025,5 Å	(ультрафиолетовая
3	$9{,}6\cdot10^{-24}$ Дж/Тл; 2,8 эВ	972 Å	область спектра)
4	$1{,}31\cdot10^{-23}$ Дж/Тл; −1,9 эВ	949,5 Å	
5	$3d \to 2p$	938 Å	0,091 мкм–0,1215 мкм
6	$5s \to 2p$	930,5 Å	(ультрафиолетовая
7	$4d \to 2p$	926 Å	область спектра)
8	$1s \to 2p$	923 Å	
9	$4p$	6563 Å	0,365 мкм–0,656 мкм
10	$2p$	4862 Å	(видимая область
11	$3p$; $-1{,}31\cdot10^{-23}$ Дж/Тл	4341 Å	спектра)
12	$5p$	4102 Å	
13	$4p$	3970 Å	0,365 мкм–0,656 мкм
14	$4p$; $1{,}31\cdot10^{-23}$ Дж/Тл	3889 Å	(видимая область
15	$2p$	3835 Å	спектра)
16	$3p$	3798 Å	
17	$1{,}31\cdot10^{-23}$ Дж/Тл; 2,8 эВ	18752 Å	0,82 мкм–1,875 мкм
18	$-9{,}41\cdot10^{-24}$ Дж/Тл; −2,5 эВ	12819 Å	(инфракрасная
19	$-9{,}41\cdot10^{-24}$ Дж/Тл; −0,97 эВ	10939 Å	область спектра)
20	$-1{,}31\cdot10^{-23}$ Дж/Тл; 2,5 эВ	10050 Å	
21	$3d \to 6f$	40514 Å	1,46 мкм–4,05 мкм
22	$2p \to 4s$	26253 Å	(инфракрасная
23	$6h \to 5g$	21657 Å	область спектра)
24	$5g \to 4f$	19447 Å	
25	$6p$	74583 Å	2,28 мкм–7,46 мкм
26	$4p$	46528 Å	(инфракрасная
27	$3p$; $-1{,}3\cdot10^{-23}$ Дж/Тл	37398 Å	область спектра)
28	$5p$	32963 Å	

Номер задания	23.1	23.2	23.3
1	$2{,}6\cdot10^{-4}$ Дж	$9{,}42\cdot10^{12}$ с$^{-1}$; 72 К	11,65 эВ; $1{,}85\cdot10^{-24}$ кг·м/с
2	$7{,}0\cdot10^{-4}$ Дж	$4{,}7\cdot10^{13}$ с$^{-1}$; 360 К	3,15 эВ; $9{,}6\cdot10^{-25}$ кг·м/с
3	$1{,}5\cdot10^{-3}$ Дж	$9{,}42\cdot10^{13}$ с$^{-1}$; 720 К	5,3 эВ; $1{,}25\cdot10^{-24}$ кг·м/с
4	$2{,}7\cdot10^{-3}$ Дж	$1{,}9\cdot10^{13}$ с$^{-1}$; 144 К	6 эВ; $1{,}3\cdot10^{-24}$ кг·м/с
5	0,054 Дж	$3{,}36\cdot10^{13}$ с$^{-1}$; 257 К	7 эВ; $1{,}43\cdot10^{-24}$ кг·м/с
6	0,235 Дж	$5{,}32\cdot10^{13}$ с$^{-1}$; 406 К	8,4 эВ; $1{,}56\cdot10^{-24}$ кг·м/с
7	0,634 Дж	$7{,}52\cdot10^{13}$ с$^{-1}$; 574 К	6,9 эВ; $1{,}42\cdot10^{-24}$ кг·м/с
8	1,336 Дж	$9{,}21\cdot10^{13}$ с$^{-1}$; 703 К	2 эВ; $7{,}64\cdot10^{-25}$ кг·м/с
9	$7{,}21\cdot10^{-4}$ Дж	$5{,}85\cdot10^{13}$ с$^{-1}$; 446,5К	9,2 эВ; $1{,}64\cdot10^{-24}$ кг·м/с
10	10^{-3} Дж	$4{,}31\cdot10^{13}$ с$^{-1}$; 329К	9,4 эВ; $1{,}66\cdot10^{-24}$ кг·м/с
11	$1{,}36\cdot10^{-3}$ Дж	$4{,}93\cdot10^{13}$ с$^{-1}$; 377 К	9,8 эВ; $1{,}69\cdot10^{-24}$ кг·м/с
12	$1{,}78\cdot10^{-3}$ Дж	$5{,}43\cdot10^{13}$ с$^{-1}$; 414,5 К	11,2 эВ; $1{,}8\cdot10^{-24}$ кг·м/с
13	$1{,}23\cdot10^{-2}$ Дж	$1{,}31\cdot10^{13}$ с$^{-1}$; 100 К	14,3 эВ; $2\cdot10^{-24}$ кг·м/с
14	$1{,}57\cdot10^{-2}$ Дж	$1{,}96\cdot10^{13}$ с$^{-1}$; 149 К	5,8 эВ; $1{,}3\cdot10^{-24}$ кг·м/с
15	$2{,}32\cdot10^{-2}$ Дж	$2{,}60\cdot10^{13}$ с$^{-1}$; 198 К	4,7 эВ; $1{,}2\cdot10^{-24}$ кг·м/с
16	$3{,}05\cdot10^{-2}$ Дж	$3{,}23\cdot10^{13}$ с$^{-1}$; 247 К	11,7 эВ; $1{,}85\cdot10^{-24}$ кг·м/с
17	$9{,}74\cdot10^{-3}$ Дж		19,5 эВ; $2{,}4\cdot10^{-24}$ кг·м/с
18	$4{,}22\cdot10^{-2}$ Дж		7,6 эВ; $1{,}5\cdot10^{-24}$ кг·м/с
19	0,114 Дж	$1{,}86\cdot10^{14}$ с$^{-1}$; 1418,5К	5,5 эВ; $1{,}3\cdot10^{-24}$ кг·м/с
20	0,24 Дж		8,5 эВ; $1{,}6\cdot10^{-24}$ кг·м/с
21	$1{,}18\cdot10^{-3}$ Дж		10 эВ; $1{,}7\cdot10^{-24}$ кг·м/с
22	$5{,}11\cdot10^{-3}$ Дж	$2{,}72\cdot10^{13}$ с$^{-1}$; 207,5К	9,96 эВ; $1{,}7\cdot10^{-24}$ кг·м/с
23	$1{,}38\cdot10^{-2}$ Дж		5,6 эВ; $1{,}3\cdot10^{-24}$ кг·м/с
24	$2{,}9\cdot10^{-2}$ Дж		11,7 эВ; $1{,}85\cdot10^{-24}$ кг·м/с
25	$6{,}67\cdot10^{-3}$ Дж		8,6 эВ; $1{,}6\cdot10^{-24}$ кг·м/с
26	$1{,}8\cdot10^{-2}$ Дж	$9{,}94\cdot10^{12}$ с$^{-1}$; 76 К	5,5 эВ; $1{,}3\cdot10^{-24}$ кг·м/с
27	$3{,}79\cdot10^{-2}$ Дж		1,5 эВ; $6{,}6\cdot10^{-25}$ кг·м/с
28	$6{,}89\cdot10^{-2}$ Дж		7 эВ; $1{,}4\cdot10^{-24}$ кг·м/с

Номер задания	23		23.5
1	0,1		$3{,}125 \cdot 10^6$ А/м^2; $2{,}6 \cdot 10^{-4}$ м/с
2	0,3		$6{,}25 \cdot 10^6$ А/м^2; $5{,}25 \cdot 10^{-4}$ м/с
3	0,6	6,44 эВ	$9{,}375 \cdot 10^6$ А/м^2; $7{,}9 \cdot 10^{-4}$ м/с
4	0,8		$1{,}25 \cdot 10^7$ А/м^2; $1{,}05 \cdot 10^{-3}$ м/с
5	0,2		$5{,}81 \cdot 10^6$ А/м^2; $3{,}2 \cdot 10^{-4}$ м/с
6	0,4		$6{,}98 \cdot 10^6$ А/м^2; $3{,}8 \cdot 10^{-4}$ м/с
7	0,7	8,55 эВ	$8{,}14 \cdot 10^6$ А/м^2; $4{,}5 \cdot 10^{-4}$ м/с
8	1 %		$9{,}30 \cdot 10^6$ А/м^2; $5{,}1 \cdot 10^{-4}$ м/с
9	0,1		$4{,}17 \cdot 10^3$ А/м^2; $3 \cdot 10^{-7}$ м/с
10	0,3		$4{,}17 \cdot 10^4$ А/м^2; $3 \cdot 10^{-6}$ м/с
11	0,4	7,14 эВ	$4{,}17 \cdot 10^5$ А/м^2; $3 \cdot 10^{-5}$ м/с
12	0,6		$4{,}17 \cdot 10^6$ А/м^2; $3 \cdot 10^{-4}$ м/с
13	0,1		$5{,}1 \cdot 10^4$ А/м^2; $1{,}3 \cdot 10^{-5}$ м/с
14	0,5		$1{,}02 \cdot 10^5$ А/м^2; $2{,}5 \cdot 10^{-5}$ м/с
15	0,8	3,12 эВ	$1{,}53 \cdot 10^5$ А/м^2; $3{,}8 \cdot 10^{-5}$ м/с
16	1,5		$2{,}04 \cdot 10^5$ А/м^2; $5{,}1 \cdot 10^{-5}$ м/с
17	0,1		$3{,}33 \cdot 10^3$ А/м^2; $5{,}7 \cdot 10^{-7}$ м/с
18	0,4		$8{,}33 \cdot 10^3$ А/м^2; $1{,}4 \cdot 10^{-6}$ м/с
19	0,7	4,0 эВ	$3{,}33 \cdot 10^4$ А/м^2; $5{,}7 \cdot 10^{-6}$ м/с
20	1,		$8{,}33 \cdot 10^4$ А/м^2; $1{,}4 \cdot 10^{-5}$ м/с
21	0,2		$7{,}14 \cdot 10^5$ А/м^2; $2{,}9 \cdot 10^{-5}$ м/с
22	0,7		$1{,}43 \cdot 10^6$ А/м^2; $5{,}7 \cdot 10^{-5}$ м/с
23	1,2	10,57 эВ	$2{,}14 \cdot 10^6$ А/м^2; $8{,}6 \cdot 10^{-5}$ м/с
24	1,4		$2{,}86 \cdot 10^6$ А/м^2; $1{,}1 \cdot 10^{-4}$ м/с
25	0,		$9{,}39 \cdot 10^4$ А/м^2; $4{,}7 \cdot 10^{-3}$ м/с
26	0,		$1{,}88 \cdot 10^5$ А/м^2; $9{,}4 \cdot 10^{-3}$ м/с
27	0,	0,09 эВ	$2{,}82 \cdot 10^5$ А/м^2; $1{,}4 \cdot 10^{-2}$ м/с
28	1,		$3{,}76 \cdot 10^5$ А/м^2; $1{,}9 \cdot 10^{-2}$ м/с

Номер задания	23.6		23.7
1		$3,5\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,17
2		$32\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,135
3	$\sigma_0 = 1,84\cdot10^7\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	$168\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,11 ~ 70 K
4		$607\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,09
5		$0,001\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,22
6		$0,05\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,17
7	$\sigma_0 = 3,1\cdot10^6\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	$0,27\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,13 ~ 55 K
8		$1,65\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,1
9		$680\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,23
10		$1560\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,45
11	$\sigma_0 = 6,1\cdot10^5\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	$3290\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,64 ~ 60 K
12		$5870\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,83
13		$3,7\cdot10^{-6}\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	12,86
14		$1,9\cdot10^{-4}\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	2,34
15	$\sigma_0 = 3,83\cdot10^6\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	$3,7\cdot10^{-3}\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,53 ~ 250 K
16		$3,7\cdot10^{-2}\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,29
17		$1210\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	17,2
18		$3270\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	44,4
19	$\sigma_0 = 1,28\cdot10^6\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	$6900\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	71,25 ~ 280 K
20		$12320\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	94,7
21		$266\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,87
22		$830\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,46
23	$\sigma_0 = 7,42\cdot10^5\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	$1935\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,29 ~ 380 K
24		$3750\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,20
25		$10^{-13}\cdot Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	2,17
26		$3\cdot10^{-10}\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,59
27	$\sigma_0 = 1,145\cdot10^{11}\ Ом^{-1}\cdot м$	$10^{-7}\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,36 ~ 930 K
28		$10^{-5}\ Ом^{-1}\cdot м^{-1}$	1,25

Номер задания	23.8	23.9	23.10
1	1,55 мкм	5,32 эВ	6,16 В
2	1,1 мкм	8,87 %	5,17 В
3	0,73 мкм	4,25 эВ	4,34 В
4	3,45 мкм	15,13 %	3,59 В
5	37,6 мкм	3,3 эВ	$6 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$
6	31,8 мкм	12,8 %	$2 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$
7	28,2 мкм	4,31 эВ	$1{,}5 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$
8	25,32 мкм	52,9 %	$7 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$
9	27,57 мкм	4,5 эВ	$2{,}5 \cdot 10^{29}$ м$^{-3}$
10	21,76 мкм	32,65 %	$9 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$
11	19,1 мкм	3,64 эВ	$1{,}5 \cdot 10^{29}$ м$^{-3}$
12	7,75 мкм	47,14 %	$8 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$
13	0,795 мкм	3,64 эВ	3,9 В
14	3,026 мкм	21,1 %	4,5 В
15	0,868 мкм	4,5 эВ	5,1 В
16	3,446 мкм	17,74 %	5,63 В
17	0,049 эВ; мышьяк	4,12 эВ	$4 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$
18	0,039 эВ; сурьма	4 %	10^{28} м$^{-3}$
19	0,065 эВ; галлий	5,32 эВ	$1{,}3 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$
20	0,057 эВ; алюминий	14,5 %	$2{,}5 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$
21	130,6 мкм	4,41 эВ	$7{,}5 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$
22	129,2 мкм	12,95 %	$2 \cdot 10^{29}$ м$^{-3}$
23	103,4 мкм	4,24 эВ	$3 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$
24	95,4 мкм	58,6 %	10^{29} м$^{-3}$
25	124,1 мкм	4,31 эВ	7,61 В
26	124,1 мкм	30,24 %	6,03 В
27	112,8 мкм	4,41 эВ	4,71 В
28	112,8 мкм	75,4 %	3,52 В

Номер задания	24.1
1	Углерод$_6$ C^{12}; $2{,}36\cdot10^{-5}$ Å; 7,680 МэВ
2	Сера$_{16}$ S^{36}; $3{,}28\cdot10^{-5}$ Å; 8,606 МэВ
3	Аргон$_{18}$ Ar^{36}; $3{,}41\cdot10^{-5}$ Å; 8,554 МэВ
4	Неон$_{10}$ Ne^{20}; $2{,}8\cdot10^{-5}$ Å; 8,032 МэВ
5	Кремний$_{14}$ Si^{28}; $3{,}13\cdot10^{-5}$ Å; 8,481 МэВ
6	Аргон$_{18}$ Ar^{40}; $3{,}41\cdot10^{-5}$ Å; 8,624 МэВ
7	Азот$_7$ N^{15}; $2{,}49\cdot10^{-5}$ Å; 7,730 МэВ
8	Калий$_{19}$ K^{40}; $3{,}47\cdot10^{-5}$ Å; 8,569 МэВ
9	Кальций$_{20}$ Ca^{40}; $3{,}53\cdot10^{-5}$ Å; 8,551 МэВ
10	Углерод$_6$ C^{13}; $2{,}36\cdot10^{-5}$ Å; 7,470 МэВ
11	Неон$_{10}$ Ne^{21}; $2{,}8\cdot10^{-5}$ Å; 8,065 МэВ
12	Аргон$_{18}$ Ar^{38}; $3{,}41\cdot10^{-5}$ Å; 8,646 МэВ
13	Кальций$_{20}$ Ca^{43}; $3{,}53\cdot10^{-5}$ Å; 8,630 МэВ
14	Кремний$_{14}$ Si^{29}; $3{,}13\cdot10^{-5}$ Å; 8,480 МэВ
15	Кислород$_8$ O^{17}; $2{,}6\cdot10^{-5}$ Å; 7,783 МэВ
16	Кремний$_{14}$ Si^{30}; $3{,}13\cdot10^{-5}$ Å; 8,550 МэВ
17	Кальций$_{20}$ Ca^{46}; $3{,}53\cdot10^{-5}$ Å; 8,696 МэВ
18	Азот$_7$ N^{14}; $2{,}49\cdot10^{-5}$ Å; 7,433 МэВ
19	Титан$_{22}$ Ti^{46}; $3{,}64\cdot10^{-5}$ Å; 8,688 МэВ
20	Неон$_{10}$ Ne^{22}; $2{,}8\cdot10^{-5}$ Å; 8,109 МэВ
21	Ванадий$_{23}$ V^{50}; $3{,}7\cdot10^{-5}$ Å; 8,725 МэВ
22	Хром$_{24}$ Cr^{50}; $3{,}75\cdot10^{-5}$ Å; 8,731 МэВ
23	Титан$_{22}$ Ti^{50}; $3{,}64\cdot10^{-5}$ Å; 8,784 МэВ
24	Кислород$_8$ O^{16}; $2{,}6\cdot10^{-5}$ Å; 7,976 МэВ
25	Титан$_{22}$ Ti^{48}; $3{,}64\cdot10^{-5}$ Å; 8,753 МэВ
26	Кислород$_8$ O^{18}; $2{,}6\cdot10^{-5}$ Å; 7,794 МэВ
27	Кальций$_{20}$ Ca^{48}; $3{,}53\cdot10^{-5}$ Å; 8,694 МэВ
28	Хром$_{24}$ Cr^{52}; $3{,}75\cdot10^{-5}$ Å; 8,806 МэВ

Номер задания	.2		24.3
	число прото	число нейтронов	
1	1	0 и 1	14,0067 а.е.м.; 99,635 %
2	2	1 и 2	49,9471 а.е.м; 99,76 %
3	3	3 и 4	4,0026 а.е.м.; $1{,}3\cdot10^{-4}$ %
4	5	5 и 6	63,546 а.е.м.; 30,9 %
5	6	6 и 7	68,9256 а.е.м.; 60,2 %
6	7	7 и 8	36,9659 а.е.м.; 24,23 %
7	8	8, 9 и 10	79,904 а.е.м.; 50,54 %
8	10	10, 11 и 12	1,008 а.е.м.; 0,015 %
9	12	12, 13 и 14	86,9092 а.е.м.; 72,15 %
10	14	14, 15 и 16	6,941 а.е.м.; 92,5 %
11	16	16, 17, 18 и 20	106,9051 а.е.м.; 51,3'%
12	17	18 и 20	50,9439 а.е.м.; 99,76 %
13	18	18, 20 и 22	10,81 а.е.м.; 19,9 %
14	19	20, 21 и 22	3,016 а.е.м.; 99,99987 %
15	20	20, 22, 23, 24, 26,28	13,0033 а.е.м.; 98,89 %
16	22	24,25,26,27 и 28	114,82 а.е.м.; 95,72 %
17	23	27 и 28	34,9688 а.е.м.; 75,77 %
18	24	26,28,29 и 30	11,0093 а.е.м.; 80,1 %
19	26	28,30,31 и 32	121,7 а.е.м.; 57,2 %
20	28	30,32,33,34 и 36	62,9296 а.е.м.; 30,9 %
21	29	34 и 36	2,0141 а.е.м.; 99,985 %
22	30	34,36,37,38,40	69,72 а.е.м.; 39,8 %
23	31	38 и 40	6,0151 а.е.м.; 7,5 %
24	32	38,40,41,42 и 44	15,0001 а.е.м.; 0,365 %
25	34	40,42 ,43,44,46,48	138,905 а.е.м.; 0,089 %
26	35	44 и 46	12,0000 а.е.м.; 1,11 %
27	42	50,52,53,54,55,56	80,9185 а.е.м.; 50,54 %
28	50	62,64,66,69,72,74	85,468 а.е.м.; 27,85 %

Номер задания	24.4	24.5	24.6
1	π^+; p	12,7 года; 42,1 %; 18,3 года	$5{,}81 \cdot 10^{11}$ Бк
2	γ; p	5,545 года$^{-1}$; 45,6 сут.; 20 сут.	$4 \cdot 10^{11}$ Бк
3	e^+; π^0	12,26 года; 8 лет; 17,7 года	$2{,}8 \cdot 10^{11}$ Бк
4	π^0; p	0,132 года$^{-1}$; 40,97 %; 7,6 года	$1{,}95 \cdot 10^{11}$ Бк
5	e^-; p	$8 \cdot 10^{-3}$ лет$^{-1}$; 70 лет; 124,1 года	$6{,}9 \cdot 10^{8}$ Бк
6	μ^-; p	0,04 года$^{-1}$; 17,6 лет; 46,76 %	$1{,}4 \cdot 10^{9}$ Бк
7	γ; n	1,035 года$^{-1}$; 245 сут.; 353,5 сут.	$2{,}1 \cdot 10^{9}$ Бк
8	e^+; n	2 года; 57,96 %; 2,88 года	$2{,}8 \cdot 10^{9}$ Бк
9	μ^+; n	0,023 года$^{-1}$; 30 лет; 25 лет	0
10	μ^+; π^0	16 лет; 15 лет; 23,1 года	$7{,}16 \cdot 10^{8}$ Бк
11	e^-; n	$1{,}2 \cdot 10^{-4}$ года$^{-1}$; 30,44 %; 8266,6 года	10^{12} Бк
12	$\tilde{\nu}$; n	0,04 года$^{-1}$; 15 лет; 25,4 года	$4{,}13 \cdot 10^{10}$ Бк
13	π^0; n	$2{,}9 \cdot 10^{-5}$ лет$^{-1}$; $2{,}4 \cdot 10^{4}$ лет; 32,23 %	$1{,}43 \cdot 10^{13}$ Бк
14	ν; n	2,1 года$^{-1}$; 120 сут.; 173,12 сут.	$4{,}06 \cdot 10^{12}$ Бк
15	$\tilde{\nu}$; π^0	5,26 года; 48,26 %; 7,6 года	$1{,}15 \cdot 10^{12}$ Бк
16	π^0; p	0,182 года$^{-1}$; 3,81 года; 4 года	$3{,}26 \cdot 10^{11}$ Бк
17	e^-; π^0	86 лет; 95 лет; 124,1 года	$5{,}44 \cdot 10^{14}$ Бк
18	π^-; p	0,023 года$^{-1}$; 43,73 %; 43,3 года	$5{,}1 \cdot 10^{14}$ Бк
19	ν; π^+	0,0546 года$^{-1}$; 16 лет; 18,3 года	$2{,}09 \cdot 10^{8}$ Бк
20	γ; n	3,47 года$^{-1}$; 73 сут.; 61,3 %	$1{,}93 \cdot 10^{8}$ Бк
21	π^0; n	0,89 года$^{-1}$; 284 сут.;409,7 сут.	$1{,}34 \cdot 10^{10}$ Бк
22	e^-; π^+	2,6 года; 55,06 %; 3,75 года	$2{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк
23	μ^-; p	$1{,}2 \cdot 10^{-4}$ года$^{-1}$; 5730 лет; 6000 лет	$4 \cdot 10^{10}$ Бк
24	ν; n	27,7 года; 30 лет; 40 лет	$5{,}4 \cdot 10^{10}$ Бк
25	$\tilde{\nu}$; π^-	0,043 года$^{-1}$; 57,94 %; 23,1 года	$7{,}2 \cdot 10^{13}$ Бк
26	γ; p	0,267 года$^{-1}$; 3,5 года; 3,75 года	$3 \cdot 10^{13}$ Бк
27	γ; p	1,54 года$^{-1}$; 165 сут.; 57 %	$1{,}2 \cdot 10^{13}$ Бк
28	γ; p	0,835 года$^{-1}$; 303 сут.; 437 сут.	$5 \cdot 10^{12}$ Бк

Номер задания	24.7	24.8	24.9	24.10
1	$_{92}U^{234}$	0,23 барн	α; –0,69 МэВ	1845 лет
2	$_{88}Ra^{226}$	0,01 барн	$_{2}He^{3}$; 3,25 МэВ	4223 года
3	$_{84}Po^{218}$	766 барн	$_{1}H^{3}$; 4,7 МэВ	7575 лет
4	$_{83}Bi^{214}$	5,1 барн	d; 5,5 МэВ	13300 лет
5	$_{88}Ra^{226}$	5,7 мм	n; 5,7 МэВ	19000 лет
6	$_{82}Pb^{214}$	3,2 см	p; 4,55 МэВ	24800 лет
7	$_{83}Bi^{214}$	0,95 мм	p; 1,13 МэВ	32300 лет
8	$_{82}Pb^{210}$	0,23 мм	$_{3}Li^{7}$; 16,8 МэВ	38100 лет
9	$_{90}Th^{228}$	1,0275	$_{13}Al^{27}$; –2,64МэВ	39900 лет
10	$_{86}Rn^{220}$	22,9	$_{2}He^{4}$; 17,6 МэВ	42300 лет
11	$_{82}Pb^{212}$	4,65	α; 5,7 МэВ	45650 лет
12	$_{83}Bi^{212}$	66,6	d; 15,1 МэВ	51400 лет
13	$_{92}U^{233}$	1,2 барн	$_{7}N^{13}$; 1,4 МэВ	63000 лет
14	$_{88}Ra^{225}$	0,6 барн	$_{2}He^{4}$; 11,3 МэВ	76000 лет
15	$_{87}Fr^{221}$	14,6 барн	d; 3,2 МэВ	167 лет
16	$_{83}Bi^{213}$	8,1 барн	$_{3}Li^{6}$; 22,4 МэВ	340 лет
17	$_{90}Th^{227}$	0,78 мм	$_{11}Na^{22}$; 1,97 МэВ	510 лет
18	$_{84}Po^{215}$	2,53 см	d; 18,9 МэВ	690 лет
19	$_{83}Bi^{211}$	1,08 см	$_{49}In^{113}$; –2,3 МэВ	870 лет
20	$_{82}Pb^{207}$	3,32 см	$_{30}Zn^{65}$; –4,35МэВ	1060 лет
21	$_{89}Ac^{228}$	7,16	α; 16,8 МэВ	1250 лет
22	$_{88}Ra^{224}$	2,84	$_{2}He^{3}$; 13,9 МэВ	1440 лет
23	$_{86}Rn^{220}$	1,53	$_{25}Mn^{54}$; 0,6 МэВ	1640 лет
24	$_{82}Pb^{212}$	1,05	n; –0,4 МэВ	1845 лет
25	$_{88}Ra^{225}$	7,69 барн	α; 3,5 МэВ	2050 лет
26	$_{89}Ac^{225}$	0,0045 барн	$_{1}H^{3}$; 4,8 МэВ	2270 лет
27	$_{83}Bi^{213}$	0,49 барн	$_{12}Mg^{25}$; –3,65МэВ	2490 лет
28	$_{82}Pb^{209}$	1,97 барн	$_{6}C^{14}$; 1,14 МэВ	2716 лет

1. Эффективные диаметры d молекул газов

Газ	d, м	Газ	d, м
Азот	$3{,}1 \cdot 10^{-10}$	Воздух	$3{,}0 \cdot 10^{-10}$
Аммиак	$3{,}0 \cdot 10^{-10}$	Гелий	$1{,}9 \cdot 10^{-10}$
Аргон	$3{,}6 \cdot 10^{-10}$	Кислород	$2{,}9 \cdot 10^{-10}$
Водород	$2{,}3 \cdot 10^{-10}$	Неон	$2{,}6 \cdot 10^{-10}$
Водяной пар	$4{,}6 \cdot 10^{-10}$	Оксид углерода (IV)	$3{,}4 \cdot 10^{-10}$

2. Постоянные Ван-дер-Ваальса для некоторых газов

Вещество	a, Н·м^4/моль^2	b, м^3/моль
Азот	0,136	$3{,}85 \cdot 10^{-5}$
Аргон	0,136	$3{,}23 \cdot 10^{-5}$
Водород	$2{,}44 \cdot 10^{-2}$	$2{,}63 \cdot 10^{-5}$
Водяной пар	0,556	$3{,}06 \cdot 10^{-5}$
Гелий	$3{,}43 \cdot 10^{-3}$	$2{,}34 \cdot 10^{-5}$
Кислород	0,136	$3{,}16 \cdot 10^{-5}$
Углекислый газ	0,364	$4{,}26 \cdot 10^{-5}$

3. Некоторые свойства жидкостей

Жидкость	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	Удельная теплота парообразования, Дж/кг	Температура кипения, °С
Вода	4200	$2{,}3 \cdot 10^6$	100
Спирт	2500	$9 \cdot 10^5$	78
Ртуть	138	$3 \cdot 10^5$	357

4. Плотность ρ некоторых веществ

Вещество	ρ, кг/м^3	Вещество	ρ, кг/м^3
Алюминий	2699	Натрий	968,4
Бериллий	1848	Никель	8900
Бор	2340	Олово	7298
Вольфрам	19300	Платина	21450
Германий	5323	Ртуть	13546
Железо	7874	Свинец	11350
Золото	19320	Серебро	10500
Калий	862	Тантал	16600
Литий	534	Уран	18950
Медь	8960	Хром	7190
Молибден	10200	Цинк	7140

5. Некоторые свойства твердых веществ

Вещество	Удельная теплота плавления, кДж/кг	Температура плавления, °С	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)
Алюминий	393	660,4	896
Вода (лед)	335	0	2100
Железо	270	1535	500
Медь	213	1084,5	395
Олово	58,6	232	230
Платина	113	1770	117
Серебро	87,3	962	234
Свинец	22,6	327	126
Сталь	–	1300	460
Цинк	117	420	391

6. Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ некоторых диэлектриков

Жидкий диэлектрик	ϵ	Твердый диэлектрик	ϵ
Бензин	2,0	Воск	7,8
Вода	81	Винипласт	3,5
Глицерин	43	Гетинакс	8,0
Керосин	2,0	Парафин	2,0
Масло касторовое	4,5	Слюда	6,0
Масло трансформаторное	5,0	Стекло	6,0
Скипидар	2,3	Фарфор	6,0
		Эбонит	2,6

7. Удельное электрическое сопротивление ρ металлов

Металл	ρ, мкОм·м	Металл	ρ, мкОм·м
Алюминий	0,028	Ниобий	0,18
Висмут	1,065	Олово	0,12
Вольфрам	0,055	Платина	0,105
Железо	0,098	Ртуть	0,958
Золото	0,024	Свинец	0,205
Индий	0,09	Серебро	0,016
Кадмий	0,076	Тантал	0,135
Кобальт	0,062	Титан	0,42
Медь	0,0172	Хром	0,14
Молибден	0,057	Цинк	0,059
Никель	0,973	Цирконий	0,41

8. Относительная магнитная проницаемость μ некоторых магнетиков

Парамагнетик	μ	Диамагнетик	μ
Алюминий	1,000023	Висмут	0,999824
Ванадий	1,000343	Вода	0,999991
Вольфрам	1,000176	Водород	0,9999998
Кислород	1,0000019	Золото	0,999961
Магний	1,0000174	Медь	0,9999897
Марганец	1,00100	Свинец	0,9999841
Олово	1,0000022	Серебро	0,999981
Платина	1,000250	Цинк	0,999988

9. Излучение оптического диапазона

Вид излучения	Диапазон длин волн, м	Диапазон частот, Гц
Инфракрасное излучение	10^{-3} – $7{,}6\cdot10^{-7}$	$3\cdot10^{11}$ – $4\cdot10^{14}$
Видимое излучение	$7{,}6\cdot10^{-7}$ – $3{,}8\cdot10^{-7}$	$4\cdot10^{14}$ – $8\cdot10^{14}$
Красные волны	$7{,}6\cdot10^{-7}$ – $6{,}2\cdot10^{-7}$	$4\cdot10^{14}$ – $4{,}8\cdot10^{14}$
Оранжевые волны	$6{,}2\cdot10^{-7}$ – $5{,}9\cdot10^{-7}$	$4{,}8\cdot10^{14}$ – $5{,}1\cdot10^{14}$
Желтые волны	$5{,}9\cdot10^{-7}$ – $5{,}6\cdot10^{-7}$	$5{,}1\cdot10^{14}$ – $5{,}4\cdot10^{14}$
Зеленые волны	$5{,}6\cdot10^{-7}$ – $5{,}0\cdot10^{-7}$	$5{,}4\cdot10^{14}$ – $6{,}0\cdot10^{14}$
Голубые волны	$5{,}0\cdot10^{-7}$ – $4{,}8\cdot10^{-7}$	$6{,}0\cdot10^{14}$ – $6{,}2\cdot10^{14}$
Синие волны	$4{,}8\cdot10^{-7}$ – $4{,}5\cdot10^{-7}$	$6{,}2\cdot10^{14}$ – $6{,}7\cdot10^{14}$
Фиолетовые волны	$4{,}5\cdot10^{-7}$ – $3{,}8\cdot10^{-7}$	$6{,}7\cdot10^{14}$ – $8{,}0\cdot10^{14}$
Ультрафиолетовое излучение	$3{,}8\cdot10^{-7}$ – $8\cdot10^{-8}$	$8\cdot10^{14}$ – $3{,}7\cdot10^{15}$
Рентгеновское излучение	$8\cdot10^{-8}$ – 10^{-11}	$3{,}7\cdot10^{15}$ – $3\cdot10^{19}$
Гамма-излучение	10^{-11} и менее	$3\cdot10^{19}$ и более

Примечание. Строгой границы между отдельными диапазонами электромагнитных волн не существует, соседние диапазоны частично "перекрывают" друг друга

10. Показатель преломления n некоторых жидкостей и твердых веществ для желтой линии натрия (λ = 589,3 нм) при температуре 20 °С

Жидкость	n	Твердое вещество	n
Бензол	1,50	Алмаз	2,42
Вода	1,33	Кварц	1,54
Глицерин	1,47	Корунд	1,77
Масло льняное	1,47	Лед	1,31
Скипидар	1,46	Слюда	1,60
Толуол	1,49	Стекло	1,5 – 1,9

11. Таблица изотопов

Атомный номер элемента	Химический элемент	Символ изотопа	Масса изотопа, а.е.м.
1	2	3	4
1	Водород	^{1}H	1,007825
		^{2}H	2,014102
		^{3}H	3,016040
2	Гелий	^{3}He	3,016049

Окончание 11.

1	2	3	4
		^{4}He	4,002603
3	Литий	^{6}Li	6,015125
		^{7}Li	7,016004
4	Бериллий	^{9}Be	9,012186
5	Бор	^{10}B	10,012939
6	Углерод	^{12}C	12,000000
		^{13}C	13,003354
		^{14}C	14,003240
7	Азот	^{13}N	13,005370
		^{14}N	14,003074
		^{15}N	15,000107
8	Кислород	^{16}O	15,994915
		^{17}O	16,999139
11	Натрий	^{22}Na	21,994430
		^{23}Na	22,989771
12	Магний	^{24}Mg	23,985042
		^{25}Mg	24,985839
		^{26}Mg	25,982539
13	Алюминий	^{24}Al	23,999940
		^{27}Al	26,981539
15	Фосфор	^{30}P	29,978310
		^{31}P	30,973765
		^{32}P	31,973900
16	Сера	^{32}S	31,972074
		^{34}S	33,967864
		^{35}S	34,969030
		^{36}S	35,967090
17	Хлор	^{35}Cl	34,968851
		^{37}Cl	36,965898
25	Марганец	^{54}Mn	53,940350
26	Железо	^{54}Fe	53,939617
		^{56}Fe	55,934936
29	Медь	^{63}Cu	62,929592
		^{65}Cu	64,927786
30	Цинк	^{65}Zn	64,929230
42	Молибден	^{95}Mo	94,905854
43	Технеций	^{96}Tc	95,907830
49	Индий	^{113}In	112,904089
		^{115}In	114,903871
50	Олово	^{112}Sn	111,904835
		^{113}Sn	112,905180
		^{114}Sn	113,902773

12. Работа выхода A электрона из металла

Металл	A, эВ	Металл	A, эВ
Алюминий	3,74	Никель	4,84
Вольфрам	4,5	Платина	5,3
Литий	2,4	Серебро	4,74
Калий	2,0	Цезий	1,9
Натрий	2,27	Цинк	3,74

13. Таблица синусов*

	0°	2°	4°	6°	8°
0°	0,0000	0,0349	0,0698	0,1045	0,1392
10°	0,1736	0,2079	0,2419	0,2756	0,3090
20°	0,3420	0,3746	0,4067	0,4384	0,4695
30°	0,5000	0,5299	0,5592	0,5878	0,6157
40°	0,6428	0,6691	0,6947	0,7193	0,7431
50°	0,7660	0,7880	0,8090	0,8290	0,8480
60°	0,8660	0,8829	0,8988	0,9135	0,9272
70°	0,9397	0,9511	0,9613	0,9703	0,9781
80°	0,9848	0,9903	0,9945	0,9976	0,9994

*Значения синусов для промежуточных углов могут быть получены с погрешностью, не превышающей двух единиц четвертого знака, посредством интерполяции.

14. Таблица тангенсов

	0°	2°	4°	6°	8°
0°	0,0000	0,0349	0,0699	0,1051	0,1405
10°	0,1763	0,2126	0,2493	0,2867	0,3249
20°	0,3640	0,4040	0,4452	0,4877	0,5317
30°	0,5774	0,6249	0,6745	0,7265	0,7813
40°	0,8391	0,9004	0,9657	1,0355	1,1106
50°	1,1918	1,2799	1,3764	1,4826	1,6003
60°	1,7321	1,8807	2,0503	2,2460	2,4751
70°	2,7475	3,0777	3,4874	4,0108	4,7046
80°	5,6713	7,1154	9,5144	14,3007	28,6363

15. Основные математические константы и связанные с ними преобразования

$\pi = 3{,}1415926$	$e = 2{,}718281$	$\lg x = 0{,}4343 \ln x$
$\pi^2 = 9{,}869624$	$\lg e = 0{,}434294$	$\ln x = 2{,}3026 \lg x$
$\sqrt{\pi} = 1{,}7724538$	$\ln 10 = 2{,}302585$	

16. Обозначения и единицы физических величин

Физическая величина	Условное обозначение	Единица измерения
1	2	3
Механика		
Расстояние	s, l	м
Длина	l	м
Высота	h, H	м
Площадь	S	$м^2$
Радиус-вектор	r	м
Радиус кривизны	R	м
Время	t	с
Скорость	v	м/с
Ускорение	a	$м/с^2$
Тангенциальное ускорение	a_τ	$м/с^2$
Нормальное ускорение	a_n	$м/с^2$
Угловое перемещение	φ	рад
Угловая скорость	ω	рад/с
Угловое ускорение	β	$рад/с^2$
Частота вращения	ν	$с^{-1}$
Масса	m	кг
Сила	f, F	Н
Коэффициент трения	k	
Работа	A	Дж
Энергия	W	Дж
Мощность	P	Вт
Импульс тела	p	$кг \cdot м/с$
Момент инерции	J	$кг \cdot м^2$
Момент силы	M	Н·м
Момент импульса	L	$кг \cdot м^2/с$
Молекулярная физика и термодинамика		
Объем	V	$м^3$
Давление	p	Па
Абсолютная температура	T	К
Молярная масса	μ	кг/моль

1	2	3
Плотность	ρ	кг/м^3
Концентрация молекул	n	м$^{-3}$
Внутренняя энергия	U	Дж
Количество теплоты	Q	Дж
Число степеней свободы	i	
Удельная теплоемкость	c	Дж/кг·К
Мольная теплоемкость	C	Дж/(моль·К)
Показатель адиабаты	γ	
Длина свободного пробега	λ	м
Число соударений	z	с$^{-1}$
Коэффициент полезного действия	η	
Изменение энтропии	ΔS	Дж/К
Термодинамическая вероятность состояния	Ω	
Электричество и магнетизм		
Заряд	q	Кл
Потенциал	φ	В
Напряженность электрического поля	E	В/м
Линейная плотность заряда	λ	Кл/м
Поверхностная плотность заряда	σ	Кл/м^2
Объемная плотность заряда	ρ	Кл/м^3
Дипольный электрический момент	p	Кл·м
Поляризуемость молекулы	β	Кл·м^2/В
Поляризованность вещества	P	Кл/м^2
Электрическое смещение	D	Кл/м^2
Диэлектрическая восприимчивость	κ	
Относительная диэлектрическая проницаемость	ϵ	
Электроемкость	C	Ф
Электродвижущая сила	ϵ	В
Напряжение	U	В
Сила постоянного тока	I	А
Сила изменяющегося тока	i	А
Плотность тока	j	А/м^2
Сопротивление проводника	R	Ом
Внутреннее сопротивление	r	Ом
Удельное сопротивление	ρ	Ом·м
Удельная проводимость	σ	(Ом·м)$^{-1}$
Подвижность носителей заряда	a	м^2/(В·с)
Магнитная индукция	B	Тл
Магнитный поток	Φ	Вб
Напряженность магнитного поля	H	А/м

1	2	3
Магнитный момент	p_m	А·м^2
Магнитная восприимчивость	χ	
Относительная магнитная проницаемость	μ	
Намагниченность	J	А/м
Индуктивность	L	Гн
Объемная плотность энергии	w	Дж/м^3
Колебания и волны. Волновая оптика		
Смещение от положения равновесия	x, ξ	м
Циклическая частота	ω	рад/с
Начальная фаза	φ_0	рад
Период	T	с
Длина волны	λ	м
Волновое число	k	рад/м
Групповая скорость	u	м/с
Коэффициент затухания	β	с$^{-1}$
Логарифмический декремент затухания	κ	
Время релаксации	τ	с
Добротность колебательной системы	Q	
Вектор Умова–Пойнтинга	S	Вт/м^2
Дисперсия	D	м$^{-1}$
Интенсивность света	I	Вт/м^2
Световой поток	Φ	лм
Оптическая разность хода	Δ	м
Оптическая разность фаз	δ	рад
Показатель преломления	n	
Отражательная способность	ρ	
Разрешающая способность системы	R	
Атомная и ядерная физика		
Массовое число	A	
Зарядовое число	Z	
Энергия фотона	ϵ	Дж
Характеристическая температура Дебая	Θ	К
Постоянная радиоактивного распада	λ	с$^{-1}$
Период полураспада	T	с
Среднее время жизни ядра	τ	с
Активность радиоактивного источника	a	Бк
Эффективное сечение ядерной реакции	σ	м^2

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
Методические рекомендации 4
Механика 6
Тема 1. Кинематика материальной точки и поступательного движения твердого тела 6
Тема 2. Динамика материальной точки и поступательного движения твердого тела 17
Тема 3. Механическая энергия. Маханическая работа. Закон сохранения энергии в механике 28
Тема 4. Кинематика и динамика вращательного движения 39
Тема 5. Неинерциальные системы отсчета.Силы инерции. Элементы специальной теории относительности 50
Молекулярная физика и термодинамика 61
Тема 6. Основы молекулярно-кинетической теории газов. Термодинамические параметры. Теплоемкость 61
Тема 7. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам и адиабатическому процессу в идеальном газе. Элементы статической физики и физической кинематики 72
Тема 8. Второе начало термодинамики. Реальные газы 83
Электричество и магнетизм 94
Тема 9. Электростатическое поле в вакууме 94
Тема 10. Электростатическое поле в диэлектрике. Проводники в электростатическом поле 106
Тема 11. Движущийся заряд в электростатическом поле. Постоянный электрический ток 118
Тема 12. Магнитное поле в вакууме 129
Тема 13. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Проводник и контур с током в магнитном поле 140
Тема 14. Магнитное поле в веществе. Электромагнитная индукция. Основы теории Максвелла для электромагнитного поля 151
Колебания и волны 162
Тема 15. Гармонические механические и электромагнитные колебания 162
Тема 16. Сложение гармонических колебаний. Затухающие механические и электромагнитные колебания. Вынужденные колебания 174
Тема 17. Волновое движение. Электромагнитные волны 186
Волновая оптика 197
Тема 18. Интерференция света 197
Тема 19. Дифракция света 208
Тема 20. Поляризация света 219
Элементы квантовой механики и физики твердого тела. Основы физики и атомного ядра 231
Тема 21. Квантовая природа излучения 231
Тема 22. Элементы атомной физики и квантовой механики 242
Тема 23. Элементы физики твердого тела 254
Тема 24. Основы физики атомного ядра 266
Ответы 276
Приложения 377

Основные физические постоянные

Наименование	Обозначение	Числовое значение (с точностью до четвертой значащей цифры)
Скорость света	c	$2{,}998 \cdot 10^{8}$ м/с
Скорость звука в воздухе при нормальных условиях	v	331,4 м/с
Нормальное ускорение свободного падения	g	9,807 м/с^2
Гравитационная постоянная	G	$6{,}672 \cdot 10^{-11}$ Н·м^2/кг^2
Заряд электрона	e	$1{,}602 \cdot 10^{-19}$ Кл
Атомная единица массы	а.е.м.	$1{,}661 \cdot 10^{-27}$ кг 931,5 МэВ
Масса покоя электрона	m_e	$9{,}110 \cdot 10^{-31}$ кг
Масса покоя протона	m_p	$1{,}672 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса покоя нейтрона	m_n	$1{,}675 \cdot 10^{-27}$ кг
Универсальная газовая постоянная	R	8,314 Дж/(моль·К)
Постоянная Больцмана	k	$1{,}381 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Число Авогадро	N_A	$6{,}022 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
Число Лошмидта	N_L, n_o	$2{,}687 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$
Объем моля идеального газа при нормальных условиях	V_m	$22{,}41 \cdot 10^{-3}$ м^3/моль
Нормальное атмосферное давление	$P_{атм}$	10 1325 Па
Постоянная Планка	h	$6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
	$\hbar = h/2\pi$	$1{,}0546 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Ридберга	R_λ	$1{,}097 \cdot 10^{7}$ м$^{-1}$
	R_ω	$2{,}067 \cdot 10^{16}$ с$^{-1}$
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5{,}670 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м^{2}К^4)
Постоянная закона смещения Вина	b	$2{,}898 \cdot 10^{-3}$ м·К
Постоянная (число) Фарадея	F	$9{,}648 \cdot 10^{4}$ Кл/моль
Боровский радиус	a_o	$5{,}292 \cdot 10^{-11}$ м
Магнетон Бора	$\mu_Б$	$9{,}274 \cdot 10^{-24}$ Дж/Тл
Магнитный момент электрона	μ_e	$9{,}285 \cdot 10^{-24}$ Дж/Тл
Магнитная постоянная	μ_o	$12{,}57 \cdot 10^{-7}$ Гн/м
	$\mu_o/4\pi$	10^{-7} Гн/м
Электрическая постоянная	ϵ_o	$8{,}854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
	$1/(4\pi\epsilon_o)$	$8{,}9875 \cdot 10^{9}$ м/Ф

Латинский алфавит

Написание буквы	Название
A a	а
B b	бе
C c	це
D d	де
E e	е
F f	эф
G g	ге
H h	аш
I i	и
J j	йот
K k	ка
L l	эль
M m	эм
N n	эн
O o	о
P p	пэ
Q q	ку
R r	эр
S s	эс
T t	тэ
U u	у
V v	ве
W w	дубль-ве
X x	икс
Y y	игрек
Z z	зэт

Греческий алфавит

Написание буквы	Название
$A\ \alpha$	альфа
$B\ \beta$	бета
$\Gamma\ \gamma$	гамма
$\Delta\ \delta$	дельта
$E\ \epsilon$	эпсилон
$Z\ \zeta$	дзэта
$H\ \eta$	эта
$\Theta\ \theta\ \vartheta$	тхэта
$I\ \iota$	йота
$K\ \kappa$	каппа
$\Lambda\ \lambda$	ламбда
$M\ \mu$	мю
$N\ \nu$	ню
$\Xi\ \xi$	кси
$O\ o$	омикрон
$\Pi\ \pi$	пи
$P\ \rho$	ро
$\Sigma\ \sigma$	сигма
$T\ \tau$	тау
$\Upsilon\ \upsilon$	ипсилон
$\Phi\ \varphi$	фи
$X\ \chi$	хи
$\Psi\ \psi$	пси
$\Omega\ \omega$	омега

Приставки к множителям для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований

Приставка		Множитель	Приставка		Множитель
Наименование	Обозначение		Наименование	Обозначение	
тера	Т	10^{12}	пико	п	10^{-12}
гига	Г	10^{9}	нано	н	10^{-9}
мега	М	10^{6}	микро	мк	10^{-6}
кило	к	10^{3}	милли	м	10^{-3}
гекто	г	10^{2}	санти	с	10^{-2}
дека	да	10^{1}	деци	д	10^{-1}

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

ПЕРИОДЫ	РЯДЫ	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ I	II	III	IV	V	VI	VII	
1	I	1 **H** 1,0079 $1s^1$ ВОДОРОД						H	2 **He** 4,0026 ГЕЛИЙ
2	II	3 **Li** 6,941 $2s^1$ ЛИТИЙ	4 **Be** 9,01218 $2s^2$ БЕРИЛЛИЙ	5 **B** 10,81 $2p^1$ БОР	6 **C** 12,011 $2p^2$ УГЛЕРОД	7 **N** 14,0067 $2p^3$ АЗОТ	8 **O** 15,9994 $2p^4$ КИСЛОРОД	9 **F** 18,998403 $2p^5$ ФТОР	10 **Ne** 20,179 $2p^6$ НЕОН
3	III	11 **Na** 22,98977 $3s^1$ НАТРИЙ	12 **Mg** 24,305 $3s^2$ МАГНИЙ	13 **Al** 26,98154 $3p^1$ АЛЮМИНИЙ	14 **Si** 28,0855 $3p^2$ КРЕМНИЙ	15 **P** 30,97376 $3p^3$ ФОСФОР	16 **S** 32,06 $3p^4$ СЕРА	17 **Cl** 35,453 $3p^5$ ХЛОР	18 **Ar** 39,948 $3p^6$ АРГОН
4	IV	19 **K** 39,0983 $4s^1$ КАЛИЙ	20 **Ca** 40,08 $4s^2$ КАЛЬЦИЙ	21 **Sc** 44,9559 $3d^1 4s^2$ СКАНДИЙ	22 **Ti** 47,90 $3d^2 4s^2$ ТИТАН	23 **V** 50,9415 $3d^3 4s^2$ ВАНАДИЙ	24 **Cr** 51,996 $3d^5 4s^1$ ХРОМ	25 **Mn** 54,9380 $3d^5 4s^2$ МАРГАНЕЦ	26 **Fe** 55,847 $3d^6 4s^2$ ЖЕЛЕЗО; 27 **Co** 58,9332 $3d^7 4s^2$ КОБАЛЬТ; 28 **Ni** 58,70 $3d^8 4s^2$ НИКЕЛЬ
	V	29 **Cu** 63,546 $3d^{10} 4s^1$ МЕДЬ	30 **Zn** 65,38 $4s^2$ ЦИНК	31 **Ga** 69,72 $4p^1$ ГАЛЛИЙ	32 **Ge** 72,59 $4p^2$ ГЕРМАНИЙ	33 **As** 74,9216 $4p^3$ МЫШЬЯК	34 **Se** 78,96 $4p^4$ СЕЛЕН	35 **Br** 79,904 $4p^5$ БРОМ	36 **Kr** 83,80 $4p^6$ КРИПТОН
5	VI	37 **Rb** 85,4678 $5s^1$ РУБИДИЙ	38 **Sr** 87,62 $5s^2$ СТРОНЦИЙ	39 **Y** 88,9059 $4d^1 5s^2$ ИТТРИЙ	40 **Zr** 91,22 $4d^2 5s^2$ ЦИРКОНИЙ	41 **Nb** 92,9064 $4d^4 5s^1$ НИОБИЙ	42 **Mo** 95,94 $4d^5 5s^1$ МОЛИБДЕН	43 **Tc** 98,9062 $4d^5 5s^2$ ТЕХНЕЦИЙ	44 **Ru** 101,07 $4d^7 5s^1$ РУТЕНИЙ; 45 **Rh** 102,9055 $4d^8 5s^1$ РОДИЙ; 46 **Pd** 106,4 $4d^{10} 5s^0$ ПАЛЛАДИЙ
	VII	47 **Ag** 107,868 $5s^1$ СЕРЕБРО	48 **Cd** 112,41 $5s^2$ КАДМИЙ	49 **In** 114,82 $5p^1$ ИНДИЙ	50 **Sn** 118,69 $5p^2$ ОЛОВО	51 **Sb** 121,75 $5p^3$ СУРЬМА	52 **Te** 127,60 $5p^4$ ТЕЛЛУР	53 **I** 126,9045 $5p^5$ ИОД	54 **Xe** 131,30 $5p^6$ КСЕНОН
6	VIII	55 **Cs** 132,9054 $6s^1$ ЦЕЗИЙ	56 **Ba** 137,33 $6s^2$ БАРИЙ	57–71 **La–Lu** ★	72 **Hf** 178,49 $5d^2 6s^2$ ГАФНИЙ	73 **Ta** 180,947 $5d^3 6s^2$ ТАНТАЛ	74 **W** 183,85 $5d^4 6s^2$ ВОЛЬФРАМ	75 **Re** 186,207 $5d^5 6s^2$ РЕНИЙ	76 **Os** 190,2 $5d^6 6s^2$ ОСМИЙ; 77 **Ir** 192,22 $5d^7 6s^2$ ИРИДИЙ; 78 **Pt** 195,09 $5d^9 6s^1$ ПЛАТИНА
	IX	79 **Au** 196,9665 $5d^{10} 6s^1$ ЗОЛОТО	80 **Hg** 200,59 $6s^2$ РТУТЬ	81 **Tl** 204,37 $6p^1$ ТАЛЛИЙ	82 **Pb** 207,2 $6p^2$ СВИНЕЦ	83 **Bi** 208,9804 $6p^3$ ВИСМУТ	84 **Po** (209) $6p^4$ ПОЛОНИЙ	85 **At** (210) $6p^5$ АСТАТ	86 **Rn** (222) $6p^6$ РАДОН
7	X	87 **Fr** (223) $7s^1$ ФРАНЦИЙ	88 **Ra** 226,0254 $7s^2$ РАДИЙ	89–103 **Ac–(Lr)** ★★	104 **Ku** (261) $6d^2 7s^2$ КУРЧАТОВИЙ	105 **(Ns)** (261) $6d^3 7s^2$ (НИЛЬСБОРИЙ)			

Атомная масса — Электронная конфигурация заполняющихся и внешних электронных оболочек — Атомный номер — Числа электронов в электронных оболочках

Пример: **U** 92 — 238,029 — $5f^3 6d^1 7s^2$ — УРАН

Атомные массы приведены по Международной таблице 1979 г.
Точность последней значащей цифры ±1 или ±3, если она выделена мелким шрифтом.
В квадратных скобках приведены массовые числа наиболее устойчивых изотопов.
Названия и символы элементов, приведенные в круглых скобках, не являются общепринятыми.

★ЛАНТАНОИДЫ

57 **La** 138,9055 $5d^1 6s^2$ ЛАНТАН	58 **Ce** 140,12 $4f^2 6s^2$ ЦЕРИЙ	59 **Pr** 140,9077 $4f^3 6s^2$ ПРАЗЕОДИМ	60 **Nd** 144,24 $4f^4 6s^2$ НЕОДИМ	61 **Pm** [145] $4f^5 6s^2$ ПРОМЕТИЙ	62 **Sm** 150,4 $4f^6 6s^2$ САМАРИЙ	63 **Eu** 151,96 $4f^7 6s^2$ ЕВРОПИЙ	64 **Gd** 157,25 $4f^7 5d^1 6s^2$ ГАДОЛИНИЙ	65 **Tb** 158,9254 $4f^9 6s^2$ ТЕРБИЙ	66 **Dy** 162,50 $4f^{10} 6s^2$ ДИСПРОЗИЙ	67 **Ho** 164,9304 $4f^{11} 6s^2$ ГОЛЬМИЙ	68 **Er** 167,26 $4f^{12} 6s^2$ ЭРБИЙ	69 **Tm** 168,9342 $4f^{13} 6s^2$ ТУЛИЙ	70 **Yb** 173,04 $4f^{14} 6s^2$ ИТТЕРБИЙ	71 **Lu** 174,967 $5d^1 6s^2$ ЛЮТЕЦИЙ

★★АКТИНОИДЫ

89 **Ac** [227] $6d^1 7s^2$ АКТИНИЙ	90 **Th** 232,0381 $6d^2 7s^2$ ТОРИЙ	91 **Pa** 231,0359 $5f^2 6d^1 7s^2$ ПРОТАКТИНИЙ	92 **U** 238,029 $5f^3 6d^1 7s^2$ УРАН	93 **Np** 237,0482 $5f^4 6d^1 7s^2$ НЕПТУНИЙ	94 **Pu** [244] $5f^6 7s^2$ ПЛУТОНИЙ	95 **Am** [243] $5f^7 7s^2$ АМЕРИЦИЙ	96 **Cm** [247] $5f^7 6d^1 7s^2$ КЮРИЙ	97 **Bk** [247] $5f^8 6d^1 7s^2$ БЕРКЛИЙ	98 **Cf** [251] $5f^{10} 7s^2$ КАЛИФОРНИЙ	99 **Es** [254] $5f^{11} 7s^2$ ЭЙНШТЕЙНИЙ	100 **Fm** [257] $5f^{12} 7s^2$ ФЕРМИЙ	101 **Md** [258] $5f^{13} 7s^2$ МЕНДЕЛЕВИЙ	102 **(No)** [255] $5f^{14} 7s^2$ (НОБЕЛИЙ)	103 **(Lr)** [256] $6d^1 7s^2$ (ЛОУРЕНСИЙ)