

В.Т. Ветрова

ФИЗИКА

Сборник задач

В.Т. Ветрова

ФИЗИКА

Сборник задач

*Допущено
Министерством образования
Республики Беларусь
в качестве учебного пособия
для студентов учреждений
высшего образования
по техническим специальностям*



Минск
«Вышэйшая школа»
2015

УДК 53(076.2)(075.8)

ББК 22.3я73

В39

Рецензенты: кафедра технической физики Белорусского национального технического университета; доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики Белорусского государственного технологического университета *И.И. Наркевич*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.

Ветрова, В. Т.

В39 Физика: сборник задач : учеб. пособие / В. Т. Ветрова. Минск : Вышэйшая школа, 2015. — 443 с. : ил.

ISBN 978-985-06-2452-9.

Содержатся задачи по всему курсу общей физики. Отличительной особенностью сборника является то, что вместо условия задачи дается описание общей ситуации, на основании которой по приведенным в таблице данным можно сформулировать большое количество конкретных задач. По каждой теме приводятся основные понятия, формулы и контрольные вопросы.

Для студентов учреждений высшего образования по техническим специальностям.

УДК 53(076.2)(075.8)

ББК 22.3я73

ISBN 978-985-06-2452-9

© Ветрова В.Т., 2015

© Оформление. УП «Издательство
«Вышэйшая школа»», 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

Физика – наука, изучение которой студентами технических специальностей учреждений высшего образования формирует фундаментальную базу для теоретической подготовки будущих инженеров.

На всех этапах обучения важнейшим является умение практически применять теоретические знания, чему способствует приобретение студентами навыков решения задач при изучении курса физики. Более того, успешное усвоение теоретического материала в значительной степени зависит от организации и методики проведения практических занятий и управляемой самостоятельной работы студентов.

В процессе решения задач по физике у студентов формируется способность применять общие теоретические закономерности к отдельным конкретным случаям. При этом углубляются и систематизируются теоретические знания. В связи с этим очень важно методически правильно организовать самостоятельную работу каждого студента.

Данное пособие предназначено для выполнения индивидуальных заданий студентами учреждений высшего образования по техническим специальностям. Оно базируется на подготовленном автором и выпущенном в 1991 г. издательством «Вышэйшая школа» сборнике задач по физике с индивидуальными заданиями. Предлагаемые задания апробированы на кафедре физики Белорусского государственного аграрного технического университета (БГАТУ) и, по мнению преподавателей кафедры, способствуют рациональной организации самостоятельной работы студентов как на практических занятиях, так и при выполнении домашних заданий, что активизирует их индивидуальную учебную деятельность в процессе изучения курса физики.

Автор стремился составить задачи таким образом, чтобы для их решения требовалось не просто подставить исходные данные в известные формулы, а прежде всего осмыслить физические явления, описанные в условиях задач, и понять те законы, на которых эти явления основаны. При составлении сборника предпочтение отдавалось задачам с реальным содержанием, позволяющим оценить масштабы реальных физических объектов и физических величин. Но в сборнике представлены также задачи с идеализированными системами, только моделирующими физические системы, явления или процессы, для того чтобы студенты научились выделять главное и исключать все несущественное, то, чем можно пренебречь.

Структура пособия предполагает его использование для организации аудиторной и внеаудиторной самостоятельной работы студентов (групповой, бригадной и индивидуальной). Чтобы помочь студентам ориентироваться в учебном материале, выделять в нем главное и целенаправленно готовиться к занятиям, в начале каждой темы приводятся основные понятия и формулы, необходимые для решения задач, а также контрольные вопросы, соответствующие учебной программе и ориентирующие студентов на изучение теоретического материала с использованием рекомендуемой литературы. Расположение материала соответствует структуре большинства учебных пособий по 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, подобных тем, которые приводятся обычно в сборниках задач по курсу общей физики. Необходимые данные для составления условий 28 конкретных задач из одной описанной ситуации приведены в таблицах, следующих за описанием общих ситуаций.

Проблемность обучения при использовании настоящего сборника состоит в том, что каждый студент должен разобраться в общей физической ситуации, описанной в условии задачи, четко представить свое индивидуальное задание, сформулировать для себя 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.

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

Автор благодарен рецензентам рукописи пособия за доброжелательную критику и полезные советы, а также коллективу кафедры физики БГАУ за замечания и рекомендации, высказанные ими в процессе подготовки сборника к изданию и способствовавшие улучшению задачника.

Все отзывы и пожелания просьба направлять по адресу: издательство «Вышэйшая школа», пр. Победителей, 11, 220048, Минск.

Автор

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Сборник задач содержит задачи по 24 темам, изучаемым в курсе общей физики в учреждениях высшего образования по техническим специальностям без углубленного изучения физики, причем каждая тема содержит десять обобщенных задач и рассчитана на одно аудиторное занятие и выполнение домашнего задания

Условие задачи представляет собой описание общей ситуации, основанной на каких-либо физических явлениях и законах, и таблицу с набором из 28 вариантов числовых значений и конкретных заданий. Для удобства контроля управляемой самостоятельной работы студентов рекомендуется, чтобы номер задания совпадал с номером фамилии студента в журнале преподавателя.

Если в таблице для четырех различных вариантов задан один закон изменения физической величины или дано только одно ее значение, это означает, что они являются одинаковыми для всех четырех заданий. В некоторых задачах конкретное задание предусмотрено в условии, а варианты различаются исходными данными. В тех же задачах, где требуется найти неизвестную величину согласно номеру задания, неизвестные величины в таблицах обозначены вопросительными знаками. В значительной части задач имеются задания обоих видов. Каждая тема содержит задачи различной степени трудности. Наиболее легкими во всех темах являются первые задачи.

По каждой теме приводятся основные понятия, законы и формулы, необходимые для решения задач данного сборника. Для того чтобы на занятии при обсуждении возможных подходов к решению задач удобно было ссылаться на формулы, все формулы пронумерованы. Краткие теоретические сведения в начале каждой темы ни в коей мере не заменяют теоретический материал, который студенты обязаны изучить по конспектам лекций и учебникам согласно учебной программе. Эти сведения приводятся для того, чтобы напомнить студентам самое главное из изученного по каждой теме и сократить время обсуждения теоретических предпосылок к решению задач на практических занятиях.

К каждой теме даны контрольные вопросы, которые составлены таким образом, что их номера совпадают с номерами тех задач, к которым они относятся. Однако для успешного выполнения задания необходимо знать ответы не только на вопрос под этим номером, но и на все предыдущие.

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

Во время аудиторных занятий бригадам, состоящим из четырех человек, могут быть даны дополнительные задания: проанализировать некоторые зависимости, по результатам расчетов построить графики и т.д.

Сборник содержит:

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

2) однотипные задачи для бригад, состоящих из четырех человек, различающиеся или системами взаимодействующих тел, или условиями взаимодействия, или уравнениями движения и т.д; при этом каждый член бригады получает индивидуальные исходные данные;

3) общие или однотипные задачи для бригады, различающиеся для каждого ее члена лишь одним параметром; бригада по результатам расчетов каждого из ее членов строит графики зависимости искомой величины от изменяющегося параметра; искомые величины и (или) изменяющиеся параметры 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 15–20 мин 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. Для этого в конце пособия даны указания к решению задач.

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 приводится только 1 раз.

МЕХАНИКА

Тема 1. Кинематика материальной точки и поступательного движения твердого тела

Основные формулы

Вектор мгновенной скорости материальной точки в данный момент времени и его проекции на оси координат:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}, \quad v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt}. \quad (1.1)$$

Модуль вектора скорости:

$$v = \frac{ds}{dt}, \quad v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}. \quad (1.2)$$

Вектор мгновенного ускорения материальной точки в данный момент времени и его проекции на оси координат:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}, \quad a_x = \frac{dv_x}{dt}, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt}, \quad a_z = \frac{dv_z}{dt}. \quad (1.3)$$

Модуль вектора ускорения

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}. \quad (1.4)$$

Путь, проходимый материальной точкой за промежуток времени от момента t_1 до момента t_2 ,

$$s = \int_{t_1}^{t_2} v dt, \quad (1.5)$$

где v – модуль скорости.

Тангенциальная составляющая вектора ускорения материальной точки и ее модуль:

$$\vec{a}_\tau = \frac{dv}{dt} \vec{\tau}, \quad a_\tau = \frac{dv}{dt}, \quad (1.6)$$

где $\vec{\tau}$ – единичный вектор, направленный по касательной к траектории.

Нормальная составляющая вектора ускорения и ее модуль:

$$\vec{a}_n = \frac{v^2}{R} \vec{n}, \quad a_n = \frac{v^2}{R}, \quad (1.7)$$

где \vec{n} – единичный вектор, направленный по мгновенному радиусу кривизны.

Мгновенный радиус кривизны траектории

$$R = \frac{ds}{d\varphi}, \quad (1.8)$$

где $d\varphi$ — угол, на который поворачивается единичный вектор $\vec{\tau}$ при перемещении материальной точки по траектории на малое расстояние ds .

Модуль вектора полного ускорения материальной точки

$$a = |\vec{a}| = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}. \quad (1.9)$$

Расстояние между двумя точками в пространстве

$$l = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}. \quad (1.10)$$

Контрольные вопросы и задания

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 проекций скорости и ускорения вдоль соответствующего 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? По каким формулам рассчитывают 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 величины углов, которые составляет заданный вектор с осями координат?

1.5. По каким формулам можно 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? Какие изменения вектора 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?

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. В момент времени t_1 расстояние между ними стало равным h . Найти неизвестную величину. Определить время, спустя которое тела встретятся.

Номер задания	$(v_0)_1$, м/с	H , м	t_1 , 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	?
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 вдоль оси X согласно заданным уравнениям. В какой момент времени проекции скорости этих точек на ось X будут одинаковыми? Найти проекции скорости и ускорений точек в этот момент времени.

Номер задания	Уравнение движения первой точки, м	Уравнение движения 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	$x = 1,2t + 1,6t^2$	$x = 4 + 18t - 0,8t^2$
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 \vec{i} и \vec{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	A	B	t_1, c
1	$\vec{r} = At\vec{i} + Bt^2\vec{j}$	2 м/с	6 м/с ²	1,5
2		1 м/с	5,5 м/с ²	3
3		4 м/с	48 м/с ²	0,5
4		3 м/с	18 м/с ²	1
5	$\vec{r} = At^2\vec{i} + Bt^2\vec{j}$	3 м/с ²	5 м/с ²	2
6		2 м/с ²	4 м/с ²	3
7		2 м/с ²	3 м/с ²	0,5
8		4 м/с ²	6 м/с ²	0,2
9	$\vec{r} = At^2\vec{i} - Bt\vec{j}$	16 м/с ²	12 м/с	0,1
10		4 м/с ²	7 м/с	4
11		9 м/с ²	15 м/с	2
12		25 м/с ²	7,5 м/с	0,4
13	$\vec{r} = At\vec{i} - Bt^2\vec{j}$	1,5 м/с	5 м/с ²	1
14		2 м/с	6 м/с ²	2
15		0,5 м/с	2 м/с ²	0,5
16		3 м/с	4,5 м/с ²	5
17	$\vec{r} = At^2\vec{i} + Bt\vec{j}$	36 м/с ²	12 м/с	0,3
18		16 м/с ²	16 м/с	0,6
19		9 м/с ²	3 м/с	0,8
20		4 м/с ²	5 м/с	3
21	$\vec{r} = At^2\vec{i} - Bt^2\vec{j}$	0,2 м/с ²	1,2 м/с ²	2
22		1,5 м/с ²	3 м/с ²	2,5
23		0,5 м/с ²	2 м/с ²	1,5
24		2 м/с ²	5 м/с ²	0,2
25	$\vec{r} = At\vec{i} + Bt\vec{j}$	0,4 м/с	2 м/с	0,25
26		2,5 м/с	5 м/с	4
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, c
1 2 3 4	$\vec{r} = -At^2\vec{i} + Bt\vec{j}$	2 м/с ²	32 м/с	1 2 3 4
5 6 7 8	$\vec{r} = -At\vec{i} - Bt^2\vec{j}$	0,5 м/с 1 м/с 1,5 м/с 2 м/с	2 м/с ²	1
9 10 11 12	$\vec{r} = At^2\vec{i} + Bt\vec{j}$	2,5 м/с ²	10 м/с	2 4 6 8
13 14 15 16	$\vec{r} = -At\vec{i} + Bt^2\vec{j}$	12 м/с	2 м/с ² 4 м/с ² 6 м/с ² 8 м/с ²	2
17 18 19 20	$\vec{r} = At^2\vec{i} - Bt\vec{j}$	1,5 м/с ² 2 м/с ² 2,5 м/с ² 3 м/с ²	16 м/с	4
21 22 23 24	$\vec{r} = At\vec{i} - Bt\vec{j}$	20 м/с	5 м/с ²	2,5 5 7,5 10
25 26 27 28	$\vec{r} = -At^2\vec{i} - Bt\vec{j}$	4 м/с ²	4 м/с 8 м/с 12 м/с 16 м/с	0,25 4 1,3 1,7

Задача 1.5. Материальная точка движется прямолинейно из состояния покоя. Модуль ускорения материальной точки изменяется по закону $a = A + Bt + Ct^2$, где A, B, C – постоянные величины. Какой по величине скорости достигнет материальная точка через t_1 секунд после начала движения? Какой путь пройдет она за это время?

Номер задания	$A, \text{ м/с}^2$	$B, \text{ м/с}^3$	$C, \text{ м/с}^4$	$t_1, \text{ с}$
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 \vec{v}_1 и \vec{v}_2 изменяются по известным законам, в которых \vec{i} , \vec{j} , \vec{k} — орты осей X , Y и Z соответственно. Найти расстояние между материальными точками в момент времени t_1 . Бригаду по результатам расчетов построить графики зависимости расстояния l между материальными точками от времени t ($t_{1\min} < t < t_{1\max}$).

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

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

Задача 1.8. Точка движется по окружности радиусом R с постоянным по величине тангенциальным ускорением a_t . К моменту времени t_1 после начала движения модуль нормального ускорения точки $a_n = na_t$. Найти неизвестную величину.

Номер задания	R , см	a_t , м/с ²	t_1 , 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
6	14,4	?	0,6	1,25
7	4	0,4	?	1,6
8	270,75	3	1,9	?
9	?	1,4	0,5	0,5
10	320	?	2	2,5
11	8,33	0,25	?	3
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
16	8	0,7	0,2	?
17	?	1,2	0,4	2
18	125	?	1	0,8
19	168	3,5	?	3
20	324	0,2	1,8	?
21	?	1	1,4	1,2
22	5,4	?	1	2,5
23	33,3	2,4	?	1,8
24	173,4	0,6	1,8	?
25	?	2	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 изменения координат движущейся материальной точки. Найти модули полного ускорения точки, тангенциальной и нормальной составляющих ускорения 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 2 3 4	$x = 2t - t^3$	$y = t^2 + 2t^3$	0,2 0,4 0,6 0,8
5 6 7 8	$x = 2t + 3t^2$	$y = 24 - 4t^3$	0,1 0,3 0,8 1
9 10 11 12	$x = 34 - t + 2t^3$	$y = 5t - t^2$	0,6 0,8 1 1,2
13 14 15 16	$x = 0,5t^2 + 3t$	$y = 15 - 4t + 1,5t^3$	1,2 1,3 1,4 1,5
17 18 19 20	$x = 11 + t^2 - 0,5t^3$	$y = 7 - 2,5t^3$	0,2 0,3 0,4 0,5
21 22 23 24	$x = -6 + 0,1t^3$	$y = 0,2t^3 - t^2$	5 4 3 2
25 26 27 28	$x = 5 + 2t + 1,5t^2$	$y = 18 + 0,25t^3$	1 1,1 1,2 1,3

Задача 1.10. Тело брошено с поверхности земли под углом α к горизонту с начальной скоростью v_0 . Выполнить задание. Сопротивлением воздуха пренебречь.

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: $\tau = f_1(\alpha)$, $H = f_2(\alpha)$, $l = f_3(\alpha)$ при $0 < \alpha < 90^\circ$
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: $H = f_1(\alpha)$, $l = f_2(\alpha)$ при $0 < \alpha < 90^\circ$
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: $R_0 = f_1(\alpha)$, $R_H = f_2(\alpha)$ при $0 < \alpha < 90^\circ$
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: $\tau = f_1(v_0)$, $H = f_2(v_0)$, $l = f_3(v_0)$ при $v_{0\min} < v_0 < v_{0\max}$
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: $R_0 = f_1(v_0)$, $R_H = f_2(v_0)$ при $v_{0\min} < v_0 < v_{0\max}$
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 $v = f(t)$ при $1 \text{ с} < t < 4 \text{ с}$
25 26 27 28	45	30	Найти модули a_n и a_τ составляющих ускорения через 1 с, 2 с, 3 с, 4 с после начала полета тела; построить графики: $a_n = f_1(t)$, $a_\tau = f_2(t)$ при $1 \text{ с} < t < 4 \text{ с}$

Тема 2. Динамика материальной точки и поступательного движения твердого тела и механической системы

Основные законы и формулы

Первый закон Ньютона: существуют такие системы отсчета, относительно которых материальная точка сохраняет состояние покоя или равномерно прямолинейного движения, если на нее не действуют другие тела или их действия скомпенсированы.

Второй закон Ньютона: ускорение, с которым движется материальная точка в инерциальной системе отсчета под действием одновременно приложенных к ней n сил,

$$\vec{a} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \vec{F}_i. \quad (2.1)$$

Третий закон Ньютона: две материальные точки взаимодействуют с силами, равными по величине и направленными в противоположные стороны вдоль прямой, соединяющей эти точки:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}. \quad (2.2)$$

Коэффициент трения скольжения

$$k = \frac{F_{\text{тр}}}{N}, \quad (2.3)$$

где $F_{\text{тр}}$ – модуль силы трения; N – модуль силы реакции опоры.

Импульс материальной точки

$$\vec{p} = m\vec{v}. \quad (2.4)$$

Импульс системы материальных точек

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i. \quad (2.5)$$

Закон изменения импульса системы материальных точек, на которую действуют n внешних сил:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i. \quad (2.6)$$

Закон сохранения импульса замкнутой системы материальных точек:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = 0. \quad (2.7)$$

Для системы n материальных точек, на которую не действуют внешние силы,

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + \dots + m_n\vec{v}_n = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 + \dots + m_n\vec{u}_n, \quad (2.8)$$

где $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \dots, \vec{v}_n$ – скорости материальных точек до их взаимодействия; $\vec{u}_1, \vec{u}_2, \dots, \vec{u}_n$ – их скорости после взаимодействия.

Связь импульса силы с изменением импульса тела:

$$\vec{F}\Delta t = m\Delta\vec{v}. \quad (2.9)$$

Контрольные вопросы и задания

2.1. Сформулируйте основные законы динамики материальной точки и поступательного движения твердого тела. В чем суть закона инерции? Какие системы отсчета называются инерциальными? Как найти проекцию силы, действующей на материальную точку, на направление движения, 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? При каком движении 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?

2.5. Какие силы действуют на груз, подвешенный на нити? Что называют весом тела? В каком случае масса тела численно равна силе тяжести? На какое тело действует масса, а на какое – сила тяжести в случае, когда груз висит на нити?

2.6. Сколько уравнений (в векторной форме) необходимо для описания механической системы, состоящей из n тел, на которые действуют как внутренние, так и внешние силы? 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 в векторной форме закон сохранения импульса для двух взаимодействующих тел.

2.9. Запишите закон сохранения импульса для двух взаимодействующих тел, направления движения которых до взаимодействия 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?

Задача 2.1. Материальная точка массой m начинает двигаться прямолинейно из состояния покоя с ускорением, проекция которого изменяется по закону $a_x = A + Bt$, где A и B – постоянные величины. Значение ускоряющей силы в момент времени t_1 равно F_1 . Найти неизвестную величину.

Номер задания	$A, \text{ м/с}^2$	$B, \text{ м/с}^3$	$m, \text{ кг}$	$F_1, \text{ Н}$	$t_1, \text{ с}$
1	-0,8	2,2	?	3,42	1,4
2	2,5	5	0,4	?	2,75
3	4	-1	2,2	6,05	?
4	1,5	-2,5	1	?	0,5
5	6	-3	?	1,2	1,8
6	0,5	1,1	0,4	0,86	?
7	-0,2	0,8	?	0,36	2,5
8	-1	4,5	2,6	?	1
9	7	-4	1	?	1,25
10	6	-2,5	2,5	2,5	?
11	-0,6	0,3	1,2	0,72	?
12	-3	1,5	?	0,9	2,6
13	-2,5	2	2,8	?	1,5
14	2	0,4	2	6,4	?
15	0,2	0,6	5	?	2,2
16	0,75	3	?	1,8	1,75
17	2	-0,5	1,8	1,35	?
18	1,5	1	0,5	?	2
19	0,4	1,2	?	3,48	1,6
20	4,5	3,5	?	1,5	3
21	-0,5	0,5	2,4	0,6	?
22	-0,7	0,25	0,3	0,09	?
23	3	-2	?	2,4	1,2
24	1	1,2	1,3	?	2,25
25	-0,4	2,5	?	2,24	2,4
26	3,5	4	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 $v_1 = A_1 + B_1t + C_1t^2 + D_1t^3$, а тело массой m_2 – со скоростью $v_2 = A_2 + B_2t + C_2t^2 + D_2t^3$, где все коэффициенты – постоянные величины. В какой момент времени проекции на направление движения сил, действующих на эти тела, окажутся одинаковыми?

Но- мер зада- ния	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 , то аэростат начнет равномерно подниматься с той же скоростью. Подъемная сила аэростата равна F . Плотность воздуха на высоте, где находится аэростат, — ρ_B . Найти неизвестную величину. Силу сопротивления воздуха при спуске и при подъеме считать одинаковой.

Номер задания	m , кг	V , м ³	m_1 , кг	F , Н	ρ_B , кг/м ³
1	?	—	36,73	800	—
2	90	?	24	—	1,05
3	135	156,2	?	—	0,8
4	120	—	15,5	?	—
5	85	86,11	15	—	?
6	?	—	34,7	1300	—
7	110	?	22	—	1
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	64,5	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	79,92	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_T за время t_1 , пройдя при этом равнозамедленно расстояние s . Найти неизвестные величины. Выполнить дополнительное задание.

Номер задания	m , т	v_0 , км/ч	F_T , Н	t_1 , с	s , м	Построить график зависимости
1 2 3 4	1,5 2 2,5 3	70	8000	?	?	Тормозного расстояния от массы автомобиля
				?	?	
				?	?	
				?	?	
5 6 7 8	2	60	?	5	?	Тормозного расстояния от скорости автомобиля
		80	?		?	
		100	?		?	
		120	?		?	
9 10 11 12	2,5	60	5000	?	?	Времени торможения от скорости автомобиля
		80		?	?	
		100		?	?	
		120		?	?	
13 14 15 16	1,2 1,4 1,6 1,8	80	?	4	?	Необходимой силы торможения от массы автомобиля при заданном времени торможения
			?		?	
			?		?	
			?		?	
17 18 19 20	3	70	?	?	30	Необходимой силы торможения от скорости автомобиля при заданном тормозном расстоянии
		90	?	?		
		110	?	?		
		130	?	?		
21 22 23 24	1,5	80	?	?	25	Необходимой силы торможения на заданном тормозном расстоянии
			?	?	50	
			?	?	75	
			?	?	100	
25 26 27 28	2 3 4 5	90	10 000	?	?	Тормозного расстояния от массы автомобиля
				?	?	
				?	?	
				?	?	

Задача 2.5. Построить график зависимости силы натяжения нити, на которой подвешен груз массой m , от ускорения $a = ng$, с которым поднимают или опускают груз (n – коэффициент пропорциональности). Проанализировать полученные зависимости. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Номер задания	Направление движения груза	m , кг	n
1 2 3 4	Вверх	2	0,4 0,6 0,8 1
5 6 7 8	Вниз	3	0,4 0,6 0,8 1
9 10 11 12	Вверх	1	0,25 0,5 0,75 1
13 14 15 16	Вниз	1	0,25 0,5 0,75 1
17 18 19 20	Вверх	0,5	0,7 0,8 0,9 1
21 22 23 24	Вниз	0,5	0,7 0,8 0,9 1
25 26 27 28	Вверх	4	0,2 0,3 0,4 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) также известны. Найти ускорения, с которыми движутся тела, и силы натяжения нитей в системах. 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 зависимость
1 2 3 4		2	1	—	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	1	—	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	0,5	—	30	—	0,1 0,15 0,2 0,25	—	Силы натяжения и ускорения от коэффициента трения k_1

Задача 2.7. Тело, летящее со скоростью v_x , разделилось на две части. Масса первой части составляет $\beta\%$ массы всего тела. Первая часть стала двигаться со скоростью, проекция которой на направление первоначального движения равна u_{1x} , вторая – со скоростью, проекция которой равна u_{2x} . Найти неизвестную величину.

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

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_1 , камень падает на расстоянии s от конькобежца. Коэффициент трения коньков о лед равен k . Спротивлением воздуха можно пренебречь. Найти неизвестную величину.

Номер задания	m_1 , кг	m_2 , кг	v_1 , м/с	t_1 , 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	?	0,61	16,21	0,006
4	80	4	1,6	?	20,12	0,022
5	54	6	2	0,51	?	0,008
6	60	3	?	0,57	15,5	0,043
7	?	5	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	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	1,1	0,56	19,07	0,018
14	75	?	1	0,62	19,14	0,04
15	57	3	?	0,55	16,44	0,038
16	62	4	1,3	?	12,4	0,024
17	55	5,5	1,9	0,52	?	0,032
18	68	4	?	0,59	15,32	0,045
19	?	5	1,7	0,62	15,77	0,02
20	81	?	1,15	0,65	14,18	0,011
21	63	7	?	0,60	11,97	0,015
22	76	4	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	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	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 равна m_1 . Орудие производит выстрел в направлении пути под углом α к горизонту. Масса снаряда равна m_2 , и он вылетает из ствола со скоростью v_2 (минус указывает на то, что проекция v_2 на направление движения отрицательна). Вследствие отдачи скорость платформы с орудием изменилась и стала равной u_1 . Найти неизвестную величину.

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	12,5
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	19,4
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. На стенку за время удара действует импульс силы, величина которого равна $F\Delta t$. Найти неизвестную величину.

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

Основные законы и формулы

Работа переменной силы, под действием которой материальная точка перемещается из точки 1 в точку 2,

$$A = \int_{(1)}^{(2)} (\vec{F}, d\vec{r}) = \int_{(1)}^{(2)} F_s ds = \int_{(1)}^{(2)} F \cos \alpha ds, \quad (3.1)$$

где α – угол между направлением действия силы и направлением элементарного перемещения $d\vec{r}$.

Мгновенная мощность

$$P = \frac{\delta A}{dt}, \quad (3.2)$$

где δA – элементарная работа за время dt .

Кинетическая энергия материальной точки

$$W_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (3.3)$$

Кинетическая энергия поступательно движущегося тела

$$W_k = \frac{mv_C^2}{2}, \quad (3.4)$$

где v_C^2 – скорость центра масс.

Теорема об изменении кинетической энергии материальной точки или твердого тела:

$$W_{k2} - W_{k1} = A_{\text{всех сил}}. \quad (3.5)$$

Потенциальная энергия материальной точки или твердого тела – это та энергия, убыль которой равна работе действующих на них консервативных сил:

$$W_{п1} - W_{п2} = A_{\text{конс. сил}}. \quad (3.6)$$

Связь между консервативной силой, действующей на материальную точку (тело), и ее (его) потенциальной энергией:

$$\vec{F}_{\text{конс}} = -\text{grad} W_{п} = -\left(\frac{\partial W_{п}}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial W_{п}}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial W_{п}}{\partial z} \vec{k}\right). \quad (3.7)$$

Закон изменения полной механической энергии системы: изменение полной механической энергии системы материальных точек (тел) равно работе всех неконсервативных сил, действующих на систему:

$$W_2 - W_1 = A_{\text{неконс. сил}} \quad (3.8)$$

Закон сохранения полной механической энергии системы: полная механическая энергия системы материальных точек (тел), на которую действуют только консервативные силы, остается постоянной:

$$W_2 - W_1 = 0. \quad (3.9)$$

Контрольные вопросы и задания

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-либо 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?

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

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 $A = f_1(t)$ и $P = f_2(t)$.

Номер задания	m , кг	B , м	C , м/с	D , м/с ²	t_1 , с	t_2 , с
1 2 3 4	2	10	-2	1	5 10 15 20	2 4 6 8
5 6 7 8	3	5	8	2	1 2 3 4	0,5 1 1,5 2
9 10 11 12	1,5	-4	-1	5	2 4 6 8	1 2 3 4
13 14 15 16	2,5	-9	3	2	2,5 5 7,5 10	0,5 1 1,5 2
17 18 19 20	1	7	-4	3	1 1,5 2 2,5	1 1,5 2 2,5
21 22 23 24	0,5	-8	-3	4	2 4 6 8	0,4 0,6 0,8 1
25 26 27 28	4	6	5	-1	10 20 30 40	5 10 15 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 . Проекция силы F_x на ось X зависит от координаты по закону $F_x = f(x)$. Найти работу, производимую силой при перемещении 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	$F_x = \frac{Bm}{x^2} + C$	$4 \text{ м}^3/\text{с}^2$	0,2 Н	2 4 6 8	4 6 8 10
5 6 7 8	1	$F_x = B + Cmx$	$4 \text{ м}^3/\text{с}^2$	0,2 Н	0,2 0,4 0,6 0,8	0,4 0,6 0,8 1
9 10 11 12	—	$F_x = \frac{B}{x} + C$	$2 \text{ Н} \cdot \text{м}$	0,5 Н	1 2 3 4	2 3 4 5
13 14 15 16	2	$F_x = Bm + C$	$0,3 \text{ Н}/\text{кг}$	1 Н	0 0 0 0	0,5 1 1,5 2
17 18 19 20	—	$F_x = -Bx + C$	$5 \text{ Н}/\text{м}$	0,6 Н	0,1 0,2 0,3 0,4	0,2 0,3 0,4 0,5
21 22 23 24	1	$F_x = B\frac{m}{x^2} + Cx$	$1,5 \text{ м}/\text{с}^2$	$4 \text{ Н}/\text{м}$	0,5 1 1,5 2	1 1,5 2 2,5
25 26 27 28	—	$F_x = B + Cx^2$	1 Н	$3 \text{ Н}/\text{м}$	0 0,25 0,5 0,75	0,25 0,5 0,75 1

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 величиной F в направлении движения. Изменение кинетической энергии тела на этом отрезке пути равно ΔW_k , коэффициент трения k . Найти неизвестную величину.

Номер задания	m , кг	α , град	s , см	F , Н	ΔW_k , 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	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	?
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 2 3 4	0,5	4,9	0,1 0,2 0,3 0,4	0,9 0,8 0,7 0,6
5 6 7 8	0,2	19,6	0,4 0,8 1,2 1,6	3,6 3,2 2,8 2,4
9 10 11 12	0,4	12,25	0,25 0,5 0,75 1	2,25 2 1,75 1,5
13 14 15 16	0,6	2,45	0,05 0,1 0,15 0,2	0,45 0,4 0,35 0,3
17 18 19 20	0,3	14,7	0,3 0,6 0,9 1,2	2,7 2,4 2,1 1,8
21 22 23 24	0,25	9,8	0,2 0,4 0,6 0,8	1,8 1,6 1,4 1,2
25 26 27 28	0,1	24,5	0,5 1 1,5 2	4,5 4 3,5 3

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

Задача 3.6. Найти числовое 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 2 3 4	Земля	$5,96 \cdot 10^{24}$	$6,37 \cdot 10^6$	20
				40
				60
				80
5 6 7 8	Венера	$4,9 \cdot 10^{24}$	$6,05 \cdot 10^6$	200
				300
				400
				500
9 10 11 12	Марс	$6,56 \cdot 10^{23}$	$3,4 \cdot 10^6$	1,5
				2
				2,5
				3
13 14 15 16	Юпитер	$1,9 \cdot 10^{27}$	$7,1 \cdot 10^7$	2,5
				5
				7,5
				10
17 18 19 20	Сатурн	$5,67 \cdot 10^{26}$	$6 \cdot 10^7$	10
				20
				30
				40
21 22 23 24	Уран	$8,64 \cdot 10^{25}$	$2,5 \cdot 10^7$	50
				100
				150
				200
25 26 27 28	Плутон	$1,19 \cdot 10^{23}$	$1,4 \cdot 10^6$	2
				20
				200
				2000

Задача 3.7. Два тела, движущихся вдоль одной прямой, соударяются неупруго. Проекция скорости первого тела на ось X до удара равна v_{1x} , второго — v_{2x} . Проекция общей скорости тел после удара равна u_x . Кинетическая энергия первого тела до удара была больше кинетической энергии второго тела в n раз. Найти неизвестную величину.

Номер задания	v_{1x} , м/с	v_{2x} , м/с	u_x , м/с	n
1	?	-4	1	1,25
2	2,5	?	1,5	25
3	1,4	-5	?	0,1223
4	3,6	1	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	28	-3,5	?	0,75
12	1	-1,6	0,25	?
13	?	4,5	3	2,9
14	0,75	?	-0,1	0,41
15	2	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	?	0,142
20	3	-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	2,25
27	2,6	-3	?	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 m_1 , масса второго m_2 . Первый шар отклоняют так, что его центр масс 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.

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	0,75	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 $\beta = \frac{W_{\text{внутр}}}{W_{\text{полн}}} \cdot 100\%$ полученной маятником энергии $W_{\text{полн}}$ переходит во внутреннюю энергию $W_{\text{внутр}}$ системы маятник – пуля? Выполнить дополнительное задание.

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

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.

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

Тема 4. Кинематика и динамика вращательного движения

Основные законы и формулы

Вектор мгновенной угловой скорости твердого тела в данный момент времени

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}. \quad (4.1)$$

Вектор мгновенного углового ускорения твердого тела в данный момент времени

$$\vec{\beta} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}. \quad (4.2)$$

При вращении твердого тела вокруг неподвижной оси выполняются следующие соотношения между кинематическими величинами:

линейной скоростью, угловой скоростью и радиусом-вектором

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}; \quad (4.3)$$

тангенциальным ускорением, угловым ускорением и радиусом-вектором

$$\vec{a}_t = \vec{\beta} \times \vec{r}; \quad (4.4)$$

нормальным ускорением, угловой скоростью и радиусом-вектором

$$\vec{a}_n = -\omega^2 \vec{r}. \quad (4.5)$$

Момент силы относительно точки O

$$\vec{M}_O = \vec{r} \times \vec{F}. \quad (4.6)$$

Момент силы относительно оси Z равен составляющей вдоль этой оси момента силы относительно любой точки этой оси:

$$\vec{M}_Z = (\vec{M}_O)_Z. \quad (4.7)$$

Момент импульса материальной точки относительно точки O

$$\vec{L}_O = \vec{r} \times \vec{p}. \quad (4.8)$$

Момент импульса материальной точки относительно оси Z равен составляющей вдоль этой оси момента импульса относительно любой точки на этой оси:

$$\vec{L}_Z = (\vec{L}_O)_Z. \quad (4.9)$$

Момент импульса твердого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси Z ,

$$\vec{L}_Z = J_Z \vec{\omega}. \quad (4.10)$$

Закон сохранения момента импульса: момент импульса замкнутой системы материальных точек (тел) остается постоянным. Остается также постоянным момент импульса незамкнутой системы материальных точек (тел) отно-

сительно точки (оси), если сумма моментов внешних сил относительно этой точки (оси) равна нулю.

Момент инерции материальной точки относительно некоторой оси Z

$$J_Z = mr^2. \quad (4.11)$$

Момент инерции тела относительно оси

$$J_Z = \int r^2 dm. \quad (4.12)$$

Момент инерции некоторых тел относительно осей, проходящих через центр масс:

тонкого однородного кольца радиусом R относительно оси C , перпендикулярной к плоскости кольца,

$$J_C = mR^2; \quad (4.13)$$

тонкостенного цилиндра радиусом R относительно оси C , совпадающей с осью цилиндра,

$$J_C = mR^2; \quad (4.14)$$

однородного цилиндра радиусом R относительно оси C , совпадающей с осью цилиндра,

$$J_C = \frac{1}{2}mR^2; \quad (4.15)$$

однородного диска радиусом R относительно оси C , перпендикулярной к плоскости диска,

$$J_C = \frac{1}{2}mR^2; \quad (4.16)$$

однородного шара радиусом R

$$J_C = \frac{2}{5}mR^2; \quad (4.17)$$

тонкого однородного стержня длиной l относительно оси C , перпендикулярной к стержню,

$$J_C = \frac{1}{12}ml^2. \quad (4.18)$$

Теорема Штейнера: момент инерции тела относительно оси Z , не проходящей через центр масс,

$$J_Z = J_C + mb^2, \quad (4.19)$$

где J_C – момент инерции тела относительно оси C , параллельной оси Z и проходящей через центр масс; b – расстояние между осями.

Основной закон динамики вращательного движения:

$$\vec{\beta} = \frac{\sum \vec{M}_{Z \text{ внеш}}}{J_Z}, \quad (4.20)$$

где $\sum \vec{M}_Z$ внеш и J_Z — соответственно суммарный момент внешних сил и момент инерции тела относительно оси вращения.

Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси,

$$W_k = \frac{J_Z \omega^2}{2}. \quad (4.21)$$

Кинетическая энергия катящегося тела

$$W_k = \frac{J_Z \omega^2}{2} + \frac{mv_C^2}{2}, \quad (4.22)$$

где v_C — скорость центра масс.

Работа момента силы, действующего на вращающееся тело при его повороте на угол $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$,

$$A = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M d\varphi. \quad (4.23)$$

Контрольные вопросы и задания

4.1. Какое движение тела является вращательным? Что называется угловым перемещением тела? Что называется угловой скоростью и угловым ускорением тела? Как, зная закон изменения углового ускорения тела, найти его 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 определить 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 в векторной форме необходимо для описания движения 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 моментов сил, совершаемая при вращательном движении? Как рассчитать работу за промежуток времени от t_1 до t_2 , если величина момента силы, действующего на вращающееся тело, меняется?

4.8. Как рассчитать энергию катящегося тела?

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.

Задача 4.1. Задан закон изменения углового ускорения β тела, вращающегося вокруг неподвижной оси. Какой угловой скорости оно достигнет через t_1 секунд после начала движения из состояния покоя? Чему равно его угловое перемещение за это время?

Номер задания	Закон изменения углового ускорения β , рад/с ²	A	B	t_1 , с
1	$\beta = 12At^2 + 2B$	5 рад/с ⁴	2 рад/с ²	0,5
2		1 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
5	$\beta = 6(At + Bt^2)$	3 рад/с ³	2,4 рад/с ⁴	0,2
6		2,5 рад/с ³	4 рад/с ⁴	0,4
7		2 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 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
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
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
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
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 рад/с ⁵	0,7 рад/с ⁴	1,8
24		3 рад/с ⁵	1,3 рад/с ⁴	2
25	$\beta = 15At^4 - B$	2,5 рад/с ⁶	1,8 рад/с ²	1,2
26		1,75 рад/с ⁶	3 рад/с ²	1,3
27		14 рад/с ⁶	4,2 рад/с ²	0,8
28		6,6 рад/с ⁶	2 рад/с ²	0,9

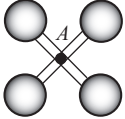
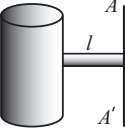

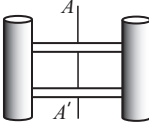


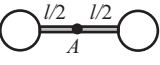
Задача 4.2. Маховое колесо, вращаясь равноускоренно, к моменту времени t_1 после начала движения приобретает скорость, соответствующую частоте вращения ν , и успевает совершить n оборотов. Угловое ускорение колеса равно β . Найти неизвестные величины.

Номер задания	$t_1, \text{с}$	$\nu, \text{с}^{-1}$	$\beta, \text{рад/с}^2$	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	?

Задача 4.3. Маховое колесо радиусом R вращается с постоянным угловым ускорением β . Через t секунд после начала движения модуль полного ускорения точек обода колеса стал равным a , модуль нормальной составляющей ускорения — a_n и модуль тангенциальной составляющей — a_τ . Величина угловой скорости вращения колеса к этому моменту времени стала равна ω , а линейной скорости точек обода колеса — v . Найти неизвестные величины.

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

Задача 4.4. Одно или несколько тел (цилиндры, шары, диски, обручи) радиусом R и массой m_1 подвешены в точке A либо закреплены на стержнях массой m_2 , длина которых l значительно превышает их толщину. Найти моменты инерции J систем тел относительно точки подвеса или 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, соединенных 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 единицы измерения определить самостоятельно). Найти результирующий момент сил, действующий на тело в момент времени t_1 , если известен радиус R тела (длина стержня).

Номер задания	Вращающееся тело	Закон изменения φ	A	B	C	t_1, c	$m, г$	$R, см$
1	Сплошной цилиндр (ось совпадает с осью цилиндра)	$\varphi = A + Bt + Ct^3$	2	18	15	40	200	2
2			12	4	12	34	300	2,5
3			6	20	10	25	400	3
4			14	10	16	15	500	3,5
5	Шар	$\varphi = At^5 + Bt + C$	5	3	14	10	200	2
6			8	4	10	8	300	2,5
7			4	15	6	6	400	3
8			3	8	2	4	500	3,5
9	Стержень (ось перпендикулярна к стержню)	$\varphi = A + \frac{B}{t} + Ct^2$	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 (ось перпендикулярна к плоскости диска)	$\varphi = \frac{A}{t^2} + Bt^4 + C$	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 (ось совпадает с осью цилиндра)	$\varphi = A + Bt^3 + \frac{C}{t^2}$	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	$\varphi = At^4 + \frac{B}{t} + C$	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 (ось перпендикулярна к плоскости обруча)	$\varphi = A + Bt^2 + Ct^4$	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 массами m_1, m_2, m_3 соединены невесомыми нерастяжимыми нитями, перекинутыми через блоки массой m_0 каждый. Углы, которые составляют наклонные плоскости с горизонтальной, равны α_1 и α_2 , коэффициент трения тел о поверхности – k . Найти ускорения, с которыми начнут двигаться тела из состояния покоя, и силы натяжения нитей. Блоки считать однородными дисками. Трение 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	1	–	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	–	–	–
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 1,5 2 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	–	0,25	45	–
25 26 27 28		0,4	0,5	0,6	0,4	0,1 0,2 0,3 0,4	–	–

Задача 4.7. Тело массой m и радиусом (или длиной) r начинает вращаться относительно оси, проходящей через его центр масс таким образом, как указано в задаче 4.5. Угловое смещение φ меняется по заданному закону $\varphi = \varphi(t)$, где A, B, C – постоянные величины. Найти, какую работу совершает над телом результирующий момент внешних сил за промежуток времени от t_1 до t_2 . Единицы величин A, B, C определить самим.

Но- мер зада- ния	Вращающееся тело	m , г	r , см	Закон изме- нения φ	A	B	C	t_1 , с	t_2 , с
1	Стержень	100	20	$\varphi = At^4 + B$	4	5	–	1,5	20
2	Диск	200	5		3	–7		2	2,5
3	Обруч	100	12		0,8	0,5		2,5	3
4	Шар	300	4		2	0,9		3	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
9	Диск	300	10	$\varphi = At^2 +$ $+B + Ct^3$	–1	5	6	1	1,4
10	Стержень	60	12		5	–9	–3	1,4	1,8
11	Шар	350	7		7	12	–4	1,6	2
12	Обруч	90	10		–2	8	5	2	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	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	1,5
26	Полый цилиндр	120	6		–6	26	10	1,5	2
27	Шар	400	8		1	17	6	2	2,5
28	Стержень	50	10		–4	15	–2	2,5	3

Задача 4.8. Человек катит физическое тело по горизонтальной поверхности со скоростью v . Это тело по инерции вкатывается без скольжения на горку с углом наклона α к горизонту на расстояние s . Найти неизвестную величину или форму катящегося тела. Трением качения пренебречь.

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

Задача 4.9. Материальная точка массой m на ободе колеса движется по окружности радиусом r с линейной скоростью, модуль которой равен v . Модуль угловой скорости вращения колеса равен ω . Момент инерции материальной точки относительно оси, проходящей через центр колеса перпендикулярно к его плоскости, равен J , момент импульса относительно этой же оси — L . Найдите неизвестные величины.

Номер задания	m , г	r , см	v , м/с	ω , рад/с	J , кг · м ²	L , кг · м ² /с
1	?	?	2	?	$1,35 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$
2	?	12,5	2,5	?	?	$4,375 \cdot 10^{-2}$
3	240	?	3	?	$2,16 \cdot 10^{-2}$?
4	?	?	3,5	7	$1,25 \cdot 10^{-2}$?
5	?	?	1,8	?	$5 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-2}$
6	?	17	3,4	?	$5,78 \cdot 10^{-3}$?
7	100	?	3,8	20	?	?
8	?	30	?	8	?	$5,04 \cdot 10^{-2}$
9	?	?	3,6	22,5	?	$6,912 \cdot 10^{-2}$
10	?	35	2,8	?	$4,9 \cdot 10^{-3}$?
11	150	12	?	?	?	$5,4 \cdot 10^{-2}$
12	?	20	1,9	?	$9,6 \cdot 10^{-3}$?
13	?	?	2,2	11	$6 \cdot 10^{-3}$?
14	200	?	?	?	$4,05 \cdot 10^{-2}$	0,324
15	400	18	1,62	?	?	?
16	160	?	3,5	?	?	$5,6 \cdot 10^{-2}$
17	?	15	?	?	$5,625 \cdot 10^{-3}$	0,1125
18	60	?	?	7,5	?	$2,592 \cdot 10^{-2}$
19	220	40	?	6	?	?
20	80	?	4,2	12	?	?
21	?	22	?	9	?	$6,97 \cdot 10^{-2}$
22	250	?	?	10	?	0,169
23	140	30	3,6	?	?	?
24	50	?	2,52	?	$1,62 \cdot 10^{-3}$?
25	?	25	?	16	$6,25 \cdot 10^{-3}$?
26	120	?	1,82	?	?	$3,058 \cdot 10^{-2}$
27	?	?	2,64	?	$1,267 \cdot 10^{-2}$	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 он перейдет на расстояние r_2 от центра платформы, то частота ее вращения изменится в n раз. Найти неизвестную величину. 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	?	4	60	3,5	1	1,07
2	400	?	76	2,2	0,2	1,29
3	256	1,7	?	1,6	0,15	1,54
4	430	2,5	88	?	0,4	1,363
5	125	0,9	84	0,85	?	2,19
6	160	1,4	75	1,35	0,1	?
7	?	3,5	66	3	0,5	1,094
8	900	?	62	2,9	0,15	1,055
9	148	1,1	?	1,05	0,2	1,8
10	180	1,35	68	?	0,08	1,59
11	860	3,4	82	3,3	?	1,179
12	1050	3,8	71	3,6	0,6	?
13	?	3	78	2,8	0,3	1,19
14	1400	?	70	4	0,4	1,094
15	310	2,2	?	2	0,2	1,29
16	270	1,55	83	?	0,1	1,534
17	880	3,4	65	3	?	1,114
18	135	1,2	86	1	0,1	?
19	?	5	90	4,8	0,4	1,091
20	650	?	72	2,7	0,05	1,206
21	220	1,5	?	1,4	0,25	1,45
22	1350	4,2	92	?	0,5	1,12
23	390	2,6	64	2,5	?	1,297
24	740	3,1	80	3	0,15	?
25	?	2,5	66	2,3	0,1	1,12
26	260	?	74	1,45	0,15	1,523
27	300	2	?	1,9	0,2	1,25
28	150	1,1	85	?	0,05	2,03

Тема 5. Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции. Элементы специальной теории относительности

Основные законы и формулы

Сила инерции в неинерциальной системе отсчета, движущейся поступательно с ускорением $\vec{a}_{н.с.}$,

$$\vec{F}_{ин} = -m\vec{a}_{н.с.} \quad (5.1)$$

Модуль центробежной силы инерции в неинерциальной системе отсчета, равномерно вращающейся с угловой скоростью ω ,

$$F_{цб} = m\omega^2 R. \quad (5.2)$$

Сила инерции Кориолиса (касательная сила инерции)

$$\vec{F}_K = 2m\vec{v}' \times \vec{\omega}, \quad (5.3)$$

где \vec{v}' – скорость тела относительно вращающейся системы отсчета; $\vec{\omega}$ – угловая скорость вращения системы отсчета.

Преобразования Галилея:

$$\left. \begin{aligned} x &= x' + v_x t, \\ y &= y' + v_y t, \\ z &= z' + v_z t, \end{aligned} \right\} t = t', \quad (5.4)$$

где x' , y' , z' – координаты точки в системе отсчета K' , движущейся поступательно относительно системы отсчета K с постоянной скоростью

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y + \vec{v}_z;$$

x , y , z – координаты точки в системе отсчета K .

Преобразования Лоренца в случае, когда соответствующие оси декартовых координат неподвижной (K) и движущейся (K') инерциальных систем попарно параллельны, причем система K' движется относительно системы K с постоянной скоростью v вдоль оси X :

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}, \quad y = y', \quad z = z', \quad t = \frac{t' + (v/c^2)x'}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}, \quad (5.5)$$

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}, \quad y = y', \quad z = z', \quad t' = \frac{t - (v/c^2)x}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}, \quad (5.6)$$

где c – скорость света.

Сложение проекций скоростей на ось X в специальной теории относительности:

$$u' = \frac{u-v}{1-(uv/c^2)}, \quad (5.7)$$

где u' – скорость материальной точки в системе отсчета K' , движущейся относительно системы отсчета K вдоль оси X со скоростью v ; u – скорость этой точки относительно системы отсчета K .

Связь между длиной $l_0 = x'_2 - x'_1$ неподвижного отрезка, расположенного в направлении движения в системе отсчета K' , движущейся относительно системы отсчета K со скоростью v , и его длиной $l = x_2 - x_1$ в неподвижной системе отсчета K , относительно которой он движется вместе с системой отсчета K' ,

$$l = l_0 \sqrt{1 - (v^2/c^2)}. \quad (5.8)$$

Связь между промежутками времени $\Delta t_0 = t'_2 - t'_1$ по часам в движущейся системе отсчета K' и $\Delta t = t_2 - t_1$ по часам в покоящейся системе отсчета K , относительно которой система отсчета K' движется со скоростью v ,

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}}. \quad (5.9)$$

Интервал между первым событием с координатами x_1, y_1, z_1, t_1 и вторым событием с координатами x_2, y_2, z_2, t_2

$$\Delta s = \sqrt{c^2(t_2 - t_1)^2 - (x_2 - x_1)^2 - (y_2 - y_1)^2 - (z_2 - z_1)^2}. \quad (5.10)$$

Величина интервала между двумя событиями во всех инерциальных системах одна и та же.

Релятивистский импульс частицы с массой покоя m_0 , движущейся со скоростью \vec{u} в системе отсчета наблюдателя, принятой за неподвижную,

$$\vec{p} = \frac{m\vec{u}}{\sqrt{1 - (u^2/c^2)}}. \quad (5.11)$$

Релятивистская масса частицы

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (u^2/c^2)}}. \quad (5.12)$$

Контрольные вопросы и задания

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, равномерно вращающейся относительно инерциальной? Какая из этих сил не равна нулю, если тело

покоится во вращающейся системе отсчета? Как определить величину 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 природе 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, относительно которой он движется вместе с системой отсчета, в которой покоится. Запишите формулу, выражающую эту связь.

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?

Задача 5.1. Тележка с укрепленным на ней кронштейном, к которому подвешен на нити груз массой m , движется поступательно вдоль горизонтальной оси с постоянным ускорением a . При этом нить с подвешенным на ней грузом отклонилась от вертикали на угол φ и сила натяжения нити стала равной F_n . Найти неизвестные величины.

Номер задания	m , кг	a , м/с ²	F_n , Н	φ , град
1	0,1	2	?	?
2		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 $F_{\text{цб}}$, действующей на тело массой m , покоящееся на диске на расстоянии r от оси вращения, в момент времени t_1 . Выполнить дополнительное задание.

Номер задания	A , рад/с ³	m , г	r , см	t_1 , с	Построить график зависимости
1 2 3 4	0,2 0,4 0,6 0,8	120	15	3	$F_{\text{цб}} = f(A)$
5 6 7 8	0,75	100 200 300 400	18	5	$F_{\text{цб}} = f(m)$
9 10 11 12	0,9	200	10 20 30 40	1,5	$F_{\text{цб}} = f(r)$
13 14 15 16	0,25	150	10	6 7 8 9	$F_{\text{цб}} = f(t)$
17 18 19 20	0,5	200 400 600 800	25	2	$F_{\text{цб}} = f(m)$
21 22 23 24	0,3	300	5 10 15 20	2,5	$F_{\text{цб}} = f(r)$
25 26 27 28	0,7	180	20	2,5 5 7,5 10	$F_{\text{цб}} = f(t)$

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

Номер задания	φ	Начальное направление движения снаряда	$v_0, \text{ м/с}$	$l, \text{ м}$	$h, \text{ м}$
1 2 3 4	30° с.ш. 45° с.ш. 60° с.ш. 80° с.ш.	Горизонтально на север	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 север	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° с.ш. 45° с.ш. 60° с.ш. 80° с.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. Двигатель самолета развивает скорость v_1 . В известном направлении дует ветер со скоростью v_2 . 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 2 3 4	На юг	800	С северо-востока на юго-запад С юго-запада на северо-восток С юго-востока на северо-запад С северо-запада на юго-восток	15 12 14 16
5 6 7 8	На северо-запад	750	С севера на юг С запада на восток С юга на север С востока на запад	10 15 15 10
9 10 11 12	На север	950	С юго-востока на северо-запад С северо-востока на юго-запад С северо-запада на юго-восток С юго-запада на северо-восток	18 14 16 12
13 14 15 16	На северо-восток	700	С юга на север С запада на восток С востока на запад С севера на юг	8 10 12 8
17 18 19 20	На запад	820	С юго-запада на северо-восток С юго-востока на северо-запад С северо-востока на юго-запад С северо-запада на юго-восток	10 12,5 15 17,5
21 22 23 24	На юго-восток	900	С востока на запад С севера на юг С запада на восток С юга на север	16 16 12 12
25 26 27 28	На восток	840	С северо-востока на юго-запад С юго-востока на северо-запад С юго-запада на северо-восток С северо-запада на юго-восток	5 10 15 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, проекция скорости которых на направление движения относительно этого тела равна u' , а относительно Земли — u . Найти неизвестную величину.

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

Задача 5.6. Относительное приращение длины стержня, если ему сообщить скорость $v = kc$ (где c – скорость света) в направлении, образующем с осью покоящегося стержня угол α , равно $(\Delta L / L_0) \cdot 100\%$. Найти неизвестную величину. Выполнить дополнительное задание.

Номер задания	k	α , град	$(\Delta L / L_0) \cdot 100\%$	Построить график зависимости
1 2 3 4	0,2 0,4 0,6 0,8	30	? ? ? ?	$\Delta L / L_0 = f(v / c)$
5 6 7 8	0,5	? ? ? ?	-11,725 -7,626 -0,378 -3,175	$\Delta L / L_0 = f(\alpha)$
9 10 11 12	? ? ? ?	25	-3,767 -8,695 -0,928 -16,08	$\Delta L / L_0 = f(k)$
13 14 15 16	0,25	0 25 50 75	? ? ? ?	$\Delta L / L_0 = f(\alpha)$
17 18 19 20	0,35	? ? ? ?	-1,543 -6,128 -0,0465 -4,198	$\Delta L / L_0 = f(\alpha)$
21 22 23 24	? ? ? ?	10	-1,959 -8,086 -0,486 -4,464	$\Delta L / L_0 = f(k)$
25 26 27 28	0,15 0,3 0,45 0,6	45	? ? ? ?	$\Delta L / L_0 = f(v)$

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

Номер задания	$k = v / c$	Δt	Δt
1	0,1	?	40 с
2	0,2	?	
3	0,3	?	
4	0,4	?	
5	?	43,3 с	50 с
6	?	46,84 с	
7	?	48,99 с	
8	?	49,75 с	
9	0,5	?	20 сут
10		?	40 сут
11		?	60 сут
12		?	80 сут
13	0,6	10 недель	?
14		20 недель	?
15		30 недель	?
16		40 недель	?
17	?	20 лет	20 лет 7 мес. 26 дн.
18	?		30 лет 2 мес. 26 дн.
19	?		25 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	5 лет	?
26	0,5		?
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 этой системе отсчета — Δt . Расстояние между точками, в которых происходили события, — Δl , причем проекции расстояния на оси координат равны Δx , Δy и Δz соответственно. Найти неизвестную величину.

Номер задания	Δs , м	Δt , с	Δl , м	Δx , м	Δy , м	Δz , м
1	$5,568 \cdot 10^8$?		$7 \cdot 10^8$	$8 \cdot 10^8$	$9 \cdot 10^8$
2	$2,577 \cdot 10^7$	0,2		?	$2 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^6$
3	$8,544 \cdot 10^5$	0,005	—	$4 \cdot 10^5$?	10^6
4	$4,093 \cdot 10^6$	0,03		$2,5 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^6$?
5	$2,14 \cdot 10^7$?		$2 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$
6	18 947	$2 \cdot 10^{-4}$?	$4,6 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$
7	$4 \cdot 10^5$	0,008	—	$2 \cdot 10^6$?	$1,2 \cdot 10^6$
8	$3,84 \cdot 10^6$	0,04		$8 \cdot 10^6$	$7,5 \cdot 10^6$?
9	$1,166 \cdot 10^6$?		$8 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$
10	$4,359 \cdot 10^7$	1		?	$9 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^8$
11	$1,3 \cdot 10^9$	10	—	$2,5 \cdot 10^9$?	$6,5 \cdot 10^8$
12	$2,059 \cdot 10^6$	0,06		$1,7 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^6$?
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	$1,2 \cdot 10^7$	0,05	?			
22	$9 \cdot 10^7$	0,5	?			
23	$1,49 \cdot 10^9$	5	?	—	—	—
24	$1,375 \cdot 10^{10}$	50	?			
25	184,66	?	10^2			
26	2508	?	10^3			
27	11 180	?	10^4	—	—	—
28	149 666	?	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.

Номер задания	k	n	θ
1	0,99	?	2
2	0,9	?	
3	0,75	?	
4	0,5	?	
5	0,7	1,4	?
6	0,6		?
7	0,5		?
8	0,4		?
9	?	1,2457	1,5
10	?	1,18	
11	?	1,118	
12	?	1,028	
13	0,7	?	1,5
14		?	2
15		?	2,5
16		?	3
17	0,8	1,05	?
18		1,1	?
19		1,15	?
20		1,2	?
21	?	1,3	5,47
22	?		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 $E_{\text{полн}}$ составляет ее кинетическая энергия E_k ? Выполнить дополнительное задание.

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

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Тема 6. Основы молекулярно-кинетической теории газов. Термодинамические параметры. Теплоемкость

Основные законы и формулы

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов:

$$p = \frac{2}{3} n \frac{mv^2}{2}, \quad p = nkT. \quad (6.1)$$

Уравнение состояния идеального газа (Менделеева – Клапейрона):

$$pV = \frac{m}{\mu} RT, \quad (6.2)$$

где μ – молярная масса газа.

Закон Дальтона: давление смеси газов равно сумме парциальных давлений:

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n. \quad (6.3)$$

Средняя энергия теплового движения одной молекулы идеального газа

$$\langle W \rangle = \frac{i}{2} kT, \quad (6.4)$$

где i – число степеней свободы молекулы газа.

Внутренняя энергия идеального газа

$$U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT. \quad (6.5)$$

Теплоемкость термодинамической системы

$$C_{\text{сист}} = \frac{\delta Q}{dT}. \quad (6.6)$$

Удельная теплоемкость

$$c = \frac{1}{m} \frac{\delta Q}{dT}. \quad (6.7)$$

Мольная теплоемкость

$$C = \frac{1}{m/\mu} \frac{\delta Q}{dT}. \quad (6.8)$$

Связь между удельной и мольной теплоемкостями вещества:

$$C = \mu c. \quad (6.9)$$

Мольная теплоемкость при постоянном объеме

$$C_V = \frac{i}{2} R. \quad (6.10)$$

Мольная теплоемкость при постоянном давлении

$$C_p = \frac{i+2}{2}R. \quad (6.11)$$

Связь между мольными теплоемкостями при постоянном давлении C_p и постоянном объеме C_V (соотношение Майера):

$$C_p - C_V = R. \quad (6.12)$$

Отношение мольных теплоемкостей при постоянном давлении C_p и постоянном объеме C_V :

$$\frac{C_p}{C_V} = \gamma. \quad (6.13)$$

Контрольные вопросы и задания

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

6.2. Сформулируйте закон Дальтона для давления смеси идеальных газов, поясните его. Что называется парциальным давлением газа?

6.3. Что называется плотностью вещества? Как определить плотность смеси двух веществ, если известны их плотности?

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 молекулы идеального газа? Чему она равна? Что называется числом степеней свободы молекулы газа? Какие значения может принимать число степеней свободы молекул идеального газа? В чем состоит закон распределения энергии по степеням свободы? Какая часть энергии молекулы 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, необходимое 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. Что определяет отношение теплоемкостей при постоянном давлении или постоянном объеме? Какие значения это отношение может принимать?

6.10. Как рассчитать мольные и удельные теплоемкости смеси газов, если известны соответствующие теплоемкости чистых газов?

Задача 6.1. Газ плотностью ρ находится под давлением p при температуре T . Найти неизвестные величины или определить газ.

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

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.

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

Задача 6.3. В сосуде находится смесь двух газов, причем процентное содержание второго газа равно β . 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	β , %	p , Па	T , К
1 2 3 4	Углекислый газ	Азот	20	$5 \cdot 10^5$	400
			40		
			60		
			80		
5 6 7 8	Водород	Аргон	20	$2 \cdot 10^5$	320
			40		
			60		
			80		
9 10 11 12	Гелий	Кислород	20	$4 \cdot 10^5$	360
			40		
			60		
			80		
13 14 15 16	Углекислый газ	Неон	20	10^5	290
			40		
			60		
			80		
17 18 19 20	Азот	Кислород	20	$1,5 \cdot 10^5$	300
			40		
			60		
			80		
21 22 23 24	Кислород	Углекислый газ	20	$3 \cdot 10^5$	350
			40		
			60		
			80		
25 26 27 28	Кислород	Пары воды	20	$2,5 \cdot 10^5$	340
			40		
			60		
			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.

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	10^3	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	?	?	$3,29 \cdot 10^{23}$	$4,55 \cdot 10^{-21}$
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 2 3 4	Аргон Гелий Водород Углекислый газ	5	350
5 6 7 8	Кислород Пары воды Азот Неон	8	500
9 10 11 12	Воздух Криптон Закись азота Аргон	12	400
13 14 15 16	Кислород Неон Водород Пары воды	2	300
17 18 19 20	Углекислый газ Азот Воздух Гелий	10	450
21 22 23 24	Закись азота Азот Кислород Аргон	4	250
25 26 27 28	Гелий Воздух Водород Углекислый газ	6	550

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 ее внутренняя энергия изменяется на ΔU . Найти неизвестную величину.

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	Азот	Кислород	?	8	52	645,5
6			14	?	40	441,5
7			7	4	?	-467,4
8			3,5	3,2	-28	?
9	Неон	Закись азота	?	8,8	34	381,4
10			5	?	-50	-269,1
11			4	4,4	?	199,4
12			10	11	64	?
13	Кислород	Пары воды	?	4,5	22	194,2
14			6,4	?	60	997,2
15			8	4,5	?	-228,5
16			16	18	-36	?
17	Гелий	Кислород	?	2,4	-46	-238,9
18			4	?	24	382,3
19			8	6	?	903,7
20			2	4	-32	?
21	Аргон	Водород	?	4	54	2327,8
22			8	?	-20	-1296,4
23			4	2	?	1541,5
24			10	8	-42	?
25	Азот	Углекислый газ	?	11	38	434,2
26			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	$V, 10^{-3} \text{ м}^3$	$T_1, \text{ К}$	$T_2, \text{ К}$	$p_1, \text{ Па}$	$p_2, \text{ Па}$	$Q, \text{ Дж}$
1	Кислород	2,5	200	320	?	$8 \cdot 10^3$?
2		?	366	?	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	500
3		1,6	?	450	10^5	$1,5 \cdot 10^5$?
4		?	375	500	$3 \cdot 10^5$?	1000
5	Гелий	?	352	440	?	$2,5 \cdot 10^5$	225
6		1,5	250	?	$8 \cdot 10^3$	$1,12 \cdot 10^4$?
7		?	?	460	$2,5 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^5$	252
8		2	506	600	$3,8 \cdot 10^5$?	?
9	Углекислый газ	1	240	300	?	10^4	?
10		2,6	343	?	$3,5 \cdot 10^5$	$4,8 \cdot 10^5$?
11		?	?	350	$9 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^5$	315
12		?	320	400	$8 \cdot 10^4$?	168
13	Азот	3	300	380	?	$1,14 \cdot 10^5$?
14		?	448	?	$4 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	1000
15		?	?	320	$5 \cdot 10^4$	$6,4 \cdot 10^4$	52,5
16		2,2	364	420	$2,6 \cdot 10^5$?	?
17	Аргон	?	339	452	?	$4 \cdot 10^5$	525
18		?	256	?	$2 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4$	7,5
19		2,4	?	504	$4 \cdot 10^5$	$4,8 \cdot 10^5$?
20		1,8	430	516	$3,5 \cdot 10^5$?	?
21	Водород	?	290	319	?	$5,5 \cdot 10^4$	37,5
22		1,2	400	?	$4,5 \cdot 10^5$	$6,3 \cdot 10^5$?
23		3,4	?	509	$2,2 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^5$?
24		?	240	360	$5 \cdot 10^3$?	16,25
25	Закись азота	?	280	392	?	$1,4 \cdot 10^4$	42
26		1,4	370	?	$4,2 \cdot 10^5$	$6,3 \cdot 10^5$?
27		?	?	384	$1,5 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^5$	180
28		2,5	310	434	$1,8 \cdot 10^5$?	?

Задача 6.8. Молекула некоторого газа имеет 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, то 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 молярных теплоемкостей $C_p/C_V = \gamma$, молярная масса газа μ . Молекулы газа обладают числом степеней свободы, равным i . Найти неизвестные величины. Определить, о каком газе идет речь.

Номер задания	c_V , Дж/(кг · К)	c_p , Дж/(кг · К)	γ	μ , 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 $\beta_1\%$, а второго — $\beta_2\%$. Объяснить зависимость удельных теплоемкостей от процентного соотношения газов.

Номер задания	Первый газ	Второй газ	$\beta_1, \%$	$\beta_2, \%$
1	Неон	Водород	80	20
2			60	40
3			40	60
4			20	80
5	Аргон	Кислород	80	20
6			60	40
7			40	60
8			20	80
9	Гелий	Кислород	80	20
10			60	40
11			40	60
12			20	80
13	Азот	Водород	80	20
14			60	40
15			40	60
16			20	80
17	Неон	Кислород	80	20
18			60	40
19			40	60
20			20	80
21	Гелий	Криптон	80	20
22			60	40
23			40	60
24			20	80
25	Аргон	Азот	80	20
26			60	40
27			40	60
28			20	80

**Тема 7. Применение первого начала термодинамики
к изопроцессам и адиабатическому процессу идеального газа.
Элементы статистической физики**

Основные законы и формулы

Первое начало термодинамики:

$$Q = \Delta U + A. \quad (7.1)$$

Работа газа при изменении его объема от V_1 до V_2

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV. \quad (7.2)$$

Уравнение Пуассона для адиабатического процесса:

$$pV^\gamma = \text{const}, \quad (7.3)$$

где $\gamma = C_p / C_V$ – адиабатическая постоянная.

Средняя квадратичная скорость молекул газа

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}, \quad (7.4)$$

где m_0 – масса одной молекулы; μ – масса одного моля.

Средняя арифметическая скорость молекул

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}. \quad (7.5)$$

Наиболее вероятная скорость молекул

$$v_{\text{в}} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}. \quad (7.6)$$

Распределение Максвелла молекул идеального газа по величинам скоростей:

$$f(v) = \frac{dN}{Nd v} = 4\pi n \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} v^2, \quad (7.7)$$

где $f(v)$ – функция распределения; $\frac{dN}{N}$ – доля молекул, имеющих скорости, модули которых лежат в интервале от v до $v + dv$.

Распределение Больцмана молекул в поле силы тяжести:

$$n = n_0 e^{-\frac{m_0 g h}{kT}}, \quad (7.8)$$

где n_0 – концентрация молекул на высоте $h = 0$; n – их концентрация на высоте h .

Распределение Больцмана молекул в потенциальном поле:

$$n = n_0 e^{-\frac{W_n}{kT}}, \quad (7.9)$$

где n_0 – концентрация молекул в том месте, для которого потенциальная энергия молекул принята равной нулю; n – их концентрация в том месте, где их потенциальная энергия равна $W_{\text{п}}$.

Барометрическая формула:

$$p = p_0 e^{-\frac{\rho g h}{RT}}, \quad (7.10)$$

где p_0 – давление на высоте $h = 0$; p – давление на высоте h .

Средняя длина свободного пробега молекулы

$$\langle \lambda \rangle = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n} = \frac{kT}{\sqrt{2} \pi d^2 p}. \quad (7.11)$$

Среднее число соударений молекул в единицу времени в единице объема

$$\langle z \rangle = n \langle v \rangle \pi^2. \quad (7.12)$$

Контрольные вопросы и задания

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. Как рассчитать работу 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. Какую скорость называют средней арифметической скоростью молекул, а какую – их наиболее вероятной скоростью?

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

7.10. Запишите барометрическую формулу. Как меняется давление газа: а) с изменением высоты для разных газов; б) при изменении температуры? Запишите закон Больцмана для распределения частиц во внешнем потенциальном поле, поясните смысл входящих в формулу величин.

Задача 7.1. Газ с молярной теплоемкостью C_V , находящийся под давлением p_1 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.

Номер задания	C_V , Дж/(моль · К)	p_1 , Па	V , м ³	Q , Дж	n	ΔU , Дж
1	?	$2 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^{-3}$?	1,24	720
2	20,775	?	$1,5 \cdot 10^{-2}$	13 500	1,6	?
3	24,93	$5,5 \cdot 10^5$?	?	1,15	1237,5
4	12,465	$3 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^{-2}$	945	?	?
5	24,93	$5 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^{-3}$?	1,8	?
6	?	$8 \cdot 10^4$	$7,5 \cdot 10^{-3}$?	1,5	900
7	12,465	?	$4 \cdot 10^{-2}$	45	1,75	?
8	20,775	$2,5 \cdot 10^5$?	175	1,28	?
9	12,465	$2 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^{-3}$?	1,32	?
10	20,775	$5 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^{-3}$?	?	750
11	?	$7 \cdot 10^4$	10^{-2}	472,5	1,45	?
12	24,93	?	$6 \cdot 10^{-2}$?	1,1	360
13	20,775	10^3	?	18	1,36	?
14	24,93	$4 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^{-3}$	3000	?	?
15	12,465	$6 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^{-2}$?	1,4	?
16	?	$4,5 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^{-3}$?	1,22	1039,5
17	12,465	?	$2 \cdot 10^{-2}$?	1,05	75
18	20,775	$1,5 \cdot 10^5$?	5625	1,30	?
19	24,93	10^4	$8 \cdot 10^{-2}$?	?	1440
20	20,775	$3 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^{-3}$?	1,25	?
21	?	$5 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^{-3}$?	1,48	576
22	12,465	?	$5 \cdot 10^{-2}$?	1,2	4500
23	24,93	10^5	?	840	1,7	?
24	20,775	$8 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^{-2}$?	1,35	?
25	24,93	$4 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^{-3}$	192	?	?
26	?	$3,5 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^{-2}$?	1,26	5687,5
27	20,775	?	$9 \cdot 10^{-3}$	1080	1,12	?
28	12,465	$6 \cdot 10^5$?	?	1,65	3510

Задача 7.2. Газ массой m , находящийся при температуре T_1 , расширяется в n раз при постоянном давлении за счет притока извне количества теплоты Q . Работа расширения газа равна A , изменение внутренней энергии – ΔU . Найти неизвестные величины. Колебательные степени свободы не учитывать.

Номер задания	Газ	m , г	T_1 , К	n	Q , Дж	A , Дж	ΔU , Дж
1	Азот	?	280	3	?	664,8	?
2		5,5	?	1,75	?	?	1040,6
3		?	250	2,2	2493	?	?
4		20	310	?	?	?	1840
5	Водород	?	240	2,4	12215,7	?	?
6		1,5	?	1,5	?	903,7	?
7		1	350	?	?	2617,7	?
8		6	?	1,6	18847	?	?
9	Углекислый газ	?	340	2	?	?	9632
10		16	?	1,25	966,9	?	?
11		11	200	?	?	623,25	?
12		33	?	1,75	?	?	5328,8
13	Аргон	40	?	1,2	?	498,6	?
14		10	320	?	4155	?	?
15		?	250	1,5	1298,5	?	?
16		12	?	2,6	?	957,3	?
17	Кислород	?	320	2,5	?	?	4986
18		24	300	?	?	?	1495,8
19		8	?	2,4	?	581,7	?
20		?	290	1,4	3374	?	?
21	Гелий	12	?	3,2	38 392	?	?
22		4	330	?	?	548,5	?
23		8	?	2,6	20608,8	?	?
24		?	370	2,5	?	?	6226,2
25	Закись азота	15	220	?	?	155,8	?
26		?	360	3	?	?	2243,7
27		11	350	?	2490,2	?	?
28		4,4	?	1,6	?	?	553,45

Задача 7.3. Газ массой m , находящийся под давлением p_1 и занимающий объем V_1 , изотермически расширился при температуре T таким образом, что его давление уменьшилось в n раз. Работа, совершенная газом при расширении, равна A . Найти неизвестные величины.

Номер задания	Газ	m , г	p_1 , Па	V_1 , м ³	T , К	n	A , Дж
1	Гелий	2,477	$2,5 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^{-3}$?	?	822,5
2		0,714	$1,15 \cdot 10^5$?	310	1,35	?
3		0,023	?	$1,2 \cdot 10^{-3}$	200	?	8,4
4		?	$1,8 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	370	1,5	?
5	Углекислый газ	43,32	$3 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^{-2}$?	?	4948
6		15,16	$1,4 \cdot 10^5$?	400	?	706,6
7		1,76	?	$2 \cdot 10^{-3}$	230	1,8	?
8		?	$2 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	350	1,25	?
9	Кислород	6,42	$1,25 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^{-3}$?	1,75	?
10		34,45	$1,7 \cdot 10^5$?	380	?	892
11		21,88	?	$1,25 \cdot 10^{-2}$	330	1,4	?
12		?	$9 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	210	?	10,64
13	Аргон	1,18	$7,5 \cdot 10^3$	$7,5 \cdot 10^{-3}$?	2	?
14		4,17	$1,3 \cdot 10^5$?	300	1,45	?
15		5,35	?	$3,5 \cdot 10^{-3}$	315	?	63,8
16		?	$8 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	250	?	716,3
17	Водород	0,0212	10^4	$2,2 \cdot 10^{-3}$?	?	8,92
18		0,226	$2 \cdot 10^5$?	320	1,3	?
19		0,866	?	$4,5 \cdot 10^{-3}$	375	?	301,25
20		?	$6 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^{-3}$	260	1,55	?
21	Азот	9,63	$4 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^{-2}$?	?	545,5
22		2,76	10^5	?	305	?	92,9
23		3,57	?	$1,8 \cdot 10^{-3}$	340	1,2	?
24		?	$2,5 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	220	1,7	?
25	Неон	2,91	$1,5 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^{-3}$?	1,6	?
26		1,42	$1,6 \cdot 10^5$?	325	?	57,62
27		1,6	?	$8 \cdot 10^{-3}$	240	2,2	?
28		?	$2,5 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	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 расширяется при постоянном давлении до объема V_2 , а затем его давление возрастает до p_2 при неизменном объеме. Внутренняя энергия газа изменяется при этом на ΔU , газ совершает работу, равную A . Найти неизвестные величины. Колебательные степени свободы не учитывать.

Номер задания	n	$V_1, \text{м}^3$	$p_1, \text{Па}$	$V_2, \text{м}^3$	$p_2, \text{Па}$	$Q, \text{Дж}$	$\Delta U, \text{Дж}$	$A, \text{Дж}$
1	?	$4 \cdot 10^{-2}$	10^4	$6 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^4$?	6500	?
2	1	?	$1,2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^5$?	?	2400
3	2	$1,5 \cdot 10^{-3}$?	$3 \cdot 10^{-3}$	10^5	?	450	?
4	3	?	$4 \cdot 10^4$	$7,5 \cdot 10^{-3}$?	1300	?	100
5	4	?	$8 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^5$?	16 650	?
6	?	$5 \cdot 10^{-3}$?	$8 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^4$?	570	60
7	1	$3 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^3$?	$1,5 \cdot 10^4$?	787,5	?
8	2	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^4$?	?	1626	?	336
9	3	$2 \cdot 10^{-3}$?	$5 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^5$?	3150	?
10	2	?	$1,5 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^{-3}$?	?	562,5	22,5
11	1	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^{-2}$?	?	9000	?
12	?	$6 \cdot 10^{-3}$?	$9 \cdot 10^{-3}$	10^4	150	?	24
13	3	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^4$?	$7,5 \cdot 10^4$?	9000	?
14	?	10^{-3}	?	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^4$?	225	15
15	4	$7 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^3$	10^{-2}	$8 \cdot 10^3$?	?	?
16	2	?	10^5	$6 \cdot 10^{-3}$?	2150	?	400
17	1	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^5$	$7,5 \cdot 10^{-3}$?	?	3937,5	?
18	3	10^{-2}	$3 \cdot 10^4$?	?	?	7200	600
19	?	$9 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^4$?	2047,5	?
20	?	$5 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^5$?	$3 \cdot 10^5$	26 250	?	3750
21	4	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^4$?	?	?
22	2	?	$2,5 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^5$?	?	500
23	3	$3 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^3$?	$2,4 \cdot 10^4$?	360	?
24	1	$6 \cdot 10^{-2}$?	$9 \cdot 10^{-2}$?	10 500	?	1500
25	?	$4 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^5$?	1920	?
26	2	$2,5 \cdot 10^{-2}$?	$3 \cdot 10^{-2}$?	?	13 125	750
27	3	?	$7 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^4$?	4380	?
28	1	$8 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^4$	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	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	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 из начального состояния с температурой T_1 адиабатически расширился. При этом его объем увеличился 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	n_1	T_2 , К	n_2	A , Дж
1	Водород	?	?	2,4	280	1,8	5356,6
2		6	360	?	329,25	?	1134,2
3		4	341	1,5	?	1,4	?
4		8	?	2,7	240	?	3441
5	Аргон	10	416	?	220	2	?
6		?	394,2	1,4	?	1,2	510
7		30	?	1,15	324,3	1,3	?
8		?	384	?	340	1,5	-298,6
9	Углекислый газ	22	340,6	1,8	?	?	283,66
10		?	?	2,9	230	3	85,84
11		5,5	395,4	?	305	?	62,1
12		8,8	320	1,1	?	1,25	?
13	Кислород	16	?	3	200	?	385,34
14		4	360,7	?	250	2,4	?
15		?	356	2	?	2,2	11,53
16		8	?	1,6	300	1,5	?
17	Гелий	?	457,6	?	220	2,6	2429,6
18		2	316,2	1,2	?	?	13,5
19		?	?	2,5	260,6	3,6	-39,14
20		4	397	?	250,1	?	-233,2
21	Закись азота	11	358	1,7	?	1,8	?
22		5,5	?	2,8	210	?	77,025
23		22	360	?	314,5	1,6	?
24		?	315	2,2	?	2,1	322,85
25	Азот	7	?	1,9	290	2	?
26		?	366	?	320	1,5	-61,28
27		28	293	2,6	?	?	547,78
28		?	?	1,3	330	1,35	-16,17

Задача 7.7. Работа некоторого газа массой m при изотермическом расширении от объема V_1 до объема $V_2 = nV_1$ равна A . Средняя квадратичная скорость молекул газа при этой температуре равна $v_{\text{кв}}$. Найти неизвестную величину.

Номер задания	m , г	n	A , Дж	$v_{\text{кв}}$, 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	977,8	460
18	7	?	115	520
19	15	1,6	?	380
20	34	3	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 $v_{\text{кв}}$, средняя арифметическая скорость молекул при этом равна v , а их наиболее вероятная скорость – $v_{\text{в}}$. Найти неизвестные величины.

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

Задача 7.9. Каждая молекула газа при температуре T и давлении p испытывает в среднем $\langle z \rangle$ соударений в секунду. Средняя длина свободного пробега молекул газа при этих условиях равна $\langle \lambda \rangle$. Найти неизвестные величины. Выполнить дополнительное задание.

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

Задача 7.10. Плотность газа ρ_h на высоте h при температуре t составляет η его плотности ρ_0 на уровне моря. Найти неизвестную величину или определить газ. Выполнить дополнительное задание. Для простоты зависимостью температуры от высоты пренебречь и считать t равной температуре газа на уровне моря.

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

Тема 8. Второе начало термодинамики. Реальные газы

Основные законы и формулы

Второе начало термодинамики: невозможны такие процессы, единственным результатом которых был бы переход теплоты от менее нагретого тела к более нагретому.

Вторая формулировка: невозможен вечный двигатель второго рода, т.е. такой, который получал бы теплоту от одного нагревателя и превращал его полностью в работу.

Работа газа за цикл

$$A = Q_1 - |Q_2|, \quad (8.1)$$

где Q_1 – теплота, полученная от нагревателя; Q_2 – теплота, отданная газом другим телам ($Q_2 < 0$).

Коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1}. \quad (8.2)$$

Коэффициент полезного действия тепловой машины, работающей по циклу Карно,

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad (8.3)$$

Холодильный коэффициент холодильной машины

$$\eta_x = \frac{Q_2}{|A|} = \frac{Q_2}{|Q_1| - Q_2}, \quad (8.4)$$

где $A < 0$; $Q_1 < 0$.

Приведенное количество теплоты в обратимом процессе равно дифференциалу энтропии:

$$\frac{\delta Q}{T} = dS. \quad (8.5)$$

Изменение энтропии в обратимом процессе между состояниями 1 и 2:

$$\Delta S = \int_{(1)}^{(2)} \frac{\delta Q}{T}. \quad (8.6)$$

Изменение энтропии в обратимом круговом процессе:

$$\Delta S = \oint \frac{\delta Q}{T} = 0. \quad (8.7)$$

Неравенство Клаузиуса для необратимого кругового процесса:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} < 0. \quad (8.8)$$

Второе начало термодинамики (третья формулировка): энтропия изолированной системы не может убывать при любых происходящих в ней процессах:

$$dS \geq 0, \quad (8.9)$$

где знак «=» относится к обратимым процессам, а знак «>» — к необратимым.

Связь энтропии S с термодинамической вероятностью Ω состояния (формула Больцмана):

$$S = k \ln \Omega. \quad (8.10)$$

Уравнение состояния реального газа (уравнение Ван-дер-Ваальса):

$$\left(p + \frac{m^2}{\mu^2} \frac{a}{V^2}\right) \left(V - \frac{m}{\mu} b\right) = \frac{m}{\mu} RT. \quad (8.11)$$

Внутренняя энергия одного моля реального газа

$$U = C_V T - \frac{a}{V_M}. \quad (8.12)$$

Критические параметры газа Ван-дер-Ваальса:

$$T_k = \frac{8a}{27bR}, \quad V_{м.к} = 3b, \quad p_k = \frac{a}{27b^2}. \quad (8.13)$$

Контрольные вопросы и задания

8.1. Какие процессы называют обратимыми, а какие — необратимыми? Что такое круговой процесс (цикл)? Как рассчитать КПД тепловой машины?

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

8.3. На чем основан принцип работы холодильной машины? Что такое холодильный коэффициент?

8.4. Сформулируйте второе начало термодинамики. Что называется энтропией? Чему равно изменение энтропии при переходе системы 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? Запишите связь изменения энтропии с термодинамическими вероятностями начального и конечного состояний термодинамической системы.

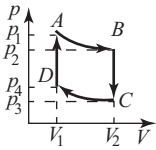
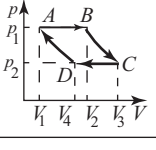
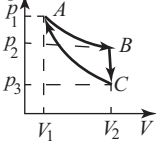
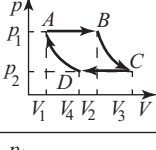
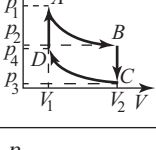
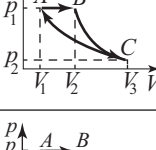
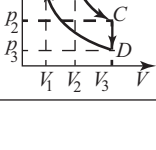
8.7. Почему уравнение состояния реального газа отличается от уравнения состояния идеального газа? Какой газ считается идеальным? Чем обусловлены поправки для реальных газов по сравнению с параметрами идеального газа?

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

8.9. Чему равна внутренняя энергия реального газа? Почему 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? По каким формулам можно рассчитать критические значения термодинамических параметров газа Ван-дер-Ваальса?

Задача 8.1. Воздух массой $m = 763,16$ г, занимающий объем V_1 при давлении p_1 , получает от нагревателя количество теплоты $Q = 30$ кДж и совершает один из показанных в таблице циклов. Найти: а) КПД η_1 цикла, пользуясь данными, приведенными в таблице; б) температуры T_{\max} и T_{\min} , в пределах которых работает тепловая машина; в) КПД η_2 цикла Карно идеальной паровой машины, работающей между теми же температурами T_{\max} и T_{\min} . Молярную массу воздуха считать равной $29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Номер задания	График цикла	$p_1, 10^5$ Па	$V_1, \text{м}^3$	$p_2, 10^5$ Па	$V_2, \text{м}^3$	$p_3, 10^5$ Па	$V_3, \text{м}^3$
1		3	0,3	-	0,35	2	-
2		1,5	0,6		0,8	1	
3		1	0,7		0,75	0,75	
4		1,8	0,65		0,75	1,2	
5		1,75	0,45	-	0,55	-	0,8
6		1,5	0,5		0,6	0,75	
7		1,9	0,35		0,45	0,6	
8		1,6	0,55		0,7	0,9	
9		1,71	0,35	-	0,55	-	-
10		2,5	0,4		0,75		
11		2	0,5		0,8		
12		3	0,35		0,6		
13		1,4	0,35	1	-	-	0,8
14		1,6	0,4	1,3			0,75
15		1,5	0,35	1,1			0,8
16		1,3	0,45	1			0,9
17		2	0,45	1,4	1	-	-
18		2,5	0,4	1,5	1		
19		1,8	0,5	1,3	1		
20		1,6	0,5	1,2	1		
21		1,75	0,4	1	-	-	-
22		1,8	0,5	1,1			
23		2,0	0,5	1,2			
24		2,5	0,35	1,5			
25		1,8	0,4	-	0,5	1	-
26		2,0	0,5	0,55	1		
27		1,6	0,45	0,6	1		
28		1,5	0,6	0,75	1		

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 дополнительное задание.

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

Задача 8.3. Идеальная холодильная машина работает по обратному циклу Карно. За один цикл затрачивается работа, равная $|A|$. За цикл от более холодного тела с температурой t_x отводится количество теплоты Q_x и нагретому телу с температурой t_n передается количество теплоты $|Q_n|$. КПД аналогичного прямого цикла равен η , холодильный коэффициент – η_x . Найти неизвестные величины.

Номер задания	$ A $, кДж	t_x , °C	t_n , °C	Q_x , кДж	$ Q_n $, кДж	η	η_x
1	?	?	80	270	295	?	?
2	?	-20	?	18	?	?	12
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	?	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.

Номер задания	Газ	Изопро- цесс	m , г	T_1 , К	T_2 , К	V_1 , м ³	V_2 , м ³	ΔS , Дж/К
1	H ₂	$p = \text{const}$?	300	500	—	—	742,9
2	Ar		36	?	400			12,96
3	N ₂		5,6	250	?			6,39
4	CO ₂		13,2	400	600			?
5	O ₂	$T = \text{const}$?	—	—	0,15	0,6	2,88
6	N ₂		14			?	0,25	6,687
7	CO ₂		5,5			?	?	1,86
8	He		10			?	0,1	?
9	N ₂ O	$V = \text{const}$?	270	540	—	—	8,64
10	Ar		4,2	?	400			0,538
11	H ₂		6	225	?			20,97
12	O ₂		8	320	400			?
13	He	$p = \text{const}$?	—	—	0,1	0,4	115,2
14	O ₂		6,4			?	0,5	5,33
15	N ₂ O		8,8			?	?	9,216
16	Kr		12			?	0,15	0,45
17	N ₂ O	$T = \text{const}$?	—	—	0,25	1,0	17,28
18	H ₂		5			?	1,5	14,4
19	Ar		28			?	?	9,36
20	O ₂		24			?	0,08	0,2
21	Kr	$V = \text{const}$?	300	350	—	—	0,64
22	N ₂ O		11	?	350			1,39
23	O ₂		12	260	?			3,159
24	He		2	200	400			?
25	Ne	$p = \text{const}$?	250	500	—	—	14,4
26	Kr		24	?	450			1,179
27	H ₂		8	280	?			47,17
28	H ₂ O		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 в воду при температуре t_2	1	-10	40
2		0,5	-20	20
3		2	-30	60
4		1	-40	80
5	Ртуть при температуре t_1 в пар при температуре t_2 , нагреваемый при постоянном давлении	0,005	200	450
6		0,01	100	500
7		0,001	20	400
8		0,02	300	550
9	Расплавленный свинец при температуре плавления в твердое вещество при температуре t_2	0,1	—	20
10		0,3		100
11		0,2		300
12		0,5		0
13	Пар при температуре t_1 , охлаждаемый при постоянном объеме, в воду при температуре t_2	0,1	150	20
14		0,2	200	40
15		0,5	120	60
16		1	180	80
17	Олово в твердом состоянии при температуре t_1 в расплав при температуре плавления	0,1	20	—
18		0,2	0	
19		0,5	100	
20		1	200	
21	Этиловый спирт при температуре t_1 в пар при температуре кипения	0,05	0	—
22		0,1	20	
23		0,01	40	
24		0,2	60	
25	Расплавленный цинк при температуре плавления в твердое вещество при температуре t_2	1	—	300
26		0,8		100
27		0,5		0
28		0,2		20

Задача 8.6. Газ, содержащий N молекул, переходит 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.

Номер задания	Газ	N	$n_p = p_2/p_1$	$n_V = V_2/V_1$	$n_T = T_2/T_1$	$n_\Omega = \Omega_2/\Omega_1$
1	Двухатомный	?	1	1,3	—	$5,758 \cdot 10^{79}$
2		150	?	1		$1,08 \cdot 10^{66}$
3		100	2,5	1		?
4		300	1	?		$2,9 \cdot 10^{43}$
5	Одноатомный	100	1	—	?	$1,054 \cdot 10^{44}$
6		130	1		2	?
7		200	?		1	$1,6 \cdot 10^{60}$
8		?	0,8		1	$2,85 \cdot 10^{48}$
9	Многоатомный	?	—	3	1	$3,7 \cdot 10^{71}$
10		80		1	?	$1,84 \cdot 10^{61}$
11		400		?	1	$4,45 \cdot 10^{81}$
12		180		1	1,5	?
13	Многоатомный	60	1	?	—	$3,2 \cdot 10^{95}$
14		150	?	1		$4,07 \cdot 10^{43}$
15		120	1	1,5		?
16		?	1,3	1		$1,29 \cdot 10^{58}$
17	Одноатомный	240	?	—	1	$3,2 \cdot 10^{95}$
18		?	1		2,2	$4,033 \cdot 10^{85}$
19		300	0,5		1	?
20		200	1		?	$1,16 \cdot 10^{73}$
21	Двухатомный	170	—	3,5	1	?
22		?		1	1,8	$5,336 \cdot 10^{95}$
23		250		?	1	$1,81 \cdot 10^{75}$
24		220		1	?	$5,656 \cdot 10^{88}$
25	Одноатомный	400	1	1,2	—	?
26		?	1,25	1		$7,5 \cdot 10^{50}$
27		200	1,6	1		?
28		250	1	?		$1,64 \cdot 10^{71}$

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 объем, не доступный для движения молекул?

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

Задача 8.8. Газ массой m занимает объем V при давлении p . Найти относительную ошибку $\varepsilon_T = \frac{|T_{\text{реал}} - T_{\text{ид}}|}{T_{\text{реал}}} \cdot 100\%$ в определении температуры реального газа, если его рассматривать как идеальный. Определить, какой температуре идеального газа по шкале Цельсия соответствует определенная вами температура реального газа.

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

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

Номер задания	Газ	m , кг	V_1 , м ³	V_2 , м ³	ΔT , К
1	Кислород	?	0,02	0,06	13,64
2		0,5	?	0,2	1,535
3		3	0,1	?	3,68
4		2,5	0,2	0,7	?
5	Аргон	?	0,5	1,5	2,18
6		0,4	?	0,2	10,365
7		2	0,25	?	1,45
8		0,75	0,6	1,5	?
9	Углекислый газ	?	0,8	2	0,373
10		1,8	?	5	1,8
11		3,5	0,3	?	2,32
12		1	0,75	1,5	?
13	Азот	?	0,5	2,5	0,3
14		1,2	?	3	2,7
15		1,5	0,2	?	1,05
16		2	1	2	?
17	Гелий	?	0,4	2	0,69
18		0,8	?	0,8	2,05
19		0,5	0,5	?	0,062
20		1,4	0,25	1,5	?
21	Водород	?	0,136	1,5	1,565
22		0,8	?	0,5	3,76
23		1,5	0,25	?	2,64
24		0,4	0,06	0,3	?
25	Пары воды	?	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 реального газа в некотором состоянии при температуре T , большей критической температуры T_k в τ раз, занимает объем V , в ω раз больший критического V_k , и находится под давлением p , в n раз большим критического p_k . Найти неизвестную величину.

Номер задания	ω	τ	n
1	1,6	?	1,2
2	3,7	?	2
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	3	?
9	3	?	1,75
10	2,4	?	1,3
11	3	3	?
12	1,5	2	?
13	3,4	?	1,6
14	2,4	?	2,2
15	2,2	2	?
16	2,8	3,3	?
17	1,75	?	1,5
18	2,5	?	1,8
19	1,2	2	?
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
27	1,5	1,5	?
28	2	2	?

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Тема 9. Электростатическое поле в вакууме

Основные законы и формулы

Закон Кулона:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}. \quad (9.1)$$

Линейная плотность электрических зарядов

$$\lambda = \frac{dq}{dl}. \quad (9.2)$$

Поверхностная плотность электрических зарядов

$$\sigma = \frac{dq}{dS}. \quad (9.3)$$

Объемная плотность электрических зарядов

$$\rho = \frac{dq}{dV}. \quad (9.4)$$

Напряженность электростатического поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}. \quad (9.5)$$

Принцип суперпозиции электростатических полей: напряженность электростатического поля системы точечных зарядов равна сумме напряженностей полей каждого из этих зарядов в отдельности:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i. \quad (9.6)$$

Поток вектора напряженности электростатического поля

$$\Phi = \int_S \vec{E} d\vec{S} = \int_S E_n dS. \quad (9.7)$$

Теорема Остроградского – Гаусса для электростатического поля в вакууме:

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \oint_S E_n dS = \frac{\sum_i q_i}{\epsilon_0}, \quad (9.8)$$

где $\sum_i q_i$ – сумма всех зарядов, охватываемых поверхностью S .

Напряженность поля, создаваемого равномерно заряженной бесконечно протяженной плоскостью,

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}. \quad (9.9)$$

Напряженность поля между двумя бесконечно протяженными плоскостями, равномерно заряженными рядами противоположных знаков

$$E = \sigma / \varepsilon_0. \quad (9.10)$$

Напряженность поля, создаваемого равномерно заряженной сферой радиусом R , вне сферы на расстоянии r от центра сферы

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{r^2} = \frac{\sigma R^2}{\varepsilon_0 r^2}. \quad (9.11)$$

Напряженность поля, создаваемого равномерно объемно заряженным шаром радиусом R , вне шара на расстоянии r от центра шара

$$E = \frac{\rho R^3}{3\varepsilon_0 r^2}. \quad (9.12)$$

Напряженность поля, создаваемого равномерно заряженной бесконечно длинной нитью на расстоянии r от нити,

$$E = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \frac{\lambda}{r}. \quad (9.13)$$

Напряженность поля, создаваемого равномерно заряженной бесконечно длинной цилиндрической поверхностью радиусом R , на расстоянии r от оси цилиндрической поверхности

$$E = \frac{\sigma R}{\varepsilon_0 r}. \quad (9.14)$$

Циркуляция вектора напряженности электростатического поля

$$\oint_L E_i dl = 0. \quad (9.15)$$

Потенциальная энергия точечного заряда в электростатическом поле другого точечного заряда

$$W_{\text{п}} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r}. \quad (9.16)$$

Потенциал электростатического поля

$$\varphi = W_{\text{п}} / q. \quad (9.17)$$

Связь между силой, действующей на точечный заряд, и его потенциальной энергией в электростатическом поле:

$$\vec{F} = -\text{grad}W_{\text{п}}. \quad (9.18)$$

Связь между потенциалом и напряженностью электростатического поля в данной точке:

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi. \quad (9.19)$$

Работа по перемещению точечного заряда в электростатическом поле

$$A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (9.20)$$

Контрольные вопросы и задания

9.1. Какое поле называется электростатическим? Чем подтверждается факт существования электростатического 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 векторном поле, циркуляция которого равна нулю? В чем состоит принцип суперпозиции полей? Как применить этот принцип 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 выражение для изменения потенциала поля, найти выражение для изменения его напряженности? Что такое эквипотенциальные поверхности?

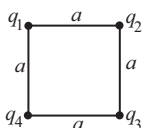
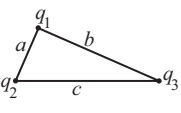
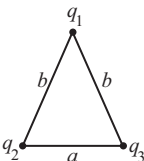
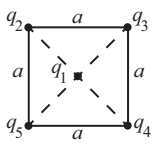
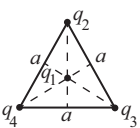
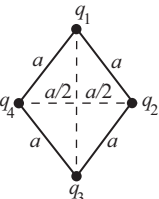
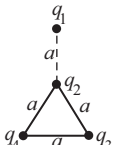
9.7. Что называется потоком вектора напряженности электростатического поля? Как рассчитать поток вектора напряженности через заданную поверхность? Сформулируйте теорему Остроградского – Гаусса для электростатического поля в вакууме. Поясните, какая информация о векторном поле следует из того, что поток вектора через любую замкнутую поверхность отличен от нуля. Как применить теорему Остроградского – Гаусса к расчету напряженности поля равномерно заряженных тел: бесконечной плоскости, заряженной сферы, бесконечно длинной нити и т.д.? Когда для расчета напряженности электростатических полей, создаваемых заряженными телами, следует применять теорему Остроградского – Гаусса, а когда – принцип 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 модуль силы, действующей со стороны поля на пробный точечный заряд, помещенный в данную точку поля?

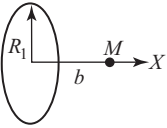
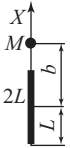

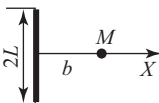
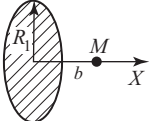
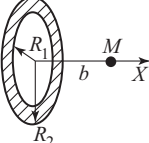

Задача 9.1. Найти силу, с которой на заряд q_1 действует поле, создаваемое всеми остальными зарядами системы.

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 2 3 4		1 1 1 2	—	—	+10	+1 -1 -1 -1	+1 +1 -1 +1	+1 -1 +1 +1	—
5 6 7 8		3	4	5	+1	+1 +6 -3 -1	+2 -4 -2 +6	—	—
9 10 11 12		2	3	—	+1	-2 -2 +1 +1	-2 +2 +1 -1	—	—
13 14 15 16		10	—	—	+1	+2 -1 +1 -2	-5 -1 -1 +3	-1 +1 +2 -2	-2 +1 -3 +4
17 18 19 20		4	—	—	+1	-1 +1 +2 -2	+1 +3 +2 -2	-1 +1 -1 -1	—
21 22 23 24		2	—	—	+0,1	-1 -1 +1 +1	+1 -3 +1 +2	-1 +1 +1 -1	—
25 26 27 28		3	—	—	+0,1	+1 +1 +1 -1	-1 +4 +1 -5	-1 -4 +1 +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. 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	?	$4 \cdot 10^{-9}$	0,6	0,2
2	$4,5 \cdot 10^{-9}$?	0,5	0,3
3	q_1	$4q_1$?	0,2
4	$0,25q_2$	q_2	1	?
5	?	$8 \cdot 10^{-9}$	1,2	0,4
6	$9 \cdot 10^{-8}$?	0,6	0,3
7	q_1	$2q_1$?	0,5
8	$0,4q_2$	q_2	2	?
9	?	$6 \cdot 10^{-9}$	0,3	0,2
10	$1,2 \cdot 10^{-10}$?	0,9	0,4
11	$0,5q_2$	q_2	?	0,3
12	q_1	$2q_1$	1	?
13	?	$7 \cdot 10^{-9}$	0,5	0,2
14	$1,6 \cdot 10^{-9}$?	0,8	0,4
15	q_1	$8q_1$?	0,1
16	$0,25q_2$	q_2	2	?
17	?	$1,2 \cdot 10^{-10}$	0,8	0,4
18	$8 \cdot 10^{-9}$?	0,7	0,2
19	$0,2q_2$	q_2	?	0,1
20	q_1	$4q_1$	1	?
21	?	$9 \cdot 10^{-8}$	0,4	0,1
22	$3,6 \cdot 10^{-9}$?	1	0,6
23	$0,4q_2$	q_2	?	0,2
24	q_1	$6q_1$	1	?
25	?	$1,6 \cdot 10^{-10}$	0,7	0,3
26	$6 \cdot 10^{-9}$?	0,8	0,2
27	q_1	$4q_1$?	0,4
28	$0,2q_2$	q_2	2	?

Задача 9.3. Электростатическое поле создается положительным зарядом q , равномерно распределенным по заряженному телу радиусом R_1 (для широкого тонкого кольца меньший радиус R_1 , больший – R_2) или длиной $2L$. Найти напряженность поля на оси, проходящей через центр тела, в точке M , отстоящей от центра на расстоянии b .

Номер задания	Найти напряженность электрического поля в точках	q , Кл	R_1 , м	R_2 , м	L , м	b , м
1 2 3 4	 На оси, перпендикулярной к плоскости проволочного заряженного кольца	10^{-9}	0,1	–	–	0,05 0,1 0,15 0,2
5 6 7 8	 На оси, проходящей вдоль заряженной нити длиной $2L$, вне нити	$5 \cdot 10^{-10}$	–	–	0,1	0,15 0,2 0,25 0,3
9 10 11 12	 В центре заряженного проволочного полукольца	10^{-10}	0,05 0,10 0,15 0,20	–	–	0
13 14 15 16	 На оси, перпендикулярной к заряженной нити длиной $2L$	$5 \cdot 10^{-10}$	–	–	0,1	0,05 0,1 0,15 0,2
17 18 19 20	 На оси, перпендикулярной к плоскости тонкого заряженного диска	10^{-9}	0,1	–	–	0,05 0,1 0,15 0,2
21 22 23 24	 На оси, перпендикулярной к плоскости широкого тонкого заряженного кольца	$3 \cdot 10^{-10}$	0,05	0,1	–	0,05 0,1 0,15 0,2
25 26 27 28	 В центре заряженной полусферы	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 2 3 4	Протон	H	$2 \cdot 10^5$
		Al	$3 \cdot 10^5$
		Cu	10^6
		He	$2 \cdot 10^6$
5 6 7 8	α -Частица	Al	$5 \cdot 10^5$
		Cu	10^6
		He	10^5
		Zn	$5 \cdot 10^5$
9 10 11 12	Протон	B	$5 \cdot 10^4$
		Ne	$1,5 \cdot 10^5$
		Li	$1,2 \cdot 10^5$
		C	$3 \cdot 10^5$
13 14 15 16	Протон	Be	10^5
		Ar	$8 \cdot 10^4$
		Na	$3 \cdot 10^4$
		Cl	$2 \cdot 10^4$
17 18 19 20	α -Частица	H	$1,7 \cdot 10^5$
		N	$4 \cdot 10^5$
		C	$2,5 \cdot 10^5$
		Si	$1,2 \cdot 10^6$
21 22 23 24	α -Частица	Fe	$3 \cdot 10^6$
		Ca	$8 \cdot 10^5$
		Hg	$2 \cdot 10^6$
		Na	$4 \cdot 10^5$
25 26 27 28	Протон	N	$1,3 \cdot 10^6$
		Ag	10^5
		O	$5 \cdot 10^5$
		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 $\Delta\phi$. Заряженная частица, пройдя вдоль силовой линии расстояние Δr , приобретает под действием поля скорость v . Найти неизвестную величину.

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

Задача 9.6. В электростатическом поле, образованном системой распределенных зарядов, потенциал электростатического поля 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 $\varphi = f(x, y, z)$	Постоянные		$x_1, \text{ м}$	$y_1, \text{ м}$	$z_1, \text{ м}$
		a	b			
1 2 3 4	$\varphi = \frac{x^2}{a} + \frac{y^2 + z^2}{b}$	5 м ² /В	8 м ² /В	1 2 2 0	1 2 0 2	1 2 0 0
5 6 7 8	$\varphi = ax + b$	7 В/м	12 В	1 2 3 4	1 1 2 1	1 2 1 2
9 10 11 12	$\varphi = -\frac{1}{a}(x^2 + y^2 + z^2)$	4 м ² /В	—	2 1 1 1	2 1 0 1	2 1 0 0
13 14 15 16	$\varphi = a - bz$	1 В	5 В/м	4 3 2 1	2 1 2 1	0 1 2 3
17 18 19 20	$\varphi = a(x^2 + y^2) + bz^2$	4 В/м ²	3 В/м ²	4 2 2 1	4 2 2 1	1 2 1 1
21 22 23 24	$\varphi = a(x^2 + y^2) - bz^2$	6 В/м ²	2 В/м ²	2 2 1 2	1 2 1 1	2 1 1 3
25 26 27 28	$\varphi = ay - b$	9 В/м	4 В	1 2 1 2	1 2 3 4	1 2 0 1

Задача 9.7. Найти поток вектора напряженности электростатического поля, создаваемого двумя равномерно заряженными телами, через площадку $S = ab$, расположенную на расстоянии r_1 от центра первого тела и r_2 от второго тела таким образом, что нормаль к площадке составляет угол α с перпендикуляром, проведенным ко второму телу из центра первого. Считать, что a и b во много раз меньше r_1 и r_2 , т.е. в пределах площадки S поле постоянно.

Номер задания	Первое тело	Второе тело	$S, \text{см}^2$	$\alpha, \text{град}$	$r_1, \text{м}$	$r_2, \text{м}$
1 2 3 4	Точечный заряд $q = +5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$	Бесконечно длинная нить, $\lambda = -2 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/м}$	2	45	0,5 1 1,5 2	2 1,5 1 0,5
5 6 7 8	Точечный заряд $q = +10^{-8} \text{ Кл}$	Бесконечная плоскость, $\sigma = -5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл/м}^2$	4	0 30 45 60	0,5	1,5
9 10 11 12	Точечный заряд $q = -4 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$	Бесконечно длинная цилиндрическая труба радиусом $r = 2 \text{ см}$, $\sigma = +6 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/м}^2$	9	0 30 45 60	2	1
13 14 15 16	Заряженная сфера радиусом $r = 3 \text{ см}$, $\sigma = -10^{-6} \text{ Кл/м}^2$	Бесконечно длинная нить, $\lambda = +9 \cdot 10^{-10} \text{ Кл/м}$	2 4 6 8	30	3	1,5
17 18 19 20	Заряженная сфера радиусом $r = 4 \text{ см}$, $\sigma_1 = +2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м}^2$	Бесконечная плоскость, $\sigma_2 = -3 \cdot 10^{-7} \text{ Кл/м}^2$	1	60	0,2 0,4 0,6 0,8	0,8 0,6 0,4 0,2
21 22 23 24	Бесконечно длинная нить, $\lambda = -3 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/м}$	Бесконечная плоскость, $\sigma = +2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл/м}^2$	3	60 45 30 0	1,5	0,5
25 26 27 28	Бесконечно длинная нить, $\lambda = +10^{-7} \text{ Кл/м}$	Бесконечно длинная цилиндрическая труба радиусом $r = 3 \text{ см}$, $\sigma = -4 \cdot 10^{-7} \text{ Кл/м}^2$	2 3 4 5	45	1	2

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 $\Delta\varphi = r_2 - r_1'$, 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 2 3 4	Бесконечная плоскость	—	$+2 \cdot 10^{-8}$	—	5	10
10					15	
15					20	
20					25	
5 6 7 8	Бесконечно длинная нить	$+4 \cdot 10^{-9}$	—	—	1	2
2					3	
3					4	
4					5	
9 10 11 12	Заряженная сфера радиусом $R = 3$ см	—	$+6 \cdot 10^{-8}$	—	2	4
4					6	
6					8	
8					10	
13 14 15 16	Бесконечно длинная цилиндрическая труба радиусом $R = 5$ см	—	$+10^{-8}$	—	10	20
20					30	
30					40	
40					50	
17 18 19 20	Объемно заряженный бесконечно длинный цилиндр радиусом $R = 5$ см	—	—	$+3 \cdot 10^{-7}$	10	20
20					30	
30					40	
40					50	
21 22 23 24	Две параллельные бесконечные разноименно заряженные плоскости (r_1 и r_2 отсчитывать от первой плоскости)	—	$+5 \cdot 10^{-8}$	—	2	4
4					6	
6					8	
8					10	
25 26 27 28	Объемно заряженный шар радиусом $R = 1$ см	—	—	$+7 \cdot 10^{-6}$	1	2
2					3	
3					4	
4					5	

Задача 9.9. Электрическое поле образовано равномерно заряженным телом с известной линейной λ , поверхностной σ или объемной ρ плотностью заряда. Определить, 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 2 3 4	Заряженная сфера радиусом $R = 10$ см	—	$+3 \cdot 10^{-7}$	—	10^{-9}	25	5 15 35 45
5 6 7 8	Объемно заряженный шар радиусом $R = 10$ см	—	—	$+2 \cdot 10^{-6}$ $+5 \cdot 10^{-6}$ $+8 \cdot 10^{-6}$ $+10^{-5}$	10^{-9}	20	50
9 10 11 12	Бесконечно длинная нить	$+10^{-6}$	—	—	10^{-8}	50 40 20 10	30
13 14 15 16	Бесконечно длинный объемно заряженный цилиндр радиусом $R = 5$ см	—	—	$+4 \cdot 10^{-6}$	10^{-8}	15	5 10 20 30
17 18 19 20	Точечный заряд $q = -6 \cdot 10^{-7}$ Кл	—	—	—	10^{-10}	10 8 6 4	5
21 22 23 24	Бесконечно длинная цилиндрическая труба радиусом $R = 2$ см	—	$+10^{-6}$ $+5 \cdot 10^{-6}$ $+10^{-5}$ $+5 \cdot 10^{-5}$	—	10^{-7}	2	6
25 26 27 28	Две параллельные бесконечные разноименно заряженные плоскости	—	$5 \cdot 10^{-5}$	—	10^{-8}	2	4 8 12 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 шарiku сообщить положительный заряд q' , то нить с шариком отклонится на угол α . Найти неизвестную величину, считая заряд q' точечным.

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

Тема 10. Электростатическое поле в диэлектрике. Проводники в электростатическом поле

Основные законы и формулы

Собственный дипольный момент полярной молекулы

$$\vec{p} = q\vec{l}. \quad (10.1)$$

Поляризуемость неполярной молекулы:

$$\beta = \frac{|\vec{p}_i|}{\epsilon_0 |\vec{E}|}, \quad (10.2)$$

где \vec{p}_i – индуцированный дипольный момент неполярной молекулы.

Поляризованность диэлектрика

$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}_i}{\Delta V}. \quad (10.3)$$

Диэлектрическая восприимчивость вещества

$$\kappa = \beta n, \quad (10.4)$$

где n – концентрация молекул.

Относительная диэлектрическая проницаемость вещества

$$\epsilon = \frac{E_0}{E}. \quad (10.5)$$

Связь между диэлектрической восприимчивостью и относительной диэлектрической проницаемостью диэлектриков:

$$\epsilon = 1 + \kappa. \quad (10.6)$$

Связь между поляризованностью диэлектрика и напряженностью электрического поля:

$$\vec{P} = \epsilon_0 \kappa \vec{E}. \quad (10.7)$$

Поток вектора поляризованности через любую замкнутую поверхность

$$\oint_S \vec{P} d\vec{S} = \oint_S P_n dS = - \sum_i q_i \text{связ}, \quad (10.8)$$

где $\sum_i q_i \text{связ}$ – сумма связанных зарядов, охватываемых поверхностью S .

Вектор электрического смещения

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}. \quad (10.9)$$

Теорема Остроградского – Гаусса для электростатического поля в диэлектрике:

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \oint_S D_n dS = - \sum_i q_i \text{своб}, \quad (10.10)$$

где $\sum_i q_i \text{своб}$ – сумма свободных зарядов, охватываемых поверхностью S .

Связь вектора электрического смещения с напряженностью электрического поля:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}. \quad (10.11)$$

Соотношения для нормальных и тангенциальных составляющих векторов напряженности электрического поля \vec{E} и электрического смещения \vec{D} на границе раздела двух диэлектриков с диэлектрическими проницаемостями ϵ_1 и ϵ_2 :

$$\begin{aligned} E_{\tau 1} &= E_{\tau 2}, \quad D_{n1} = D_{n2}, \\ \frac{E_{n1}}{E_{n2}} &= \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}, \quad \frac{D_{\tau 1}}{D_{\tau 2}} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}, \end{aligned} \quad (10.12)$$

где индекс τ относится к тангенциальным составляющим, а индекс n – к нормальным составляющим векторов \vec{E} и \vec{D} .

Закон преломления линий электрического смещения:

$$\frac{\text{tg}\alpha_1}{\text{tg}\alpha_2} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}, \quad (10.13)$$

где α_1 – угол между направлением вектора \vec{D}_1 и нормалью к границе раздела двух диэлектриков; α_2 – угол между направлением вектора \vec{D}_2 и нормалью к границе раздела диэлектриков.

Емкость уединенного проводника

$$C_{\text{пров}} = \frac{q}{\phi}. \quad (10.14)$$

Емкость уединенного проводящего шара

$$C_{\text{ш}} = 4\pi\epsilon_0\epsilon R. \quad (10.15)$$

Напряженность поля вблизи поверхности проводника

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}. \quad (10.16)$$

Связь между поверхностной плотностью заряда проводника и электрическим смещением вблизи его поверхности:

$$\sigma = D. \quad (10.17)$$

Энергия уединенного заряженного проводника

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{\Phi q}{2} = \frac{C\Phi^2}{2}. \quad (10.18)$$

Емкость конденсатора

$$C = \frac{q}{\Phi_1 - \Phi_2}. \quad (10.19)$$

Емкость плоского конденсатора

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}. \quad (10.20)$$

Энергия электрического поля конденсатора

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{q(\Phi_1 - \Phi_2)}{2} = \frac{C(\Phi_1 - \Phi_2)^2}{2}. \quad (10.21)$$

Объемная плотность энергии электрического поля

$$w = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} = \frac{ED}{2}. \quad (10.22)$$

Общая емкость параллельно соединенных конденсаторов

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n. \quad (10.23)$$

Формула для расчета общей емкости последовательно соединенных конденсаторов:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}. \quad (10.24)$$

Контрольные вопросы и задания

10.1. Какие типы диэлектриков вы знаете? Какие виды поляризации вам известны? Что называется дипольным моментом молекулы? Что такое поляризуемость молекулы? Что называется диэлектрической восприимчивостью вещества? Что показывает относительная диэлектрическая проницаемость вещества? Какая связь существует между диэлектрической восприимчивостью и относительной диэлектрической проницаемостью диэлектриков?

10.2. Чему равна напряженность поля в диэлектрике? Почему она различна для разных диэлектриков? Что такое поляризованность диэлектрика? Чему равен поток вектора поляризованности через любую замкнутую поверхность? Чему равна плотность связанных зарядов, появившихся на границах диэлектрика при поляризации? Что называют вектором электрического смещения?

10.3. Сформулируйте теорему Остроградского – Гаусса для электростатического поля в диэлектрике. Поясните, какие заряды учитывает теорема Остроградского – Гаусса для электростатического поля в вакууме, а какие –

для поля в диэлектрике. Какие заряды следует учитывать при расчете потока вектора поляризованности через замкнутую поверхность? На каких зарядах могут начинаться и заканчиваться линии напряженности электростатического поля, линии электрического смещения, линии поляризованности?

10.4. Поясните, какие соотношения выполняются для нормальных и тангенциальных составляющих векторов напряженности электрического поля и электрического смещения на границе раздела двух диэлектриков. Запишите закон преломления линий электрического смещения.

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

10.6. Что называется электроемкостью уединенного проводника? Чему равна электроемкость уединенного проводящего шара? Чему равна напряженность поля вблизи поверхности проводника? Какая связь существует между поверхностной плотностью заряда проводника и электрическим смещением вблизи его поверхности? Чему равна энергия уединенного проводника?

10.7. Если два или более проводников, имеющих различные потенциалы, привести в контакт либо соединить проводником, то при каком условии перераспределение зарядов прекратится? Какая при этом совершится работа?

10.8. Что называется электроемкостью конденсатора? Чему равна электроемкость плоского конденсатора? По какой формуле вычисляют энергию конденсатора? На что расходуется энергия конденсатора при его разряде?

10.9. Чему равна электроемкость плоского конденсатора, если между его обкладками поместить плоскопараллельную пластинку из диэлектрика, толщина которой равна расстоянию между обкладками конденсатора, а площадь — меньше площади каждой из обкладок? Как определить электроемкость плоского конденсатора, если часть пространства между обкладками конденсатора занимает плоскопараллельная пластинка из диэлектрика, площадь которой равна площади обкладок, а толщина меньше расстояния между обкладками конденсатора? Какую работу надо совершить, чтобы дополнительно 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?

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_p . Найти неизвестные величины.

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

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	?	?	?	$1,24 \cdot 10^{-9}$?	$8,85 \cdot 10^{-10}$
4	?	?	80	?	$2,2 \cdot 10^{-9}$?
5	?	3	?	?	$7,965 \cdot 10^{-10}$?
6	126	?	45	?	?	?
7	?	2,2	?	$1,56 \cdot 10^{-9}$?	?
8	204	?	?	?	$1,275 \cdot 10^{-9}$?
9	?	?	35	$1,36 \cdot 10^{-9}$?	?
10	?	4	?	?	?	$6,64 \cdot 10^{-10}$
11	?	3,6	?	$2,39 \cdot 10^{-9}$?	?
12	?	?	60	?	?	$7,08 \cdot 10^{-10}$
13	?	?	?	$1,06 \cdot 10^{-9}$	$6,195 \cdot 10^{-10}$?
14	430	?	?	?	?	$2,92 \cdot 10^{-9}$
15	180	6	?	?	?	?
16	?	3,4	80	?	?	?
17	?	?	?	$7,43 \cdot 10^{-10}$?	$4,78 \cdot 10^{-10}$
18	?	?	40	?	$1,06 \cdot 10^{-9}$?
19	?	3,5	?	?	$9,29 \cdot 10^{-10}$?
20	266	?	70	?	?	?
21	?	4,2	?	$1,3 \cdot 10^{-9}$?	?
22	297	?	?	?	$1,655 \cdot 10^{-9}$?
23	?	?	90	$2,55 \cdot 10^{-9}$?	?
24	?	2,5	?	?	?	$9,3 \cdot 10^{-10}$
25	?	4,2	30	?	?	?
26	?	?	50	?	?	$7,08 \cdot 10^{-10}$
27	?	?	?	$1,17 \cdot 10^{-9}$	$8,14 \cdot 10^{-10}$?
28	540	?	?	?	?	$3,72 \cdot 10^{-9}$

Задача 10.3. Одно или два тела (бесконечно длинные нити и цилиндры, бесконечно протяженные поверхности, сферы), равномерно заряженные с линейной λ или поверхностной σ плотностью зарядов, создают электростатическое поле в двух диэлектриках с диэлектрическими проницаемостями ϵ_1 и ϵ_2 . Определить напряженности поля в точках, находящихся на расстоянии соответственно R_1 и R_2 (от центра сфер, оси 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 2 3 4	Длинная заряженная нить ($\lambda = +4 \cdot 10^{-10}$ Кл/м) по оси цилиндрического отверстия радиусом r_1 в длинном бруске из диэлектрика	1	2,6	2 1,5 6 1	—	1,8 1 4 0,5	2,2 2 6,5 1,3
5 6 7 8	Поверхностно заряженный ($\sigma = +5 \cdot 10^{-8}$ Кл/м ²) шарик радиусом r_1 в центре заполненной жидкостью сферической полости радиусом r_2 в диэлектрике	81	6	1,5 1 2 0,5	4 2,5 3,5 2	2 1,5 3 1	5 3 4 3
9 10 11 12	Бесконечно протяженная заряженная плоскость ($\sigma = +2 \times 10^{-9}$ Кл/м ²) с различными диэлектриками по разные стороны от нее	1 81 2,6 2,6	6 4,5 7 81	—	—	5 2 10 15	5 20 4 3
13 14 15 16	Длинная поверхностно заряженная трубка ($\sigma = +10^{-8}$ Кл/м ²) радиусом r_1 вдоль оси толстостенной диэлектрической трубы с внутренним радиусом r_2	1	6	0,8 1,5 1,2 2	1,8 2,2 1,7 2,9	1 1,6 1,5 2,4	2 2,5 2 3
17 18 19 20	Две бесконечные разноименно заряженные плоскости ($\sigma = 6 \times 10^{-9}$ Кл/м ²) с двухслойным диэлектриком между ними с толщиной слоев r_1 и r_2	1 6 2,6 1	4 81 6 2,6	5 2 3 6	3 8 4 6	3 1 2 4	7 6 5 10
21 22 23 24	Две поверхностно заряженные ($\sigma = 8 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ²) концентрические металлические сферы радиусами r_1 и r_2 с диэлектриком между ними	1	2 2,6 5 6	2 7 5 3	4 9 8 6	1 5 3 2	3 8 7 4
25 26 27 28	Два поверхностно заряженных ($\sigma = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл/м ²) коаксиальных бесконечно длинных цилиндра радиусами r_1 и r_2 с диэлектриком между ними	1	2 2,6 5 6	3 1 2 4	4 3 5 6	2 0,5 1 3	3,5 2 4 5

Задача 10.4. На границе раздела двух диэлектриков вектор электрического смещения \vec{D}_1 в первом диэлектрике составляет угол α_1 с нормалью к границе раздела, а вектор электрического смещения \vec{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.

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

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

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

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

Задача 10.8. Площадь пластин плоского воздушного конденсатора равна S , расстояние между ними – d . К пластинам приложена разность потенциалов U . При разряде такого конденсатора выделяется количество теплоты, равное Q . Найти неизвестную величину.

Номер задания	$S, \text{ см}^2$	$d, \text{ мм}$	$U, \text{ В}$	$Q, \text{ Дж}$
1	?	1,3	100	$3,4 \cdot 10^{-8}$
2	50	?	300	$2,5 \cdot 10^{-6}$
3	12	1	?	$1,04 \cdot 10^{-7}$
4	28	4,5	290	?
5	?	6	300	$1,77 \cdot 10^{-8}$
6	4	?	120	$1,5 \cdot 10^{-8}$
7	24	5,5	?	$1,3 \cdot 10^{-7}$
8	10	0,7	150	?
9	?	1,2	250	$8,85 \cdot 10^{-7}$
10	15	?	190	$1,2 \cdot 10^{-7}$
11	7	0,6	?	$1,86 \cdot 10^{-8}$
12	26	5	240	?
13	?	4	400	$4,425 \cdot 10^{-7}$
14	8	?	75	$1,66 \cdot 10^{-8}$
15	35	2,2	?	$5,13 \cdot 10^{-7}$
16	20	0,9	160	?
17	?	2	220	$1,6 \cdot 10^{-7}$
18	5	?	80	$5,66 \cdot 10^{-9}$
19	30	3,5	?	$8,53 \cdot 10^{-8}$
20	14	1,1	130	?
21	?	6	180	$2,15 \cdot 10^{-8}$
22	25	?	200	$1,475 \cdot 10^{-7}$
23	9	0,8	?	$6 \cdot 10^{-8}$
24	16	1,4	230	?
25	?	7	150	$1,71 \cdot 10^{-8}$
26	18	?	70	$2,6 \cdot 10^{-8}$
27	6	0,5	?	$4,3 \cdot 10^{-8}$
28	22	3	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. Для того чтобы раздвинуть пластины конденсатора до расстояния d_2 , требуется совершить работу, равную A . Найти неизвестную величину.

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

Задача 10.10. Найти общую емкость соединенных конденсаторов.

Номер задания	Схема соединений	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

Тема 11. Действие электростатического поля на движущийся заряд. Постоянный электрический ток

Основные законы и формулы

Сила тока

$$i = \frac{dq}{dt}. \quad (11.1)$$

Модуль плотности тока

$$j = \frac{di}{dS_{\perp}}. \quad (11.2)$$

Сила тока как поток вектора плотности тока

$$i = \int_S j_n dS. \quad (11.3)$$

Электродвижущая сила, действующая в цепи или на участке цепи,

$$E = A^* / q, \quad (11.4)$$

где A^* – работа сторонних сил.

Связь электродвижущей силы с напряженностью поля сторонних сил E^* :

$$E = \oint_L E_l^* dl. \quad (11.5)$$

Падение напряжения (напряжение) на данном участке цепи

$$U = \frac{A^* + A}{q}, \quad (11.6)$$

где A^* – работа сторонних сил; A – работа сил электрического поля.

Связь напряжения с электродвижущей силой (ЭДС), действующей на участке цепи, и разностью потенциалов:

$$U = E + (\varphi_1 - \varphi_2). \quad (11.7)$$

Закон Ома для неоднородного участка цепи:

$$I = \frac{E + (\varphi_1 - \varphi_2)}{R + r}, \quad (11.8)$$

где R – полное сопротивление внешней цепи; r – внутреннее сопротивление источника тока.

Закон Ома для однородного участка цепи:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R}. \quad (11.9)$$

Закон Ома для замкнутой цепи:

$$I = \frac{E}{R+r}. \quad (11.10)$$

Сила тока во внешней цепи максимальна при $R = 0$, полезная мощность максимальна при $R = r$.

Закон Ома в дифференциальной форме:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}, \quad (11.11)$$

где σ – коэффициент электропроводности (проводимость) среды.

Закон Джоуля – Ленца в интегральной форме:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} i^2 R dt. \quad (11.12)$$

Закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме:

$$p = \sigma E^2, \quad (11.13)$$

где p – удельная мощность тока.

Зависимость сопротивления металлов от температуры согласно классической теории электропроводности металлов:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad (11.14)$$

где R_t – сопротивление металлического проводника при температуре t °С, R_0 – его сопротивление при температуре 0 °С; α – температурный коэффициент сопротивления металла.

Подвижность носителей заряда

$$u = v / E, \quad (11.15)$$

где v – скорость установившегося направленного движения носителей заряда под действием сил электрического поля.

Контрольные вопросы и задания

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

11.2. Что называется электродвижущей силой, действующей в цепи или на участке цепи? Как электродвижущая сила связана с напряженностью поля сторонних сил? Что называется падением напряжения (напряжением) на данном участке цепи? В каком случае напряжение совпадает с разностью потенциалов? Как определить скорость, которую приобретает заряженная частица под действием ускоряющей разности потенциалов?

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

11.4. Сформулируйте закон Ома для неоднородного участка цепи; для замкнутой цепи. Как в электрическую цепь подключают амперметр? Как можно расширить пределы измерения амперметра? Как подсоединяют вольтметр? Можно ли расширить пределы измерения вольтметра, и если да, то как? Можно ли вольтметром измерить силу тока, а амперметром – падение напряжения? Что для этого нужно сделать? Как рассчитать цену деления этих приборов?

11.5. На каких участках замкнутой цепи, содержащей последовательно и параллельно соединенные участки, будут одинаковыми: сила тока; падение напряжения? Запишите закон Ома для этих участков цепи.

11.6. Сформулируйте закон Джоуля – Ленца. Как количество теплоты, выделяемое в проводнике, связано с работой источника тока? Чему равен КПД нагревательного прибора?

11.7. При каком внешнем сопротивлении сила тока во внешней цепи максимальна? При каком внешнем сопротивлении максимальна полезная мощность? Как рассчитать максимальные значения этих величин?

11.8. Какова зависимость сопротивления металла от температуры? Какую зависимость сопротивления от температуры дает классическая теория электропроводности металлов? В чем состоят затруднения классической теории электропроводности металлов?

11.9. Сформулируйте закон Ома в дифференциальной форме. Что называется коэффициентом электропроводности (проводимостью) среды? Как коэффициент электропроводности связан с удельным сопротивлением? Чему равна плотность тока в ионизированных газах?

11.10. Что называется подвижностью носителей заряда? Почему в ионизированных газах подвижность отрицательных носителей может на несколько порядков превышать подвижность положительных носителей заряда?

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

Номер задания	Движущаяся частица	v_x , м/с	E , В/м	l , м	v , м/с	α , град
1	Электрон	10^7	10^4	0,05	?	?
2		10^7	10^4	?	?	30
3		?	10^3	?	10^6	45
4		?	?	0,1	10^6	60
5	Протон	10^6	$5 \cdot 10^4$	0,1	?	?
6		10^6	$5 \cdot 10^4$?	?	60
7		?	10^4	?	10^5	30
8		?	?	0,1	10^5	45
9	Позитрон	10^7	10^4	0,05	?	?
10		10^7	10^4	?	?	45
11		?	100	?	10^6	60
12		?	?	0,1	10^7	30
13	Электрон	10^6	500	0,1	?	?
14		10^6	500	?	?	45
15		?	100	?	10^6	60
16		?	?	0,1	10^6	30
17	Протон	10^5	10^4	0,05	?	?
18		10^5	10^3	?	?	30
19		?	10^3	?	10^5	45
20		?	?	0,1	10^6	60
21	Позитрон	10^6	500	0,1	?	?
22		10^6	500	?	?	60
23		?	100	?	10^6	30
24		?	?	0,1	10^6	45
25	α -Частица	10^5	10^4	0,1	?	?
26		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 в проводнике изменяется со временем по закону $i = f(t)$. Какой заряд 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 такой же заряд? Построить график зависимости $q = f(t)$.

Номер задания	$i = f(t), \text{A}$	t_1, c	t_2, c
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

Задача 11.4. Имеется измерительный прибор с внутренним сопротивлением r , предназначенный для измерения силы тока или напряжения. Шкала его разделена на n делений. Резистор с каким сопротивлением надо взять и как его подключить, чтобы можно было производить необходимые измерения, если известны предельно допустимые сила тока $I_{\text{пр}}$ или напряжение $U_{\text{пр}}$? Определить цену деления используемого прибора.

Номер задания	Что необходимо измерить	Какой прибор имеется	r , Ом	n	$I_{\text{пр}}$, мА	$U_{\text{пр}}$, В
1 2 3 4	Силу тока до 100 мА	Амперметр	0,18	100	10	—
			0,2	75	15	
			0,1	150	15	
			0,1	50	10	
5 6 7 8	Разность потенциалов до 75 В	Вольтметр	2000	150	—	30
			1000	75		15
			3000	100		50
			1500	50		15
9 10 11 12	Разность потенциалов до 300 В	Амперметр	0,5	150	2,5	—
			0,4	30	5	
			0,3	50	2	
			0,2	75	1,5	
13 14 15 16	Силу тока до 150 мА	Амперметр	5	75	20	—
			4	50	50	
			3	25	75	
			2	100	5	
17 18 19 20	Силу тока до 75 мА	Амперметр	0,2	25	5	—
			0,1	50	10	
			0,2	75	15	
			0,1	15	20	
21 22 23 24	Разность потенциалов до 1000 В	Вольтметр	1000	50	—	100
			2000	100		500
			3000	25		50
			4000	150		25
25 26 27 28	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	$U, \text{В}$	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$
1 2 3 4		2,1 3 4,2 2,8	5 7 6 3	6 2 4 4	3 3 6 9
5 6 7 8		4 12 20 8	4 10 8 12	8 6 7 10	12 8 6 8
9 10 11 12		5 10 2,5 2	7 14 8 6	3 5 5 4	8 6 12 10
13 14 15 16		4 2,5 1,2 3,6	4 6 8 4	8 3 2 5	12 9 6 10
17 18 19 20		12 20 8 6	2 6 8 12	4 8 6 5	8 10 4 10
21 22 23 24		2,2 3,6 4,8 6	4 6 10 14	2 10 8 6	6 4 12 8
25 26 27 28		4 6,2 10 8,4	6 8 10 12	4 6 4 10	10 4 8 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 , °C	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 E и внутреннее сопротивление r , обеспечивает максимальную силу тока I_{\max} . Максимальная полезная мощность, которую можно получить от этого элемента, равна P_{\max} . Найти неизвестные величины по двум известным.

Номер задания	E , 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 температуре $t = 0^\circ\text{C}$, равным R_0 , миллиамперметр с внутренним сопротивлением R_A и генератор тока, сопротивлением которого можно пренебречь, включены последовательно. При температуре 0°C миллиамперметр показывает силу тока, равную I_0 . Если реостат нагреется на Δt , то миллиамперметр покажет силу тока I_1 . Температурный коэффициент сопротивления проволоки реостата равен α . Найти неизвестную величину.

Номер задания	R_0 , Ом	R_A , Ом	I_0 , мА	Δt , $^\circ\text{C}$	I_1 , мА	α , K^{-1}
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 газом, ионизированным так, что в 1 см^3 находится n пар ионов, обладает сопротивлением R . Ионы одновалентны. Подвижность положительных ионов равна u_+ , отрицательных – u_- . Поперечное сечение трубки S . Найти неизвестную величину.

Номер задания	$L, \text{ м}$	$S, \text{ мм}^2$	$10^7 N, \text{ см}^{-3}$	$R, 10^{14} \text{ Ом}$	$u_+, 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$	$u_-, 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$
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	1,5	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	?	0,04	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	?	0,03	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	1,5	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	1,5	0,9	1,1
27	0,8	4	?	5	0,6	1,4
28	1	5	2	?	2,3	2,7

Задача 11.10. К электродам разрядной трубки приложена разность потенциалов U . Расстояние между электродами равно 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 плотность тока в трубке. Определить, какая часть полного тока (в процентах) переносится положительными ионами.

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

Тема 12. Магнитное поле в вакууме

Основные законы и формулы

Собственный магнитный момент контура с током

$$\vec{p}_m = IS\vec{n}, \quad (12.1)$$

где \vec{n} — единичный вектор положительной нормали к плоскости контура.

Индукция магнитного поля в данной точке

$$B = \frac{M_{\max}}{p_m}. \quad (12.2)$$

Момент сил, действующих на контур с током в магнитном поле,

$$\vec{M} = \vec{p}_m \times \vec{B}. \quad (12.3)$$

Закон Био – Савара – Лапласа:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}, \quad (12.4)$$

где $Id\vec{l}$ — элемент тока; \vec{r} — радиус-вектор, проведенный от элемента тока к точке, в которой определяется индукция $d\vec{B}$.

Индукция магнитного поля, создаваемого прямолинейным проводником с током конечной длины,

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi b} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2), \quad (12.5)$$

где b — расстояние от проводника с током до точки, в которой определяется индукция магнитного поля; α_1, α_2 — углы между направлением тока и радиусом-вектором, проведенным соответственно от начала и конца проводника с током к точке, в которой определяется индукция магнитного поля.

Индукция магнитного поля, создаваемого бесконечно длинным прямолинейным проводником,

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi b}. \quad (12.6)$$

Индукции магнитного поля на оси кругового контура с током

$$B = \frac{\mu_0 IR^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}}, \quad (12.7)$$

где R — радиус контура с током; x — расстояние от центра контура до точки на оси, в которой определяется индукция магнитного поля.

Индукции магнитного поля в центре кругового контура с током

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}. \quad (12.8)$$

Закон полного тока для магнитного поля в вакууме:

$$\oint_L B_i dl = \mu_0 \sum_{i=1}^N I_i, \quad (12.9)$$

где $\mu_0 \sum_{i=1}^N I_i$ — алгебраическая сумма всех токов, охватываемых контуром L .

Индукция магнитного поля внутри длинного соленоида и тороида

$$B = \mu_0 In, \quad (12.10)$$

где n — плотность намотки, т.е. число витков на единице длины.

Контрольные вопросы и задания

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 в этом случае линии магнитной индукции? 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 контура с током? Каким образом определить направление магнитной индукции на оси кругового контура с током? Какой вид имеют линии магнитной индукции в этом случае?

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

12.6. Сформулируйте принцип суперпозиции полей. Поясните, каким образом, используя этот принцип, можно рассчитать индукцию магнитного поля, создаваемого проводниками с током 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. Как можно рассчитать индукцию магнитного поля в заданных точках, если оно не является симметричным, а токи, порождающие его, нелинейны? Как применить в этом случае принцип суперпозиции полей?

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

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

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

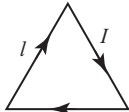
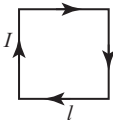
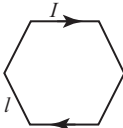
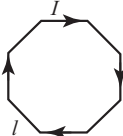
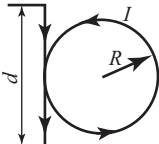
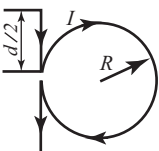
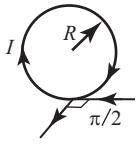
Задача 12.4. Два круговых витка радиусами R_1 и R_2 расположены в параллельных плоскостях на расстоянии l друг от друга. По виткам проходят токи I_1 и I_2 . Найти индукцию магнитного поля в точках на оси, проходящей через центры витков от первого ко второму, отстоящих на расстоянии r от первого витка. 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 2 3 4	Одинаковы	0,2	0,1	2	2	0,05	0,01 0,02 0,03 0,04
5 6 7 8	Противоположны	0,2	0,1	2	2	0,05	0,01 0,02 0,03 0,04
9 10 11 12	Одинаковы	0,1	0,1	4	2	0,06	0 0,02 0,04 0,06
13 14 15 16	Противоположны	0,1	0,1	4	2	0,06	0 0,02 0,04 0,06
17 18 19 20	Одинаковы	0,2	0,1	2	1	0,15	0 0,05 0,10 0,15
21 22 23 24	Противоположны	0,2	0,1	2	1	0,15	0 0,05 0,10 0,15
25 26 27 28	Противоположны	0,2	0,2	5	5	0,3	0 0,1 0,15 0,2

Задача 12.5. Два круговых витка радиусом R каждый, по которым проходят токи I_1 и I_2 , расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях так, что их центры совпадают. Индукция поля в общем центре витков равна B . Найти неизвестную величину.

Номер задания	R , см	I_1 , А	I_2 , А	B , Тл
1	?	1,2	1,6	$3,14 \cdot 10^{-5}$
2	5,2	?	1,43	$6,28 \cdot 10^{-5}$
3	20	2,24	?	$9,43 \cdot 10^{-6}$
4	6,28	2,5	1,66	?
5	?	2,3	1,93	$1,89 \cdot 10^{-4}$
6	3,14	?	4,47	$1,2 \cdot 10^{-4}$
7	9,43	3,32	?	$4 \cdot 10^{-5}$
8	12,57	3,2	2,4	?
9	?	3,6	3,47	$6,28 \cdot 10^{-5}$
10	6	?	2,24	$3,14 \cdot 10^{-5}$
11	1,5	6,71	?	$3,77 \cdot 10^{-4}$
12	3,14	1,8	0,87	?
13	?	3,2	2,4	$1,26 \cdot 10^{-4}$
14	6,28	?	2,65	$4 \cdot 10^{-5}$
15	20	2,83	?	$9,43 \cdot 10^{-6}$
16	2,1	2,7	1,31	?
17	?	4,1	4,38	$6,28 \cdot 10^{-5}$
18	12,57	?	3,6	$3,5 \cdot 10^{-5}$
19	2	3,34	?	$1,89 \cdot 10^{-4}$
20	18,85	4,5	3,97	?
21	?	3,5	4,9	$3,14 \cdot 10^{-5}$
22	12	?	2,24	$1,56 \cdot 10^{-5}$
23	2,1	1,73	?	$6 \cdot 10^{-5}$
24	6,28	1,5	2,6	?
25	?	1,6	2,54	$2,09 \cdot 10^{-5}$
26	15,6	?	1,73	$8 \cdot 10^{-6}$
27	2,5	4	?	$1,26 \cdot 10^{-4}$
28	12,57	3,6	4,8	?

Задача 12.6. Линейный проводник, по которому проходит ток I , образует круговой контур радиусом R или недеформируемый контур в форме правильного многоугольника со стороной l . Найти индукцию магнитного поля в центре контура.

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

Задача 12.7. Определить 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, A	I_2, A	I_3, A	I_4, A	I_5, A	I_6, A
1 2 3 4		1,1 0,1 1,7 0,6	1 1,4 2,3 0,2	2,2 0,7 1,2 2,1	0,3 1,3 1,7 0,9	1,1 0,2 1,9 0,8	0,9 1,6 2,7 0,7
5 6 7 8		1,5 1,8 0,3 1,4	0,7 1,9 0,9 2,2	0,5 1,8 0,8 1,7	1,1 2 0,1 1,6	1 2,4 1,4 0,5	2 1,7 2,3 0,4
9 10 11 12		2 0,7 2,4 1,2	1,1 2,1 0,1 1,5	2,4 1,3 2,5 0,2	0,4 1 2,3 0,6	0,3 0,9 2,5 1,6	1,2 2,6 1,8 0,6
13 14 15 16		1,9 0,2 2,3 1,6	1,2 2,6 0,4 2,7	2 0,3 2,5 1,1	0,8 2,6 0,2 1,4	1,3 1,8 1,2 0,6	1,5 2,1 0,1 1,9
17 18 19 20		0,8 2,8 1 2,6	1,7 0,6 2,4 1,6	0,9 2,6 0,1 2,8	2,8 1,2 0,7 2,1	2,5 0,4 2,2 1,7	2,8 1 0,8 2,5
21 22 23 24		0,5 2,2 1,3 2,5	2 1,8 0,3 2,8	1,5 1 2,3 0,6	0,5 1,2 1,5 1,8	1,4 2 0,1 2,7	0,3 2,4 1,3 0,5
25 26 27 28		0,5 2,7 2,1 0,4	0,5 2,5 1,3 0,8	2,7 1,4 2 1,6	2,5 0,9 2,2 1,9	2,3 0,7 2,1 1,5	1,1 2,2 1,4 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 неизвестную величину, считая диаметр катушки малым по сравнению с ее длиной.

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

Задача 12.9. Коаксиальный проводник состоит из внутреннего сплошного цилиндра радиусом R_1 и цилиндрической оболочки, внутренний и внешний радиусы которой равны R_2 и R_3 соответственно. По цилиндру и оболочке в противоположных направлениях проходят равные по силе токи I . Найти индукцию магнитного поля на расстоянии r' от оси проводника. Считать, что плотность тока не зависит 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 6 7 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	Внутренний цилиндр отсутствует	7,5	10	1	8 8,5 9 10
25 26 27 28	Внутренний цилиндр отсутствует	7,5	10	1	12,5 15 17,5 20

Задача 12.10. По тонкой ленте шириной l , которой придают различную форму, проходит ток I , причем на единицу ширины ленты приходится ток $I_0 = I/l$. Рассчитать индукцию магнитного поля, создаваемого лентой с током, в точках, указанных в задании и отстоящих от ленты на расстоянии r_0 .

Номер задания	Определить индукцию магнитного поля	l , см	R , см	I_0 , А	r_0 , см
1 2 3 4	В точках плоскости, перпендикулярной к середине тонкой прямой бесконечной ленты шириной 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 шириной 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	∞	—	2 1,5 1 0,5	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 шириной 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

Основные законы и формулы

Закон Ампера для параллельных бесконечно длинных проводников с токами I_1 и I_2 :

$$F_{\text{ед}} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{r}, \quad (13.1)$$

где $F_{\text{ед}}$ – сила, действующая на единицу длины проводника; r – расстояние между проводниками.

Закон Ампера для элемента проводника dl с током силой I :

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}. \quad (13.2)$$

Сила Лоренца

$$\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}. \quad (13.3)$$

Радиус траектории заряженной частицы в однородном магнитном поле

$$R = \frac{mv \sin \alpha}{qB}. \quad (13.4)$$

Период обращения заряженной частицы в магнитном поле

$$T = \frac{2\pi m}{qB}. \quad (13.5)$$

Шаг винтовой линии, по которой движется заряженная частица в магнитном поле,

$$h = vT \cos \alpha, \quad (13.6)$$

где α – угол между векторами скорости \vec{v} движущейся частицы и индукции \vec{B} магнитного поля.

Напряжение, возникающее в результате эффекта Холла между гранями металлической пластины, параллельными плоскостям, в которых расположены векторы плотности тока \vec{j} и индукции \vec{B} магнитного поля,

$$U_H = R_H j B b, \quad (13.7)$$

где $R_H = 1/(ne)$ – постоянная Холла; b – расстояние между гранями.

Поток вектора индукции магнитного поля

$$\Phi_B = \int_S \vec{B} d\vec{S} = \int_S B_n dS. \quad (13.8)$$

Теорема Остроградского – Гаусса для магнитного поля:

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = \oint_S B_n dS = 0. \quad (13.9)$$

Элементарная работа перемещения проводника и контура с током в магнитном поле

$$\delta A = Id\Phi. \quad (13.10)$$

Контрольные вопросы и задания

13.1. Какая сила действует на заряд, движущийся 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 однородное 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 однородном 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 однородное 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, применив 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?

Задача 13.1. Заряженная частица, ускоренная разностью потенциалов U , влетает в однородное магнитное поле с 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	Протон	1800	$6 \cdot 10^{-2}$?	Период обращения Момент импульса Нормальное ускорение Тангенциальное ускорение
2		450	?	15	
3		?	$3 \cdot 10^{-2}$	12	
4		200	$4 \cdot 10^{-2}$?	
5	Электрон	8000	$6 \cdot 10^{-3}$?	Момент импульса Нормальное ускорение Тангенциальное ускорение Период обращения
6		?	$3 \cdot 10^{-3}$	5	
7		320	?	6	
8		720	$9 \cdot 10^{-4}$?	
9	Позитрон	720	?	3	Нормальное ускорение Тангенциальное ускорение Период обращения Момент импульса
10		320	$2 \cdot 10^{-3}$?	
11		8000	?	15	
12		?	$3 \cdot 10^{-3}$	6	
13	Протон	800	$2 \cdot 10^{-2}$?	Период обращения Момент импульса Нормальное ускорение Тангенциальное ускорение
14		?	$4 \cdot 10^{-2}$	10	
15		1250	?	25	
16		?	$3 \cdot 10^{-2}$	20	
17	α -Частица	?	$4 \cdot 10^{-2}$	11	Тангенциальное ускорение Момент импульса Нормальное ускорение Период обращения
18		900	?	12	
19		400	$2 \cdot 10^{-2}$?	
20		?	$8 \cdot 10^{-2}$	15	
21	Позитрон	8000	?	6	Тангенциальное ускорение Нормальное ускорение Момент импульса Период обращения
22		?	$4 \cdot 10^{-3}$	3	
23		320	$3 \cdot 10^{-4}$?	
24		720	?	9	
25	Электрон	720	$3 \cdot 10^{-3}$?	Период обращения Тангенциальное ускорение Нормальное ускорение Момент импульса
26		320	?	2	
27		8000	$1,5 \cdot 10^{-2}$?	
28		?	$5 \cdot 10^{-4}$	30	

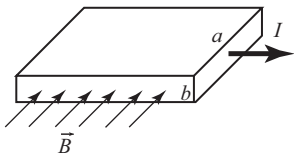
Задача 13.2. Заряженная частица, ускоренная разностью потенциалов U , влетает в однородное магнитное поле под углом φ к направлению поля и начинает двигаться по винтовой линии. Индукция магнитного поля равна B , радиус витка винтовой линии — R , шаг винтовой линии — h . Найти неизвестные величины.

Номер задания	Частица	U , В	φ , град	B , Тл	R , см	h , см
1	α -Частица	1600	30	$2 \cdot 10^{-1}$?	?
2	Позитрон	3500	60	$4 \cdot 10^{-2}$?	?
3	Протон	800	45	$1,4 \cdot 10^{-1}$?	?
4	Электрон	14 050	45	$6,28 \cdot 10^{-2}$?	?
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	$4,24 \cdot 10^{-1}$?	6,28
10	Электрон	?	60	$4 \cdot 10^{-2}$?	1,57
11	α -Частица	?	45	$2,12 \cdot 10^{-1}$?	6,28
12	Позитрон	?	30	$2 \cdot 10^{-2}$?	5,44
13	Электрон	?	45	$3,53 \cdot 10^{-3}$	6	?
14	α -Частица	?	30	10^{-1}	1,5	?
15	Позитрон	?	45	$7,07 \cdot 10^{-3}$	3	?
16	Протон	?	60	$3,46 \cdot 10^{-1}$	2	?
17	Протон	800	45	?	?	12,56
18	α -Частица	900	30	?	?	16,3
19	Позитрон	14 050	45	?	?	2,83
20	Электрон	7900	45	?	?	18,8
21	α -Частица	1600	?	$2 \cdot 10^{-1}$	2	?
22	Электрон	3500	?	$2 \cdot 10^{-2}$	0,5	?
23	Позитрон	21 950	?	$3,53 \cdot 10^{-2}$	1	?
24	Протон	1800	?	$4,24 \cdot 10^{-1}$	1	?
25	Позитрон	878	?	10^{-2}	?	3,14
26	Электрон	21 950	?	$3,53 \cdot 10^{-2}$?	6,28
27	Протон	1250	?	10^{-1}	?	27,2
28	α -Частица	2500	?	$1,73 \cdot 10^{-1}$?	9,1

Задача 13.3. Заряженная частица влетает в однородное магнитное поле под углом φ к направлению поля и движется по винтовой линии, радиус которой равен R . Индукция магнитного поля равна B , кинетическая энергия частицы при этом — W_k . Найти неизвестную величину.

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

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



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

Задача 13.5. Пластинка толщиной a полупроводника с электронной проводимостью помещена в магнитное поле, направленное вдоль a . Удельное сопротивление полупроводника равно ρ , индукция магнитного поля — B . Перпендикулярно к полю вдоль пластинки пропускается ток I . При этом возникает поперечная разность потенциалов U . Подвижность носителей заряда в полупроводнике равна u . Найти неизвестную величину.

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

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

Номер задания	$q = f(t)$, Кл	l , см	B , Тл	φ , 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	$q = 2,47 + 0,6t$	3,33	?	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	$q = 1,2t - 3$?	$5,83 \cdot 10^{-2}$	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	$q = 2,75 + 0,8t$	6,25	?	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	$q = 3,84 + 0,45t$	6,66	?	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 φ с направлением магнитного поля. Найти неизвестную величину.

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

Задача 13.8. Диск, расположенный так, что нормаль к нему составляет угол φ с линиями магнитной индукции, вращается с частотой ν вокруг оси, совпадающей с нормалью. Поток магнитной индукции, пересекаемый за время t_1 отрезком, совпадающим с радиусом R диска, равен Φ , индукция магнитного поля — B . Найти неизвестную величину.

Номер задания	φ , град	ν , Гц	R , см	t_1 , мин	Φ , Вб	B , Тл
1	?	15	3	2	$5,1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
2	60	?	4	0,1	$6,28 \cdot 10^{-3}$	$2,08 \cdot 10^{-2}$
3	45	20	?	0,5	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-3}$
4	30	20	5	?	$9,79 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$
5	45	25	2	1	?	$4 \cdot 10^{-2}$
6	60	15	3	0,5	$3,8 \cdot 10^{-2}$?
7	?	30	5	0,5	$1,25 \cdot 10^{-1}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$
8	45	?	1	0,2	$1,33 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-2}$
9	60	5	?	2	$1,13 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$
10	45	18	1,5	?	$5,4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$
11	30	10	4	0,5	?	$8 \cdot 10^{-3}$
12	60	25	6	0,2	$1,36 \cdot 10^{-2}$?
13	?	12	2,5	1	$6,36 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$
14	30	?	5	0,5	$3,67 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
15	45	20	?	1,5	$5,99 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$
16	45	30	1,5	?	$3,6 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$
17	60	20	8	3	?	$3 \cdot 10^{-2}$
18	30	5	4	2	$1,57 \cdot 10^{-2}$?
19	?	10	6	1,5	$5,03 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-3}$
20	60	?	3	0,5	$8,48 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-3}$
21	30	15	?	0,1	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$
22	60	10	2	?	$2,83 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$
23	45	18	7	1	?	$2 \cdot 10^{-2}$
24	45	5	2	1,5	$4,8 \cdot 10^{-2}$?
25	?	14	2	2	$2,74 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$
26	30	?	2,5	1	$7,14 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$
27	45	5	?	0,5	$4,8 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$
28	60	25	3	?	$7,95 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$

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

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

Задача 13.10. Вертикально расположенный круговой контур радиусом r помещен в горизонтальное однородное магнитное поле так, что положительная нормаль к плоскости контура составляет угол φ_1 с направлением магнитного поля. Индукция магнитного поля — B . По контуру проходит ток I . Чтобы повернуть контур вокруг оси, совпадающей с вертикальным диаметром, так, чтобы нормаль составляла с направлением магнитного поля угол φ_2 , необходимо совершить работу, равную A . Найти неизвестную величину.

Номер задания	B , Тл	I , А	r , см	φ_1 , град	φ_2 , град	A , Дж
1	?	0,25	4	60	0	$7,54 \cdot 10^{-5}$
2	0,02	?	3	30	90	$-2,45 \cdot 10^{-5}$
3	0,3	1,5	?	0	45	$-1,49 \cdot 10^{-3}$
4	0,45	0,9	6	?	120	$-5,53 \cdot 10^{-3}$
5	0,5	0,6	7	150	?	$3,22 \cdot 10^{-3}$
6	0,1	0,5	2	30	60	?
7	?	0,8	12	90	135	$-5,12 \cdot 10^{-3}$
8	0,25	?	5	60	120	$-1,57 \cdot 10^{-3}$
9	0,02	1	?	45	90	$-7,1 \cdot 10^{-5}$
10	0,3	0,7	4	?	90	$-9,14 \cdot 10^{-4}$
11	0,6	0,2	1	120	?	$5,65 \cdot 10^{-5}$
12	0,4	0,1	10	30	120	?
13	?	1,2	1	135	45	$3,2 \cdot 10^{-4}$
14	0,5	?	4	120	30	$3,43 \cdot 10^{-4}$
15	0,6	0,75	?	30	150	$-6,12 \cdot 10^{-3}$
16	0,1	0,5	8	?	120	$-5,03 \cdot 10^{-4}$
17	0,35	0,4	6	30	?	$-1,37 \cdot 10^{-3}$
18	0,05	1,2	5	0	45	?
19	?	0,6	2	45	30	$3 \cdot 10^{-5}$
20	0,8	?	3	150	90	$1,96 \cdot 10^{-3}$
21	0,7	0,8	?	0	30	$-9,43 \cdot 10^{-5}$
22	0,4	0,3	2	?	30	$5,52 \cdot 10^{-5}$
23	0,5	0,1	4	180	?	$2,51 \cdot 10^{-4}$
24	0,25	0,4	6	90	30	?
25	?	0,3	2	180	360	$3 \cdot 10^{-4}$
26	0,75	?	8	90	180	$-7,54 \cdot 10^{-3}$
27	0,08	0,6	?	60	150	$-1,85 \cdot 10^{-4}$
28	0,2	0,15	9	?	90	$-7,63 \cdot 10^{-4}$

Тема 14. Магнитное поле в веществе. Электромагнитная индукция. Основы теории Максвелла для электромагнитного поля

Основные законы и формулы

Намагниченность (вектор намагничивания) вещества равна суммарному магнитному моменту единицы объема магнетика:

$$\vec{J} = \frac{\Delta V}{\Delta V} \sum \vec{p}_m \quad (14.1)$$

Магнитная восприимчивость численно равна намагниченности магнетика при напряженности магнитного поля, равной 1 А/м:

$$\chi = \frac{|\vec{J}|}{|\vec{H}|} \quad (14.2)$$

Магнитная проницаемость вещества

$$\mu = B / B_0, \quad (14.3)$$

где B — индукция магнитного поля в магнетике; B_0 — индукция этого же поля в вакууме.

Напряженность магнитного поля

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{J}. \quad (14.4)$$

Закон полного тока для магнитного поля в веществе:

$$\oint_L H_l dl = \sum_i I_i, \quad (14.5)$$

где $\sum_i I_i$ — сумма токов проводимости, охватываемых контуром L .

Связь между напряженностью магнитного поля \vec{H} и индукцией магнитного поля \vec{B} в веществе:

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}. \quad (14.6)$$

Связь между магнитной проницаемостью μ вещества и его магнитной восприимчивостью χ :

$$\mu = 1 + \chi. \quad (14.7)$$

Соотношения между нормальными и тангенциальными составляющими индукции \vec{B} и напряженности \vec{H} магнитного поля на границе раздела двух магнетиков с магнитными проницаемостями μ_1 и μ_2 :

$$H_{\tau 1} = H_{\tau 2}, \quad B_{n1} = B_{n2}, \quad \frac{H_{n1}}{H_{n2}} = \frac{\mu_2}{\mu_1}, \quad \frac{B_{\tau 1}}{B_{\tau 2}} = \frac{\mu_1}{\mu_2}. \quad (14.8)$$

Закон преломления линий магнитной индукции на границе раздела двух магнетиков:

$$\frac{\operatorname{tg}\alpha_1}{\operatorname{tg}\alpha_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2}, \quad (14.9)$$

где α_1, α_2 — углы между направлениями векторов индукции в первом и втором магнетиках соответственно и нормалью к их границе раздела.

Закон электромагнитной индукции:

$$E_i = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (14.10)$$

Индуктивность контура с током

$$L = \frac{\Phi}{i}. \quad (14.11)$$

ЭДС индукции

$$E_i = -(L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt}). \quad (14.12)$$

В случае недеформируемого контура при отсутствии ферромагнетиков ЭДС индукции

$$E_i = -L \frac{di}{dt}. \quad (14.13)$$

Энергия магнитного поля контура с током (соленоида)

$$W_m = -\frac{LI^2}{2}. \quad (14.14)$$

Объемная плотность энергии магнитного поля

$$w_m = \frac{BH}{2}. \quad (14.15)$$

Закон убывания тока при размыкании цепи:

$$i = I_0 e^{-\frac{R}{L}t}, \quad (14.16)$$

где e — основание натурального логарифма.

Закон нарастания тока при замыкании цепи:

$$i = I_0 (1 - e^{-\frac{R}{L}t}). \quad (14.17)$$

Плотность тока смещения

$$\vec{j}_{\text{см}} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}. \quad (14.18)$$

Уравнения Максвелла в интегральной форме:

$$\oint_L E_l dl = - \int_S \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right)_n dS, \quad \oint_S D_n dS = \int_V \rho dV, \quad (14.19)$$
$$\oint_L H_l dl = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right)_n dS, \quad \oint_S B_n dS = 0.$$

Контрольные вопросы и задания

14.1. Что называется намагниченностью (вектором намагничивания) вещества? Что такое магнитная восприимчивость вещества? Какая связь существует между: а) вектором намагничивания и суммарным магнитным моментом магнетика определенного объема; б) магнитной восприимчивостью и намагниченностью вещества; в) напряженностью магнитного поля и индукцией магнитного поля в веществе; г) относительной магнитной проницаемостью вещества и его магнитной восприимчивостью? По каким параметрам различают типы магнетиков?

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

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 заключается 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 потокоцеплением? 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 сила тока при замыкании цепи? Почему сила тока при замыкании и размыкании цепи меняется не мгновенно, а постепенно?

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

14.10. Запишите уравнения Максвелла и поясните их.

Задача 14.1. В магнитное поле помещен шарик радиусом R . Магнитная восприимчивость материала шарика равна χ , магнитный момент шарика — p , индукция магнитного поля внутри шарика — B . Найти неизвестную величину. Определить вид магнетика, из которого изготовлен шарик.

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

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 I в обмотке тороида индукция магнитного поля в зазоре равна B_0 , а относительная магнитная проницаемость сердечника – μ . Найти неизвестную величину. Выполнить дополнительное задание.

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

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

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

Задача 14.4. В однородном 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.

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

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 с направлением силовых линий магнитного поля угол α . Найти максимальную ЭДС индукции E_{\max} во вращающейся рамке. Проследить, как зависит E_{\max} от изменяющегося параметра.

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

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 E_t . Найти неизвестную величину.

Номер задания	B , Тл	ν , Гц	N	S , см ²	E_t , В	t , с
1	?	27,77	900	40	108,28	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	?	35	800	16	196,94	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	37,47	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

Задача 14.7. Однослойная обмотка длинного соленоида с индуктивностью L изготовлена из N плотно прилегающих друг к другу витков проволоки диаметром d , намотанной на цилиндрический каркас диаметром D . Когда по обмотке проходит ток, сила которого равна I , относительная магнитная проницаемость материала сердечника становится равной μ , а объемная плотность энергии магнитного поля, сосредоточенного внутри соленоида, — w . Найти неизвестные величины.

Номер задания	L , Гн	N	d , мм	D , см	I , А	μ	w , Дж/м ³
1	?	700	?	3,6	0,1	2300	40,12
2	11,21	?	0,4	5,2	?	3500	2198
3	?	2500	0,85	6,5	0,7	600	?
4	8,796	?	0,07	4,4	0,45	?	22 008
5	?	1000	0,15	6	?	3300	58 948
6	5,613	?	?	2,5	0,75	4200	16 485
7	1,244	500	?	?	0,3	1000	115,35
8	?	750	0,5	5	0,09	?	24,417
9	0,8184	?	0,8	3,5	0,4	950	?
10	5,764	460	?	4,6	?	3000	2713
11	3,435	550	0,45	?	0,2	?	272,54
12	1,988	300	0,1	2,2	0,65	?	?
13	5,83	600	0,2	?	?	2700	5193
14	?	850	?	4,2	0,15	1500	2120
15	0,6	?	0,65	3	0,5	800	?
16	4,828	320	?	5,4	0,9	?	6666,9
17	?	950	0,3	3,8	0,07	2000	?
18	3,12	360	0,9	4,5	?	?	1703,9
19	0,994	?	0,55	2,4	0,85	?	3450
20	19,6	800	?	5,6	0,12	950	?
21	?	900	0,75	4	?	700	25,32
22	19,319	?	?	6,6	0,8	1100	11 053
23	2,504	450	0,25	?	0,55	?	5465
24	7,944	1100	0,6	?	0,06	1400	?
25	1,19	?	0,35	3,2	?	1650	1713
26	3,723	830	?	?	0,25	2500	126,7
27	?	400	0,7	5,3	0,6	?	425,86
28	6,776	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	$0,5i_0$	$4 \cdot 10^{-3}$	$i = f(t)$, $I_0, R, L - \text{const}$
2	30	?	i_0	$0,2i_0$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	
3	12	0,036	?	0,1	$5,37 \cdot 10^{-3}$	
4	25	0,75	0,5	?	$2,08 \cdot 10^{-2}$	
5	11,1	0,032	i_0	$0,25i_0$?	$i = f(R)$, $I_0, L, t - \text{const}$
6	?	0,04	i_0	$0,1i_0$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	
7	120	?	i_0	$0,4i_0$	$9,16 \cdot 10^{-4}$	
8	230	0,115	?	0,2	$8,05 \cdot 10^{-4}$	
9	180	0,09	0,8	?	$6,93 \cdot 10^{-4}$	$i = f(L)$, $I_0, R, t - \text{const}$
10	138,6	0,1	i_0	$0,5 i_0$?	
11	?	0,16	i_0	$0,25i_0$	$2,77 \cdot 10^{-3}$	
12	35	?	i_0	$0,4i_0$	$1,83 \cdot 10^{-2}$	
13	90	0,27	?	0,125	$4,16 \cdot 10^{-3}$	$i / I_0 = f(t)$
14	146	0,073	0,6	?	$8,95 \cdot 10^{-4}$	
15	28	0,252	i_0	$0,2i_0$?	
16	?	0,24	i_0	$0,1i_0$	$6,9 \cdot 10^{-3}$	
17	180	?	i_0	$0,25i_0$	$9,7 \cdot 10^{-4}$	$i / I_0 = f(R)$
18	110,9	0,84	?	0,05	$1,05 \cdot 10^{-2}$	
19	72	0,144	0,1	?	$3,22 \cdot 10^{-3}$	
20	45,8	0,15	i_0	$0,4i_0$?	
21	?	0,45	i_0	$0,5i_0$	$2,08 \cdot 10^{-3}$	$i / I_0 = f(L)$
22	96,6	?	i_0	$0,2i_0$	$8 \cdot 10^{-4}$	
23	85	0,34	?	0,14	$6,44 \cdot 10^{-3}$	
24	35,8	0,26	0,12	?	$1,3 \cdot 10^{-2}$	
25	104	0,2	i_0	$0,125i_0$?	$i / I_0 = f(t)$
26	?	0,024	i_0	$0,1i_0$	$9,2 \cdot 10^{-4}$	
27	183,2	?	i_0	$0,4i_0$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	
28	62	0,31	?	0,15	$1,04 \cdot 10^{-2}$	

Задача 14.9. Найти плотность тока смещения $j_{\text{см}}$ в плоском конденсаторе, расстояние между пластинами которого в течение времени t равномерно увеличивается от d_0 со скоростью v , в следующих случаях: а) заряды на пластинах конденсатора не меняются; б) разность потенциалов $\Delta\varphi$ между пластинами остается постоянной. Считать, что расстояние 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 2 3 4	150	0,5	1,8	0,5 0,1 0,3 0,8	0,2	$j_{\text{см}} = f(v)$
5 6 7 8	220	1	4	1	0,5 1 1,5 2	$j_{\text{см}} = f(t)$
9 10 11 12	100 200 300 400	0,8	25,2	2	1,5	$j_{\text{см}} = f(\Delta\varphi)$
13 14 15 16	500	2 4 6 8	1,4	3,5	0,75	$j_{\text{см}} = f(d_0)$
17 18 19 20	250	1,5	2,2 4,5 20 81	5	1	$j_{\text{см}} = f(\epsilon)$
21 22 23 24	350	3	2	2 4 6 8	0,5	$j_{\text{см}} = f(v)$
25 26 27 28	180	2,5	1,5	3	0,01 0,1 1 10	$j_{\text{см}} = f(t)$

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

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

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Тема 15. Гармонические механические и электромагнитные колебания

Основные законы и формулы

Дифференциальное уравнение свободных незатухающих механических гармонических колебаний:

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0. \quad (15.1)$$

Его решение:

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad \text{или} \quad x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_1), \quad (15.2)$$

где A – амплитуда колебаний; ω_0 – циклическая частота; $\omega_0 t + \varphi_0$ (или $\omega_0 t + \varphi_1$) – фаза колебаний, φ_0 (или φ_1) – начальная фаза колебаний.

Максимальная скорость колеблющейся точки

$$v_{\max} = A\omega_0. \quad (15.3)$$

Максимальное ускорение колеблющейся точки

$$a_{\max} = A\omega_0^2. \quad (15.4)$$

Закон Гука (возвращающая сила):

$$F_x = -kx. \quad (15.5)$$

Потенциальная энергия гармонически колеблющейся материальной точки

$$W_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2} = \frac{kA^2}{2} \cos^2(\omega_0 t + \varphi). \quad (15.6)$$

Кинетическая энергия гармонически колеблющейся материальной точки

$$W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{kA^2}{2} \sin^2(\omega_0 t + \varphi). \quad (15.7)$$

Полная энергия гармонически колеблющейся материальной точки

$$W = \frac{kA^2}{2}. \quad (15.8)$$

Связь между циклической частотой и периодом колебаний:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}. \quad (15.9)$$

Период колебаний пружинного маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}, \quad (15.10)$$

где m – масса маятника; k – жесткость пружины.

Период колебаний математического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (15.11)$$

где l – длина нити математического маятника; g – ускорение свободного падения.

Период колебаний физического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgL}}, \quad (15.12)$$

где J – момент инерции физического маятника; L – расстояние от точки подвеса до центра масс.

Дифференциальное уравнение гармонических колебаний заряда на обкладках конденсатора в колебательном контуре:

$$\ddot{q} + \omega_0^2 q = 0. \quad (15.13)$$

Его решение:

$$q = q_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi). \quad (15.14)$$

Период гармонических электромагнитных колебаний в идеальном колебательном контуре (формула Томсона)

$$T = 2\pi\sqrt{LC}, \quad (15.15)$$

где L – индуктивность контура; C – его емкость.

Связь циклической частоты ω_0 электромагнитных колебаний в контуре с индуктивностью L и емкостью контура C :

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (15.16)$$

Контрольные вопросы и задания

15.1. Какие колебания называются гармоническими? Запишите дифференциальное уравнение гармонических колебаний и его решение. Какие величины изменяются по гармоническому закону: а) при механических коле-

баниях; 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 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 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 электрическим колебательным контуром? Чем идеальный колебательный контур отличается от реального? Как частота электромагнитных колебаний в контуре связана с его индуктивностью и емкостью?

15.9. Запишите дифференциальное уравнение гармонических электромагнитных колебаний и его решение для изменения заряда на обкладках конденсатора в зависимости от времени. Какому закону подчиняется при этом изменение силы тока, проходящего через соленоид? 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.

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) период колебаний; б) смещение точки в момент времени $t = 0$; в) максимальную скорость точки; г) 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	16	80	$-\pi / 4$
4	1,4	25,6	160	$-\pi / 2$
5	1,5	51,2	160	$\pi / 4$
6	0,3	8	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	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	4,8	120	$\pi / 2$
19	0,4	4,8	60	$-\pi / 4$
20	5	32	100	$\pi / 4$
21	2	12,8	80	π
22	3,5	12	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	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 T . Найти неизвестную величину. 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	?	8	6	3,14
3	1,5	2	?	1	2,94
4	2,4	2,8	3	?	4,05
5	1,2	1,5	2	1,6	?
6	?	4	3,5	0,4	4,78
7	0,1	?	2,5	2	2,052
8	4,5	6	?	0,8	6,36
9	0,8	1	3,5	?	2,09
10	2	2,5	3	2	?
11	?	6	4,5	1	4,75
12	4	?	14	2,8	2,05
13	1,4	2	?	1	3,9
14	0,2	0,8	5	?	1,062
15	3,5	4	2,6	1,4	?
16	?	1	4	3,5	2,81
17	1	?	2,5	1	4,75
18	0,4	0,6	?	1,6	2,34
19	2,2	2,8	2	?	6,28
20	5	6	12	3,2	?
21	?	2,5	4,5	1,2	2,17
22	0,5	?	5,2	2,5	0,86
23	6	6,5	?	2	2,78
24	1,6	2	4	?	2,85
25	2,5	3	3,6	1,2	?
26	?	0,5	5	3	0,72
27	5,5	?	10	1,5	2,75
28	0,6	1,2	?	1,4	2,46

Задача 15.3. Имеется пружина, которая под действием силы F может растягиваться на x см. Если к этой пружине подвесить груз массой m , то период вертикальных колебаний груза будет равен T . Найти искомую величину. Массой пружины пренебречь.

Номер задания	F , Н	x , см	m , кг	T , с
1	?	0,5	0,02	0,4
2	0,925	?	0,5	0,8
3	1,58	2,5	?	0,5
4	10,36	7	0,15	?
5	?	5	0,25	1,2
6	0,266	?	0,9	4
7	14,8	6	?	0,08
8	0,162	1,5	0,7	?
9	?	4	0,2	0,04
10	61,69	?	0,45	0,12
11	5,55	9	?	0,8
12	19,74	8	0,04	?
13	?	3,5	0,75	0,2
14	21,93	?	0,05	0,06
15	0,395	2	?	1,26
16	8,88	6	0,6	?
17	?	1	0,4	1,2
18	59,22	?	0,01	0,02
19	13,88	4,5	?	0,16
20	3,7	3	0,32	?
21	?	5	0,08	0,04
22	0,329	?	0,3	0,6
23	20,05	6,5	?	0,08
24	0,592	4	0,24	?
25	?	2	0,06	0,1
26	0,247	?	0,8	3,2
27	8,636	7	?	0,4
28	22,8	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 заданного тела. Размерами петли, за которую подвешено тело, пренебречь.

Номер задания	Физическое тело	Радиус тела R , см	Длина тела l , см	Длина нити L , см		
1 2 3 4	Обруч	19,6 4,9 122,5 44,1	—	—		
5 6 7 8		5,29 26,13 6,53 4,18				
9 10 11 12		6 5 10 8			—	10 5 5 12
13 14 15 16		5,67 4,48 2,52 7			—	—
17 18 19 20	Шар на нити	2 5 12 12	—	3 5 8 18		
21 22 23 24		—		20 50 80 100	—	
25 26 27 28		—		20 50 80 100	10 20 50 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 $\varepsilon_T = |T_2 - T_1|/T_1$, где T_2 – период колебаний физического маятника; T_1 – период колебаний математического маятника. Определить неизвестную величину.

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

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 равен k . Найти неизвестные величины.

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	$5,625 \cdot 10^{-3}$
14	2,5	?	?	$7,5 \cdot 10^{-2}$
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	$1,05 \cdot 10^{-3}$
22	2	?	?	0,16
23	3	6	?	?
24	?	6,4	800	?
25	?	?	416,7	$7,5 \cdot 10^{-3}$
26	0,7	?	?	$1,4 \cdot 10^{-2}$
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 энергии точки, кинетической и полной. Вычислить их значения в моменты времени t_1 и t_2 . Определить период колебаний 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 2 3 4	0,25	$x = 4 \cos 1,25\pi t$	T $T/4$ $T/2$ $3T/4$	$T/8$ $3T/8$ $5T/8$ $7T/8$
5 6 7 8	0,2	$x = 3 \cos 0,5\pi t$	T $T/4$ $T/2$ $3T/4$	$T/8$ $3T/8$ $5T/8$ $7T/8$
9 10 11 12	0,05	$x = 2 \cos 12,5\pi t$	T $T/4$ $T/2$ $3T/4$	$T/8$ $3T/8$ $5T/8$ $7T/8$
13 14 15 16	0,3	$x = 5 \cos 0,25\pi t$	T $T/4$ $T/2$ $3T/4$	$T/8$ $3T/8$ $5T/8$ $7T/8$
17 18 19 20	0,1	$x = 3 \cos 5\pi t$	T $T/4$ $T/2$ $3T/4$	$T/8$ $3T/8$ $5T/8$ $7T/8$
21 22 23 24	0,15	$x = 4 \cos 2,5\pi t$	T $T/4$ $T/2$ $3T/4$	$T/8$ $3T/8$ $5T/8$ $7T/8$
25 26 27 28	0,35	$x = 2 \cos 6,25\pi t$	T $T/4$ $T/2$ $3T/4$	$T/8$ $3T/8$ $5T/8$ $7T/8$

Задача 15.8. Электрический 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.

Номер задания	$L, 10^{-4}$ Гн	C_1 , пФ	C_2 , пФ	λ_1 , м	λ_2 , м
1	4	?	?	223	1306
2	7	20	1300	?	?
3	?	?	750	146	1264,5
4	?	45	900	?	4
5	9	?	?	160	1696,5
6	1	5	650	?	?
7	?	?	1000	66,64	421,5
8	?	40	1400	?	1221,6
9	0,8	?	?	65,3	461,7
10	2	12	1200	?	?
11	?	35	?	208,6	1271,5
12	?	4	800	99,74	?
13	?	?	1750	178,8	1115
14	?	30	950	?	16 433
15	0,1	?	?	26,66	197,7
16	5	3	1500	?	?
17	6	?	?	113,1	1460,1
18	0,4	10	900	?	?
19	?	8	?	119,2	1115
20	?	50	1700	133,3	?
21	8	?	?	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	25	1600	?	?
27	?	9	700	?	386,3
28	?	?	980	273,2	1561,2

Задача 15.9. Электрический колебательный контур состоит из конденсатора емкостью C и соленоида с индуктивностью L . Омическим сопротивлением цепи можно пренебречь. Заряд конденсатора равен q_{\max} . 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.

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

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

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

Тема 16. Сложение гармонических колебаний.
Затухающие механические и электромагнитные колебания.
Вынужденные колебания

Основные законы и формулы

Амплитуда результирующего колебания при сложении одинаково направленных колебаний одной частоты

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}. \quad (16.1)$$

Начальная фаза результирующего колебания при сложении одинаково направленных колебаний одной частоты

$$\varphi = \operatorname{arctg} \left(\frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2} \right). \quad (16.2)$$

Уравнение результирующих колебаний при биении:

$$x = \left(2A \cos \frac{\Delta\omega}{2} t \right) \cos \omega t. \quad (16.3)$$

Закон изменения амплитуды результирующих колебаний при биении:

$$A_6 = \left| 2A \cos \frac{\Delta\omega}{2} t \right|. \quad (16.4)$$

Уравнение траектории движущейся точки, участвующей одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях одинаковой частоты:

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} - \frac{2xy}{A_1A_2} \cos \alpha = \sin^2 \alpha. \quad (16.5)$$

Дифференциальное уравнение механических затухающих колебаний:

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0. \quad (16.6)$$

Его решение:

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi). \quad (16.7)$$

Закон изменения амплитуды затухающих колебаний:

$$A = A_0 e^{-\beta t}. \quad (16.8)$$

Связь времени релаксации τ с коэффициентом затухания β :

$$\tau = 1/\beta. \quad (16.9)$$

Логарифмический декремент затухания:

$$\kappa = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)}. \quad (16.10)$$

Связь логарифмического декремента затухания κ с коэффициентом затухания β и периодом колебаний T :

$$\kappa = \beta T. \quad (16.11)$$

Связь между логарифмическим декрементом затухания κ и числом колебаний N_τ за время релаксации:

$$\kappa = 1 / N_\tau. \quad (16.12)$$

Добротность колебательной системы

$$Q = 2\pi \frac{W_0}{\Delta W}, \quad (16.13)$$

где $\Delta W / W_0$ — относительная убыль энергии за период.

Связь добротности колебательного контура с логарифмическим декрементом затухания:

$$Q = \frac{\pi}{\kappa}. \quad (16.14)$$

Дифференциальное уравнение механических вынужденных колебаний:

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = f_0 \cos \Omega t, \quad (16.15)$$

где $f_0 \cos \Omega t$ — гармоническая вынуждающая сила, действующая на единицу массы; Ω — частота колебаний вынуждающей силы.

Амплитуда вынужденных колебаний

$$A = \frac{f_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\beta^2 \Omega^2}}. \quad (16.16)$$

Амплитудное значение заряда на обкладках конденсатора при вынужденных колебаниях в электрическом колебательном контуре

$$q_m = \frac{\varepsilon_m}{\omega \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}. \quad (16.17)$$

Амплитудное значение силы тока при вынужденных колебаниях в электрическом колебательном контуре

$$I_m = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}. \quad (16.18)$$

Добротность электрического колебательного контура

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (16.19)$$

Контрольные вопросы и задания

16.1. Что называется вектором амплитуды? Как с помощью векторов амплитуды можно складывать одинаково направленные колебания одной частоты? Как рассчитать амплитуду результирующего колебания? По какой формуле можно определить начальную фазу результирующего колебания? Чему равна амплитуда и начальная фаза результирующего колебания, если: а) складываемые колебания находятся в одной фазе; б) складываемые колебания находятся в противофазе?

16.2. В каком случае при сложении одинаково направленных колебаний возникают биения? Запишите закон изменения амплитуды результирующих колебаний при биении. Чему равен период изменения амплитуды при биении?

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

16.4. В каком случае колебания затухают? Запишите дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение. По какому закону меняется амплитуда затухающих колебаний? Что называется временем релаксации? Как время релаксации связано с коэффициентом затухания?

16.5. Что называется логарифмическим декрементом затухания? Как логарифмический декремент затухания связан с коэффициентом затухания и периодом колебаний? Какая связь существует между логарифмическим декрементом затухания и числом колебаний за время релаксации? Что называется добротностью системы?

16.6. За счет чего затухают колебания в электрическом колебательном контуре? Как добротность колебательного контура связана с логарифмическим декрементом затухания? Какая связь существует между добротностью контура и числом колебаний за время релаксации? Как добротность контура связана с его индуктивностью, емкостью и сопротивлением?

16.7. Как осуществляется переход энергии в колебательном контуре из одного вида в другой? За счет чего рассеивается энергия в реальном колебательном контуре? Как добротность контура связана с уменьшением энергии в контуре за один период?

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

16.9. В чем состоит явление резонанса? Чем определяется амплитуда колебаний при резонансе? Как найти резонансную частоту?

16.10. Что такое резонансные кривые? Чем определяется форма резонансных 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?

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_B . Амплитуда колебаний в момент времени t_1 равна A_6 . Найти неизвестные величины.

Номер задания	A , см	$\Delta\omega$, рад/с	T_B , с	t_1 , с	A_6 , см
1	?	?	12	4	1
2	2	?	12	?	2,83
3	0,3	2π	?	1	?
4	?	π	?	0,5	4,24
5	0,8	?	12	?	1,39
6	3	?	1,2	0,3	?
7	?	$\pi/3$?	2	5
8	0,4	$\pi/2$?	?	0,566
9	0,6	?	12	3	?
10	?	?	0,2	0,2	4
11	4	$\pi/6$?	?	5,66
12	2	$\pi/10$?	5	?
13	?	?	2,4	0,6	5,66
14	5	?	4	?	10
15	0,7	$\pi/3$?	1	?
16	?	5π	?	0,4	2
17	3	?	4	?	4,24
18	1	?	6	2	?
19	?	$\pi/6$?	4	5
20	0,5	$\pi/10$?	?	0,707
21	0,9	?	18	3	?
22	?	?	2,4	0,4	3,46
23	0,1	$\pi/3$?	?	0,1
24	4	4π	?	0,5	?
25	?	?	0,4	0,1	4,24
26	0,2	?	12	?	0,2
27	1	$0,4\pi$?	5	?
28	?	$2,5\pi$?	0,8	8

Задача 16.3. Получить уравнение траектории, по которой движется материальная точка, участвующая одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебательных движениях, описываемых уравнениями $x = f_1(t)$ и $y = f_2(t)$. Построить график траектории.

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

Задача 16.4. Математический маятник длиной l , выведенный из положения равновесия, отклонился при первом колебании на расстояние A_1 см, а при втором — на A_2 см. Время релаксации, т.е. время, в течение которого амплитуда уменьшается в e раз, равно τ . Найти неизвестную величину.

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
4	2,2	12	9	?
5	?	5	4	12,73
6	3	?	3,5	26
7	1,3	15	?	10,26
8	3,6	13	11	?
9	?	12	10,5	26
10	1,8	?	3	17,5
11	1	9	?	8
12	3,2	14	11	?
13	?	7	5	9,43
14	4	?	4	18
15	1,2	6	?	12,06
16	2,6	5	4,5	?
17	?	3	2,5	11
18	2	?	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 — $\Delta W / W_0$. Найти неизвестные величины.

Номер задания	t, c	N	n	β, c^{-1}	κ	Q	$\Delta W / W_0$
1	?	?	5	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. Электрический колебательный контур состоит из соленоида с 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.

Номер задания	L , Гн	C , мкФ	R , Ом	n
1	?	8	2	1,134
2	0,1	?	5	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	1,029
11	0,26	6,5	?	1,019
12	0,12	27	4	?
13	?	6,05	3,5	1,129
14	0,16	?	7	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	?

Задача 16.7. Колебательный контур имеет емкость C и индуктивность L . Логарифмический декремент затухания равен κ . За промежуток времени Δt относительная убыль энергии в контуре составляет $\Delta W / W_0$. Найти неизвестную величину. Выполнить дополнительное задание.

Номер задания	C , мкФ	L , Гн	κ	Δt , с	$\Delta W / W_0$, %	Пояснить зависимость
1 2 3 4	12	0,03	0,006	0,15 0,2 0,25 0,3	? ? ? ?	$\Delta W / W_0 = f(\Delta t)$
5 6 7 8	14,4	0,1	0,001 0,002 0,003 0,004	0,8	? ? ? ?	$\Delta W / W_0 = f(\kappa)$
9 10 11 12	18	0,5	0,01 0,015 0,02 0,025	? ? ? ?	90	$\Delta t_{90\%} = f(\kappa)$
13 14 15 16	80	0,2	0,005	? ? ? ?	60 70 80 90	$\Delta W / W_0 = f(\Delta t)$
17 18 19 20	16	0,25	0,001	1,5 3 4,5 6	? ? ? ?	$\Delta W / W_0 = f(\Delta t)$
21 22 23 24	40	0,4	0,01 0,02 0,03 0,04	? ? ? ?	99	$\Delta t_{99\%} = f(\kappa)$
25 26 27 28	90	0,1	0,003 0,005 0,007 0,009	1	? ? ? ?	$\Delta W / W_0 = f(\kappa)$

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 2 3 4	820	0,2	3	0,2 0,4 0,6 0,8	0,025
5 6 7 8	820	0,2	3	0,85 0,9 0,95 0,99	0,025
9 10 11 12	820	0,2	3	1,01 1,05 1,25 1,5	0,025
13 14 15 16	650	0,1	2	0,5 0,6 0,7 0,8	0,12
17 18 19 20	650	0,1	2	0,95 0,99 1 1,01	0,12
21 22 23 24	650	0,1	2	1,05 1,1 1,15 1,2	0,12
25 26 27 28	650	0,1	2	1,4 1,6 1,8 2	0,12

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

Номер задания	m , кг	x , см	β , с^{-1}	F_0 , Н	$A_{\text{рез}}$, см
1	?	0,5	0,3	1,2	22,6
2	0,12	?	0,22	4	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	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	?
16	?	0,35	0,26	2,2	80
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	64,2
23	0,05	0,3	?	0,6	35
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
27	0,2	?	0,07	1,6	88,4
28	0,06	0,28	?	0,8	45,1

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

Номер задания	L , Гн	C , мкФ	R , Ом	E_m , В	ω_0 , рад/с	Q	$q_{\text{рез}}$, Кл	$I_{\text{рез}}$, А	$U_{\text{рез}}$, В
1	0,15	0,22	?	3	?	120	?	?	?
2	?	0,15	?	?	4714	210	$3,78 \cdot 10^{-5}$?	?
3	0,2	?	5	?	?	?	?	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	?	$9,8 \cdot 10^{-5}$?	?
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	$4,73 \cdot 10^{-5}$?	?
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	?	$1,08 \cdot 10^{-4}$?	?
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	$4,05 \cdot 10^{-5}$?	?
19	?	0,25	5	?	?	90	?	0,8	?
20	?	0,8	2	0,4	?	?	?	?	50
21	?	0,2	12,25	?	?	100	?	?	140
22	0,2	0,4	6,73	?	?	?	$1,68 \cdot 10^{-4}$?	?
23	?	?	?	7,2	3600	70	?	0,6	?
24	?	?	?	3	5400	?	?	0,15	270
25	?	?	4,54	2,2	4082	180	?	?	?
26	?	0,5	?	?	3651	150	$2,04 \cdot 10^{-4}$?	?
27	0,28	?	12	?	?	?	?	0,3	360
28	?	0,6	?	1,5	?	?	?	0,5	120

Тема 17. Волновое движение. Электромагнитные волны

Основные законы и формулы

Волновое уравнение монохроматической волны:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}. \quad (17.1)$$

Его решение для случая плоской монохроматической волны:

$$\xi(\vec{r}, t) = A \cos(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}), \quad (17.2)$$

где $\vec{k} = \frac{2\pi}{\lambda} \vec{n}$ – волновой вектор; \vec{n} – единичный вектор нормали к фронту волны.

Волновое уравнение плоской монохроматической волны, распространяющейся вдоль оси X :

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}. \quad (17.3)$$

Его решение:

$$\xi(x, t) = A \cos(\omega t - kx). \quad (17.4)$$

Длина волны

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu}, \quad (17.5)$$

где ν – частота волны.

Волновое число

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (17.6)$$

Уравнение стоячей волны:

$$\xi(x, t) = 2A \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \cos \frac{2\pi}{T} t = B(x) \cos \omega t, \quad (17.7)$$

где $B(x) = 2A \cos \frac{2\pi x}{\lambda} = 2A \cos kx$ – амплитуда колебаний частиц среды на расстоянии x от источника.

Условие возникновения узлов стоячей волны:

$$x = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{2}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (17.8)$$

Условие возникновения пучностей стоячей волны:

$$x = n \frac{\lambda}{2}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (17.9)$$

Дифференциальные волновые уравнения электромагнитной волны:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial z^2} &= \varepsilon_0 \varepsilon \mu_0 \mu \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} &= \varepsilon_0 \varepsilon \mu_0 \mu \frac{\partial^2 H}{\partial t^2}. \end{aligned} \quad (17.10)$$

Скорость электромагнитной волны в однородной и изотропной среде

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon \mu_0 \mu}}. \quad (17.11)$$

Связь между напряженностями электрического и магнитного полей электромагнитной волны, распространяющейся в однородной и изотропной среде:

$$\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon} E = \sqrt{\mu_0 \mu} H. \quad (17.12)$$

Уравнение волнового пакета:

$$\xi = 2A \cos(\Delta\omega t - \Delta k x) \cos(\omega t - kx). \quad (17.13)$$

Связь между групповой u и фазовой v скоростями волны (формула Рэлея):

$$u = v - \lambda \frac{dv}{d\lambda}, \quad (17.14)$$

где $dv/d\lambda$ — дисперсия волны.

Плотность энергии электромагнитного поля

$$w = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu H^2}{2}. \quad (17.15)$$

Плотность потока энергии, которая переносится электромагнитной волной, распространяющейся в однородной и изотропной среде,

$$S = wv. \quad (17.16)$$

Вектор Умова – Пойнтинга

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}. \quad (17.17)$$

Связь потока энергии волны через поверхность площадью s с вектором Умова – Пойнтинга:

$$\Phi_W = \int_s S_n ds. \quad (17.18)$$

Контрольные вопросы и задания

17.1. Какое движение называется волновым? Запишите волновое уравнение плоской волны и его решение. Что 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. Назовите наиболее простой способ получения стоячей волны. Объясните, как происходит отражение волны от более плотной среды и менее плотной.

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 волны? Запишите формулу, определяющую эту связь. Какую величину называют дисперсией волны? 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 волны? Как поток энергии связан с вектором Умова – Пойнтинга? Как определить энергию, поглощаемую за определенное время поверхностью, на которую падает электромагнитная волна?

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.

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	?	?
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 . Определить, на какое расстояние продвигнется фронт волны к моменту времени t_2 . 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 2 3 4	$\xi = 3\cos 500\pi t$	6,4	$1,1 \cdot 10^{-2}$ $1,2 \cdot 10^{-2}$ $1,3 \cdot 10^{-2}$ $1,4 \cdot 10^{-2}$	0,2 0,4 0,6 0,8	320	$\xi = f(t)$ при $x = \text{const}$
5 6 7 8	$\xi = 3\cos 500\pi t$	5,2 5,6 6 6,4	10^{-2}	1 1,2 1,4 1,6	320	$\xi = f(x)$ при $t = \text{const}$
9 10 11 12	$\xi = 4\sin 600\pi t$	0,75	10^{-2} $1,02 \cdot 10^{-2}$ $1,04 \cdot 10^{-2}$ $1,06 \cdot 10^{-2}$	2 3 4 5	300	$\xi = f(t)$ при $x = \text{const}$
13 14 15 16	$\xi = 4\sin 600\pi t$	0,6 0,8 1 1,2	10^{-2}	0,5 1 1,5 2	300	$\xi = f(x)$ при $t = \text{const}$
17 18 19 20	$\xi = 5\cos 66\pi t$	9,9	0,10 0,11 0,12 0,13	0,2 0,4 0,6 0,8	330	$\xi = f(t)$ при $x = \text{const}$
21 22 23 24	$\xi = 5\cos 66\pi t$	2 4 6 8	0,1	1 1,2 1,4 1,6	330	$\xi = f(x)$ при $t = \text{const}$
25 26 27 28	$\xi = 2\sin 160\pi t$	1,28	$1,25 \cdot 10^{-2}$ $1,5 \cdot 10^{-2}$ $1,75 \cdot 10^{-2}$ $2 \cdot 10^{-2}$	2 3 4 5	320	$\xi = f(t)$ при $x = \text{const}$

Задача 17.3. Разность фаз двух колеблющихся точек, находящихся соответственно на расстоянии x_1 и x_2 от источника колебаний, составляет δ . Волновое число, соответствующее данной волне, равно k . Найти неизвестную величину. Определить длину волны.

Номер задания	x_1 , м	x_2 , м	δ , рад	k , рад/м
1	?	12	π	0,628
2	0,4	?	$\pi / 4$	12,566
3	11	16	?	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	8,5	?	1,257
8	5	5,667	$\pi / 6$?
9	?	6	3π	3,14
10	4,1	?	$\pi / 2$	15,708
11	2	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	14	?	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.

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

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

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

Задача 17.6. В однородной изотропной среде с 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.

Номер задания	ϵ	E_m , В/м	H_m , 10^{-3} А/м	v , 10^8 м/с
1	?	?	8,56	1,86
2	2,6	?	2,14	?
3	?	2,5	?	2,12
4	6	0,6	?	?
5	2	?	1,88	?
6	6	1	?	?
7	?	?	7,96	3
8	?	0,4	?	2,12
9	1	1,5	?	?
10	?	0,1	?	1,224
11	?	?	4,28	1,86
12	2	?	3	?
13	?	2	?	2,12
14	2,6	?	0,856	?
15	6	0,5	?	?
16	?	?	26	1,224
17	2	?	7,51	?
18	2,6	0,8	?	?
19	?	?	1,327	3
20	?	3	?	2,12
21	6	0,2	?	?
22	?	1,5	?	1,224
23	1	?	5,31	?
24	?	?	1,06	3
25	2	?	2,25	?
26	6	1,2	?	?
27	?	?	4,28	1,86
28	?	4	?	3

Задача 17.7. Записать 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. Определить 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 л рад/м	k_2 , 10^6 л рад/м	ω_1 , 10^{14} л рад/с	ω_2 , 10^{14} л 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	7,1
4	0,02	3,39	3,93	6,59	7,61
5	0,55	3,66	4,11	7,1	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	7,1
16	0,25	3,66	3,93	7,1	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	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	7,1
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	7,1	8,02

Задача 17.8. Электромагнитные колебания, распространяющиеся в однородной среде, имеют групповую скорость u и фазовую v . Дисперсия в диапазоне длин волн $d\lambda$ вблизи λ равна D . Определить, в диспергирующей или недиспергирующей среде распространяется электромагнитная волна, и в случае диспергирующей среды пояснить, какой вид дисперсии волны (нормальная или аномальная) наблюдается в среде.

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	?	1,8	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	1,9	1,82	?
9	?	1,96	1,93	2,94
10	437	?	1,86	13,73
11	280	1,78	?	50
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 модуля вектора Умова – Пойнтинга в точке x_1 в момент времени t_1 и ее среднее за период и максимальное значения.

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

Задача 17.10. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна, максимальная величина электрического вектора которой равна E_m . На пути волны перпендикулярно к направлению распространения расположена плоская поверхность площадью s . За время τ , значительно превышающее период колебаний электрического и магнитного векторов, электромагнитная волна переносит через эту поверхность энергию, равную W . Найдите неизвестную величину.

Номер задания	E_m , В/м	s , м ²	τ , мин	W , Дж
1	?	30	5	2,985
2	1,2	?	25	5,732
3	0,1	40	?	0,955
4	3	6	40	?
5	?	24	4	30,57
6	1,4	?	15	11,7
7	3	3	?	21,5
8	0,6	15	50	?
9	?	4	1	2,866
10	0,8	?	14	7,133
11	4	26	?	132,4
12	0,1	20	20	?
13	?	8	30	0,764
14	1,8	?	8	6,19
15	5	36	?	143,3
16	2	25	45	?
17	?	12	2	47,77
18	1,6	?	40	65,22
19	3,5	32	?	156
20	0,5	5	12	?
21	?	14	60	1070
22	0,3	?	3	0,86
23	1,5	22	?	47,29
24	4,5	10	35	?
25	?	16	55	17,5
26	2,5	?	10	29,86
27	0,4	35	?	8,92
28	5	2	16	?

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

Тема 18. Интерференция света

Основные законы и формулы

Интенсивность света

$$I = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{\mu_0 \mu}} E_m^2. \quad (18.1)$$

Показатель преломления среды

$$n = \frac{c}{v}, \quad (18.2)$$

где c – скорость света в вакууме; v – скорость света в среде.

Связь показателя преломления с электрической и магнитной характеристиками среды:

$$n = \sqrt{\varepsilon \mu}. \quad (18.3)$$

Изменение длины электромагнитной волны при переходе из вакуума в среду с показателем преломления n :

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}, \quad (18.4)$$

где λ – длина волны в среде; λ_0 – длина волны в вакууме.

Оптическая длина пути

$$L = nl \left(+ \frac{\lambda}{2} \right), \quad (18.5)$$

где l – геометрическая длина пути, проходимого лучем; $+\lambda/2$ – возможная потеря половины длины волны при отражении от оптически более плотной среды; при отражении от оптически менее плотной среды потери половины длины волны не происходит.

Связь между разностью фаз δ и оптической разностью хода двух лучей Δ :

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta. \quad (18.6)$$

Условие интерференционных максимумов интенсивности света в точке наблюдения:

$$\delta = \pm 2m\pi, \quad \Delta = \pm 2m\lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots; \quad (18.7)$$

условие интерференционных минимумов интенсивности света в точке наблюдения:

$$\delta = \pm (2m + 1)\pi, \quad \Delta = \pm (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad m = 0, 1, 2, \dots, \quad (18.8)$$

где m – порядок интерференционного максимума или минимума.

Ширина интерференционных полос

$$\Delta x = \frac{l}{nd} \lambda, \quad (18.9)$$

где l – расстояние от источников до экрана; d – расстояние между источниками.

Разность хода двух лучей при интерференции света в тонких пленках:

$$\Delta = 2b\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} - \frac{\lambda}{2}, \quad (18.10)$$

где b – толщина пленки в месте падения луча; i_1 – угол падения луча.

Контрольные вопросы и задания

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

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

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

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

18.6. На чем основано «просветление» оптики? Как рассчитать толщину просветляющего покрытия? От чего она зависит?

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

18.8. 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?

18.9. Что такое кольца Ньютона? Как они возникают? 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?

18.10. 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 выполнять?

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.

Номер задания	d , мм	l , м	λ , мкм	Δx , мм
1	0,7	0,32	0,35	?
2	4	2	?	0,23
3	3,1	?	0,62	0,3
4	?	4,6	0,4	0,92
5	1,5	3,5	0,66	?
6	7	28	?	1,36
7	4,5	?	0,55	1,1
8	?	5	0,38	1
9	10	30	0,65	?
10	2,1	4,2	?	0,84
11	2,6	?	0,52	1,2
12	?	24	0,34	2,04
13	1,6	6,2	0,48	?
14	3	18	?	3,12
15	2,4	?	0,6	2,5
16	?	4,4	0,54	2,97
17	0,2	0,8	0,5	?
18	2,1	2,2	?	0,66
19	4	?	0,36	0,72
20	?	7,5	0,44	2,2
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	25	0,32	?
26	0,9	3,6	?	1,8
27	3,4	?	0,68	4
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 2 3 4	Красный	0,7	Синий	0,48
			Желтый	0,58
			Зеленый	0,55
			Фиолетовый	0,4
5 6 7 8	Желтый	0,59	Зеленый	0,55
			Зелено-голубой	0,51
			Красный	0,7
			Фиолетовый	0,41
9 10 11 12	Фиолетовый	0,4	Зелено-голубой	0,51
			Красный	0,64
			Красный	0,69
			Зеленый	0,54
13 14 15 16	Зелено-голубой	0,51	Желтый	0,59
			Фиолетовый	0,41
			Красный	0,64
			Красный	0,72
17 18 19 20	Синий Зеленый Фиолетовый Красный	0,48	Оранжевый	0,62
		0,55		
		0,4		
		0,7		
21 22 23 24	Зеленый Желтый Красный Фиолетовый	0,55	Синий	0,46
		0,59		
		0,7		
		0,4		
25 26 27 28	Фиолетовый Синий Желтый Красный	0,42	Зеленый	0,54
		0,48		
		0,58		
		0,72		

Задача 18.3. На зеркала Френеля, угол между плоскостями которых φ , от узкой щели, находящейся на расстоянии r от линии пересечения зеркал, падает монохроматический свет с 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 2 3 4	10	2,5	0,12	0,45 0,51 0,6 0,68	? ? ? ?
5 6 7 8	5	3	0,1	? ? ? ?	7,67 6,82 5,86 4,26
9 10 11 12	2	2	? ? ? ?	0,65	19,18 10,72 8,01 6,77
13 14 15 16	8	? ? ? ?	0,07	0,55	6,87 5,86 3,83 2,65
17 18 19 20	? ? ? ?	4	0,15	0,43	6,82 4,09 2,56 1,7
21 22 23 24	10 20 30 40	3,5	0,05	0,7	? ? ? ?
25 26 27 28	20	5	? ? ? ?	0,51	1,87 2,24 3,17 5,52

Задача 18.4. В опыте Юнга на пути одного из интерферирующих лучей помещалась тонкая прозрачная пластинка толщиной b с показателем преломления n , вследствие чего интерференционная картина смещалась на m полос. Длина волны падающего света равна λ , свет падает на пластинку нормально. Найти неизвестную величину. Выполнить дополнительное задание.

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

Задача 18.5. 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 b_1 , максимально усилены – b_2 . Найти неизвестные величины.

Номер задания	λ , мкм	α , град	n_1	n_2	b_1 , мкм	b_2 , мкм
1	?	45	1,5	1,6	?	0,6865
2	?	60	1,55	1,75	0,0971	?
3	0,66	60	1,5	1,4	?	?
4	0,41	30	1,4	1,65	?	?
5	?	60	1,45	1,4	?	0,1397
6	?	45	1,8	1,45	0,2017	?
7	0,7344	30	1,54	1,66	?	?
8	0,5626	45	1,6	1,75	?	?
9	?	45	1,45	1,65	?	0,2371
10	?	30	1,65	1,45	0,1914	?
11	0,516	60	1,45	1,65	?	?
12	0,63	30	1,5	1,4	?	?
13	?	30	1,7	1,55	?	0,1109
14	?	45	1,4	1,55	0,1392	?
15	0,4546	60	1,5	1,75	?	?
16	0,46	45	1,55	1,4	?	?
17	?	60	1,6	1,5	?	0,0892
18	?	60	1,6	1,8	0,1437	?
19	0,43	45	1,45	1,6	?	?
20	0,6856	30	1,72	1,55	?	?
21	?	45	1,55	1,45	?	0,1160
22	?	45	1,62	1,75	0,102	?
23	0,56	60	1,4	1,55	?	?
24	0,5653	30	1,76	1,5	?	?
25	?	30	1,45	1,6	?	0,1286
26	?	30	1,5	1,4	0,1591	?
27	0,7962	45	1,57	1,8	?	?
28	0,4849	60	1,55	1,75	?	?

Задача 18.6. Для улучшения качества линз в оптических приборах широко используется «просветление» оптики, т.е. нанесение пленочного покрытия такой толщины b , чтобы при нормальном падении лучей в отраженном свете осуществлялся интерференционный минимум порядка m для света с длиной волны $\lambda = 5,5 \cdot 10^{-7}$ м, соответствующую наибольшей чувствительности человеческого глаза к зеленому свету. Показатель преломления линзы – n_1 , показатель преломления просветляющей пленки – n_2 . Найти неизвестные величины.

Номер задания	n_1	n_2	m	b , мкм
1			0	?
2			1	?
3	1,6	1,5	2	?
4			3	?
5		1,5	?	0,825
6		1,7	?	0,728
7	1,75	1,4	?	0,884
8		1,6	?	0,773
9			?	1,233
10			?	0,8534
11	1,5	1,45	?	0,6638
12			?	1,043
13		1,55		?
14		1,6		?
15	1,5	1,65	2	?
16		1,7		?
17		1,65	0	?
18		1,7	1	?
19	1,55	1,75	2	?
20		1,8	3	?
21		1,78	?	0,4635
22		1,72	?	0,3197
23	1,5	1,68	?	0,4911
24		1,62	?	0,3395
25			0	?
26			1	?
27	1,35	1,4	2	?
28			3	?

Задача 18.7. В находящейся в воздухе тонкой клинообразной пластинке с углом α между гранями 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. Выполнить дополнительное задание.

Номер задания	Светофильтр	λ , мкм	α , мин	n	Δx , мм	Построить график
1 2 3 4	Фиолетовый	0,41	1 2 3 4	1,5	? ? ? ?	$\Delta x = f(\alpha)$
5 6 7 8	Красный	0,7	0,5	1,45 1,55 1,65 1,75	? ? ? ?	$\Delta x = f(n)$
9 10 11 12	? ? ? ?	? ? ? ?	1	1,6	0,752 0,505 0,44 0,634	$\Delta x = f(\lambda)$
13 14 15 16	Желтый	0,59	? ? ? ?	1,7	0,398 0,239 0,298 0,596	$\Delta x = f(\alpha)$
17 18 19 20	Красный Красный Зеленый Фиолетовый	0,7 0,64 0,51 0,42	2	1,5	? ? ? ?	$\Delta x = f(\lambda)$
21 22 23 24	Синий	0,47	0,5	? ? ? ?	1,154 1,01 0,95 1,077	$\Delta x = f(n)$
25 26 27 28	Красный Желтый Зеленый Синий	0,72 0,58 0,55 0,48	1	1,4	? ? ? ?	$\Delta x = f(\lambda)$

Задача 18.8. 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 жидкий либо газообразный 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.

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
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	0,624	4	5,2
9	1,34	1,05	8	?	0,4536	10	5,4
10	1,62	1	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
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	17	21	0,5667	?	1,4
18	1,72	1,2	20	24	0,35	4	?
19	1,38	?	4	9	0,5123	6	2,6
20	1,68	1,4	?	12	0,448	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
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 18.9. 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 радиуса m -го светлого (темного) кольца равен r_m . Радиус кривизны линзы — R . Найдите неизвестную величину. Определите, 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 2 3 4	В отраженном свете	1,5	1	1,8	0,7	Темное	2 3 4 5	? ? ? ?	0,5
5 6 7 8	В проходящем свете	1,5	1	1,8	0,55	Темное	? ? ? ?	1,11 0,83 0,64 0,98	0,5
9 10 11 12	В отраженном свете	1,8	1,63	1,5	? ? ? ?	Светлое	3	0,81 0,74 0,88 0,66	0,6
13 14 15 16	В проходящем свете	1,5	1,63	1,5	0,424 0,5477 0,6405 0,7232	Светлое	6	1,06 0,84 2,06 2,42	? ? ? ?
17 18 19 20	В отраженном свете	1,5	1,63	1,7	0,5	Светлое	5	0,88 1,24 2,77 3,92	? ? ? ?
21 22 23 24	В проходящем свете	1,5	1,63	1,7	0,64	Темное	2 4 6 8	? ? ? ?	8
25 26 27 28	В отраженном свете	1,7	1 1,05 1,1 1,15	1,5	0,45	Светлое	? ? ? ?	0,8 0,66 0,95 0,84	0,4

Задача 18.10. В плечи интерферометра Майкельсона с нерасходящимся пучком света помещены одинаковые откачанные кюветы длиной l каждая. Концы кювет закрыты плоскопараллельными стеклами. Когда одну из кювет заполнили веществом с показателем преломления n , интерференционная картина для длины волны λ сместилась на m полос. Найти неизвестную величину.

Номер задания	l , мм	n	λ , мкм	m
1	?	1,33	0,5802	2215
2	2,5	?	0,6702	1119
3	6	1,03	?	654
4	2,4	1,08	0,4201	?
5	?	1,02	0,4507	355
6	2,5	?	0,7212	416
7	4,5	1,25	?	3214
8	5	1,13	0,52	?
9	?	1,008	0,6	400
10	2,2	?	0,4099	3220
11	8	1,07	?	1860
12	15	1,003	0,6818	?
13	?	1,5	0,64	3125
14	2,9	?	0,5	4640
15	1	1,18	?	800
16	1,6	1,2	0,7002	?
17	?	1,12	0,5607	2140
18	3	?	0,6512	1290
19	1,7	1,15	?	1020
20	1,3	1,02	0,4297	?
21	?	1,06	0,6194	1550
22	2,8	?	0,4828	1160
23	1	1,54	?	1660
24	2,6	1,1	0,5503	?
25	?	1,12	0,5399	489
26	1,4	?	0,6896	812
27	1,2	1,41	?	1405
28	1,8	1,05	0,4	?

Тема 19. Дифракция света

Основные законы и формулы

Принцип Гюйгенса – Френеля:

$$E = \int_S K(\varphi) \frac{A_0}{r} \cos(\omega t - kr + \alpha) dS, \quad (19.1)$$

где коэффициент $K(\varphi) = K_{\max}$ при $\varphi = 0$, $K(\varphi) = 0$ при $\varphi \geq \pi/2$; A_0 – амплитуда колебаний вектора \vec{E} в том месте, где находится элемент волновой поверхности dS ; r – расстояние от dS до точки наблюдения.

Радиус зон Френеля

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b}} m \lambda, \quad (19.2)$$

где a – расстояние от точечного источника до фронта сферической волны; b – расстояние от фронта волны до точки наблюдения.

Площадь зон Френеля

$$S_m = \frac{\pi ab \lambda}{a+b}. \quad (19.3)$$

Амплитуда колебаний в центре дифракционной картины на экране при дифракции Френеля на маленьком круглом отверстии:

при нечетном числе зон Френеля

$$A \approx A_1, \quad (19.4)$$

при четном числе зон Френеля

$$A = 0, \quad (19.5)$$

где A_1 – амплитуда колебаний в центре дифракционной картины от первой зоны Френеля.

Амплитуда колебаний в центре дифракционной картины при дифракции Френеля на маленьком круглом экране

$$A \approx \frac{A_1}{2}. \quad (19.6)$$

Условие дифракционных максимумов при дифракции Фраунгофера на щели:

$$b \sin \varphi = \pm (2m+1) \frac{\lambda}{2}, \quad m = 0, 1, 2, \dots, \quad (19.7)$$

где m – порядок дифракционного максимума.

Условие минимумов при дифракции Фраунгофера на щели:

$$b \sin \varphi = \pm m \lambda, \quad m = 1, 2, \dots \quad (19.8)$$

Условие главных максимумов при дифракции Фраунгофера на дифракционной решетке:

$$d \sin \varphi = \pm m \lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots, \quad (19.9)$$

где d – постоянная (период) решетки; m – порядок главного максимума.

Количество наблюдаемых главных максимумов

$$m \leq \frac{d}{\lambda}. \quad (19.10)$$

Линейная дисперсия спектрального прибора

$$D = \frac{\Delta l}{\Delta \lambda}, \quad (19.11)$$

где Δl – линейное расстояние на экране между спектральными линиями, различающимися длиной волны на $\Delta \lambda$.

Угловая дисперсия спектрального прибора

$$D_{\varphi} = \frac{\Delta \varphi}{\Delta \lambda}, \quad (19.12)$$

где $\Delta \varphi$ – угловое расстояние на экране между спектральными линиями, различающимися длиной волны на $\Delta \lambda$.

Разрешающая способность спектрального прибора

$$R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda}, \quad (19.13)$$

где $\Delta \lambda$ – минимальная разность длин волн двух спектральных линий, при которой эти линии воспринимаются раздельно (разрешаются).

Связь разрешающей способности с количеством щелей дифракционной решетки:

$$R = mN, \quad (19.14)$$

где m – порядок спектра; N – количество щелей дифракционной решетки.

Условие дифракционных максимумов при дифракции на пространственной решетке (формула Вульфа – Брэгга):

$$2d \sin \theta = \pm m \lambda, \quad m = 1, 2, \dots, \quad (19.15)$$

где d – расстояние между атомными слоями; θ – угол скольжения.

Контрольные вопросы и задания

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. Дифракция какого типа наблюдается при нормальном падении параллельных лучей на узкую щель? При каких условиях наблюдаются дифракционные максимумы, а при каких – 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 некогерентного света на дифракционной решетке?

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

19.10. При каких длинах волн возможно наблюдение дифракции на пространственной решетке? Запишите формулу Вульфа – Брэгга. На чем основаны: а) два метода рентгеноструктурного анализа кристаллической решетки; б) рентгеновская спектроскопия?

Задача 19.1. Вычислить радиус m -й зоны Френеля, если длина волны света, проходящего через светофильтр, 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	0,4 0,52 0,6 0,7	0,3	1,5	2
13 14 15 16												Плоский	Фиолетовый Зеленый Оранжевый Красный			
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

Задача 19.2. Свет от монохроматического источника с длиной волны λ падает нормально на диафрагму с круглым отверстием радиусом r . За диафрагмой на расстоянии L от нее находится экран. Число зон Френеля, укладывающихся в отверстии диафрагмы при наблюдении из центра дифракционной картины, равно m . Каким будет центр дифракционной картины на экране: темным или светлым? Найти неизвестную величину.

Номер задания	λ , мкм	r , мм	L , м	m
1	0,5	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	?	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	0,44	?	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	0,96	?
22	0,457	0,4	?	5
23	0,417	?	1,2	2
24	?	1,2	3	1
25	0,571	0,6	0,21	?
26	0,62	1,4	?	2
27	0,483	?	0,7	5
28	?	0,9	0,39	4

Задача 19.3. На диафрагму с круглым отверстием радиусом r падает нормально параллельный пучок света с 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.

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	0,4	?	?
12	1	?	?	1,667
13	?	0,47	0,0957	?
14	?	0,7	?	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	0,5	?	?
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	?	0,6	?	2,82
28	?	0,42	0,048	?

Задача 19.4. Круглое отверстие радиусом r в диафрагме освещается монохроматическим светом с 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 2 3 4	1,5	0,55	2,5	0,4	0,5 1 1,5 2
5 6 7 8	0,8	0,4	1,4	0,2 0,3 0,4 0,5	1
9 10 11 12	0,8 0,9 1 1,1	0,45	1	0,3	0,8
13 14 15 16	1,3	0,4 0,5 0,6 0,7	3	1	18
17 18 19 20	1	0,64	1,5	0,3	0,8 1 1,2 1,4
21 22 23 24	1,2	0,4	2,8	0,6 1 1,2 1,6	2
25 26 27 28	0,9	0,43 0,52 0,66 0,72	1	0,1	0,7

Задача 19.5. Параллельный пучок монохроматических лучей с 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.

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	0,606	0,4	?	0,21
4	0,5389	1,5	1	?
5	?	0,8	0,9	0,22
6	0,4667	?	1,2	0,2
7	0,5639	2	?	0,35
8	0,6651	1,1	0,53	?
9	?	2,2	1,1	0,1
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	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 падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны λ . Ширина щели в z раз больше длины волны. Определить, под какими углами будут наблюдаться дифракционные минимумы и максимумы освещенности m -го порядка.

Номер задания	Наблюдаемый экстремум	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 с длиной волны λ . Ширина изображения щели на экране, удаленном на расстояние L от линзы, равна Δx . Шириной изображения считать расстояние между первыми дифракционными минимумами, расположенными по обе стороны от главного максимума освещенности. Найти неизвестную величину.

Номер задания	b , мкм	λ , мкм	L , м	Δx , см
1	?	0,5	0,65	8,14
2	10	?	1,2	16,36
3	6	0,58	?	17,48
4	21	0,44	0,9	?
5	?	0,57	1,05	4,79
6	18	?	1,35	10,51
7	13	0,4	?	8
8	11	0,66	0,75	?
9	?	0,6	1,3	5,2
10	15	?	0,55	3,3
11	20	0,42	?	3,36
12	19	0,51	1	?
13	?	0,45	0,85	7,66
14	35	?	0,7	2,4
15	20	0,64	?	4,48
16	8	0,56	1,4	?
17	?	0,52	0,6	2,71
18	12	?	0,95	9,04
19	14	0,48	?	7,55
20	16	0,63	1,1	?
21	?	0,43	0,8	5,74
22	13	?	1,45	10,27
23	22	0,55	?	3,85
24	27	0,67	1,15	?
25	?	0,65	0,5	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, в котором расстояние между двумя заданными в таблице линиями равно Δx . Найти неизвестную величину.

Но- мер зада- ния	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	400	0,5	?	
2	Красный	Слева 2	0,68	Красный	Справа 2	0,68			?	
3	Зеленый	Слева 1	0,55	Зеленый	Справа 1	0,55			?	
4	Зеленый	Слева 2	0,55	Зеленый	Справа 2	0,55			?	
5	Красный	Слева 1	0,68	Красный	Слева 2	0,68	500	0,8	?	
6	Синий		0,46	Синий		0,46			?	
7	Оранжевый		0,6	Оранжевый		0,60			?	
8	Зеленый		0,55	Зеленый		0,55			?	
9	Фиолетовый	Справа 2	0,4	Красный	Справа 1	0,68	600	?	8,02	
10				Красный		0,64			?	5,25
11				Оранжевый		0,6			?	3,22
12				Зеленый		0,55			?	11,85
13	Синий	Слева 1	0,46	Синий	Справа 1	0,46	?	0,6	28,36	
14	Зеленый		0,51	Зеленый		0,51			?	4,59
15	Зеленый		0,55	Зеленый		0,55			?	13,28
16	Оранжевый		0,6	Оранжевый		0,6			?	10,84
17	Синий	Слева 1	0,46	Синий	Справа 1	0,46	300	0,4	?	
18	Синий	Слева 2	0,46	Синий	Справа 2	0,46			?	
19	Оранжевый	Слева 1	0,6	Оранжевый	Справа 1	0,6			?	
20	Оранжевый	Слева 2	0,6	Оранжевый	Справа 2	0,6			?	
21	Фиолетовый	Слева 1	0,4	Фиолетовый	Справа 1	0,4	700	?	58,33	
22	Фиолетовый	Слева 2	0,4	Фиолетовый	Справа 2	0,4			?	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	?	0,7	24,15	
26	Синий	Слева 2	0,46	Синий	Справа 2	0,46	?		11,63	
27	Оранжевый	Слева 2	0,6	Оранжевый	Справа 2	0,6	?		30,97	
28	Фиолетовый	Слева 3	0,4	Фиолетовый	Справа 3	0,4	?		8,42	

Задача 19.9. Дифракционная решетка шириной l имеет N щелей. Постоянная решетки — d . Для длины волны λ в порядке m разрешающая способность решетки $R = \lambda / (\Delta\lambda)$, ее угловая дисперсия $D_\varphi = \Delta\varphi / (\Delta\lambda)$, 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_φ , см ⁻¹
1	?	?	?	2	?	0,2	20 000	4000
2	?	$2 \cdot 10^{-3}$	5000	2	5500	?	?	?
3	4	?	5000	3	?	0,3	?	?
4	6	?	4000	3	6000	?	?	?
5	4,5	$5 \cdot 10^{-4}$?	?	?	0,2	?	6000
6	3	?	?	4	6000	?	?	2500
7	?	$6 \cdot 10^{-4}$?	3	5000	?	25 000	?
8	?	$5 \cdot 10^{-4}$	7500	?	?	0,3	?	4000
9	2	?	?	1	6400	?	8000	?
10	2,5	?	12 500	2	5000	?	?	?
11	6,3	$1,5 \cdot 10^{-3}$?	2	?	0,5	?	?
12	?	$1,25 \cdot 10^{-3}$	3200	?	?	0,75	6400	?
13	2	$5 \cdot 10^{-4}$?	3	6000	?	?	?
14	1,4	$7 \cdot 10^{-4}$?	4	?	0,7	?	?
15	?	?	8750	?	?	0,25	17 500	5000
16	1,8	?	2700	?	4050	?	?	4500
17	?	$7 \cdot 10^{-4}$?	1	?	0,6	10 000	?
18	?	?	?	2	?	0,4	12 600	6300
19	2,8	?	7000	2	?	0,35	?	?
20	3,2	?	?	3	?	0,3	?	4800
21	5	10^{-3}	?	?	?	0,25	?	3000
22	1,5	$1,25 \cdot 10^{-3}$?	3	4200	?	?	?
23	2,5	?	?	2	5250	?	5000	?
24	2,4	?	3000	?	?	0,9	6000	?
25	?	$2 \cdot 10^{-3}$	1500	1	4800	?	?	?
26	?	?	4500	?	?	0,6	9000	6000
27	?	$5 \cdot 10^{-4}$	6500	1	?	1	?	?
28	1,6	?	?	2	?	1,5	3000	?

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

Номер задания	λ , нм	d , нм	θ	m
1	0,075	0,28	?	1
2			?	2
3			?	3
4			?	4
5	0,062	?	$5^{\circ}56'$	1
6		?	$7^{\circ}25'$	
7		?	$5^{\circ}05'$	
8		?	$11^{\circ}56'$	
9	?	0,3	$19^{\circ}28'$	2
10	?		$13^{\circ}30'$	
11	?		$15^{\circ}28'$	
12	?		$7^{\circ}40'$	
13	0,045	0,44	$8^{\circ}50'$?
14	0,06		$7^{\circ}50'$?
15	0,025		$1^{\circ}38'$?
16	0,037		$4^{\circ}49'$?
17	0,05	0,25	?	2
18		0,3	?	
19		0,35	?	
20		0,4	?	
21	0,08	?	$10^{\circ}29'$	1
22		?	$5^{\circ}06'$	
23		?	$12^{\circ}09'$	
24		?	$6^{\circ}58'$	
25	?	0,21	59°	3
26	?		$68^{\circ}13'$	
27	?		$16^{\circ}36'$	
28	?		$25^{\circ}23'$	

Тема 20. Поляризация света

Основные законы и формулы

Степень поляризации света

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (20.1)$$

где I_{\max} , I_{\min} — соответственно максимальная и минимальная интенсивность поляризованного света в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения луча.

Закон Брюстера:

$$\operatorname{tg} i_{\text{Б}} = n_{21}. \quad (20.2)$$

Закон Малюса для идеальных поляризатора и анализатора:

$$I_{\text{А}} = I_{\text{Р}} \cos^2 \varphi, \quad (20.3)$$

где $I_{\text{Р}}$, $I_{\text{А}}$ — интенсивность света после прохождения поляризатора и анализатора соответственно; φ — угол между плоскостями поляризации поляризатора и анализатора.

Закон Малюса для интенсивности света, прошедшего реальные (несовершенные) поляризатор и анализатор:

$$I_{\text{А}} = \frac{1}{2}(1 - \beta_{\text{Р}})(1 - \beta_{\text{А}})I_0 \cos^2 \varphi, \quad (20.4)$$

где $\beta_{\text{Р}}$, $\beta_{\text{А}}$ — доли потерь интенсивности света соответственно в поляризаторе и анализаторе; I_0 — интенсивность естественного света.

Разность хода Δ и разность фаз δ между обыкновенным и необыкновенным лучами, возникающие при прохождении света через ячейку Керра,

$$\Delta = B\lambda_0 l E^2, \quad \delta = 2\pi B l E, \quad (20.5)$$

где B — постоянная Керра; l — длина пластин конденсатора в ячейке Керра.

Угол поворота плоскости поляризации света при прохождении им пути l в оптически активном растворе

$$\varphi = \alpha c l, \quad (20.6)$$

где α — постоянная вращения; c — концентрация оптически активного вещества в растворе.

Формулы Френеля:

$$\left. \begin{aligned} (I_{\perp})_{\text{отр}} &= 0,5I_0 \left(\frac{\sin(i-r)}{\sin(i+r)} \right)^2, \\ (I_{\parallel})_{\text{отр}} &= 0,5I_0 \left(\frac{\text{tg}(i-r)}{\text{tg}(i+r)} \right)^2, \\ (I_{\perp})_{\text{прел}} &= 0,5I_0 \left(\frac{2 \sin r \cos i}{\sin(i+r) \cos(i-r)} \right)^2, \\ (I_{\parallel})_{\text{прел}} &= 0,5I_0 \left(\frac{2 \sin i \cos r}{\text{tg}^2(i+r)} \right)^2, \end{aligned} \right\} \quad (20.7)$$

где $(I_{\perp})_{\text{отр}}$, $(I_{\perp})_{\text{прел}}$ – интенсивности колебаний светового вектора в отраженном и преломленном лучах, совершающихся в направлении, перпендикулярном к плоскости падения света; $(I_{\parallel})_{\text{отр}}$, $(I_{\parallel})_{\text{прел}}$ – интенсивности колебаний светового вектора в отраженном и преломленном лучах, совершающихся в направлении, параллельном плоскости падения света; I_0 – интенсивность падающего естественного света; i – угол падения; r – угол преломления.

Контрольные вопросы и задания

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 преломленный луч? 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 идеальный поляризатор? Почему? Сформулируйте закон Малюса и поясните его.

20.3. Чем реальные поляризаторы отличаются от идеальных? Что такое анализатор? Какой вид имеет 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 различаются 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 аналогич-

ные 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 считать?

Задача 20.1. Предельный угол падения при полном внутреннем отражении для некоторого вещества равен $i_{\text{пр}}$, показатель преломления вещества — n . Угол падения, при котором отраженный луч оказывается полностью поляризованным, равен $i_{\text{Б}}$. Найти неизвестные величины. Выполнить дополнительное задание.

Номер задания	n	$i_{\text{пр}}$	$i_{\text{Б}}$	Построить график зависимости
1	1,4	?	?	$i_{\text{Б}} = f(n)$
2	1,5	?	?	
3	1,6	?	?	
4	1,7	?	?	
5	?	$53^{\circ}08'$?	$i_{\text{пр}} = f(n)$
6	?	$33^{\circ}45'$?	
7	?	$47^{\circ}48'$?	
8	?	$37^{\circ}03'$?	
9	?	?	$58^{\circ}38'$	$i_{\text{Б}} = f(n)$
10	?	?	$52^{\circ}01'$	
11	?	?	$52^{\circ}51'$	
12	?	?	$55^{\circ}46'$	
13	1,35	?	?	$i_{\text{пр}} = f(n)$
14	1,45	?	?	
15	1,55	?	?	
16	1,65	?	?	
17	?	$44^{\circ}46'$?	$i_{\text{Б}} = f(n)$
18	?	$39^{\circ}16'$?	
19	?	$50^{\circ}17'$?	
20	?	$35^{\circ}33'$?	
21	?	?	$60^{\circ}24'$	$i_{\text{пр}} = f(n)$
22	?	?	$56^{\circ}50'$	
23	?	?	$53^{\circ}52'$	
24	?	?	$59^{\circ}14'$	
25	1,8	?	?	$i_{\text{Б}} = f(n)$
26	1,44	?	?	
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 φ . Интенсивность света, прошедшего первый николь, равна I_p , интенсивность света после второго николя — I_A . Найти неизвестные величины.

Номер задания	I_0 , Вт/м ²	I_p , Вт/м ²	I_A , Вт/м ²	φ , 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	0,1	?	0,0293	?
8	0,34	?	?	65
9	?	0,09	0,0795	?
10	0,4	?	0,0234	?
11	?	0,2	?	20
12	0,16	?	?	35
13	0,36	?	0,0592	?
14	?	0,1	?	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	0,3	?	?	70
24	?	0,09	?	20
25	0,06	?	0,028	?
26	0,2	?	?	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 φ . 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.

Номер задания	φ , 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	?	26,7
8	45	17	15	?
9	?	10	16	15,62
10	20	?	5	39
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 φ . После прохождения через второй николь свет падает на зеркало с коэффициентом отражения k таким образом, что при отражении плоскость поляризации не меняется. Обратившись, свет снова проходит оба николя. Интенсивность света после обратного прохождения через оба николя стала в m раз меньше интенсивности падающего естественного света. Найти неизвестную величину.

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

Задача 20.5. Два когерентных плоскополяризованных луча, у которых плоскости колебаний электрического вектора взаимно перпендикулярны, распространяются вдоль одной прямой. Какой будет поляризация результирующего луча света, полученного при сложении двух плоскополяризованных лучей, если у них амплитуды колебаний электрического вектора различаются 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 \vec{E}_1 первого луча расположена плоскость, в которой амплитуда колебаний результирующего вектора \vec{E} максимальна?

Номер задания	k	$\delta\varphi$
1	0,5	0
2	1	$\pi / 2$
3	1,4	$-\pi$
4	0,9	$-\pi / 2$
5	0,4	$-\pi / 2$
6	0,8	π
7	2	$\pi / 2$
8	1	0
9	2,6	$-\pi$
10	1	$-\pi / 2$
11	3,5	0
12	0,6	$\pi / 2$
13	1,3	$-\pi / 2$
14	0,7	$\pi / 2$
15	1	π
16	1,5	0
17	1	$\pi / 2$
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	$-\pi / 2$
25	4	0
26	0,6	$-\pi$
27	0,8	$-\pi / 2$
28	2,1	$\pi / 2$

Задача 20.6. Из некоторого одноосного кристалла параллельно оптической оси кристалла вырезана тонкая пластинка, толщина которой равна d' . Если толщину пластинки чуть-чуть уменьшить до значения d , то с ее помощью можно превратить луч линейно поляризованного монохроматического света с длиной волны λ в луч с круговой поляризацией. Показатели преломления кристалла для обыкновенного и необыкновенного лучей равны соответственно n_o и 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	1,8	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	1,7	?
17	—	50	?	0,38	1,79	1,75
18	—	—	2	?	1,55	1,48
19	Положительный	Минимальная	7,9	0,63	?	1,65
20	Отрицательный	Минимальная	3,1	0,5	1,75	?
21	—	350	?	0,48	1,48	1,49
22	—	—	39,2	?	1,55	1,535
23	Положительный	Минимальная	5	0,6	?	1,85
24	Положительный	Минимальная	3	0,4	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	0,4	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 свет 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	Параллельны	?	0,62	0,68	0,013	0,014
2		0,238	?	0,65	0,024	0,027
3		0,325	0,52	?	0,008	0,009
4		0,143	0,43	0,56	?	0,028
5	Перпендикулярны	0,344	0,47	0,6	0,014	?
6		?	0,35	0,55	0,019	0,026
7		0,13	?	0,52	0,03	0,037
8		10,675	0,61	?	0,007	0,008
9	Параллельны	0,062	0,45	0,58	?	0,034
10		1,408	0,58	0,68	0,013	?
11		?	0,37	0,5	0,02	0,025
12		0,052	?	0,63	0,029	0,032
13	Перпендикулярны	0,56	0,48	?	0,018	0,022
14		0,329	0,4	0,51	?	0,026
15		0,729	0,53	0,66	0,01	?
16		?	0,49	0,64	0,025	0,031
17	Параллельны	1,358	?	0,53	0,028	0,036
18		0,843	0,46	?	0,017	0,02
19		0,737	0,55	0,67	?	0,03
20		2,79	0,54	0,62	0,021	?
21	Перпендикулярны	?	0,5	0,61	0,016	0,019
22		1,307	?	0,51	0,009	0,011
23		0,285	0,38	?	0,026	0,03
24		0,66	0,44	0,54	?	0,018
25	Параллельны	0,3	0,36	0,45	0,011	?
26		?	0,6	0,70	0,027	0,031
27		0,442	?	0,59	0,015	0,019
28		14,79	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/В². При прохождении ячейки Керра между обыкновенным и необыкновенным лучами возникает разность хода, равная Δ , и разность фаз, равная δ . Найти неизвестные величины.

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	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	850	?	?	$0,2\pi$
12	?	1,3	?	$7,5 \cdot 10^{-7}$?	$0,4\pi$
13	12	1,8	?	10^{-7}	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	1	30°	?	?
2		26°	?	?
3		21°	?	?
4		19°	?	?
5	0,75	?	0,65	Красный Желтый Зеленый Зелено-голубой
6		?	0,59	
7		?	0,555	
8		?	0,51	
9	?	16°	0,505	Зелено-голубой
10	?	23°		
11	?	$27^\circ 30'$		
12	?	$36^\circ 30'$		
13	1,25	21°	?	?
14	1,05		?	?
15	0,81		?	?
16	0,7		?	?
17	0,6	?	0,6	Оранжевый
18	0,7	?		
19	0,8	?		
20	0,9	?		
21	?	24°	0,65	Красный Красный Оранжевый Зеленый
22	?		0,625	
23	?		0,595	
24	?		0,552	
25	0,65	17°	?	?
26		15°	?	?
27		$13^\circ 30'$?	?
28		11°	?	?

Задача 20.10. Определить коэффициент отражения и степень поляризации отраженного и преломленного лучей при падении естественного света на стекло с показателем преломления n под углом 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 Брюстера	Степени поляризации преломленного луча от коэффициента преломления

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

Тема 21. Квантовая природа излучения

Основные законы и формулы

Энергетическая светимость поверхности тела

$$R_{\text{э}} = \frac{d\Phi}{dS}, \quad (21.1)$$

где Φ – поток энергии, испускаемой поверхностью тела по всем направлениям. Испускательная способность тела в интервале $d\lambda$ вблизи длины волны λ

$$r_{\lambda} = \frac{dR_{\text{э}}}{d\lambda}. \quad (21.2)$$

Поглощательная способность

$$a_{\lambda, T} = \frac{d\Phi'_{\lambda}}{d\Phi_{\lambda}}, \quad (21.3)$$

где $d\Phi_{\lambda}$ – поток энергии электромагнитных волн в интервале $d\lambda$ вблизи длины волны λ , падающий на поверхность тела; $d\Phi'_{\lambda}$ – поток энергии, поглощенный этой поверхностью.

Отражательная способность

$$\rho_{\lambda, T} = \frac{d\Phi''_{\lambda}}{d\Phi_{\lambda}}, \quad (21.4)$$

где $d\Phi_{\lambda}$ – поток энергии электромагнитных волн в интервале $d\lambda$ вблизи длины волны λ , падающий на поверхность тела; $d\Phi''_{\lambda}$ – поток энергии, отраженный этой поверхностью.

Связь между испускательной и поглощательной способностями одного и того же тела (закон Кирхгофа):

$$\left(\frac{r_{\lambda, T}}{a_{\lambda, T}} \right)_1 = \left(\frac{r_{\lambda, T}}{a_{\lambda, T}} \right)_2 = \dots = \left(\frac{r_{\lambda, T}}{a_{\lambda, T}} \right)_{\text{а.ч.т}} = f(\lambda, T), \quad (21.5)$$

где $\left(\frac{r_{\lambda, T}}{a_{\lambda, T}} \right)_{\text{а.ч.т}}$ – отношение испускательной способности абсолютно черного тела к его поглощательной способности; $f(\lambda, T)$ – универсальная функция длины волны и температуры.

Связь между поглощательной и отражательной способностями одного и того же тела:

$$a_{\lambda, T} + \rho_{\lambda, T} = 1. \quad (21.6)$$

Поглощательная и отражательная способности абсолютно черного тела:

$$a_{\lambda, T} = 1, \quad \rho_{\lambda, T} = 0. \quad (21.7)$$

Поглощательная и отражательная способности зеркального тела:

$$a_{\lambda,T} = 0, \quad \rho_{\lambda,T} = 1. \quad (21.8)$$

Поглощательная и отражательная способности серого тела:

$$a_{\lambda,T} = a_T = \text{const} < 1, \quad \rho_{\lambda,T} = \rho_T = \text{const} < 1. \quad (21.9)$$

Закон Стефана – Больцмана для энергетической светимости абсолютно черного тела:

$$(R_{\Sigma})_{\text{а.ч.т}} = \sigma T^4, \quad (21.10)$$

где σ – постоянная Стефана – Больцмана.

Закон смещения Вина:

$$\lambda_{\text{max}} = b/T, \quad (21.11)$$

где λ_{max} – длина волны, на которую приходится максимум испускательной способности абсолютно черного тела при данной температуре; b – постоянная Вине.

Формула Планка:

$$f(\lambda, T) = (r_{\lambda,T})_{\text{а.ч.т}} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}. \quad (21.12)$$

Энергия фотона

$$E = h\nu, \quad (21.13)$$

где h – постоянная Планка.

Импульс фотона

$$\vec{p} = \hbar \vec{k}, \quad (21.14)$$

где $\hbar = h/(2\pi)$; \vec{k} – волновой вектор.

Масса фотона

$$m = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{\hbar\omega}{c^2}. \quad (21.15)$$

Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}. \quad (21.16)$$

Работа выхода электрона из металла

$$A_{\text{вых}} = h\nu_0, \quad (21.17)$$

где ν_0 – красная граница внешнего фотоэффекта.

Задерживающее напряжение

$$U_3 = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2e}. \quad (21.18)$$

Давление света на поверхность

$$p = (1 + \rho)w, \quad (21.19)$$

где ρ – коэффициент отражения света от поверхности; w – объемная плотность энергии падающего излучения.

Закон Комптона:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_K (1 - \cos\theta), \quad (21.20)$$

где λ – длина волны падающего рентгеновского излучения; λ' – длина волны сопутствующего рассеянного излучения; $\lambda_K = \frac{2\pi\hbar}{mc} = \frac{h}{mc}$ – комптоновская длина волны электрона, с которым взаимодействует фотон; θ – угол рассеяния.

Контрольные вопросы и задания

21.1. Что такое тепловое излучение? Какое излучение называют равновесным? Что такое энергетическая светимость тела? Что называют: а) испускательной способностью тела; б) его поглощательной способностью? Какая связь существует между испускательной и поглощательной способностями одного и того же тела? Каким законом эта связь выражается? Какое тело называют: а) абсолютно черным; б) зеркальным; в) серым? Какое устройство может служить моделью абсолютно черного тела? Сформулируйте закон Стефана – Больцмана и поясните его.

21.2. Как, зная температуру абсолютно черного тела, определить энергию, излучаемую этим телом по всем направлениям в течение определенного времени? Какая часть этой энергии будет передана заданной площади другого тела?

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

21.4. Сформулируйте закон смещения Вина и поясните его.

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

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

21.7. В чем заключается явление внешнего фотоэффекта? При каких условиях это явление наблюдается? Что называется красной границей фотоэффекта? Что такое работа выхода электрона из металла? Сформулируйте законы внешнего фотоэффекта. Запишите уравнение Эйнштейна для фотоэффекта и поясните его.

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

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

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

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

Номер задания	Φ , Вт	T , К	S , см ²
1	18,7	?	5
2	41,73	?	
3	49,85	?	
4	81,4	?	
5	18,57	950	?
6	32,5		?
7	41,78		?
8	46,43		?
9	?	700	6
10	?	800	
11	?	900	
12	?	1000	
13	40	?	3
14		?	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	?	8
26	21,64	?	
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 – $139 \cdot 10^6$ 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 2	Меркурий	$5,8 \cdot 10^7$	1 с 1 мин	1 100
3 4	Венера	$1,08 \cdot 10^8$	1 с 1 мин	1 100
5 6	Земля	$1,5 \cdot 10^8$	1 с 1 мин	1 100
7 8	Марс	$2,28 \cdot 10^8$	1 с 1 мин	1 100
9 10	Юпитер	$7,78 \cdot 10^8$	1 с 1 мин	1 100
11 12	Сатурн	$1,426 \cdot 10^9$	1 с 1 мин	1 100
13 14	Уран	$2,87 \cdot 10^9$	1 с 1 мин	1 100
15 16	Нептун	$4,5 \cdot 10^9$	1 с 1 мин	1 100
17 18	Плутон	$5,9 \cdot 10^9$	1 с 1 мин	1 100
19 20	α Центавры	$4 \cdot 10^{13}$	1 мин 1ч	100 2500
21 22	α Большого Пса	$8,1 \cdot 10^{13}$	1 мин 1ч	100 2500
23 24	α Орла	$1,5 \cdot 10^{14}$	1 мин 1 ч	100 2500
25 26	α Ориона	$6 \cdot 10^{15}$	1 мин 1 ч	100 2500
27 28	β Близнецов	$3,2 \cdot 10^{14}$	1 мин 1ч	100 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. Потерями теплоты, 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	2,5	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 излучательная способность абсолютно черного тела вблизи длины волны λ_1 при температуре T_1 больше его излучательной 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 2 3 4	1,2	1000 2000 3000 4000	0,6	1000
5 6 7 8	0,75 1,25 1,5 1,75	2000	0,5	2000
9 10 11 12	2	1500	0,5 1 1,5 2,5	1500
13 14 15 16	2,2	1300	0,7	1300 1400 1500 1600
17 18 19 20	1 1,5 1,7 2	1700	0,45	1700
21 22 23 24	0,45	6000	0,4 0,55 0,6 0,7	6000
25 26 27 28	2,4	1200	0,65	1000 1200 1400 1600

Задача 21.6. Энергия фотона, соответствующего длине волны λ и частоте ν , равна E , масса фотона – m , импульс – p . Найти неизвестные величины.

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

Задача 21.7. Красная граница фотоэффекта равна λ_0 , максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона – E_{\max} . При этом доля энергии фотона, израсходованная фотоэлектронам на работу выхода, составляет k . Найти неизвестную величину.

Номер задания	λ_0 , мкм	E_{\max} , эВ	k
1	0,66	0,5	?
2	0,473		?
3	0,276		?
4	0,545		?
5	0,621	?	0,9
6		?	0,8
7		?	0,7
8		?	0,6
9	?	0,767	0,75
10	?	0,465	
11	?	1,48	
12	?	0,637	
13	0,5176	0,074	?
14		0,209	?
15		0,327	?
16		0,457	?
17	0,887	?	0,8
18	0,776	?	
19	0,276	?	
20	0,234	?	
21	?	0,65	0,95
22	?		0,85
23	?		0,75
24	?		0,7
25	0,472	0,054	?
26	0,621	0,105	?
27	0,262	0,772	?
28	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 $A_{\text{вых}}$. Фотоэффект наблюдается для излучения с длиной волны $\lambda < \lambda_0$, где λ_0 — красная граница фотоэффекта. Задерживающая разность потенциалов равна U_3 . Определить неизвестные величины.

Номер задания	λ , мкм	$A_{\text{вых}}$, эВ	λ_0 , мкм	U_3 , 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.

Номер задания	λ , мкм	ρ	Δt , с	N , 10^{20}	Φ , Вт	F , 10^{-7} Н
1	?	?	1	0,823	36,36	2
2	0,46	?	8,5	93,2	?	30
3	0,6	0,7	?	5,33	88,24	?
4	0,53	?	5	?	154,8	8
5	?	0,95	6,5	1,685	?	0,5
6	0,55	0,3	3	?	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	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	?	?	0,3
14	?	?	5,5	14,05	92,3	6
15	0,5	0,5	?	0,176	2	?
16	?	0,25	8	5,41	?	0,8
17	0,62	?	10	?	180	9
18	?	0,65	2,5	6,4	127,3	?
19	0,45	0,8	?	0,795	?	0,7
20	0,59	?	7	16,85	?	5
21	0,54	0,2	6	?	?	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	?	70,6	4
26	?	0,55	4	2,1	?	0,9
27	0,56	1	?	0,338	?	0,2
28	0,4	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 E до рассеяния соответствовала излучению с длиной волны λ . Энергия E' рассеянных фотонов соответствует излучению с длиной волны λ' . Найти неизвестные величины. Выполнить дополнительное задание.

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

Тема 22. Элементы атомной физики и квантовой механики

Основные законы и формулы

Первый постулат Бора: из бесконечного множества электронных орбит, возможных с точки зрения классической механики, осуществляются только дискретные орбиты, удовлетворяющие определенным квантовым условиям; находясь на одной из этих орбит, электрон не излучает энергию.

Правило квантования момента импульса: в стационарном состоянии атома электрон, двигаясь по круговой орбите, должен иметь значения момента импульса, удовлетворяющие условию

$$m_e v r = \hbar n, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (22.1)$$

где m_e – масса электрона; $\hbar = \frac{h}{2\pi}$; n – номер боровской орбиты.

Второй постулат Бора: при переходе электрона из одного стационарного состояния в другое испускается или поглощается квант энергии, равный разности энергий тех стационарных состояний, между которыми осуществляется переход:

$$\hbar\omega = h\nu = E_n - E_m, \quad (22.2)$$

где E_n – энергия состояния, из которого осуществляется переход; E_m – энергия состояния, в которое он осуществляется.

Разрешенные значения энергии электрона в атоме водорода:

$$E_n = -k^2 \frac{m_e e^4}{2\hbar^2 n^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}. \quad (22.3)$$

Формула Бальмера для спектральных серий атома водорода:

$$\omega = R_\omega \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (22.4)$$

или

$$\frac{1}{\lambda} = R_\lambda \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (22.5)$$

где R_ω (или R_λ) – постоянная Ридберга.

Формула де Бройля для длины волны волнового процесса, соответствующего равномерно движущейся свободной частице:

$$\lambda = \frac{h}{mv}. \quad (22.6)$$

Соотношение неопределенностей Гейзенберга для координаты и импульса:

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}. \quad (22.7)$$

Соотношение неопределенностей для энергии и времени:

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}. \quad (22.8)$$

Временное уравнение Шрёдингера:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + U \Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}, \quad (22.9)$$

где ∇^2 – оператор Лапласа; $\Psi = \psi e^{-i(E/\hbar)t}$; i – мнимая единица.

Уравнение Шрёдингера для частицы, движущейся в стационарном силовом поле:

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi = 0, \quad (22.10)$$

где E – полная механическая энергия частицы; U – ее потенциальная энергия в стационарном силовом поле.

Уравнение Шрёдингера для свободной движущейся частицы:

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} E \psi = 0. \quad (22.11)$$

Волновая функция, описывающая стационарное состояние частицы в бесконечно глубокой одномерной прямоугольной потенциальной яме:

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{n\pi x}{l}, \quad (22.12)$$

где l – ширина потенциальной ямы.

Собственные значения энергии частицы массой m , находящейся в бесконечно глубокой одномерной прямоугольной потенциальной яме:

$$E = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ml^2} n^2, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (22.13)$$

Относительной плотностью вероятности проникновения частицы на расстояние x сквозь потенциальный барьер в область с потенциальной энергией U называется отношение плотности вероятности нахождения частицы в этой области на расстоянии x от границы барьера к плотности вероятности подхода частицы к барьеру (в точку $x = 0$):

$$\frac{|\psi(x)|^2}{|\psi(0)|^2} = e^{-\frac{2\sqrt{2m(U-E)}x}{\hbar}}. \quad (22.14)$$

Квантовые числа:

$$n = 1, 2, 3, \dots; \quad l = 1, 2, 3, \dots, n-1; \quad (22.15)$$

$$m = -l, -l+1, \dots, -1, 0, 1, \dots, l-1, l; \quad s = 1/2,$$

где n , l , m , s – соответственно главное, азимутальное, магнитное и спиновое квантовые числа.

Правило отбора:

$$\Delta l = \pm 1. \quad (22.16)$$

Орбитальный момент импульса (механический момент) электрона в атоме

$$L = \hbar\sqrt{l(l+1)}, \quad (22.17)$$

а его проекция на направление магнитного поля (ось Z)

$$L_z = m\hbar. \quad (22.18)$$

Орбитальный магнитный момент электрона в атоме

$$\mu_l = -\mu_B\sqrt{l(l+1)}, \quad (22.19)$$

а его проекция на направление магнитного поля

$$(\mu_l)_z = -\mu_B m, \quad (22.20)$$

где $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e}$ – магнетон Бора; m_e – масса электрона.

Величина спина электрона в атоме

$$L_s = \hbar\sqrt{s(s+1)}, \quad s = \frac{1}{2}, \quad (22.21)$$

а его проекция на направление магнитного поля

$$(L_s)_z = m_s\hbar, \quad m_s = \pm s = \pm \frac{1}{2}. \quad (22.22)$$

Спиновый магнитный момент электрона

$$\mu_s = \pm\mu_B\sqrt{3}, \quad (22.23)$$

а его проекция на направление магнитного поля

$$(\mu_s)_z = \pm\mu_B. \quad (22.24)$$

Спектральные серии атома водорода:

возможные переходы серии Лаймана:

$$np \rightarrow 1s, \quad n = 2, 3, \dots; \quad (22.25)$$

возможные переходы серии Бальмера:

$$\left. \begin{array}{l} np \rightarrow 2s, \\ ns \rightarrow 2p, \\ nd \rightarrow 2p, \end{array} \right\} n = 3, 4, \dots; \quad (22.26)$$

возможные переходы серии Пашена:

$$\left. \begin{array}{l} np \rightarrow 3s, \\ ns \rightarrow 3p, \\ nd \rightarrow 3p, \\ np \rightarrow 3d, \\ nf \rightarrow 3d, \end{array} \right\} n = 4, 5, \dots. \quad (22.27)$$

Контрольные вопросы и задания

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 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. Запишите соотношения неопределенностей Гейзенберга для координаты и импульса, для энергии и времени и поясните их. Как, зная неопределенность в определении энергии, найти неопределенность в определении длины волны? Как, зная неопределенность в определении импульса, найти неопределенность в определении длины волны?

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

22.6. Запишите уравнение Шрёдингера для свободной движущейся частицы и поясните его. Какой вид имеет уравнение Шрёдингера для частицы, движущейся в стационарном силовом поле? Какой смысл имеет квадрат модуля волновой функции?

22.7. Какой вид имеет волновая функция, описывающая состояние частицы в бесконечно глубокой одномерной прямоугольной потенциальной яме? Чем различаются 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 последующих 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 Шрёдингера 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 атомных спектрах испускания и поглощения? Запишите формулы для серий Лаймана, Бальмера, Пашена, Брэккета, Пфунда. Как определить границы серий?

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

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

Задача 22.2. Частица, ускоренная разностью потенциалов U , имеет длину волны де Бройля, равную λ . Найти неизвестную величину или определить частицу.

Номер задания	Движущаяся частица	U , В	λ , Å
1	Электрон	1	?
2		10^2	?
3		10^3	?
4		10^4	?
5	Протон	?	0,064
6		?	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	α -Частица	5	?
14		10	?
15		50	?
16		100	?
17	Электрон	?	1,83
18		?	1
19		?	0,5
20		?	0,316
21	?	5	0,128
22	?	50	1,734
23	?	75	1,416
24	?	15	0,074
25	Протон	25	?
26		50	?
27		75	?
28		100	?

Задача 22.3. В опыте Дэвиссона и Джермера пучок электронов, ускоренных разностью потенциалов U , падал на поверхность монокристалла с постоянной решетки d и рассеивался поверхностью монокристалла таким образом, что дифракционные максимумы наблюдались под углами θ_m (θ_m – угол скольжения, m – порядок максимума). Под какими углами θ_m наблюдались первые четыре максимума для электронных пучков различных энергий и для различных монокристаллов, рассеивающих электронный пучок?

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

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 E , неопределенности в определении энергии и положения фотона — соответственно ΔE и Δx . Найти неизвестные величины. Проанализировать полученные результаты.

Номер задания	$\lambda, \text{Å}$	$\Delta\lambda, \text{Å}$	$\Delta t, \text{с}$	$E, \text{эВ}$	$\Delta E, \text{эВ}$	$\Delta x, \text{см}$
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	?	0,1
14	?	?	?	1	?	10
15	?	?	?	3	?	0,1
16	?	?	?	3	?	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 отверстия, пропускающего пучок электронов, равен d , длина пути электрона от отверстия до экрана – l . Рассчитать неопределенность в значении импульса Δp_y и неконтролируемое смещение Δy электронов на экране, связанное с неопределенностью определения координаты микрочастицы.

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

Задача 22.6. Пучок электронов с энергией E 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.

Номер задания	E , 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	?
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	0,016
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 находится в бесконечно глубокой одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l на n -м энергетическом уровне. Определить вероятность Δp нахождения частицы на расстоянии x_1 от левой стенки потенциальной ямы в интервале от x_1 до $x_1 + \Delta x$.

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

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

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

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 ΔE . Определить неизвестные величины или начальное и (или) конечное состояния электрона.

Номер задания	Начальное состояние	Конечное состояние	$\Delta\mu$, Дж/Тл	ΔE , эВ
1	$2p$	$1s$?	?
2	$4f$	$3d$?	?
3	$2p$	$5d$?	?
4	$3s$	$2p$?	?
5	?	?	$-9,6 \cdot 10^{-24}$	-1,9
6	?	?	$1,31 \cdot 10^{-23}$	-2,8
7	?	?	$-9,6 \cdot 10^{-24}$	-2,5
8	?	?	$1,31 \cdot 10^{-23}$	10,2
9	?		?	-12,8
10	?		?	-10,2
11	?	$1s$?	-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	?	?	$9,41 \cdot 10^{-24}$	1,14
22	?	?	$-1,31 \cdot 10^{-23}$	2,5
23	?	?	$-9,32 \cdot 10^{-24}$	-0,17
24	?	?	$-9,35 \cdot 10^{-24}$	-0,3
25	?		?	-3
26	?		?	-2,5
27	?	$2s$?	-1,9
28	?		?	-2,8

Задача 22.10. Рассчитать длины волн в спектре излучения атома водорода, соответствующие переходам, указанным в таблице. Определить длины волн, соответствующие границам серии.

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

Тема 23. Элементы физики твердого тела

Основные законы и формулы

Выражение Дебая для теплоемкости единицы объема:

$$C_{\text{об}} = \frac{\partial U}{\partial T} = 9nk \left(\frac{T}{\Theta} \right)^3 \int_0^{x_m} \frac{e^x x^4 dx}{(e^x - 1)^2}, \quad (23.1)$$

где n – число атомов в единице объема кристалла, т.е. концентрация атомов; k – постоянная Больцмана; $\Theta = \frac{\hbar\omega_m}{k}$ – характеристическая температура Дебая; $x_m = \frac{\hbar\omega_m}{kT}$, $x = \frac{\hbar\omega}{kT}$ – условные обозначения; ω_m , ω – соответственно максимальная частота и частота нормальных колебаний кристаллической решетки.

При $T \rightarrow 0$ ($x_m \rightarrow \infty$) в формуле (23.1)

$$\int_0^{\infty} \frac{e^x x^4 dx}{(e^x - 1)^2} = \frac{4\pi^4}{15}, \quad (23.2)$$

и с учетом того, что

$$nk = \rho \frac{N_A}{\mu} k = \frac{\rho R}{\mu},$$

где ρ – плотность кристалла; N_A – число Авогадро; $R = kN_A$ – универсальная газовая постоянная, формула (23.1) приобретает вид

$$C_{\text{об}} = \frac{12\pi^4 R \rho}{5\mu} \left(\frac{T}{\Theta} \right)^3. \quad (23.3)$$

Для единицы массы (удельная теплоемкость)

$$c = \frac{C_{\text{об}}}{\rho} = \frac{12\pi^4 R}{5\mu} \left(\frac{T}{\Theta} \right)^3. \quad (23.4)$$

Мольная теплоемкость кристалла при этих условиях

$$C = c\mu = \frac{12\pi^4 R}{5} \left(\frac{T}{\Theta} \right)^3. \quad (23.5)$$

В предельных случаях при $T \ll \Theta$ $C \sim T^3$ (закон « T^3 » Дебая), при $T \gg \Theta$ $C = 3R$ (закон Дюлонга и Пти).

Число нормальных колебаний dN_{ω} , приходящихся на единицу объема кристалла, с частотами в интервале от ω до $\omega + d\omega$

$$dN_{\omega} = \frac{\omega^2 d\omega}{2\pi^2} \left(\frac{1}{v_{\parallel}^3} + \frac{2}{v_{\perp}^3} \right), \quad (23.6)$$

где v_{\parallel} , v_{\perp} – фазовая скорость соответственно продольных и поперечных упругих волн.

Максимальная частота нормальных колебаний решетки при $v_{\parallel} = v_{\perp} = v$

$$\omega_{\text{max}} = v\sqrt[3]{6\pi^2 n}. \quad (23.7)$$

Распределение Бозе – Эйнштейна:

$$\langle n_i \rangle = \frac{1}{e^{\frac{E_i - \mu}{kT}} - 1}, \quad (23.8)$$

где $\langle n_i \rangle$ – среднее число бозонов, находящихся в состоянии с энергией E_i ; $\mu \leq 0$ – химический потенциал, определяемый из условия $\sum_i \bar{n}_i = N$.

Распределение Ферми – Дирака:

$$\langle n_i \rangle = \frac{1}{e^{\frac{E_i - \mu}{kT}} + 1}, \quad (23.9)$$

где $\mu = E_F$ – энергия уровня Ферми.

Функция распределения Ферми – Дирака с учетом принципа запрета Паули:

$$f(E) = \frac{1}{e^{\frac{E - E_F}{kT}} + 1}. \quad (23.10)$$

При $T = 0$

$$E_F(0) = \frac{\hbar^2}{2m} (3\pi^2 n)^{2/3}. \quad (23.11)$$

Термическому возбуждению в металле подвергаются электроны полосы энергий шириной порядка kT с энергетических уровней от $E_F - kT$ до E_F . Число таких уровней

$$\frac{kT}{\Delta E} = \frac{kTn}{2E_F}. \quad (23.12)$$

Доля электронов, перешедших на уровни с энергией, превышающей энергию уровня Ферми,

$$\frac{\Delta n}{n} \approx \frac{kT}{2E_F}. \quad (23.13)$$

Полное число свободных электронов в кристалле объемом V

$$N = nV = \int_0^{\infty} f(E)g(E)dE = \frac{8}{3}\pi V \frac{(2m)^{3/2}}{(2\pi\hbar)^3} (E_F(0))^{3/2}, \quad (23.14)$$

где $g(E)$ – плотность состояний, т.е. число состояний, приходящихся на единичный интервал энергий:

$$g(E) = 4\pi V \frac{(2m)^{3/2}}{(2\pi\hbar)^3} \sqrt{E}. \quad (23.15)$$

Собственная проводимость полупроводника

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{\Delta E}{2kT}}, \quad (23.16)$$

где ΔE – ширина запрещенной зоны.

Примесная проводимость полупроводника

$$\sigma = C_1 e^{-\frac{\Delta E}{2kT}} + C_2 e^{-\frac{\Delta E_{\text{пр}}}{2kT}}, \quad (23.17)$$

где $\Delta E_{\text{пр}}$ – энергия активации примесной проводимости.

Красная граница внутреннего фотоэффекта:
для собственных полупроводников

$$\nu_0 = \frac{\Delta E}{h}, \quad (23.18)$$

для примесных полупроводников

$$\nu'_0 = \frac{\Delta E_{\text{пр}}}{h}. \quad (23.19)$$

Работа выхода электрона из металла при $T = 0$

$$A_{\text{вых}} = |E_{\text{п}}| - E_F, \quad (23.20)$$

где $|E_{\text{п}}|$ – глубина потенциальной ямы.

Закон Бугулавского – Лэнгмюра (закон «трех вторых») для термоэлектронной эмиссии:

$$I_a = B U_a^{3/2}, \quad (23.21)$$

где I_a – термоэлектронный ток; B – коэффициент пропорциональности, зависящий от формы, размеров и взаимного расположения электродов; U_a – анодное напряжение.

Зависимость плотности тока насыщения термоэлектронной эмиссии от температуры:

$$j_{\text{нас}} = C T^2 e^{-A_{\text{вых}}/(kT)}, \quad (23.22)$$

где $C = 1,2 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{М}^2 \text{К}^2}$; $A_{\text{вых}}$ – работа выхода электрона из металла.

Внешняя контактная разность потенциалов при контакте двух металлов:

$$\Delta\varphi_{12} = \frac{A_{\text{вых}2} - A_{\text{вых}1}}{e}, \quad (23.23)$$

где $A_{\text{вых}1}$ и $A_{\text{вых}2}$ – работа выхода электрона соответственно из первого и второго металла; e – заряд электрона.

Внутренняя контактная разность потенциалов при контакте двух металлов:

$$\Delta\varphi'_{12} = \frac{E_{F2} - E_{F1}}{e}, \quad (23.24)$$

где E_{F1} , E_{F2} – энергия уровней Ферми соответственно в первом металле и во втором.

Контрольные вопросы и задания

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 Дебая? Поясните закон « T^3 » Дебая.

23.2. Какие колебания называют нормальными колебаниями системы? Чему равна максимальная частота нормальных колебаний решетки? Чему равна наименьшая длина волны, возбуждаемой 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. Что такое уровень Ферми? Чему равна вероятность нахождения электрона на этом уровне? Что такое плотность состояний? Чему она равна? Чему равна энергия уровня Ферми при $T = 0$? Как она зависит от температуры?

23.4. За счет чего осуществляется переход электронов на более высокие энергетические уровни? Какой вид имеет график функции распределения Ферми – Дирака при $T > 0$? Как можно оценить долю электронов, которые при определенной температуре имеют 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? Чему равна средняя дрейфовая скорость электронов в металле? Чему равна удельная электропроводность металла? Какими экспериментальными методами можно определить концентрацию свободных электронов в металле?

23.6. Чем различаются 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? Как рассчитать концентрацию носителей заряда в примесных полупроводниках 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 рассчитать?

23.9. Что такое работа выхода электрона из металла, потенциал выхода? В чем состоит явление термоэлектронной эмиссии? Сформулируйте закон Богуславского – Лэнгмюра (закон «трех вторых»). Запишите выражение зависимости тока насыщения от температуры и поясните его.

23.10. Что называется внешней контактной разностью потенциалов и внутренней? Чем обусловлено их возникновение? Как можно рассчитать их значения?

Задача 23.1. Определить количество теплоты Q , необходимое 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 2 3 4	Серебро	0,5	4 6 8 10	6 8 10 12	208
5 6 7 8	Алюминий	20	5 10 15 20	10 15 20 25	396
9 10 11 12	Аргон (в твердом состоянии)	0,3	4 4,5 5 5,5	4,5 5 5,5 6	92
13 14 15 16	Свинец	15	4 4,5 5 5,5	4,5 5 5,5 6	76
17 18 19 20	Хлористый натрий	10	4 8 12 16	8 12 16 20	320
21 22 23 24	Бериллий	0,4	10 20 30 40	20 30 40 50	1400
25 26 27 28	Медь	25	4 6 8 10	6 8 10 12	310

Задача 23.2. В кристалле химически простого вещества скорость распространения поперечных упругих 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 2 3 4	Одномерный кристалл (атомы цепочки колеблются вдоль прямой, на которой находятся)	–	3000	10^9 м^{-1} $5 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$ 10^{10} м^{-1} $2 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$
5 6 7 8	Двухмерный кристалл (атомы находятся в вершинах прямоугольных ячеек и колеблются в плоскости)	3000	3000	10^{19} м^{-2} $2,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-2}$ $5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-2}$ $7,5 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-2}$
9 10 11 12	Трехмерный кристалл (атомы находятся в вершинах прямоугольных кристаллических ячеек)	3000	3000	$1,25 \cdot 10^{29} \text{ м}^{-3}$ $5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$ $7,5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$ 10^{29} м^{-3}
13 14 15 16	Трехмерный кристалл	800 1200 1600 2000	2500 3200 3800 4300	$5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$
17 18 19 20	Бериллий	8830	12550	$1,23 \cdot 10^{29} \text{ м}^{-3}$
21 22 23 24	Серебро	1590	3600	$5,86 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$
25 26 27 28	Свинец	700	2160	$3,28 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$

Задача 23.3. Определить энергию и импульс электрона на уровне Ферми в металле, плотность которого равна ρ , считая, что на каждый атом металла приходится β свободных электронов, где β – число электронов на внешней оболочке отдельного атома элемента (экспериментально определенные значения β могут быть значительно ниже, например у алюминия – 2,2). Зависимостью энергии на уровне Ферми от температуры пренебречь.

Номер задания	Металл	ρ , кг/м ³	β
1	Алюминий	2698,9	3
2	Натрий	968,4	1
3	Ниобий	8570	1
4	Платина	21 450	1
5	Медь	8960	1
6	Тантал	16 600	2
7	Хром	7190	1
8	Калий	862	1
9	Вольфрам	19 300	2
10	Цинк	7140	2
11	Иридий	22 400	2
12	Железо	7874	2
13	Бериллий	1847,7	2
14	Молибден	10 200	1
15	Литий	534	1
16	Никель	8900	2
17	Бор	2340	3
18	Уран	18 950	2
19	Золото	19 320	1
20	Титан	4500	2
21	Ванадий	6110	2
22	Осмий	22 570	2
23	Торий	11 720	2
24	Кобальт	8900	2
25	Индий	7310	3
26	Серебро	10 500	1
27	Цезий	1870	1
28	Магний	1738	2

Задача 23.4. Считая энергию электронов на уровне Ферми в заданном металле равной E_F , определить долю электронов (в процентах), которые при нагревании металла от температуры $T=0$ до температуры T приобретут энергию, превышающую энергию уровня Ферми.

Номер задания	Металл	E_F , эВ	T , К
1 2 3 4	Медь	7	300 600 1000 1300
5 6 7 8	Золото	5,5	300 600 1000 1300
9 10 11 12	Кобальт	11,7	300 1000 1300 1700
13 14 15 16	Тантал	8,4	300 1000 1700 3000
17 18 19 20	Иридий	9,8	300 1000 1700 2500
21 22 23 24	Платина	6	300 1000 1700 2000
25 26 27 28	Вольфрам	9,2	300 1000 2000 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	$R_H, 10^{-11} \text{ м}^3/\text{К}$	$\rho, \text{ мкОм} \cdot \text{м}$	$E, \text{ В/м}$
1 2 3 4	Серебро	8,4	0,016	0,05 0,1 0,15 0,2
5 6 7 8	Медь	5,5	0,0172	0,1 0,12 0,14 0,16
9 10 11 12	Золото	7,2	0,024	10^{-4} 10^{-3} 10^{-2} 0,1
13 14 15 16	Натрий	25	0,049	$2,5 \cdot 10^{-3}$ $5 \cdot 10^{-3}$ $7,5 \cdot 10^{-3}$ 10^{-2}
17 18 19 20	Литий	17	0,06	$2 \cdot 10^{-4}$ $5 \cdot 10^{-4}$ $2 \cdot 10^{-3}$ $5 \cdot 10^{-3}$
21 22 23 24	Алюминий	4	0,028	0,02 0,04 0,06 0,08
25 26 27 28	Висмут	5000	1,065	0,1 0,2 0,3 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 ΔE , концентрация носителей заряда одного знака равна n , подвижность электронов и дырок — u_n и u_p соответственно. Зависимостью ширины запрещенной зоны от температуры пренебречь.

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

Задача 23.7. Во сколько раз в примесном полупроводнике изменится число примесных носителей заряда с энергией активации $\Delta E_{\text{пр}}$ 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	$\Delta E_{\text{пр}}$, 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 ΔE , примесной проводимости для данного легирующего вещества – $\Delta E_{\text{пр}}$. Красная граница внутреннего фотоэффекта – λ_0 . Найти неизвестную величину или определить легирующую примесь. Буквами d и a обозначены соответственно донорные и акцепторные примеси.

Номер задания	Полупроводник	Легирующий элемент	ΔE , эВ	$\Delta E_{\text{пр}}$, 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	Кремний Si	Литий Li (d)	–	0,033	?
6		Сурьма Sb (d)		0,039	?
7		Фосфор P (d)		0,044	?
8		Мышьяк As (d)		0,049	?
9	Кремний Si	Бор B (a)	–	0,045	?
10		Алюминий Al (a)		0,057	?
11		Галлий Ga (a)		0,065	?
12		Индий In (a)		0,16	?
13	Оксид меди Cu ₂ O	–	1,56	–	?
14	Сульфид свинца PbS		0,41		?
15	Арсенид галлия GaAs		1,43		?
16	Арсенид индия InAs		0,36		?
17	Кремний Si	? (d)	–	?	25,32
18		? (d)		?	31,81
19		? (a)		?	19,09
20		? (a)		?	21,77
21	Германий Ge	Литий Li (d)	–	0,0095	?
22		Сурьма Sb (d)		0,0096	?
23		Фосфор P (d)		0,012	?
24		Мышьяк As (d)		0,013	?
25	Германий Ge	Бор B (a)	–	0,01	?
26		Алюминий Al (a)		0,01	?
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 $A_{\text{вых}}$, от T_1 до T_2 сила тока насыщения термоэлектронной эмиссии увеличивается на $\beta\%$. Найти неизвестную величину.

Номер задания	$A_{\text{вых}}, \text{эВ}$	$T_1, \text{К}$	$T_2, \text{К}$	$\beta, \%$
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
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	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, концентрация свободных электронов в которых равна n_1 и n_2 соответственно, приводятся в контакт. Возникающая при этом внутренняя контактная разность потенциалов равна $\Delta\phi'_{12}$. Найти неизвестную величину.

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

Тема 24. Основы физики атомного ядра

Основные законы и формулы

Приближенное значение радиуса ядра:

$$r = 1,2 \cdot 10^{-15} A^{1/3} \text{ м}, \quad (24.1)$$

где A – массовое число (число нуклонов в ядре).

Дефект массы ядра ${}_Z X^A$

$$\Delta m = m_{\text{я}} - \{Zm_{\text{p}} + (A - Z)m_{\text{n}}\}. \quad (24.2)$$

Энергия связи

$$E_{\text{св}} = \Delta mc^2. \quad (24.3)$$

Закон радиоактивного распада:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (24.4)$$

где λ – постоянная распада.

Период полураспада ядер

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}. \quad (24.5)$$

Активность радиоактивного препарата

$$a = -\frac{dN}{dt} = \lambda N. \quad (24.6)$$

Среднее время жизни радиоактивного ядра

$$\tau = 1/\lambda. \quad (24.7)$$

Схема α -распада ядер:



Схемы β -распадов:

β^- -распад



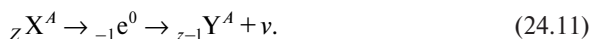
где $\tilde{\nu}$ – антинейтрино;

β^+ -распад



где ${}_{+1} e^0$ – позитрон; ν – нейтрино;

k -захват



Эффективное сечение ядерного взаимодействия

$$\sigma = \frac{1}{nd} \ln \frac{N_0}{N_d}, \quad (24.12)$$

где n – концентрация ядер мишени; N_0 – падающий поток частиц; N_d – поток, прошедший толщину d мишени.

Контрольные вопросы и задания

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 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) распад пионов и мюонов; б) обменное взаимодействие 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 содержанию в них изотопа углерода C^{14} .

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

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

Задача 24.3. Химически чистое вещество имеет атомную массу m_a . Оно состоит из двух изотопов с атомными массами m_{a1} и m_{a2} . Содержание первого изотопа в естественном веществе составляет $g_1\%$, второго – $g_2\%$. Найти неизвестные величины.

Номер задания	m_a , а.е.м.	m_{a1} , а.е.м.	m_{a2} , а.е.м.	g_1 , %	g_2 , %
1	?	14,0031	15,0001	?	0,365
2	50,9415	?	50,9439	0,24	?
3	40,08	41,5	?	?	98,7
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	7,016	7,5	?
11	107,868	?	108,9048	?	48,6
12	50,9415	49,9471	?	0,24	?
13	?	10,0129	11,0093	?	80,1
14	40,08	?	40,0613	1,3	?
15	12,011	12,0000	?	?	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	?	7,016	?	92,5
24	14,0067	14,0031	?	99,635	?
25	?	137,9069	138,906	?	99,911
26	12,011	?	13,0033	98,89	?
27	79,904	78,9183	?	?	49,46
28	?	84,9118	86,9092	72,15	?

Задача 24.4. 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	$? \rightarrow \mu^+ + \nu$	$n + p \rightleftharpoons ? + \pi^- + ? \rightleftharpoons p + n$
2	$\pi^0 \rightarrow ? + \gamma$	$p + n \rightleftharpoons ? + \pi^0 + n \rightleftharpoons p + n$
3	$\mu^+ \rightarrow ? + \nu + \tilde{\nu}$	$n + n \rightleftharpoons n + ? + n \rightleftharpoons n + n$
4	$? \rightarrow e^+ + e^- + e^+ + e^-$	$? + n \rightleftharpoons n + \pi^+ + n \rightleftharpoons n + ?$
5	$\mu^- \rightarrow ? + \nu + \tilde{\nu}$	$p + p \rightleftharpoons ? + \pi^0 + p \rightleftharpoons p + p$
6	$\pi^- \rightarrow ? + \tilde{\nu}$	$? + n \rightleftharpoons p + \pi^0 + n \rightleftharpoons ? + n$
7	$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma + ?$	$p + n \rightleftharpoons ? + \pi^+ + ? \rightleftharpoons n + p$
8	$\pi^0 \rightarrow ? + e^- + \gamma$	$n + ? \rightleftharpoons n + \pi^0 + n \rightleftharpoons ? + n$
9	$? \rightarrow e^+ + \nu + \tilde{\nu}$	$? + p \rightleftharpoons p + \pi^- + p \rightleftharpoons p + ?$
10	$\pi^+ \rightarrow ? + \nu$	$p + p \rightleftharpoons p + ? + p \rightleftharpoons p + p$
11	$\pi^0 \rightarrow e^+ + ? + \gamma$	$n + n \rightleftharpoons ? + \pi^0 + n \rightleftharpoons n + n$
12	$\mu^- \rightarrow e^- + \nu + ?$	$p + ? \rightleftharpoons p + \pi^0 + n \rightleftharpoons p + ?$
13	$? \rightarrow \gamma + \gamma$	$? + n \rightleftharpoons n + \pi^0 + n \rightleftharpoons n + ?$
14	$\mu^+ \rightarrow e^+ + ? + \tilde{\nu}$	$p + ? \rightleftharpoons n + \pi^+ + n \rightleftharpoons ? + p$
15	$\pi^- \rightarrow \mu^- + ?$	$p + n \rightleftharpoons p + ? + n \rightleftharpoons p + n$
16	$? \rightarrow \gamma + \gamma + \gamma$	$? + p \rightleftharpoons p + \pi^0 + p \rightleftharpoons p + ?$
17	$\pi^0 \rightarrow ? + e^+ + e^- + e^+$	$p + p \rightleftharpoons p + ? + p \rightleftharpoons p + p$
18	$? \rightarrow \mu^- + \tilde{\nu}$	$n + ? \rightleftharpoons p + \pi^- + p \rightleftharpoons ? + n$
19	$\mu^- \rightarrow e^- + ? + \tilde{\nu}$	$p + n \rightleftharpoons n + ? + n \rightleftharpoons n + p$
20	$\pi^0 \rightarrow ? + \gamma + \gamma$	$? + n \rightleftharpoons n + \pi^0 + n \rightleftharpoons n + ?$
21	$? \rightarrow e^+ + e^- + \gamma$	$n + n \rightleftharpoons n + \pi^0 + ? \rightleftharpoons n + n$
22	$\pi^0 \rightarrow e^+ + e^- + e^+ + ?$	$p + n \rightleftharpoons n + ? + n \rightleftharpoons n + p$
23	$? \rightarrow e^- + \nu + \tilde{\nu}$	$p + p \rightleftharpoons p + \pi^0 + ? \rightleftharpoons p + p$
24	$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + ?$	$p + n \rightleftharpoons p + \pi^0 + ? \rightleftharpoons p + n$
25	$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu + ?$	$n + p \rightleftharpoons p + ? + p \rightleftharpoons p + n$
26	$\pi^0 \rightarrow \gamma + ?$	$n + ? \rightleftharpoons p + \pi^- + p \rightleftharpoons ? + n$
27	$\pi^0 \rightarrow \gamma + ? + \gamma$	$p + ? \rightleftharpoons p + \pi^0 + p \rightleftharpoons ? + p$
28	$\pi^0 \rightarrow e^+ + e^- + ?$	$? + n \rightleftharpoons p + \pi^0 + n \rightleftharpoons ? + n$

Задача 24.5. В радиоактивном веществе с постоянной распада λ и периодом полураспада $T_{1/2}$ за время t распалось $k\%$ ядер от их первоначального количества. Среднее время жизни радиоактивного ядра равно τ . Найти неизвестные величины.

Номер задания	λ , лет ⁻¹	$T_{1/2}$, 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	?	34 625 лет
14	?	?	100 сут	43,75	?
15	0,1318	?	5 лет	?	?
16	?	?	?	51,71	5,5 года
17	$8,06 \cdot 10^{-3}$?	?	53,5	?
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 $T_{1/2}$ через время t . Проанализировать зависимость активности препарата от изменяющегося параметра. Считать, что все атомы изотопа радиоактивны.

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

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

Задача 24.8. Поток тепловых нейтронов, пройдя в заданном материале плотностью ρ расстояние d , ослабляется в k раз. Эффективное сечение реакции захвата нейтрона ядром атома мишени равно σ . Найти неизвестную величину.

Номер задания	Материал	ρ , кг/м ³	σ , барн	d , см	k
1	Алюминий	2699	?	79,4	3
2	Бериллий	1848	?	888,8	
3	Бор	2340	?	0,011	
4	Ванадий	6110	?	2,98	
5	Вольфрам	19 300	19,2	?	2
6	Железо	7874	2,53	?	
7	Индий	7310	190	?	
8	Иридий	22 400	430	?	
9	Магний	1738	0,063	10	?
10	Медь	8960	3,69		?
11	Молибден	10 200	2,4		?
12	Никель	8900	4,6		?
13	Ниобий	8570	?	6,1	1,5
14	Олово	7298	?	18,26	
15	Осмий	22 570	?	0,39	
16	Платина	21 450	?	0,76	
17	Плутоний	19 860	1025	?	50
18	Ртуть	13 546	38	?	
19	Серебро	10 500	62	?	
20	Тантал	16 600	21,3	?	
21	Титан	4500	5,8	6	?
22	Хром	7190	2,09		?
23	Цинк	7140	1,07		?
24	Цирконий	6510	0,18		?
25	Уран	18 950	?	1,88	2
26	Графит	2265	?	1357	
27	Сера	2000	?	37,67	
28	Калий (жидкий)	800	?	28,56	

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

Номер задания	Сокращенная форма записи ядерной реакции
1	${}_7\text{N}^{14} (? , p) {}_8\text{O}^{17}$
2	${}_1\text{H}^2 (d, n) ?$
3	${}_4\text{Be}^9 (d, 2\alpha) ?$
4	${}_3\text{Li}^6 (? , p) {}_3\text{Li}^7$
5	${}_4\text{Be}^9 (\alpha, ?) {}_6\text{C}^{12}$
6	${}_1\text{H}^2 (d, ?) {}_1\text{H}^3$
7	${}_{17}\text{Cl}^{35} (n, ?) {}_{16}\text{S}^{35}$
8	$? (p, \alpha) {}_2\text{He}^4$
9	$? (\alpha, n) {}_{15}\text{P}^{30}$
10	${}_1\text{H}^3 (d, n) ?$
11	${}_{26}\text{Fe}^{56} (d, ?) {}_{25}\text{Mn}^{54}$
12	${}_3\text{Li}^7 (? , n) 2 {}_2\text{He}^4$
13	${}_5\text{B}^{10} (\alpha, n) ?$
14	${}_1\text{H}^3 (\text{H}^3, 2n) ?$
15	${}_{42}\text{Mo}^{95} (? , n) {}_{43}\text{Tc}^{96}$
16	$? (d, \alpha) {}_2\text{He}^4$
17	${}_{12}\text{Mg}^{24} (d, \alpha) ?$
18	${}_2\text{He}^3 (? , p) {}_2\text{He}^4$
19	$? (p, n) {}_{50}\text{Sn}^{113}$
20	${}_{29}\text{Cu}^{65} (d, 2n) ?$
21	${}_3\text{Li}^7 (p, ?) {}_2\text{He}^4$
22	${}_2\text{He}^3 (? , 2p) {}_2\text{He}^4$
23	${}_{26}\text{Fe}^{54} (n, p) ?$
24	${}_{16}\text{S}^{32} (? , p) {}_{15}\text{P}^{32}$
25	${}_3\text{Li}^6 (p, ?) {}_2\text{He}^3$
26	${}_3\text{Li}^6 (n, \alpha) ?$
27	$? (p, \alpha) {}_{11}\text{Na}^{22}$
28	${}_7\text{N}^{14} (n, p) ?$

Задача 24.10. Определить возраст археологических находок из древесины (задания 1–14) или древней ткани (задания 15–28), если активность образцов по изотопу C^{14} составляет $k\%$ активности образцов из свежей древесины или современных аналогичных натуральных тканей. Период полураспада изотопа C^{14} равен 5730 лет.

Номер задания	$k, \%$
1	80
2	60
3	40
4	20
5	10
6	5
7	2
8	1
9	0,8
10	0,6
11	0,4
12	0,52
13	0,05
14	0,01
15	98
16	96
17	94
18	92
19	90
20	88
21	86
22	84
23	82
24	80
25	78
26	76
27	74
28	72

УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

1.1. Тело A поднимается на высоту h_A равнозамедленно, тело B , падая, пролетает расстояние h_B равноускоренно. В момент времени t_1 расстояние между телами равно h . Сумма этих трех высот равна высоте H .

1.2. Взять производные от координат по времени, приравнять их и из полученного уравнения найти время. Чтобы определить ускорения точек, надо взять вторые производные от координат по времени.

1.3. Из заданного закона изменения радиуса-вектора выразить $x = f(t)$ и $y = f(t)$. Решая эти уравнения совместно, исключить t и получить уравнение траектории в виде $y = f(x)$.

1.4. Из заданных законов изменения радиусов-векторов следует, что векторы ускорений направлены либо вдоль оси X , либо вдоль оси Y . Каждое задание сводится к определению угла между вектором скорости и одной из осей координат.

1.5. Если задан закон изменения ускорения, то скорость равна интегралу от ускорения в пределах от 0 до t_1 , а пройденный за это время путь – интегралу от скорости в тех же пределах (1.5).

1.6. Воспользоваться формулой (1.10).

1.7. Рассматривать движение мяча по горизонтали и вертикали независимо одно от другого. Поскольку сопротивление воздуха не учитывается, движение мяча по горизонтали является равномерным, а по вертикали – равноускоренным. Для обеих составляющих записать уравнения для скоростей и расстояний и решить их совместно.

1.8. Учесть, что тангенциальное ускорение постоянно, следовательно, производная от скорости по времени равна отношению скорости ко времени.

1.9. Использовать две формулы для модуля полного ускорения: (1.4) через проекции на оси координат и (1.9) через тангенциальную и нормальную составляющие.

1.10. Воспользоваться указанием к решению задачи 1.7.

2.1. Воспользоваться вторым законом Ньютона (2.1).

2.2. Взять производные от скорости по времени (1.3). Умножив на массы, приравнять полученные выражения и из этого уравнения найти время.

2.3. Когда аэростат опускается, сила сопротивления воздуха направлена в ту же сторону, что и подъемная сила, а когда поднимается – в противоположную.

2.4. Решить совместно уравнения для пути и скорости при равнозамедленном движении и для силы торможения (по второму закону Ньютона), выразив ускорение через скорость автомобиля до начала торможения.

2.5. При движении лифта вверх ускорение направлено в ту же сторону, что и сила натяжения, а при движении вниз – в ту же сторону, что и сила тяжести.

2.6. Записать второй закон Ньютона (2.1) в виде $m\vec{a} = \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$ для каждого тела системы, спроецировать каждое уравнение на направление движения тела, к которому оно относится, и решить эту систему уравнений.

2.7. Воспользоваться законом сохранения импульса (2.8), учитывая, что масса первой части разделившегося тела равна βm , а второй части – $(1-\beta)m$.

2.8. Учесть, что $s = s_1 + s_2$, где s_1 – расстояние, которое конькобежец проезжает до остановки равнозамедленно; s_2 – расстояние от места бросания до места, на которое падает камень. Для определения s_2 воспользоваться указанием к решению задачи 1.7.

2.9. Записать уравнение закона сохранения импульса в векторной форме (2.8), спроецировать его на ось, совпадающую с направлением движения платформы.

2.10. Сделать рисунок, из него найти $\Delta\vec{v}$ и учесть, что $\vec{F}\Delta t = m\Delta\vec{v}$.

3.1. Воспользоваться формулой для работы переменной силы как интеграла в пределах от t_1 до t_2 от произведения проекции силы на направление перемещения и скорости. Учесть, что мгновенная мощность равна производной от работы по времени (3.2).

3.2. Работа консервативной силы не зависит от формы траектории, поэтому можно воспользоваться формулой (3.1) для работы переменной силы как интеграла в пределах от x_1 до x_2 от проекции силы на направление перемещения.

3.3. Использовать теорему об изменении кинетической энергии (3.5).

3.4. Учесть, что тело, брошенное вертикально вверх, движется равнозамедленно.

3.5. Изменение потенциальной энергии равно работе консервативной силы, действующей на частицу (3.6). Сила, действующая на частицу в консервативном силовом поле, равна градиенту потенциальной энергии со знаком « \rightarrow » (3.7).

3.6. Потенциалом гравитационного поля называется физическая величина, равная отношению потенциальной энергии материальной точки в гравитационном поле к ее массе. Напряженностью гравитационного поля называется физическая величина, равная отношению силы, действующей в гравитационном поле на материальную точку, к ее массе. Напряженность гравитационного поля равна градиенту потенциала со знаком « \rightarrow ».

3.7. Учесть, что при неупругом соударении закон сохранения импульса замкнутой системы тел выполняется, а закон сохранения полной механической энергии не выполняется.

3.8. При абсолютно упругом соударении выполняется как закон сохранения импульса замкнутой системы тел, так и закон сохранения полной механической энергии.

3.9. Кинетическая энергия пули частично переходит в кинетическую энергию системы маятник – пуля, а оставшаяся – во внутреннюю энергию этой системы.

3.10. Учесть, что изменение полной механической энергии системы равно работе неконсервативных сил (3.8). В механике неконсервативной является только сила трения (сила сопротивления среды).

4.1. Если задан закон изменения углового ускорения, то угловая скорость равна интегралу от углового ускорения в пределах от 0 до t_1 , а угловое перемещение за это время – интегралу от угловой скорости в тех же пределах.

4.2. Учесть, что $\varphi = 2\pi l$ и $\omega = 2\pi v$.

4.3. Воспользоваться формулами, связывающими линейную скорость с угловой скоростью (4.3), тангенциальное ускорение с угловым ускорением (4.4) и нормальное ускорение с угловой скоростью (4.5).

4.4. Момент инерции системы равен сумме моментов инерции тел, составляющих систему. Для определения момента инерции некоторых тел необходимо применить теорему Штейнера (4.19).

4.5. Применить основной закон динамики тела, вращающегося вокруг неподвижной оси (4.20). Учесть, что угловое ускорение равно второй производной от углового положения по времени (4.2).

4.6. Записать второй закон Ньютона (2.1) в виде $m\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$ для каждого тела системы, движущегося поступательно, и основной закон динамики вращательного движения (4.20) для каждого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси. Решить эту систему уравнений, преобразовав уравнения движения вращающихся тел с учетом связи между кинематическими величинами при поступательном и вращательном движении (4.4).

4.7. Воспользоваться формулой (4.23) для работы момента силы, действующего на вращающееся тело, при его повороте на угол $\varphi_2 - \varphi_1$. Произвести замену переменных, взяв производную от углового положения по времени, выразив $d\varphi$ и изменив соответственно пределы интегрирования. Задачу можно решить другим способом, применив теорему об изменении кинетической энергии к вращательному движению твердого тела.

4.8. Учесть, что тело, которое закатывается по инерции на горку, останавливается в тот момент, когда кинетическая энергия катящегося тела (4.22) полностью перейдет в его потенциальную энергию.

4.9. Из формулы (4.8.) следует, что модуль момента импульса твердого тела относительно оси равен произведению радиуса-вектора на импульс ($\sin 90^\circ = 1$). С другой стороны, он равен произведению момента инерции на угловую скорость (4.10).

4.10. Применить закон сохранения момента импульса, учитывая, что момент импульса системы равен сумме моментов импульса тел, входящих в систему.

5.1. Сделать рисунок. Учесть, что сила инерции (5.1) по модулю равна равнодействующей сил тяжести и натяжения нити.

5.2. Центробежная сила инерции (5.2) по модулю равна центростремительной силе.

5.3. Учесть, что широта местоположения определяется углом между радиусами Земли, проведенными от центра Земли к расположенным на одном меридиане точкам местоположения и экватора.

5.4. Сложить два вектора скорости таким образом, чтобы результирующая скорость была направлена в заданном направлении.

5.5. Использовать формулу (5.7) сложения скоростей в специальной теории относительности.

5.6. Воспользоваться преобразованиями Лоренца (5.8), из которых следует, что линейный размер тела, движущегося относительно инерциальной системы отсчета, уменьшается в направлении движения.

5.7. Использовать формулу (5.9), 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. Воспользоваться формулой (5.10) для интервала между двумя событиями в виде

$$\Delta s = \sqrt{c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 - \Delta y^2 - \Delta z^2}.$$

5.9. Применить формулу (5.11) для релятивистского импульса частицы.

5.10. Применить формулу (5.12) для релятивистской массы частицы.

6.1. Использовать уравнение (6.2) состояния идеального газа (Менделеева – Клапейрона).

6.2. Учесть, что давление смеси газов равно сумме давлений каждого из газов в отдельности (6.3), а объем, занимаемый смесью газов, является общим.

6.3. Иметь в виду, что масса первого газа $m_1 = (1 - g / 100)m$, масса второго газа $m_2 = (g / 100)m$.

6.4. Использовать основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов (6.1).

6.5. Число степеней свободы молекул одноатомного, двухатомного и трехатомного газов различно, но число степеней свободы поступательного движения молекул во всех случаях одинаково.

6.6. Внутренняя энергия смеси газов равна сумме внутренних энергий каждого из газов в отдельности (6.5).

6.7. Если газ находится в закрытом сосуде, то его объем остается постоянным при любых изменениях других параметров.

6.8. Учесть, что молярные теплоемкости газов в процессах при постоянном объеме (6.10) и при постоянном давлении (6.11) различны.

6.9. Вычислив молярную массу газа, можно определить, о каком газе идет речь.

6.10. Количество теплоты, необходимое для нагревания смеси газов на ΔT , равно количеству теплоты, необходимому для нагревания на ΔT каждого из газов смеси в отдельности.

7.1. Воспользоваться указаниями к решению задачи 6.7.

7.2. Из уравнения изобарического процесса найти отношение конечной температуры газа к его начальной температуре и подставить это выражение в формулы для определения количества передаваемой газу теплоты, работы газа при его расширении и изменения его внутренней энергии.

7.3. Из уравнения изотермического процесса найти отношение начального объема газа к его конечному объему и подставить эту величину в формулу для работы газа при его расширении.

7.4. Применить первое начало термодинамики (7.1), учитывая, что внутренняя энергия газа (6.5) является функцией его состояния.

7.5. Из уравнения Пуассона (7.3) можно получить соотношение для параметров T и V при адиабатическом процессе, воспользовавшись уравнением (6.2) для начального и конечного состояний газа и разделив первое уравнение на второе:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1}.$$

7.6. Воспользоваться указаниями к решению предыдущей задачи. Определить показатель степени адиабаты для заданного газа. Учесть, что при расширении газа работа положительна, а при сжатии – отрицательна.

7.7. Обратит внимание на то, что в формулах для средней квадратичной скорости молекул (7.4) и для работы газа при изотермическом расширении есть целая группа одинаковых величин.

7.8. Из уравнения состояния идеального газа (6.2) выразить его плотность, а из нее – целую группу величин, входящих в формулы средней квадратичной (7.4), средней арифметической (7.5) и наиболее вероятной (7.6) скоростей.

7.9. Значение эффективного диаметра молекул газа взять из прил. 4.

7.10. Воспользоваться барометрической формулой (7.10).

8.1. Записать уравнения всех процессов, образующих цикл, и, решив систему этих уравнений, определить максимальную и минимальную температуры цикла, необходимые для определения КПД цикла Карно (8.3). Работу для определения КПД заданного цикла рассчитать как сумму работ в каждом из процессов.

8.2. Воспользоваться формулами для КПД тепловой машины, работающей по любому циклу (8.2) и по циклу Карно (8.3).

8.3. Учесть, что значения затраченной за цикл работы и количества отданной нагретому телу теплоты, которые даны в условии по модулю, отрицательны.

8.4. Записать для заданного процесса выражение для dQ согласно первому началу термодинамики и подставить полученное выражение в формулу изменения энтропии (8.6).

8.5. Так как $\Delta S = \int_{(1)}^{(2)} \frac{dQ}{T}$, а $\int_{(1)}^{(2)} dQ = m\lambda$ (температура $T_{\text{пл}}$ постоянна и может быть

вынесена за знак интеграла), то изменение энтропии при плавлении вещества $\Delta S = m\lambda/T_{\text{пл}}$, где m – масса вещества; λ , $T_{\text{пл}}$ – соответственно удельная теплота и температура плавления. Аналогично при парообразовании изменение энтропии $\Delta S = q_{\text{пар}}m/T_{\text{пар}}$, где $q_{\text{пар}}$, $T_{\text{пар}}$ – удельная теплота и температура парообразования. Значения этих величин взять из прил. 6 и 8.

8.6. Воспользоваться формулой Больцмана (8.10), связывающей энтропию S с термодинамической вероятностью Ω состояния.

8.7. Определить долю дополнительного давления и часть объема сосуда, недоступного для движения молекул, из уравнения Ван-дер-Ваальса (8.11). Постоянные Ван-дер-Ваальса взять из прил. 5.

8.8. Найти $T_{\text{пл}}$ из уравнения Менделеева – Клапейрона (6.2), $T_{\text{реал}}$ – из уравнения Ван-дер-Ваальса (8.11).

8.9. Учесть, что при расширении газа в пустоту работа против внешних сил не совершается. Уменьшение внутренней энергии реального газа (8.12) в этом случае равно работе против сил взаимодействия молекул.

8.10. Воспользоваться формулами (8.13) для критических параметров газа Ван-дер-Ваальса.

9.1. Выполнить рисунок, начертить векторы всех сил, действующих на q_1 , и их равнодействующую. Найти величины сил по закону Кулона (9.1).

9.2. Устойчивым является равновесие, при котором тело (заряженная частица), выведенное из положения равновесия, вновь возвращается в него.

9.3. Для заряженных кольца, полукольца и нити необходимо выделить элемент, который можно считать точечным зарядом, найти напряженность поля, создаваемого этим элементом (9.5), где F – сила Кулона (9.1), и проинтегрировать по всей длине заряженного тела. Широкое кольцо, диск и полусферу мысленно разбить на кольца. Считать напряженность поля, создаваемого узким заряженным кольцом, известной. Записать напряженность поля, создаваемого узким кольцом, и проинтегрировать по всей ширине широкого кольца, диска или по всей поверхности полусферы.

9.4. Заряженная частица, приближаясь к ядру атома, остановится тогда, когда ее кинетическая энергия полностью перейдет в потенциальную энергию взаимодействия частицы с ядром.

9.5. Работа сил поля по перемещению заряженной частицы идет на увеличение ее кинетической энергии. Учесть, что электростатическое поле, создаваемое двумя протяженными пластинами, равномерно.

9.6. Напряжённость электростатического поля равна градиенту потенциала со знаком « $-$ » (9.19).

9.7. Воспользоваться формулой (9.7) для потока вектора напряженности электростатического поля, учитывая, что напряженности полей, создаваемых различными телами, различны (формулы (9.9)–(9.14)).

9.8. Воспользоваться указанием к решению задачи 9.6. Учесть, что напряженности полей, создаваемых различными телами, различны (формулы (9.9)–(9.14)).

9.9. Электростатическое поле консервативно, поэтому работа сил поля по перемещению электрического заряда (9.20) равна изменению потенциальной энергии со знаком « $-$ » (3.6). Разность потенциалов можно найти из формулы связи напряженности поля в определенной точке с ее потенциалом (9.19).

9.10. Сделать рисунок, указать все силы, действующие на шарик. Учесть, что шарик находится в равновесии, когда равнодействующая сил тяжести и натяжения нити уравнивается силой электростатического поля, действующей на заряженный шарик. Величину этой силы можно определить, зная ее связь с напряженностью поля (9.5) и напряженность полей, создаваемых различными телами (формулы (9.9)–(9.14)).

10.1. Воспользоваться формулами для поляризуемости неполярной молекулы (10.2), диэлектрической восприимчивости вещества (10.4) и связи между диэлектрической восприимчивостью и диэлектрической проницаемостью диэлектриков (10.6). Для определения давления использовать основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов (6.1).

10.2. Диэлектрическую проницаемость вещества определить по формуле (10.5), электрическое смещение – по формуле (10.9) или (10.11), связь между диэлектрической восприимчивостью и диэлектрической проницаемостью диэлектриков – по формуле (10.6). Учесть, что поверхностная плотность σ' связанных зарядов на гранях диэлектрика равна поляризованности P диэлектрика, которую можно определить по формуле (10.7).

10.3. Для определения электрического смещения применить теорему Остроградского – Гаусса для электростатического поля в диэлектрике (10.10), после чего по формуле (10.11) определить диэлектрическую проницаемость каждого из диэлектриков.

10.4. Воспользоваться формулами (10.12) соотношений для нормальных и тангенциальных составляющих векторов напряженности электрического поля и электрического смещения на границе раздела двух диэлектриков.

10.5. Использовать метод зеркальных изображений, заключающийся в том, что сила взаимодействия физического тела с заземленной бесконечной металлической плоскостью равна силе взаимодействия с таким же телом, расположенным в месте его изображения, предполагая, что поверхность зеркальная.

10.6. Потенциал шара можно определить по формуле (9.19), зная напряженность поля, создаваемого заряженной поверхностью, емкость уединенного проводящего

шара – по формуле (10.14) или (10.15). Поверхностная плотность заряда проводника равна электрическому смещению вблизи его поверхности (10.17). Напряженность поля, создаваемого равномерно заряженной сферой в вакууме, вне сферы определяется по формуле (9.11), энергия электрического поля конденсатора – по формуле (10.21).

10.7. При соединении проводником заряженных металлических шариков их потенциалы становятся одинаковыми, суммарный заряд не изменяется, хотя часть заряда переходит с одного шарика на другой.

10.8. Количество теплоты, выделяемой при разряде конденсатора, равно энергии электрического поля конденсатора, определяемой по формуле (10.21). Емкость плоского конденсатора определяется по формуле (10.20).

10.9. Для вычисления работы воспользоваться формулой (3.6), энергии электрического поля конденсатора – формулой (10.21), емкости плоского конденсатора – формулой (10.19) или (10.20). Учесть, что заряд на обкладках конденсатора остается постоянным.

10.10. Рассчитать поэтапно по формулам (10.23) и (10.24) общую емкость участков, содержащих только параллельно или только последовательно соединенные конденсаторы.

11.1. Рассматривать движение заряженной частицы по горизонтали и вертикали независимо одно от другого, причем движение по горизонтали является равномерным, а по вертикали – равноускоренным. Поскольку действующая на частицу сила электростатического поля на 10 и более порядков больше силы тяжести, последней можно пренебречь.

11.2. Воспользоваться указаниями к решению задачи 11.1.

11.3. Заряд, проходящий через поперечное сечение проводника за время от t_1 до t_2 , определить интегрированием выражения для силы тока (11.1).

11.4. Чтобы расширить предел измерения амперметра, необходимо к нему параллельно подключить резистор, сопротивление которого мало. Для расширения предела измерения вольтметра к нему подключают последовательно резистор, сопротивление которого велико. Цена деления прибора равна отношению предельно допустимых силы тока или напряжения к числу делений на шкале прибора.

11.5. Определить участки, на которых напряжение одинаково, и те, на которых напряжение суммируется, а также участки, на которых сумма токов равна току от источника. Применить закон Ома (11.8)–(11.10). Можно применить законы Кирхгофа для электрических цепей.

11.6. КПД электрического нагревателя равен отношению количества теплоты, необходимой для нагревания воды до кипения, к затраченной для этого электрической энергии, выраженному в процентах.

11.7. Учесть, что сила тока в электрической цепи максимальна при коротком замыкании, а мощность максимальна при условии, что внешнее сопротивление цепи равно внутреннему сопротивлению источника тока.

11.8. Воспользоваться формулой (11.14) зависимости сопротивления металлов от температуры и законом Ома для замкнутой цепи (11.10) с учетом того, что сопротивлением источника тока можно пренебречь.

11.9. Использовать формулу (11.2) для определения величины плотности тока, учитывая, что в случае носителей зарядов обоих знаков плотности тока $j = qn(u_+ + u_-)E$.

11.10. Воспользоваться указаниями к решению задачи 11.9.

12.1. Записать выражение для модуля момента сил, действующих на контур с током в магнитном поле, используя формулу (12.3).

12.2. Выполнить рисунок. Сложить векторы индукции магнитного поля, создаваемого каждым из бесконечно длинных прямолинейных проводников, и найти модуль результирующего вектора индукции с учетом формулы (12.6).

12.3. Учесть, что согнутый под углом проводник следует рассматривать как два проводника, ограниченных с одной стороны, и использовать формулу (12.5).

12.4. Воспользоваться указаниями к решению задачи 12.2, но использовать формулу (12.7).

12.5. Учесть указания к решению задачи 12.2, но использовать формулу (12.8).

12.6. Мысленно разделить заданный контур на элементы, представляющие собой прямые и круговые проводники с током, и применить принцип суперпозиции полей.

12.7. Выполнить рисунок с контуром, соответствующим номеру задания. Применить закон полного тока (теорему о циркуляции вектора индукции) для магнитного поля в вакууме (12.9).

12.8. Использовать формулу (12.10) индукции магнитного поля внутри длинного соленоида. Учесть, что количество слоев катушки определяется отношением требуемой плотности катушки к реально возможной, причем последняя обратно пропорциональна диаметру проволоки.

12.9. Воспользоваться указаниями к решению задачи 12.8, выразив токи, проходящие по поверхностям цилиндра и оболочки, через плотности токов согласно формуле (11.3).

12.10. Мысленно разделить ленту на столь узкие кольца, чтобы каждое можно было считать круговым проводником с током, и проинтегрировать по всей длине ленты (задания 5–8, 17–20). При решении остальных вариантов заданий мысленно разделить ленту на столь узкие полосы, чтобы каждую можно было считать прямым проводником с током, и проинтегрировать по всей ширине ленты.

13.1. Использовать формулы для радиуса траектории (13.4) и периода обращения (13.5) заряженной частицы в однородном магнитном поле. Модуль момента импульса частицы определить из формулы (4.8), тангенциальное и нормальное ускорение материальной точки – по формулам (1.6) и (1.7) соответственно. Учесть, что если частица ускорится в электростатическом поле, то работа сил этого поля идет на увеличение ее кинетической энергии.

13.2. Воспользоваться указаниями к решению задачи 13.1. Определить шаг винтовой линии, по которой движется заряженная частица в магнитном поле, по формуле (13.6).

13.3. Учесть, что в данном случае сила Лоренца (13.3) является центростремительной силой.

13.4. Использовать формулу (13.7) для напряжения, возникающего в результате эффекта Холла между параллельными гранями пластины.

13.5. Воспользоваться указаниями к решению задачи 13.4, учитывая, что в полупроводнике n -типа основными носителями заряда являются электроны. Плотность тока можно определить по формуле (11.11), где коэффициент электропроводности (проводимость) полупроводника $\sigma = enu = 1 / \rho$.

13.6. Найти модуль силы Ампера из формулы (13.2), учитывая, что сила тока равна производной от заряда, прошедшего через поперечное сечения проводника, по времени (11.1).

13.7. Модуль момента сил, действующих на контур с током в магнитном поле, выразить из формулы (12.3). Площадь контура найти по известным длине проводника и форме контура.

13.8. Сделать рисунок. Из рисунка определить элементарную площадь dS , пересечаемую радиусом диска за время dt . Использовать формулу для потока вектора индукции магнитного поля $\Phi = \int_S \mathbf{B}_n dS$, подставив в нее полученное выражение для dS , и проинтегрировать в пределах от 0 до t .

13.9. Использовать формулу (3.1) для работы переменной силы, подставив в нее выражение (13.1) для силы Ампера для параллельных бесконечно длинных проводников с токами.

13.10. Получить выражение для элементарной работы перемещения контура с током в магнитном поле из формулы (13.10) и проинтегрировать его в пределах от Φ_1 до Φ_2 .

14.1. Использовать формулы для намагниченности (14.1), магнитной восприимчивости (14.2), связи между напряженностью магнитного поля и его индукцией в веществе (14.6) и между магнитной проницаемостью вещества и его магнитной восприимчивостью (14.7).

14.2. Применить закон полного тока для магнитного поля в веществе (14.5) и формулу (14.6) связи между напряженностью магнитного поля и его индукцией в веществе. Для узкого зора можно считать, что индукция магнитного поля в зазоре перпендикулярна к границам счлта.

14.3. Воспользоваться соотношениями между нормальными и тангенциальными составляющими индукции и напряженности магнитного поля на границе раздела двух магнетиков (14.8) и законом преломления линий магнитной индукции на границе раздела двух магнетиков (14.9).

14.4. Применить закон электромагнитной индукции (14.10). Для определения dS воспользоваться указаниями к решению задачи 13.8. Учесть, что производная от угла поворота по времени равна модулю угловой скорости (4.1).

14.5. Применить закон электромагнитной индукции (14.10), учитывая, что в данном случае поток индукции магнитного поля, пронизывающий контур, меняется при изменении углового положения φ контура при неизменном угле наклона α оси вращения к направлению силовых линий магнитного поля.

14.6. Как и в предыдущей задаче, поток индукции магнитного поля, пронизывающий контур, меняется при изменении углового положения $\varphi = \omega t = 2\pi\nu t$. Потокосцепление $\psi = N\Phi$.

14.7. Объемная плотность энергии магнитного поля – это энергия единицы объема. Энергию магнитного поля внутри соленоида можно определить по формуле (14.14), где индуктивность длинного соленоида $L = \mu_0 n^2 l S$.

14.8. Воспользоваться законом (14.16) убывания тока при размыкании цепи.

14.9. Плотность тока смещения можно определить по формуле (14.18), где $D = \sigma$. Если заряды на пластинах конденсатора не меняются, то поверхностная плотность зарядов, а следовательно, и электрическое смещение остаются постоянными. Если же разность потенциалов между пластинами остается постоянной, то

$$\sigma = \frac{q}{S} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S \Delta\varphi}{(d_0 + vt)S}$$

14.10. Воспользоваться третьим уравнением Максвелла в интегральной форме (14.19), в котором плотность тока определяется формулой (11.11), а электрическое смещение – формулой (10.11). Сумму плотностей токов проводимости и смещения найти с помощью векторов амплитуд.

15.1. Записать первое из уравнений (15.2), подставив в него заданные значения амплитуды и фазы. Циклическую частоту определить из формулы (15.9), максимальную скорость и ускорение колеблющейся точки – по формулам (15.3) и (15.4).

15.2. Возвести в квадрат уравнения для смещения x_1 и скорости v_1 и сложить их, предварительно разделив второе на ω^2 . Аналогичные действия произвести с уравнениями для смещения x_2 и скорости v_2 . Приравняв левые части полученных равенств, решить последнее уравнение.

15.3. Решить совместно уравнения для модуля силы упругости, полученного из формулы (15.5), и для периода колебаний пружинного маятника (15.10).

15.4. Использовать формулу (15.12) для периода колебаний физического маятника, учитывая, что момент инерции следует определять по теореме Штейнера (4.19).

15.5. Воспользоваться формулами (15.11) и (15.12) для периода колебаний соответственно математического и физического маятника.

15.6. Использовать формулу (15.8) для полной энергии гармонически колеблющейся материальной точки. Из формулы (15.5) выразить модуль силы упругости с учетом того, что сила максимальна при максимальном ускорении колеблющейся материальной точки.

15.7. Воспользоваться формулами потенциальной энергии гармонически колеблющейся материальной точки (15.6), ее кинетической (15.7) и полной (15.8) энергии.

15.8. Использовать формулу (15.16) связи циклической частоты электромагнитных колебаний в контуре с индуктивностью и емкостью контура. Учесть, что частота $\nu = c / \lambda$, где c – скорость света в вакууме.

15.9. Заряд на обкладках конденсатора меняется по гармоническому закону (15.14). Силу тока в колебательном контуре определить по формуле (11.1), разность потенциалов на обкладках конденсатора выразить из формулы (10.19), энергию электрического поля конденсатора вычислить по формуле (10.21), энергию магнитного поля соленоида – по формуле (14.14).

15.10. Воспользоваться указаниями к решению задачи 15.9.

16.1. Определить амплитуду результирующего колебания по формуле (16.1), начальную фазу результирующего колебания – по формуле (16.2).

16.2. Закон изменения амплитуды результирующих колебаний при биении описывает формула (16.4). Период биений $T_0 = 2\pi / \Delta\omega$.

16.3. Воспользоваться уравнением (16.5) траектории движущейся точки, участвующей одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях одинаковой частоты.

16.4. Использовать формулы логарифмического декремента затухания (16.10), периода колебаний математического маятника (15.11) и связи времени релаксации с коэффициентом затухания (16.9).

16.5. Найти натуральный логарифм отношения A_1 к A_2 . Воспользоваться формулой (16.11) связи логарифмического декремента затухания с коэффициентом затухания и периодом колебаний. Использовать формулы (16.13) и (16.14) добротности колебательной системы.

16.6. Воспользоваться формулами логарифмического декремента затухания (16.10), добротности электрического колебательного контура (16.19) и связи добротности колебательного контура с логарифмическим декрементом затухания (16.14).

16.7. Выразить относительную убыль энергии в контуре за промежуток времени Δt через амплитуды в моменты времени t и $t + \Delta t$ с учетом того, что энергия пропорциональна квадрату амплитуды колебаний. Использовать формулу Томсона (15.15) для периода гармонических электромагнитных колебаний в идеальном колебательном контуре и формулу (16.11) связи логарифмического декремента затухания с коэффициентом затухания и периодом колебаний.

16.8. Использовать формулу амплитуды вынужденных колебаний (16.16) с учетом того, что $\omega_0 = k / m$.

16.9. Амплитуду при резонансе можно определить по формуле

$$A = \frac{F_0}{2m\beta\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}.$$

Поскольку $\beta \ll \omega_0$, величиной β можно пренебречь. Коэффициент жесткости пружины найти из условия равновесия пружинного маятника.

16.10. При $\beta \ll \omega_0$ можно считать резонансную частоту $\omega_{\text{рез}} = \omega_0$. При этом $q_{\text{рез}} = \varepsilon_m / (\omega_{\text{рез}} R)$, $I_{\text{рез}} = \varepsilon_m / R$ и $U_{C \text{ рез}} = \varepsilon_m / (\omega_{\text{рез}} CR)$. Добротность контура можно определить по формуле (16.19) и по формуле $Q = U_{C \text{ рез}} / \varepsilon_m$.

17.1. Фазовая скорость волны $c = \lambda / T = \lambda \nu$, скорость колеблющихся частиц воздуха $v = d\xi / dt$.

17.2. Учесть, что фронт волны продвигается с фазовой скоростью.

17.3. Фазой колебания называется выражение в скобках под знаком косинуса в формуле (17.4). Волновое число определить по формуле (17.6).

17.4. Использовать уравнение стоячей волны (17.7).

17.5. Воспользоваться указаниями к решению задачи 17.4. Учесть, что при отражении волны от более плотной среды происходит потеря половины длины волны.

17.6. Использовать формулы скорости электромагнитной волны в однородной и изотропной среде (17.11) и связи между напряженностями электрического и магнитного полей электромагнитной волны (17.12).

17.7. Использовать уравнение (17.13) волнового пакета с учетом того, что $\omega_1 = \omega_0 - \Delta\omega$, $\omega_2 = \omega_0 + \Delta\omega$, $k_1 = k_0 - \Delta k$, $k_2 = k_0 + \Delta k$.

17.8. Воспользоваться формулой (17.14) связи между групповой и фазовой скоростями волны, где дисперсия волны $D = dv / d\lambda$.

17.9. Использовать выражение для вектора Умова – Пойнтинга (17.17) и формулу (17.12) связи между напряженностями электрического и магнитного полей электромагнитной волны. Учесть, что среднее за период значение квадрата косинуса аргумента равно $1/2$.

17.10. Применить формулу (17.18) связи потока энергии волны, проходящей через поверхность, с вектором Умова – Пойнтинга. Учесть, что $W = \Phi_{\text{п}} \tau$ и при $\tau \ll T$ можно использовать среднее значение вектора Умова – Пойнтинга. Воспользоваться указаниями к решению задачи 17.9.

18.1. Использовать формулу (18.9) для ширины интерференционных полос.

18.2. Воспользоваться указаниями к решению задачи 18.1.

18.3. Выполнить рисунок. Иметь в виду, что угол ϕ – это угол, на который второе зеркало отклонено от плоскости первого. При этом угол между двумя мнимыми источниками равен 2ϕ и расстояние между ними $d = 2r \sin\phi$.

18.4. Учесть, что оптическая разность хода лучей изменяется, поскольку расстояние d один луч проходит в воздухе, а другой – в пластинке с показателем преломления n .

18.5. Использовать формулы для условий интерференционных максимумов (18.7) и минимумов (18.8) интенсивности света в точке наблюдения. Учесть потерю половины длины волны при отражении от оптически более плотной среды.

18.6. Воспользоваться указаниями к решению задачи 18.5.

18.7. Выполнить рисунок. Построить в тонкой клинообразной пластинке ход лучей, приводящих к возникновению двух соседних максимумов. Записать условия этих максимумов с учетом потери половины длины волны при отражении от оптически более плотной среды и решить полученную систему уравнений.

18.8. Воспользоваться указаниями к решению задачи 18.7, имея в виду, что в данном случае интерференция возникает на воздушном клине.

18.9. Выполнить рисунок. Найти оптическую разность хода двух лучей с учетом потери половины длины волны и приравнять ее к условию минимума или максимума в соответствии с номером задания. Ширину клина между линзой и пластинкой в месте нахождения кольца найти по теореме Пифагора из треугольника, образованного радиусами кривизны линзы, проведенными от центра кривизны к точке касания с пластинкой и к точке падения луча на выпуклую поверхность линзы, и радиусом кольца.

18.10. Учесть, что луч проходит кювету с веществом дважды. Найти дополнительную разность хода и приравнять ее к $m\lambda$.

19.1. Использовать формулу (19.2) для радиуса зон Френеля. Слагаемым, содержащим $(\lambda/2)^2$, можно пренебречь.

19.2. Выполнить рисунок, показать на нем разность хода. Применить теорему Пифагора. Воспользоваться указаниями к решению задачи 19.1.

19.3. Учесть, что последний максимум наблюдается, когда в отверстии укладывается одна зона Френеля, последний минимум – когда две зоны.

19.4. При перемещении диафрагмы с отверстием от источника к точке наблюдения до середины этого расстояния число зон Френеля, которое укладывается в отверстие, уменьшается, а после середины начинает увеличиваться. В связи с этим следует определить, сколько зон Френеля укладывается в отверстие при расположении диафрагмы на расстоянии a_1 от источника света, а затем расчитать все расстояния, на которых наблюдаются минимумы, и сосчитать их количество от a_1 до a_2 .

19.5. Воспользоваться указаниями к решению задачи 19.2. Учесть, что разность хода лучей от границ зоны Френеля равна $\lambda/2$. Применить теорему Пифагора. Величинами a^2 и $(\lambda/2)^2$ по сравнению с b^2 можно пренебречь.

19.6. Использовать условия дифракционных максимумов (19.7) и минимумов (19.8) при дифракции Фраунгофера на щели.

19.7. Выполнить рисунок. Воспользоваться условием минимумов при дифракции Фраунгофера на щели (19.8). Найти тангенс угла дифракции из рисунка и решить эти уравнения совместно.

19.8. Выполнить рисунок. Воспользоваться условием главных максимумов при дифракции Фраунгофера на дифракционной решетке (19.9). Найти тангенс угла дифракции из рисунка и решить эти уравнения совместно.

19.9. Воспользоваться формулами угловой дисперсии спектрального прибора (19.12), его разрешающей способности (19.13) и формулой связи разрешающей способности с числом щелей дифракционной решетки (19.14).

19.10. Использовать условие дифракционных максимумов при дифракции на пространственной решетке (19.15).

20.1. Использовать закон Брюстера (20.2). Учесть, что предельным углом падения луча при его прохождении из более плотной среды в менее плотную называется угол падения, при котором преломленный луч скользит по поверхности раздела двух сред. При угле падения больше предельного преломленный луч отсутствует, т.е. наблюдается полное внутреннее отражение.

20.2. Применить закон Малюса (20.3) для идеальных поляризатора и анализатора, имея в виду, что $I_p = I_0 / 2$.

20.3. Использовать закон Малюса (20.4) для интенсивности света, прошедшего реальные (несовершенные) поляризатор и анализатор.

20.4. Воспользоваться указаниями к решению задачи 20.2. Учесть, что при отражении от зеркала плоскость поляризации не меняется, а изменится только интенсивность света, поэтому при обратном прохождении света через второй николю (теперь он стал первым) плоскость поляризации остается той же.

20.5. Воспользоваться уравнением (16.5) траектории движущейся точки, участвующей одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях одинаковой частоты, применив его к концу результирующего вектора напряженности E электрического поля. При сложении взаимно перпендикулярных колебаний векторов E_1 и E_2 уравнение (16.5) примет вид

$$\frac{E_1^2}{A_1^2} + \frac{E_2^2}{A_2^2} - \frac{2E_1E_2}{A_1A_2} \cos \delta\varphi = \sin^2 \delta\varphi.$$

20.6. Обыкновенный и необыкновенный лучи, распространяющиеся в одноосном кристалле при падении на него линейно поляризованного света, когерентны между собой. Четвертьволновая пластинка, толщина которой удовлетворяет условию $d(n_o - n_e) = \pm(m + 1/4)\lambda_0$, где $m = 0, 1, 2, \dots$ (знак «+» соответствует оптически отрицательному кристаллу, знак «-» — оптически положительному), создает между обыкновенным и необыкновенным лучами разность фаз, равную $\pi / 2$.

20.7. Воспользоваться указаниями к решению задачи 20.6. Записать для $d\Delta n_1$ условие максимума, а для $d\Delta n_2$ — условие минимума и решить эти уравнения совместно.

20.8. Использовать выражения (20.5) для разности хода и разности фаз, возникающих между обыкновенным и необыкновенным лучами при прохождении света через ячейку Керра.

20.9. Применить формулу (20.6) для угла поворота плоскости поляризации света при прохождении им пути l в оптически активном растворе, учитывая, что α изменяется по линейному закону $\alpha = b - k\lambda$.

20.10. Воспользоваться выражением (20.1) для степени поляризации света и формулами Френеля (20.7) для интенсивности колебаний светового вектора, совершаю-

щихся в направлениях, перпендикулярном к плоскости падения света и параллельном плоскости падения света, в отраженном и преломленном лучах.

21.1. Использовать формулу энергетической светимости (21.1) и закон Стефана – Больцмана (21.10), считая, что энергетическая светимость со временем не изменяется и излучение из смотрового окошка плавильной печи близко к излучению абсолютно черного тела.

21.2. Найти энергию, излучаемую всей поверхностью Солнца по всем направлениям за заданное время, и энергию, получаемую за это время единицей площади на заданном расстоянии. Затем определить энергию, получаемую за это время любой площадью на указанном расстоянии.

21.3. Использовать закон Стефана – Больцмана (21.10), учитывая, что мощность лампы равна энергии, излучаемой в единицу времени, и излучение нити составляет $k\%$ излучения абсолютно черного тела.

21.4. Воспользоваться законом смещения Вина (21.11). Значение постоянной Вина взять из прил. 20.

21.5. Найти отношение $(r_{\lambda,T})_1 / (r_{\lambda,T})_2$, используя формулу Планка (21.12).

21.6. Использовать формулы энергии (21.13) и массы (21.15) фотона, учитывая, что $v = c / \lambda$.

21.7. Применить уравнение Эйнштейна (21.16) для внешнего фотоэффекта с учетом выражения (21.17) для работы выхода электрона из металла.

21.8. Воспользоваться указаниями к решению задачи 21.7. Применить также формулу (21.18) для задерживающего напряжения.

21.9. Использовать формулы давления света на поверхность (21.19) и энергии фотона (21.13) с учетом того, что объемная плотность энергии падающего излучения $w = En$, а концентрация фотонов $n = N / \Delta V = N / (Sc\Delta t)$.

21.10. Применить закон Комптона (21.20), выразив длину волны через энергию фотона из формулы $E = hv = hc / \lambda$.

22.1. Воспользоваться правилом квантования момента импульса (22.1). Учесть, что сила взаимодействия ядра и электрона в данном случае является центростремительной. Иметь в виду, что работа ионизации $A_{и} = e\varphi_{и}$ равна работе, которую необходимо совершить, чтобы удалить электрон из атома.

22.2. Использовать формулу де Бройля (22.6). Учесть, что если частица ускоряется в электростатическом поле, то работа сил этого поля идет на увеличение ее кинетической энергии.

22.3. Воспользоваться формулой де Бройля (22.6). Учесть, что при дифракции электронов условия максимумов совпадают с условиями (19.15) дифракционных максимумов при дифракции рентгеновских лучей на пространственной решетке.

22.4. Использовать соотношения неопределенностей Гейзенберга для координаты и импульса (22.7), а также для энергии и времени (22.8).

22.5. Использовать соотношения неопределенностей Гейзенберга (22.7) для координаты и импульса. Принять неопределенность координаты электрона при формировании электронного пучка равной диаметру пучка.

22.6. Воспользоваться формулой (22.14) для относительной плотности вероятности проникновения частицы на расстояние x сквозь потенциальный барьер.

22.7. Использовать выражение (22.12) для волновой функции, описывающей стационарное состояние частицы в бесконечно глубокой одномерной прямоугольной потенциальной яме. Учесть, что квадрат модуля волновой функции имеет смысл плотности вероятности нахождения частицы в элементарном объеме dV .

22.8. Применить формулу (22.13) для собственных значений энергии частицы, находящейся в бесконечно глубокой одномерной прямоугольной потенциальной яме.

22.9. Использовать формулы для разрешенных значений энергии электрона в атоме водорода (22.3), орбитального магнитного момента электрона в атоме (22.19) с учетом правила отбора (22.16).

22.10. Воспользоваться формулой Бальмера (22.5) для спектральных серий атома водорода. Значение постоянной Ридберга взять из прил. 20.

23.1. Использовать формулу (23.5) для мольной теплоемкости кристалла, считая, что условие $T \ll \Theta$ выполняется.

23.2. Максимальную частоту нормальных колебаний решетки в случае $v_{\parallel} = v_{\perp} = v$ определить по формуле (23.7), в общем случае – по формуле

$$\int_0^{x_m} \frac{\omega^2 d\omega}{2\pi^2} \left(\frac{1}{v_{\parallel}^3} + \frac{2}{v_{\perp}^3} \right) = 3n,$$

характеристическую температуру Дебая – по формуле $\Theta = \hbar\omega_m / k$.

23.3. Энергию уровня Ферми определить по формуле (23.11). Для определения импульса электронов воспользоваться формулой связи энергии и импульса $E = p^2 / (2m)$.

23.4. Учесть, что термическому возбуждению в металле подвергаются электроны полосы энергии шириной порядка kT с энергетических уровней от $E_F - kT$ до E_F (формула (23.12)). Тогда долю электронов, перешедших на уровни с энергией, превышающей энергию уровня Ферми, можно определить по формуле (23.13).

23.5. Использовать формулу для энергии уровня Ферми (23.11) с учетом того, что постоянная Холла $R_H = 1 / (ne)$. Для определения дрейфовой скорости электронов воспользоваться законом Ома в дифференциальной форме (11.11), где $j = env$, $\sigma = 1 / \rho$.

23.6. Воспользоваться формулой (23.16) для собственной проводимости полупроводника с учетом того, что $j = \sigma E = en(u_n + u_p)E$. Считать, что концентрации электронов и дырок равны.

23.7. Использовать формулу (23.17) для примесной проводимости полупроводника, имея в виду, что при заданных значениях температуры собственной проводимостью полупроводника можно пренебречь.

23.8. Определить красную границу внутреннего фотоэффекта для собственного полупроводника по формуле (23.18), для примесного полупроводника – по формуле (23.19), учитывая, что $v = c / \lambda$.

23.9. Воспользоваться формулой (23.22) зависимости плотности тока насыщения термоэлектронной эмиссии от температуры.

23.10. Использовать формулы для внутренней контактной разности потенциалов при контакте двух металлов (23.24) и для энергии уровня Ферми (23.11).

24.1. Учесть, что зарядовое число определяется числом протонов в ядре, массовое число – суммарным числом протонов и нейтронов. Зарядовое число определяет принадлежность ядра данному химическому элементу. Приблизительный радиус ядра химического элемента определить по формуле (24.1), удельную энергию связи – по формулам (24.2) и (24.3), имея в виду, что удельная энергия связи – это энергия связи, приходящаяся на один нуклон.

24.2. Воспользоваться указаниями к решению задачи 24.1.

24.3. Учесть, что сумма $m_{a1}g_1 / 100$ и $m_{a2}g_2 / 100$ равна m_a .

24.4. Использовать законы сохранения заряда, числа нуклонов, а также закон сохранения лептонного заряда, согласно которому должно сохраняться как число частиц, так и число античастиц.

24.5. Воспользоваться законом радиоактивного распада (24.4) и формулой для периода полураспада ядер (24.5).

24.6. Использовать формулу (24.6) для активности радиоактивного препарата.

24.7. Основываясь на схемах α -распада (24.8) и β^- -распада (24.9) ядер, подсчитать массовое и зарядовое числа вновь образовавшегося ядра.

24.8. Применить формулу (24.12) для эффективного сечения ядерного взаимодействия.

24.9. Воспользоваться указаниями к решению задач 24.1 и 24.4.

24.10. Использовать формулу (24.6) для активности радиоактивного препарата.

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

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

Номер задания	1.4	
1 2 3 4	$\operatorname{tg}\alpha = \frac{B}{2At}$	83° 76° 69,4° 63,4°
5 6 7 8	$\operatorname{tg}\alpha = \frac{A}{2Bt}$	7° 14° 20,5° 26,6°
9 10 11 12	$\operatorname{tg}\alpha = \frac{B}{2At}$	45 ° 26,6° 18,4° 14°
13 14 15 16	$\operatorname{tg}\alpha = \frac{A}{2Bt}$	56,3° 36,8 ° 26,6° 20,5°
17 18 19 20	$\operatorname{tg}\alpha = \frac{B}{2At}$	53,1° 45° 38,6° 33,7°
21 22 23 24	$\operatorname{tg}\alpha = \frac{A}{2Bt}$	38,6° 21,8° 14,9° 11,3°
25 26 27 28	$\operatorname{tg}\alpha = \frac{B}{2At}$	45° 63,4° 71,6° 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/с ² ;	0,28 м/с ² ;	4,55 м/с ² ;	86,7 см
2	3 м/с ²	7,21 м/с ² ;	3,58 м/с ² ;	6,26 м/с ² ;	86,4 см
3	1,5 с	9,88 м/с ² ;	7,92 м/с ² ;	5,9 м/с ² ;	2 м
4	2	12,554 м/с ² ;	11,53 м/с ² ;	4,97 м/с ² ;	5,95 м
5	1,8 м	6,46 м/с ² ;	6 м/с ² ;	2,4 м/с ² ;	2,82 м
6	0,5 м/с ²	9,37 м/с ² ;	7,74 м/с ² ;	5,28 м/с ² ;	2,95 м
7	0,4 с	20,116 м/с ² ;	18,35 м/с ² ;	8,24 м/с ² ;	12,77 м
8	4	24,74 м/с ² ;	23,3 м/с ² ;	8,3 м/с ² ;	25 м
9	0,7 м	7,473 м/с ² ;	0,19 м/с ² ;	7,470 м/с ² ;	2,11 м
10	2 м/с ²	9,81 м/с ² ;	4,62 м/с ² ;	8,65 м/с ² ;	2,24 м
11	1 с	12,166 м/с ² ;	9,26 м/с ² ;	7,9 м/с ² ;	4,31 м
12	0,75	14,54 м/с ² ;	13 м/с ² ;	6,5 м/с ² ;	9,96 м
13	54,86 см	10,85 м/с ² ;	6,35 м/с ² ;	8,79 м/с ² ;	2,7 м
14	0,4 м/с ²	11,74 м/с ² ;	8,3 м/с ² ;	8,3 м/с ² ;	3,78 м
15	2 с	12,64 м/с ² ;	9,98 м/с ² ;	7,76 м/с ² ;	5,49 м
16	0,35	13,54 м/с ² ;	11,5 м/с ² ;	7,19 м/с ² ;	8,03 м
17	9,6 см	3,31 м/с ² ;	3,035 м/с ² ;	1,32 м/с ² ;	15,6 см
18	1 м/с ²	4,63 м/с ² ;	4,33 м/с ² ;	1,64 м/с ² ;	40,8 см
19	1,2 с	6,05 м/с ² ;	5,78 м/с ² ;	1,8 м/с ² ;	97,3 см
20	0,2	7,52 м/с ² ;	7,28 м/с ² ;	1,9 м/с ² ;	2,06 м
21	1,63 м	5 м/с ² ;	4,715 м/с ² ;	1,66 м/с ² ;	48,9 м
22	1,5 м/с ²	3,69 м/с ² ;	3,16 м/с ² ;	1,9 м/с ² ;	13,47 м
23	0,5 с	2,41 м/с ² ;	1,41 м/с ² ;	1,95 м/с ² ;	3,92 м
24	1	1,265 м/с ² ;	0,4 м/с ² ;	1,2 м/с ² ;	3,33 м
25	4,05 м	3,354 м/с ² ;	3,19 м/с ² ;	1,04 м/с ² ;	24,6 м
26	3,5 м/с ²	3,424 м/с ² ;	3,23 м/с ² ;	1,12 м/с ² ;	25,8 м
27	1,6 с	3,5 м/с ² ;	3,29 м/с ² ;	1,2 м/с ² ;	27,1 м
28	2,5	3,58 м/с ² ;	3,34 м/с ² ;	1,28 м/с ² ;	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	100 кг	3,65 с;	35,5 м	3,92 м/с ² ;	27,44 Н
2	6,5 Н	4 с	74,3 м ³	4,86 с;	47,25 м	5,88 м/с ² ;	31,36 Н
3	1,25 с	1 с	20 кг	6,08 с;	59,1 м	7,84 м/с ² ;	35,28 Н
4	0,25 Н	2 с	1100 Н	7,29 с;	70,9 м	9,8 м/с ² ;	39,2 Н
5	2 кг	6 с	0,9 кг/м ³	6670 Н;	41,67 м	3,92 м/с ² ;	11,76 Н
6	1,5 с	3 с	150 кг	8890 Н;	55,55 м	5,88 м/с ² ;	7,84 Н
7	0,2 кг	5 с	99 м ³	11 111 Н;	69,44 м	7,84 м/с ² ;	3,92 Н
8	9,1 Н	1 с	15,3 кг	13 333 Н;	83,33 м	9,8 м/с ² ;	0
9	2 Н	2 с	1250 Н	8,33 с;	69,4 м	2,45 м/с ² ;	12,25 Н
10	2 с	5 с	1 кг/м ³	11,11 с;	123,4 м	4,9 м/с ² ;	14,7 Н
11	4 с	7 с	120 кг	13,89 с;	193 м	7,35 м/с ² ;	17,15 Н
12	1 кг	3 с	76,8 м ³	16,67 с;	278 м	9,8 м/с ² ;	19,6 Н
13	1,4 Н	1 с	10 кг	6670 Н;	44,45 м	2,45 м/с ² ;	7,35 Н
14	3 с	5 с	1400 Н	7780 Н;	44,45 м	4,9 м/с ² ;	4,9 Н
15	7,6 Н	2 с	1,1 кг/м ³	8890 Н;	44,45 м	7,35 м/с ² ;	2,45 Н
16	0,3 кг	6 с	200 кг	10 000 Н;	44,45 м	9,8 м/с ² ;	0
17	2,5 с	4 с	123,75 м ³	18 817 Н;	3,1 с	6,86 м/с ² ;	8,33 Н
18	1,75 Н	1 с	10,3 кг	31 250 Н;	2,4 с	7,84 м/с ² ;	8,82 Н
19	1,5 кг	7 с	1600 Н	46 770 Н;	1,96 с	8,82 м/с ² ;	9,31 Н
20	0,1 кг	3 с	0,8 кг/м ³	65 261 Н;	1,66 с	9,8 м/с ² ;	9,8 Н
21	1,5 с	2 с; 6 с	80 кг	14 814 Н;	2,25 с	6,86 м/с ² ;	1,47 Н
22	4 с	2 с	118,64 м ³	7407 Н;	4,5 с	7,84 м/с ² ;	0,98 Н
23	4 кг	1 с; 5 с	16,3 кг	4938 Н;	6,75 с	8,82 м/с ² ;	0,49 Н
24	4,81 Н	1 с; 4 с	1300 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	1 с; 7 с	4,9 кг	12,5 с;	156,25 м	4,9 м/с ² ;	58,8 Н

Номер задания	2.6			
1	$a = g \frac{m_1(\sin \alpha_1 - k_1 \cos \alpha_1) - m_2 k_2}{m_1 + m_2}$	2,1 М/с ² ;	3,56 Н	
2		3,1 М/с ² ;	4,6 Н	
3		4,0 М/с ² ;	5,5 Н	
4		4,8 М/с ² ;	6,2 Н	
5	$a = g \frac{m_1(\sin \alpha_1 - k_1 \cos \alpha_1) - m_2(\sin \alpha_2 + k_2 \cos \alpha_2)}{m_1 + m_2}$	1,05 М/с ²	0,9 Н	
6		1,65 М/с ² ;	0,96 Н	
7		2,05 М/с ² ;	1 Н	
8		2,33 М/с ² ;	1,03 Н	
9	$a = g \frac{m_1(\sin \alpha_1 - k_1 \cos \alpha_1) - m_2}{m_1 + m_2}$	2,2 М/с ² ;	12,1 Н	
10		1,7 М/с ² ;	11,5 Н	
11		1,2 М/с ² ;	10,95 Н	
12		0,67 М/с ² ;	10,46 Н	
13	$a = g \frac{m_3 - 2m_1(\sin \alpha + k \cos \alpha)}{m_1 + m_2 + m_3}$	1,6 М/с ² ;	0,82 Н;	0,82 Н
14		3,24 М/с ² ;	0,98 Н;	0,98 Н
15		4,33 М/с ² ;	1,1 Н;	1,1 Н
16		5,1 М/с ² ;	1,175 Н;	1,175 Н
17	$a = g \frac{m_3 - k(m_1 + m_2)}{m_1 + m_2 + m_3}$	5,76 М/с ² ;	2 Н;	0,67 Н
18		5,4 М/с ² ;	2,2 Н;	0,74 Н
19		5 М/с ² ;	2,4 Н;	0,8 Н
20		4,65 М/с ² ;	2,575 Н;	0,86 Н
21	$a = g \frac{m_3 - k(m_1 + m_2)}{m_1 + m_2 + m_3}$	4,165 М/с ²	0,56 Н	0,56 Н
22		6,05 М/с ² ;	0,75 Н	0,75 Н
23		6,99 М/с ² ;	0,85 Н	0,85 Н
24		7,55 М/с ² ;	0,9 Н	0,9 Н
25	$a = g \frac{m_1(\sin \alpha_1 - k_1 \cos \alpha_1) - m_2}{m_1 + m_2}$	1,28 М/с ² ;	5,54 Н	
26		0,94 М/с ² ;	5,37 Н	
27		0,6 М/с ² ;	5,2 Н	
28		0,26 М/с ² ;	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	11 200 Дж;	280 Вт	0,828 Дж

Номер задания	3.3	3.4		
1	2 кг	3,84 Дж;	2,16 Дж	6 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;	$\vec{F} = -(4x\vec{i} + 6y\vec{j} + 0,5\vec{k});$	6,34 Н;	4,545 Н
2	4,2 Дж;	$\vec{F} = -(4/x^2)\vec{i} - 6\vec{k};$	6,08 Н;	17,09 Н
3	-15,5 Дж;	$\vec{F} = -(5x\vec{i} + 5y\vec{j} + (3/z^2)\vec{k});$	9,53 Н;	16,5 Н
4	65,8 Дж;	$\vec{F} = -(\vec{i} + 4y\vec{j} + 4z\vec{k});$	27,2 Н;	15,65 Н
5	1,64 Дж;	$\vec{F} = 2y\vec{j} + 3,5\vec{k};$	3,64 Н;	3,77 Н
6	-29,34 Дж;	$\vec{F} = (2/x^2)\vec{i} - 10y\vec{j} - 4z\vec{k};$	25,46 Н;	35,23 Н
7	$5,5 \cdot 10^{-2}$ Дж;	$\vec{F} = -(2x\vec{i} + 1,2\vec{j} + (2/z^2)\vec{k});$	2,83 Н;	2,546 Н
8	4 Дж;	$\vec{F} = -(3\vec{i} + (1,5/y^2)\vec{j} + 1,1\vec{k});$	6,8 Н;	9,9 Н
9	-2,8 Дж;	$\vec{F} = \vec{i} + 2,2((1/y^2)\vec{j} + (1/z^2)\vec{k});$	1,54 Н;	6,2 Н
10	0,4675 Дж;	$\vec{F} = -(2x\vec{i} + 4\vec{j});$	4,04 Н;	4,01 Н
11	0,841 Дж;	$\vec{F} = (1/x^2)\vec{i} - 12y\vec{j} + 4,8\vec{k};$	12,93 Н;	10,75 Н
12	-0,66 Дж;	$\vec{F} = \vec{j} + 2z\vec{k};$	2,236 Н;	1,89 Н
13	-3,167 Дж;	$\vec{F} = (6/x^2)\vec{i} + (4/y^2)\vec{j} + (2/z^2)\vec{k};$	1,55 Н;	3,83 Н
14	0,65 Дж;	$\vec{F} = -(10x\vec{i} + \vec{j} + 10z\vec{k});$	8,66 Н;	7,87 Н
15	-15,5 Дж;	$\vec{F} = 2x\vec{i} - 4y\vec{j};$	15,62 Н;	11,3 Н
16	-0,24 Дж;	$\vec{F} = -(1,5\vec{i} + \vec{j} + (1,4/z^2)\vec{k});$	2,05 Н;	2,28 Н
17	-14,4 Дж;	$\vec{F} = (3,8/y^2)\vec{j} + 4z\vec{k};$	16,02 Н;	12,06 Н
18	-0,68 Дж;	$\vec{F} = -(2\vec{i} + 3,2y\vec{j} + (1/z^2)\vec{k});$	4,09 Н;	2,75 Н
19	0,524 Дж;	$\vec{F} = (5/x^2)\vec{i} - (4/z^2)\vec{k};$	1,14 Н;	2,19 Н
20	-1,7625 Дж;	$\vec{F} = -(2x\vec{i} - 4\vec{j} - 4\vec{k});$	6,18 Н;	6,0 Н
21	12,475 Дж;	$\vec{F} = -(4x\vec{i} - 0,4\vec{j} - (5/z^2)\vec{k});$	125 Н;	31,27 Н
22	1,8 Дж;	$\vec{F} = (8/x^2)\vec{i} - 2,5z\vec{k};$	4 Н;	2,5 Н
23	-2,75 Дж;	$\vec{F} = -(2\vec{i} - 2y\vec{j});$	8,25 Н;	7,28 Н
24	-4,418 Дж;	$\vec{F} = (6/y^2)\vec{j} - 4,4z\vec{k};$	7,19 Н;	17,24 Н
25	1,95 Дж;	$\vec{F} = -(4\vec{i} + (1/y^2)\vec{j});$	4 Н;	4 Н
26	2,34 Дж;	$\vec{F} = (3,5/x^2)\vec{i} - 2\vec{j} - \vec{k};$	2,237 Н;	2,240 Н
27	-0,814 Дж;	$\vec{F} = -(4,4x\vec{i} + 2,2\vec{j});$	2,37 Н;	2,82 Н
28	0,46 Дж;	$\vec{F} = -(4y\vec{j} + 8z\vec{k});$	12,185 Н;	11,32 Н

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

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%	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 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 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 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	$9,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	0,144 Н · м
2	$1,72 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	0,23 Н · м
3	$2,53 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	0,27 Н · м
4	$3,34 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	0,441 Н · м
5	$6,81 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	3,2 Н · м
6	$1,45 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	6,144 Н · м
7	$2,53 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	2,49 Н · м
8	$3,92 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	0,94 Н · м
9	$1,2 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	0,256 Н · м
10	$4,8 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	0,391 Н · м
11	$1,08 \cdot 10^{-1} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	0,362 Н · м
12	$1,92 \cdot 10^{-1} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	0,537 Н · м
13	$6,76 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	$1,72 \cdot 10^{-2} \text{ Н} \cdot \text{м}$
14	$1,26 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	$5,94 \cdot 10^{-2} \text{ Н} \cdot \text{м}$
15	$1,85 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	0,125 Н · м
16	$2,43 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	$7,68 \cdot 10^{-2} \text{ Н} \cdot \text{м}$
17	$3,49 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	$2,1 \cdot 10^{-2} \text{ Н} \cdot \text{м}$
18	$8,72 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	$9,35 \cdot 10^{-2} \text{ Н} \cdot \text{м}$
19	$1,64 \cdot 10^{-1} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	0,21 Н · м
20	$2,66 \cdot 10^{-1} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	0,5 Н · м
21	$6 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	$5,48 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}$
22	$1,35 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	$2,156 \cdot 10^{-2} \text{ Н} \cdot \text{м}$
23	$2,4 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	$3,08 \cdot 10^{-2} \text{ Н} \cdot \text{м}$
24	$3,75 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	0,1486 Н · м
25	$2,77 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	0,218 Н · м
26	$4,27 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	0,523 Н · м
27	$6,13 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	2,34 Н · м
28	$8,35 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	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 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 · 10 ⁻² Дж
6	3,56 м/с ² ;	5,35 Н;	5,35 Н;	6,24 Н;	6,24 Н	7,96 · 10 ⁻² Дж
7	2,12 м/с ² ;	7,16 Н;	7,16 Н;	7,7 Н;	7,7 Н	5,2 · 10 ⁻² Дж
8	0,96 м/с ² ;	8,6 Н;	8,6 Н;	8,84 Н;	8,84 Н	6 · 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 · 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 · 10 ⁻³ Дж
14	4,1 м/с ² ;	3,65 Н;	3,65 Н;	4,26 Н;	4,26 Н	1,5 · 10 ⁻² Дж
15	4,93 м/с ² ;	4,14 Н;	4,14 Н;	4,88 Н;	4,88 Н	3 · 10 ⁻² Дж
16	5,54 м/с ² ;	4,5 Н;	4,5 Н;	5,33 Н;	5,33 Н	3,1 · 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;	8,38 Н;	8,1 Н			0,65 Дж
23	1,368 м/с;	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 · 10 ⁻² Дж

Номер задания	4.8	4.9		4.10	
1	83,5 см	60 г;	15 см;	13,33 рад/с	1198 кг
2	1,19 м	140 г;	20 рад/с;	$2,19 \cdot 10^{-3}$ кг · м ²	2,5 м
3	89,5 см	30 см;	10 рад/с;	0,216 кг · м ² /с	79,1 кг
4	89,5 см	50 г;	50 см;	$8,75 \cdot 10^{-2}$ кг · м ² /с	2,4 м
5	2,03 м/с	80 г;	25 см;	7,2 рад/с	4,9 см
6	2,43 м/с	200 г;	20 рад/с;	0,1156 кг · м ² /с	1,863
7	2,35 м/с	19 см;	$3,6 \cdot 10^{-3}$ кг · м ² · с ⁻¹ · м ⁻² ;	10^{-3} кг · м ² · с ⁻¹ · м ⁻² ;	1000 кг
8	2,35 м/с	$7,22 \cdot 10^{-2}$ кг · м ² /с	70 г;	$2,4$ м/с;	$6,3 \cdot 10^{-3}$ кг · м ²
9	27,3°	120 г;	16 см;	$3,072 \cdot 10^{-3}$ кг · м ²	69,5 кг
10	20,1°	400 г;	8 рад/с;	0,392 кг · м ² /с	1,2 м
11	20,1°	3 м/с;	25 рад/с;	$2,16 \cdot 10^{-3}$ кг · м ²	18,2 см
12	18,7°	240 г;	9,5 рад/с;	$9,12 \cdot 10^{-2}$ кг · м ² /с	1,1176
13	Шар	150 г;	20 см;	$6,6 \cdot 10^{-2}$ кг · м ² /с	705,5 кг
14	Диск (сплошной цилиндр)	45 см;	3,6 м/с;	8 рад/с	4,1 м
15	Шар	9 рад/с;	$1,3 \cdot 10^{-2}$ кг · м ² ;	0,1166 кг · м ² /с	55,1 кг
16	Обруч (полый цилиндр)	10 см;	35 рад/с;	$1,6 \cdot 10^{-3}$ кг · м ²	1,45 м
17	99,1 см	250 г;	3 м/с;	20 рад/с	27 см
18	99,1 см	24 см;	1,8 м/с;	$3,456 \cdot 10^{-3}$ кг · м ²	1,868
19	92,5 см	2,4 м/с;	$3,52 \cdot 10^{-2}$ кг · м ² ;	0,2112 кг · м ² /с	1809 кг
20	1,32 м	35 см;	$9,8 \cdot 10^{-3}$ кг · м ² ;	0,1176 кг · м ² /с	2,8 м
21	2,68 м/с	160 кг;	1,98 м/с;	$7,744 \cdot 10^{-3}$ кг · м ²	69,6 кг
22	2,59 м/с	26 см;	2,6 м/с;	$1,69 \cdot 10^{-2}$ кг · м ²	3,98 м
23	2,24 м/с	12 рад/с;	$1,26 \cdot 10^{-2}$ кг · м ² ;	0,1512 кг · м ² /с	32 см
24	2,59 м/с	18 см;	14 рад/с;	$2,27 \cdot 10^{-2}$ кг · м ² /с	1,2
25	30°	100 г;	4 м/с;	0,1 кг · м ² /с	929 кг
26	22°	14 см;	13 рад/с;	$2,35 \cdot 10^{-3}$ кг · м ²	1,5 м
27	22°	220 г;	24 см;	11 рад/с	73,1 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	1,05 м

Номер задания	5.1		5.2	5.3
1	1 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	4,2 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	5,1 мм на восток
16	4,57 м/с ² ;	1,73 Н	1,54 Н	5,8 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 м/с ² ;	17°	$1,32 \cdot 10^{-2}$ Н	53,62 мм на восток
22	5 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°44' на восток от южного направления
2	768,9 км/ч;	курс 2°11' на запад от южного направления
3	763,6 км/ч;	курс 2°33' на восток от южного направления
4	839,7 км/ч;	курс 2°55' на запад от южного направления
5	724,1 км/ч;	курс 43°03' на запад от северного направления
6	710,8 км/ч;	курс 47° 55' на запад от северного направления
7	787,2 км/ч;	курс 47°54' на запад от северного направления
8	775 км/ч;	курс 43°06' на запад от северного направления
9	994,7 км/ч;	курс 2°45' на восток от северного направления
10	913,7 км/ч;	курс 2°09' на восток от северного направления
11	908,4 км/ч;	курс 2°28' на запад от северного направления
12	980 км/ч;	курс 1°51' на запад от северного направления
13	720,1 км/ч;	курс 46°45' на восток от северного направления
14	725 км/ч;	курс 42°54' на восток от северного направления
15	668,8 км/ч;	курс 47°32' на восток от северного направления
16	679,3 км/ч;	курс 43°20' на восток от северного направления
17	794,15 км/ч;	курс 91°47' на запад от северного направления
18	851,2 км/ч;	курс 92°13' на запад от северного направления
19	857,3 км/ч;	курс 87°20' на запад от северного направления
20	774,2 км/ч;	курс 86°53' на запад от северного направления
21	858,35 км/ч;	курс 47°36' на восток от южного направления
22	939,8 км/ч;	курс 47°36' на восток от южного направления
23	930 км/ч;	курс 43°04' на восток от южного направления
24	868,9 км/ч;	курс 43°04' на восток от южного направления
25	827,2 км/ч;	курс 89°02' на восток от северного направления
26	814,16 км/ч;	курс 91°44' на восток от северного направления
27	877,3 км/ч;	курс 92°35' на восток от северного направления
28	889,4 км/ч;	курс 86°29' на восток от северного направления

Номер задания	5.5	5.6	5.7
1	$-7,063 \cdot 10^7$ м/с	-1,51%	39,8 с
2	$-7,143 \cdot 10^7$ м/с	-6,19%	39,19 с
3	$-5,294 \cdot 10^7$ м/с	-14,56%	38,16 с
4	$1,6875 \cdot 10^8$ м/с	-27,89%	36,66 с
5	$9,5 \cdot 10^6$ м/с	20°	0,5
6	$1,001 \cdot 10^6$ м/с	40°	0,35
7	10^7 м/с	80°	0,2
8	$5 \cdot 10^7$ м/с	60°	0,1
9	10^8 м/с	0,3	17 сут 7 ч 41 мин
10	$8 \cdot 10^7$ м/с	0,45	34 сут 15 ч 23 мин
11	$4 \cdot 10^7$ м/с	0,15	51 сут 23 ч 4,6 мин
12	$7 \cdot 10^7$ м/с	0,6	69 сут 6 ч 46 мин
13	$1,845 \cdot 10^8$ м/с	-3,175%	12,5 недель
14	$1,97 \cdot 10^8$ м/с	-2,6%	25 недель
15	$2,1 \cdot 10^8$ м/с	-1,3%	37,5 недель
16	$2,25 \cdot 10^8$ м/с	-0,2%	50 недель
17	$-1,2 \cdot 10^8$ м/с	60°	0,25
18	$-1,3 \cdot 10^8$ м/с	10°	0,75
19	$-1,5 \cdot 10^8$ м/с	85°	0,6
20	$-1,4 \cdot 10^8$ м/с	35°	0,4
21	$1,1 \cdot 10^8$ м/с	0,2	2 мес. 28(29) дн. 3,5 ч
22	$1,8 \cdot 10^8$ м/с	0,4	5,5 мес.
23	$9,5 \cdot 10^7$ м/с	0,1	7 мес. 6 дн.
24	$1,25 \cdot 10^8$ м/с	0,3	7 мес. 6 дн.
25	$1,95 \cdot 10^8$ м/с	-0,564%	5 лет 1 мес. 29 (30) дн.
26	$1,3 \cdot 10^7$ м/с	-2,276%	5 лет 9 мес. 8(9) дн.
27	$-7,82 \cdot 10^7$ м/с	-5,198%	7 лет 6 мес. 21 (22) дн.
28	$-1,1446 \cdot 10^8$ м/с	-9,446%	11 лет 5 мес. 18(19) дн.

Номер задания	5.8	5.9	5.10		
1	5 с	1,00755	$1,276 \cdot 10^{-30}$ кг;	$1,148 \cdot 10^{-13}$ Дж;	0,286
2	$5 \cdot 10^7$ м	1,0799	$1,518 \cdot 10^{-30}$ кг;	$1,3665 \cdot 10^{-13}$ Дж;	0,4
3	$6 \cdot 10^5$ м	1,22	$2,09 \cdot 10^{-30}$ кг;	$1,881 \cdot 10^{-13}$ Дж;	0,564
4	$3 \cdot 10^6$ м	1,512	$6,458 \cdot 10^{-30}$ кг;	$5,812 \cdot 10^{-13}$ Дж;	0,859
5	0,1 с	5,024	$2,342 \cdot 10^{-27}$ кг;	$2,108 \cdot 10^{-10}$ Дж;	0,286
6	30 км	2,064	$2,788 \cdot 10^{-27}$ кг;	$2,51 \cdot 10^{-10}$ Дж;	0,4
7	400 км	1,698	$3,837 \cdot 10^{-27}$ кг;	$3,4536 \cdot 10^{-10}$ Дж;	0,564
8	3000 км	1,549	$1,186 \cdot 10^{-26}$ кг;	$1,067 \cdot 10^{-9}$ Дж;	0,859
9	0,02 с	0,6	$1,237 \cdot 10^{-27}$ кг;	$1,1136 \cdot 10^{-10}$ Дж;	0,286
10	$2 \cdot 10^8$ м	0,7	$1,473 \cdot 10^{-27}$ кг;	$1,3255 \cdot 10^{-10}$ Дж;	0,4
11	$7,984 \cdot 10^8$ м	0,8	$2,027 \cdot 10^{-27}$ кг;	$1,8245 \cdot 10^{-10}$ Дж;	0,564
12	$2,4 \cdot 10^6$ м	0,95	$6,264 \cdot 10^{-27}$ кг;	$5,638 \cdot 10^{-10}$ Дж;	0,859
13	2 м	1,18	$3,368 \cdot 10^{-28}$ кг;	$3,031 \cdot 10^{-11}$ Дж;	0,286
14	9 м	1,2726	$4,008 \cdot 10^{-28}$ кг;	$3,607 \cdot 10^{-11}$ Дж;	0,4
15	50 м	1,3227	$5,5175 \cdot 10^{-28}$ кг;	$4,966 \cdot 10^{-11}$ Дж;	0,564
16	400 м	1,3525	$1,705 \cdot 10^{-27}$ кг;	$1,534 \cdot 10^{-10}$ Дж;	0,859
17	$8 \cdot 10^{-11}$ с	1,16	$2,345 \cdot 10^{-27}$ кг;	$2,111 \cdot 10^{-10}$ Дж;	0,286
18	$5,2 \cdot 10^{-10}$ с	1,39	$2,792 \cdot 10^{-27}$ кг;	$2,512 \cdot 10^{-10}$ Дж;	0,4
19	$1,3 \cdot 10^{-8}$ с	1,76	$3,8426 \cdot 10^{-27}$ кг;	$3,458 \cdot 10^{-10}$ Дж;	0,564
20	$1,5 \cdot 10^{-7}$ с	2,57	$1,187 \cdot 10^{-26}$ кг;	$1,0686 \cdot 10^{-9}$ Дж;	0,859
21	$9 \cdot 10^6$ м	0,76	$3,4825 \cdot 10^{-28}$ кг;	$3,134 \cdot 10^{-11}$ Дж;	0,286
22	$1,2 \cdot 10^8$ м	0,65	$4,145 \cdot 10^{-28}$ кг;	$3,73 \cdot 10^{-11}$ Дж;	0,4
23	$1,73 \cdot 10^8$ м	0,55	$5,706 \cdot 10^{-28}$ кг;	$5,135 \cdot 10^{-11}$ Дж;	0,564
24	$5,995 \cdot 10^9$ м	0,7	$1,763 \cdot 10^{-27}$ кг;	$1,587 \cdot 10^{-10}$ Дж;	0,859
25	$7 \cdot 10^{-7}$ с	1,25	$2,641 \cdot 10^{-28}$ кг;	$2,377 \cdot 10^{-11}$ Дж;	0,286
26	$9 \cdot 10^{-6}$ с	1,2	$3,143 \cdot 10^{-28}$ кг;	$2,829 \cdot 10^{-11}$ Дж;	0,4
27	$5 \cdot 10^{-5}$ с	1,15	$4,326 \cdot 10^{-28}$ кг;	$3,894 \cdot 10^{-11}$ Дж;	0,564
28	$6 \cdot 10^{-4}$ с	1,1	$1,337 \cdot 10^{-27}$ кг;	$1,203 \cdot 10^{-10}$ Дж;	0,859

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

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		1,953 м ³	5,39 кг/м ³
3		$2,1 \cdot 10^5$ Па	4,93 кг/м ³
4		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		$1,25 \cdot 10^{-2}$ м ³	0,243 кг/м ³
7		$1,3 \cdot 10^4$ Па	0,35 кг/м ³
8		280 К	0,627 кг/м ³
9	$\mu = 40 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; аргон	10 г	0,648 кг/м ³
10		$5,2 \cdot 10^{-3}$ м ³	0,823 кг/м ³
11		$2,2 \cdot 10^5$ Па	1,126 кг/м ³
12		250 К	1,783 кг/м ³
13	$\mu = 4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; гелий	11 г	1,47 кг/м ³
14		4,36 м ³	1,23 кг/м ³
15		$4,35 \cdot 10^5$ Па	1,06 кг/м ³
16		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		0,277 м ³	1,77 кг/м ³
19		$5 \cdot 10^5$ Па	1,82 кг/м ³
20		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		$4,15 \cdot 10^{-3}$ м ³	3,7 кг/м ³
23		$8,9 \cdot 10^4$ Па	3,95 кг/м ³
24		400 К	4,22 кг/м ³
25	$\mu = 20 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; неон	8 г	2,45 кг/м ³
26		$8,31 \cdot 10^{-3}$ м ³	2,16 кг/м ³
27		$2,3 \cdot 10^4$ Па	1,93 кг/м ³
28		501 К	1,74 кг/м ³

Номер задания	6.4		6.5		
1	$2,635 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$;	$4,55 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$	545,3 Дж;	545,3 Дж;	0
2	350 К;	$5,18 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$	5453,4 Дж;	5453,4 Дж;	0
3	$4 \cdot 10^5 \text{ Па}$;	450 К	18 178 Дж;	10906 Дж;	7272 Дж
4	$5 \cdot 10^3 \text{ Па}$;	$5,175 \cdot 10^{21} \text{ Дж}$	991,52 Дж;	495,76 Дж;	495,76 Дж
5	$3,62 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$;	$6,2 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$	2597 Дж;	1558 Дж;	1039 Дж
6	250 К;	$2,9 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$	5540 Дж;	2770 Дж;	2770 Дж
7	$3 \cdot 10^5 \text{ Па}$;	400 К	2968 Дж;	1781 Дж;	1187 Дж
8	$8 \cdot 10^4 \text{ Па}$;	$5,59 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$	2493 Дж;	2493 Дж;	0
9	$3,15 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$;	$4,76 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$	3439 Дж;	2063 Дж;	1376 Дж
10	380 К;	$5,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$	714 Дж;	714 Дж;	0
11	$1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$;	400 К	2720 Дж;	1360 Дж;	1360 Дж
12	10^4 Па ;	$5,4 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$	1496 Дж;	1496 Дж;	0
13	$1,3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$;	$5,8 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$	390 Дж;	234 Дж;	156 Дж
14	520 К;	$1,4 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$	374 Дж;	374 Дж;	0
15	10^3 Па ;	220 К	6232 Дж;	3739 Дж;	2493 Дж
16	$2 \cdot 10^5 \text{ Па}$;	$7,45 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$	831 Дж;	415,5 Дж;	415,5 Дж
17	$4,26 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$;	$7 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$	2550 Дж;	1275 Дж;	1275 Дж
18	250 К;	$2,3 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$	3339 Дж;	2003 Дж;	1336 Дж
19	$5 \cdot 10^4 \text{ Па}$;	270 К	3224 Дж;	1934 Дж;	1290 Дж
20	$4 \cdot 10^5 \text{ Па}$;	10^{-20} Дж	14 023 Дж;	14 023 Дж;	0
21	$1,5 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$;	$4,97 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$	566,6 Дж;	283,3 Дж;	283,3 Дж
22	370 К;	$5,5 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$	742 Дж;	445 Дж;	297 Дж
23	10^5 Па ;	300 К	649,2 Дж;	389,5 Дж;	259,7 Дж
24	$3 \cdot 10^4 \text{ Па}$;	$6,2 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$	311,6 Дж;	311,6 Дж;	0
25	$3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$;	$1,24 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$	10 284 Дж;	10 284 Дж;	0
26	330 К;	$2,2 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$	2364 Дж;	1418 Дж;	946 Дж
27	$3 \cdot 10^3 \text{ Па}$;	250 К	34 279 Дж;	20 567 Дж;	13 712 Дж
28	$5 \cdot 10^4 \text{ Па}$;	$8 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$	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	$2 \cdot 10^{-3}$;	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

Номер задания	6.9			
1	3116 Дж/(кг · К);	5194 Дж/(кг · К);	3;	гелий
2	1385 Дж/(кг · К);	18 · 10 ⁻³ кг/моль;	6;	пары воды
3	909 Дж/(кг · К);	1,4;	32 · 10 ⁻³ кг/моль;	кислород
4	623 Дж/(кг · К);	1039 Дж/(кг · К);	1,667;	неон
5	755,5 Дж/(кг · К);	44 · 10 ⁻³ кг/моль;	6;	углекис- лый газ
6	1385 Дж/(кг · К);	1,333;	6;	пары воды
7	742 Дж/(кг · К);	1,4;	28 · 10 ⁻³ кг/моль;	азот
8	623 Дж/(кг · К);	20 · 10 ⁻³ кг/моль;	3;	неон
9	1,667;	83,8 · 10 ⁻³ кг/моль;	3;	криптон
10	14 542 Дж/(кг · К);	2 · 10 ⁻³ кг/моль;	5;	водород
11	755,5 Дж/(кг · К);	1,333;	6;	углекис- лый газ
12	519,4 Дж/(кг · К);	1,667;	40 · 10 ⁻³ кг/моль;	аргон
13	566,6 Дж/(кг · К);	44 · 10 ⁻³ кг/моль;	6;	углекис- лый газ
14	742 Дж/(кг · К);	1,4;	5;	азот
15	623 Дж/(кг · К);	1,667;	3;	неон
16	10 388 Дж/(кг · К);	1,4;	2 · 10 ⁻³ кг/моль;	водород
17	649,2 Дж/(кг · К);	908,9 Дж/(кг · К);	5;	кислород
18	5194 Дж/(кг · К);	4 · 10 ⁻³ кг/моль;	3;	гелий
19	566,6 Дж/(кг · К);	755,5 Дж/(кг · К);	1,333;	углекис- лый газ
20	14 542 Дж/(кг · К);	1,4;	2 · 10 ⁻³ кг/моль;	водород
21	1385 Дж/(кг · К);	1847 Дж/(кг · К);	6;	пары воды
22	649,2 Дж/(кг · К);	32 · 10 ⁻³ кг/моль;	5;	кислород
23	755,5 Дж/(кг · К);	1,333;	44 · 10 ⁻³ кг/моль;	углекис- лый газ
24	311,6 Дж/(кг · К);	519,4 Дж/(кг · К);	1,667;	аргон
25	1,4;	28 · 10 ⁻³ кг/моль;	5;	азот
26	1847 Дж/(кг · К);	1,333;	18 · 10 ⁻³ кг/моль;	пары воды
27	10 388 Дж/(кг · К);	14 542 Дж/(кг · К);	1,4;	водород
28	3116 Дж/(кг · К);	1,667;	3;	гелий

Номер задания	6.10	
1 2 3 4	2576 Дж/(кг · К); 4529 Дж/(кг · К); 6482 Дж/(кг · К); 8435 Дж/(кг · К);	3739,5 Дж/(кг · К) 6440 Дж/(кг · К) 9141 Дж/(кг · К) 11 842 Дж/(кг · К)
5 6 7 8	379,1 Дж/(кг · К); 446,7 Дж/(кг · К); 514,2 Дж/(кг · К); 581,7 Дж/(кг · К);	597,3 Дж/(кг · К) 675,2 Дж/(кг · К) 753,1 Дж/(кг · К) 831 Дж/(кг · К)
9 10 11 12	2622,8 Дж/(кг · К); 2129,4 Дж/(кг · К); 1636 Дж/(кг · К); 1142 Дж/(кг · К);	4336,8 Дж/(кг · К) 3479,8 Дж/(кг · К) 2622,8 Дж/(кг · К) 1765,9 Дж/(кг · К)
13 14 15 16	2671 Дж/(кг · К); 4600 Дж/(кг · К); 6529 Дж/(кг · К); 8458,4 Дж/(кг · К);	3739,5 Дж/(кг · К) 6440 Дж/(кг · К) 9141 Дж/(кг · К) 11842 Дж/(кг · К)
17 18 19 20	628,4 Дж/(кг · К); 633,6 Дж/(кг · К); 638,8 Дж/(кг · К); 644 Дж/(кг · К);	1012,8 Дж/(кг · К) 986,8 Дж/(кг · К) 960 Дж/(кг · К) 934,9 Дж/(кг · К)
21 22 23 24	2522,7 Дж/(кг · К); 1929 Дж/(кг · К); 1335,5 Дж/(кг · К); 742 Дж/(кг · К);	4204,5 Дж/(кг · К) 3215 Дж/(кг · К) 2226 Дж/(кг · К) 1237 Дж/(кг · К)
25 26 27 28	397,7 Дж/(кг · К); 483,8 Дж/(кг · К); 569,8 Дж/(кг · К); 656 Дж/(кг · К);	623,2 Дж/(кг · К) 727 Дж/(кг · К) 831 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;	13 500 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;	12 842,7 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;	23 035 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;	12 365,3 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	$4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;	138 Дж	10^{-2} м^3 ;	27,6 кДж;	25,2 кДж
3	$8 \cdot 10^3 \text{ Па}$;	2,4	$8 \cdot 10^4 \text{ Па}$;	570 Дж;	120 Дж
4	5,15 г;	1605,6 Дж	$5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;	$8 \cdot 10^4 \text{ Па}$;	1,2 кДж
5	660 К;	2,5	$1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$;	19,05 кДж;	2,4к Дж
6	$8,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;	1,85	1;	$2 \cdot 10^4 \text{ Па}$;	630 Дж
7	$3,82 \cdot 10^4 \text{ Па}$;	44,94 Дж	$4,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$;	862,5 Дж;	75 Дж
8	36,3 г;	535,5 Дж	$6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;	10^5 Па ;	1290 Дж
9	300 К;	279,8 Дж	10^5 Па ;	3450 Дж;	300 Дж
10	$2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$;	1,3	$3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;	$6 \cdot 10^4 \text{ Па}$;	585 Дж
11	$1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$;	630,9 Дж	$3 \cdot 10^5 \text{ Па}$;	12 кДж;	3 кДж
12	0,248 г;	2,2	3;	$8 \cdot 10^3 \text{ Па}$;	126 Дж
13	230 К;	39 Дж	$4,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$;	10,8 кДж;	1,8 кДж
14	$2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;	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	$2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;	$1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$;	1750 Дж
17	250 К;	1,5	$4,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$;	5,44 кДж;	1,5 кДж
18	$1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;	78,8 Дж	$3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$;	$9 \cdot 10^4 \text{ Па}$;	7,8 кДж
19	$3 \cdot 10^5 \text{ Па}$;	1,25	2;	2146,5 Дж;	99 Дж
20	0,167 г;	78,9 Дж	1;	$7,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$;	22,5 кДж
21	280 К;	2	12,4 кДж;	11,4 кДж;	1 кДж
22	$2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;	1,45	10^{-3} м^3 ;	3625 Дж;	3125 Дж
23	$2 \cdot 10^5 \text{ Па}$;	65,7 Дж	$6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;	384 Дж;	24 Дж
24	4,6 г;	159,2 Дж	$5 \cdot 10^4 \text{ Па}$;	10^5 Па ;	9 кДж
25	310 К;	176,25 Дж	3;	2,01 кДж;	90 Дж
26	$1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;	1,35	$1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$;	$3 \cdot 10^5 \text{ Па}$;	13,875 кДж
27	$2 \cdot 10^4 \text{ Па}$;	126 Дж	$2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$;	4,52 кДж;	140 Дж
28	25 г;	1,55	$9 \cdot 10^4 \text{ Па}$;	630 Дж;	120 Дж

Номер задания	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
11	308 К	2,2;	2	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
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	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;	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	$5,3844 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$;	80,8 нм	4460 м
2	$4,9 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$;	97 нм	4825 м
3	$4,55 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$;	113 нм	5193 м
4	$4,25 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$;	129,3 нм	5560 м
5	10^5 Па ;	72 нм	78,5%
6	$2 \cdot 10^5 \text{ Па}$;	36 нм	61,6%
7	$3 \cdot 10^5 \text{ Па}$;	24 нм	48,4%
8	$4 \cdot 10^5 \text{ Па}$;	18 нм	38%
9	320 К;	$9,8 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$	34,3%
10	340 К;	$9,5 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$	37,25%
11	360 К;	$9,2 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$	40%
12	380 К;	$9,0 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$	42,4%
13	$8 \cdot 10^4 \text{ Па}$;	$3,8 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$	N_2 ($\mu = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$)
14	10^5 Па ;	$4,76 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$	O_2 ($\mu = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$)
15	$2 \cdot 10^5 \text{ Па}$;	$9,5 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$	H_2O ($\mu = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$)
16	$4 \cdot 10^5 \text{ Па}$;	$1,9 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$	CO_2 ($\mu = 44 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$)
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	$2 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$;	221,6 нм	1,76 км
22	$4 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$;	1108 нм	4 км
23	$4 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$;	110,8 нм	7,23 км
24	$2 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$;	22,16 нм	12,7 км
25	$9 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$;	51,8 нм	-30 °С
26	$7,83 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$;	69 нм	0 °С
27	$7 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$;	86,3 нм	+40 °С
28	$6,4 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$;	103,5 нм	+20 °С

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;	228,4К;	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;	34,36%	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 задания	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	315К
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%	0,44%
2	842 Дж/К	1,5	0,019%	
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%	0,158%
6	5,7 Дж/К	$6,835 \cdot 10^{97}$	0,2%	
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%	0,127%
10	-29,3 Дж/К	1,8	0,7%	
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%	0,04%
14	-1446,35 Дж/К	1,25	0,051%	
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%	0,263%
18	51,5 Дж/К	100	0,073%	
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%	0,113%
22	301,56 Дж/К	150	0,29%	
23	28,5 Дж/К	2	0,23%	
24	539,14 Дж/К	1,45	0,19%	
25	-243,18 Дж/К	$1,52 \cdot 10^{79}$	0,28%	0,196%
26	-328,83 Дж/К	350	0,21%	
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 °C	2 кг	1,127
2	0,08%;	178,3 °C	0,05 м ³	2,8
3	0,085%;	328,7 °C	0,25 м ³	1,52
4	0,09%;	629,5 °C	1,83 К	1,98
5	0,09%;	15,8 °C	6 кг	2,74
6	0,096%;	160 °C	0,01 м ³	1,93
7	0,097%;	304 °C	0,75 м ³	2,97
8	0,098%;	593 °C	0,2 К	4,05
9	0,03%;	64 °C	1,5 кг	2,08
10	0,02%;	232,4 °C	0,31 м ³	1,41
11	0,05%;	401 °C	0,75 м ³	2,67
12	0,08%;	7,38 °C	0,22 К	3,24
13	0,08%;	35 °C	0,8 кг	2,14
14	0,013%;	189 °C	0,1 м ³	2,11
15	0,021%;	343 °C	0,5 м ³	2,24
16	0,056%;	651 °C	0,23 К	3,18
17	0,55%;	-8,25 °C	5 кг	1,32
18	0,3%;	124 °C	0,026 м ³	1,85
19	0,175%;	256,5 °C	5 м ³	4,07
20	0,05%;	521 °C	0,32 К	1,2
21	0,088%;	27,8 °C	0,4 кг	1,28
22	0,016%;	178 °C	0,1 м ³	1,17
23	0,02%;	328,7 °C	1 м ³	2,73
24	0,056%;	629,5 °C	3,13 К	1,35
25	0,47%;	102,5 °C	0,1 кг	1,93
26	0,28%;	290 °C	0,08 м ³	1,83
27	0,18%;	478 °C	0,45 м ³	2,1
28	0,09%;	853 °C	1,24 К	2,45

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

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	318,2 В/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	112,5 В/м	$1,53 \cdot 10^{-11}$ М

Номер задания	9.5	9.6	
1 2 3 4	6 см 20,92 В 6 см $7,57 \cdot 10^4$ м/с	0,534 В/м 1,068 В/м 0,8 В/м 0,5 В/м	Эквипотенциальные поверхности – эллипсоиды вращения с полуосями $\sqrt{a\phi}$, $\sqrt{b\phi}$, $\sqrt{b\phi}$
5 6 7 8	10 см 1252 В 36 см $8 \cdot 10^4$ м/с	7 В/м 7 В/м 7 В/м 7 В/м	Эквипотенциальные поверхности – плоскости, параллельные плоскости YOZ
9 10 11 12	11 см 36,4 В 6 см $9 \cdot 10^6$ м/с	1,73 В/м 0,87 В/м 0,5 В/м 0,71 В/м	Эквипотенциальные поверхности – сферы радиусом $\sqrt{a\phi}$,
13 14 15 16	7 см 470,7 В 2 см $5 \cdot 10^4$ м/с	5 В/м 5 В/м 5 В/м 5 В/м	Эквипотенциальные поверхности – плоскости, параллельные плоскости XOY
17 18 19 20	4 см 174 В 9 см 10^5 м/с	45,65 В/м 25,6 В/м 23,4 В/м 12,8 В/м	Эквипотенциальные поверхности – эллипсоиды вращения с полуосями $\sqrt{\phi/a}$, $\sqrt{\phi/a}$, $\sqrt{\phi/b}$
21 22 23 24	17 см 256 В 48 см $2 \cdot 10^7$ м/с	28 В/м 34,2 В/м 17,4 В/м 29,4 В/м	Эквипотенциальные поверхности – гиперболоиды вращения
25 26 27 28	7 см 2092 В 0,6 см $1,5 \cdot 10^5$ м/с	9 В/м 9 В/м 9 В/м 9 В/м	Эквипотенциальные поверхности – плоскости, параллельные плоскости XOY

Номер задания	9.7	9.8	9.9	9.10
1	$5,1 \cdot 10^{-2} \text{ В} \cdot \text{ м}$	56,5 В	$-1,3 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$	5 г
2	$4 \cdot 10^{-2} \text{ В} \cdot \text{ м}$	56,5 В	$-3,8 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$	$1,43 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$
3	$5,4 \cdot 10^{-2} \text{ В} \cdot \text{ м}$	56,5 В	$2,2 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$	20 см
4	$0,1 \text{ В} \cdot \text{ м}$	56,5 В	$3,5 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$	8 см
5	$0,257 \text{ В} \cdot \text{ м}$	49,9 В	$1,25 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$	19,8 г
6	$0,223 \text{ В} \cdot \text{ м}$	29,2 В	$3,126 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$	$3,8 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$
7	$0,182 \text{ В} \cdot \text{ м}$	20,7 В	$5 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$	54 см
8	$0,129 \text{ В} \cdot \text{ м}$	16,1 В	$6,25 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$	35,7 см
9	$0,2 \text{ В} \cdot \text{ м}$	34,9 В	$-9,2 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$	$1,55 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/м}^3$
10	$0,176 \text{ В} \cdot \text{ м}$	19,4 В	$-5,2 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$	$1,82 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/м}^3$
11	$0,144 \text{ В} \cdot \text{ м}$	12,3 В	$7,3 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$	$4,1 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/м}^3$
12	$0,1 \text{ В} \cdot \text{ м}$	8,5 В	$2 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$	$2,5 \cdot 10^{-5} \text{ Кл/м}^3$
13	$3,83 \cdot 10^{-3} \text{ В} \cdot \text{ м}$	28,9 В	$-3,9 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$	20°
14	$7,66 \cdot 10^{-3} \text{ В} \cdot \text{ м}$	19 В	$-1,6 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$	20°
15	$1,15 \cdot 10^{-2} \text{ В} \cdot \text{ м}$	14,2 В	$1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$	5,2°
16	$1,53 \cdot 10^{-2} \text{ В} \cdot \text{ м}$	11,3 В	$3,16 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$	42,3°
17	$1,3 \text{ В} \cdot \text{ м}$	21,64 В	$5,4 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$	$6,9 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$
18	$0,96 \text{ В} \cdot \text{ м}$	14,26 В	$4 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$	$2,84 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$
19	$0,9 \text{ В} \cdot \text{ м}$	10,65 В	$1,8 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$	11,8 г
20	$0,88 \text{ В} \cdot \text{ м}$	8,5 В	$-2,7 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$	19 г
21	$0,071 \text{ В} \cdot \text{ м}$	113 В	$1,57 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$	$6,5 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$
22	$0,1 \text{ В} \cdot \text{ м}$	113 В	$7,83 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$	39,3 г
23	$0,123 \text{ В} \cdot \text{ м}$	113 В	$1,57 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$	$7,3 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$
24	$0,142 \text{ В} \cdot \text{ м}$	113 В	$7,83 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$	30,25 г
25	$0,35 \text{ В} \cdot \text{ м}$	4,4 В	$1,13 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$	4,3 г
26	$0,53 \text{ В} \cdot \text{ м}$	2,2 В	$3,39 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$	$2,4 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$
27	$0,7 \text{ В} \cdot \text{ м}$	1,32 В	$5,65 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$	42 см
28	$0,875 \text{ В} \cdot \text{ м}$	0,87 В	$7,91 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$	1,2 см

Номер задания	10.1	
1 2 3 4	2,23 · 10 ⁻²⁹ м ³ ; 3,5 · 10 ⁵ Па; 1,04; 4,73 · 10 ⁻²⁹ м ³ ;	1,97 · 10 ⁻³⁶ Кл · м 2,37 · 10 ⁻²⁹ м ³ 1,83 · 10 ⁻³⁶ Кл · м 7 кВ/м
5 6 7 8	1,03; 2 · 10 ⁶ Па; 3,1 · 10 ⁻²⁹ м ³ ; 2 · 10 ⁵ Па;	2,07 · 10 ⁻²⁹ м ³ 1,65 · 10 ⁻³⁶ Кл · м 3,3 · 10 ⁻³⁶ Кл · м 1,66 · 10 ⁻²⁹ м ³
9 10 11 12	6,21 · 10 ⁻²⁹ м ³ ; 1,5 · 10 ⁶ Па; 1,008; 1,01;	24 кВ/м 6 кВ/м 14 кВ/м 3,66 · 10 ⁻³⁶ Кл · м
13 14 15 16	1,24 · 10 ⁻²⁹ м ³ ; 3 · 10 ⁶ Па; 1,015; 5 · 10 ⁵ Па;	12 кВ/м 2,76 · 10 ⁻²⁹ м ³ 7,76 · 10 ⁻²⁹ м ³ 20 кВ/м
17 18 19 20	1,02; 1,45 · 10 ⁻²⁹ м ³ ; 4 · 10 ⁶ Па; 1,02;	10 кВ/м 2,82 · 10 ⁻³⁶ Кл · м 3,67 · 10 ⁻³⁶ Кл · м 9,2 · 10 ⁻²⁹ м ³
21 22 23 24	1,035; 1,05; 3,31 · 10 ⁻²⁹ м ³ ; 6 · 10 ⁵ Па;	15 кВ/м 3,66 · 10 ⁻³⁶ Кл · м 8 кВ/м 13 кВ/м
25 26 27 28	1,05; 3 · 10 ⁵ Па; 4,5 · 10 ⁶ Па; 3,73 · 10 ⁻²⁹ м ³ ;	5,175 · 10 ⁻²⁹ м ³ 1,38 · 10 ⁻²⁹ м ³ 1,95 · 10 ⁻³⁶ Кл · м 6,6 · 10 ⁻³⁶ Кл · м

Номер задания	10.2			
1	50 В/м;	$8,85 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ² ;	$4,425 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ² ;	$4,425 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ²
2	м ²			
3	312 В/м;	$2,76 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$1,7 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$1,7 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ²
4	140 В/м;	3,5;	40 В/м;	$8,85 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ²
	328,8 В/м;	4,11;	$2,91 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$2,2 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ²
5	135 В/м;	45 В/м;	$1,195 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$7,965 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ²
6	м ²			
7	2,8;	$1,11 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$7,17 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ² ;	$7,17 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ²
8	176,3 В/м;	80,1 В/м;	$8,5 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ² ;	$8,5 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ²
	3,44;	59,3 В/м;	$1,8 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$1,275 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ²
9	153,7 В/м;	4,39;	$1,05 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$1,05 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ²
10	100 В/м;	25 В/м;	$8,85 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ² ;	$6,64 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ²
11	270 В/м;	75 В/м;	$1,73 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$1,73 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ²
12	140 В/м;	2,33;	$1,24 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$7,08 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ²
13	120 В/м;	2,4;	50 В/м;	$6,195 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ²
14	м ²			
15	4,32;	99,4 В/м;	$3,8 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$2,92 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ²
16	30 В/м;	$1,59 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$1,33 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$1,33 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ²
	272 В/м;	$2,41 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$1,7 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$1,7 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ²
17	84 В/м;	2,8;	30 В/м;	$4,78 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ²
18	159,8 В/м;	4;	$1,414 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$1,06 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ²
19	147 В/м;	42 В/м;	$1,3 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$9,29 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ²
20	3,8;	$2,354 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$1,735 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$1,735 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ²
21	147 В/м;	35 В/м;	$9,9 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ² ;	$9,9 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ²
22	2,7;	110 В/м;	$2,63 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$1,655 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ²
23	288 В/м;	3,2;	$1,75 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$1,75 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ²
24	175 В/м;	70 В/м;	$1,55 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$9,3 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ²
25	126 В/м;	$1,115 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$8,5 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ² ;	$8,5 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ²
26	130 В/м;	2,6;	$1,15 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$7,08 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ²
27	132 В/м;	3,3;	40 В/м;	$8,14 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ²
28	4,5;	119,8 В/м;	$4,78 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	$3,72 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ²

Номер задания	10.3		10.4		10.5
1	400 В/м;	126 В/м	$1,76 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	10,8°	$2,25 \cdot 10^{-5}$ Н
2	720 В/м;	138,5 В/м	$2,65 \cdot 10^{-8}$ Кл/м ² ;	40,9°	$5,625 \cdot 10^{-6}$ Н
3	180 В/м;	42,6 В/м	$6,07 \cdot 10^{-8}$ Кл/м ² ;	2,98	$2,5 \cdot 10^{-6}$ Н
4	1,44 кВ/м;	213 В/м	$2,64 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	28,86°	$1,4 \cdot 10^{-6}$ Н
5	39,2 В/м;	84,75 В/м	$1,83 \cdot 10^{-8}$ Кл/м ² ;	28,2°	$3 \cdot 10^{-7}$ Кл/м
6	31 В/м;	104,6 В/м	$3,65 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	2,77	10^{-8} Кл/м
7	31 В/м;	235,4 В/м	$1,07 \cdot 10^{-8}$ Кл/м ² ;	65°	$8 \cdot 10^{-8}$ Кл/м
8	17,4 В/м;	26,15 В/м	$2,27 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	46,84°	$6 \cdot 10^{-8}$ Кл/м
9	113 В/м;	18,8 В/м	$1,53 \cdot 10^{-8}$ Кл/м ² ;	6	10^{-7} Кл · м
10	1,4 В/м;	25,1 В/м	$2,04 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	48°	$2 \cdot 10^{-8}$ Кл · м
11	43,46 В/м;	16,14 В/м	$1,13 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	24,6°	$1,2 \cdot 10^{-9}$ Кл · м
12	43,46 В/м;	1,4 В/м	$1,53 \cdot 10^{-8}$ Кл/м ² ;	1,64	$7 \cdot 10^{-9}$ Кл · м
13	904 В/м.;	75,3 В/м	$3,44 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	29,6°	0,1 м
14	1059 В/м;	113 В/м	$1,16 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	40,37°	0,25 м
15	904 В/м;	113 В/м	$1,18 \cdot 10^{-8}$ Кл/м ² ;	3,78	0,7 м
16	41,6 В/м;	125,5 В/м	$9,41 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	23°	0,5 м
17	678 В/м;	169,5 В/м	$1,17 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	4°	$2,7 \cdot 10^{-5}$ Н
18	113 В/м;	8,4 В/м	$3 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	6,9	$1,62 \cdot 10^{-5}$ Н
19	261 В/м;	113 В/м	$5,13 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	7,12°	$2 \cdot 10^{-5}$ Н
20	678 В/м;	261 В/м	$4,37 \cdot 10^{-8}$ Кл/м ² ;	7,65°	$4 \cdot 10^{-5}$ Н
21	0;	201 В/м	$2,51 \cdot 10^{-8}$ Кл/м ² ;	0,26	0,25 м
22	0;	266 В/м	$1,37 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	10,52°	0,15 м
23	0;	92,25 В/м	$9,2 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	21,8°	0,4 м
24	0;	84,75 В/м	$3 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	3	0,3 м
25	0;	968, 5 В/м	$1,085 \cdot 10^{-8}$ Кл/м ² ;	35,2°	$6 \cdot 10^{-8}$ Кл
26	0;	434,6 В/м	$1,54 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	23,5°	10^{-8} Кл
27	0;	226 В/м	$4,52 \cdot 10^{-9}$ Кл/м ² ;	7,6	$5 \cdot 10^{-8}$ Кл
28	0;	301,3 В/м	$3,83 \cdot 10^{-10}$ Кл/м ² ;	58°	$2 \cdot 10^{-8}$ Кл

Номер задания	10.6			
1	$6,2 \cdot 10^{-7}$ Кл/м ² ;	2163 В;	23 пФ;	$5,4 \cdot 10^{-5}$ Дж
2	0,1 м;	$1,89 \cdot 10^{-7}$ Кл;	4189 В;	$3,95 \cdot 10^{-4}$ Дж
3	8,6 см;	$8,67 \cdot 10^{-6}$ Кл/м ² ;	13,3 кВ;	$5,3 \cdot 10^{-3}$ Дж
4	7,8 см;	$1,125 \cdot 10^{-6}$ Кл;	$1,47 \cdot 10^{-5}$ Кл/м ² ;	703 пФ
5	$8,8 \cdot 10^{-8}$ Кл;	2262 В;	38,9 пФ;	$9,95 \cdot 10^{-5}$ Дж
6	3;	$9,55 \cdot 10^{-7}$ Кл/м ² ;	16,7 пФ;	$2,7 \cdot 10^{-5}$ Дж
7	2,63 см;	3,88;	$2,6 \cdot 10^{-8}$ Кл;	11,34 пФ
8	10,5;	$4,42 \cdot 10^{-6}$ Кл/м ² ;	2857 В;	$2,86 \cdot 10^{-4}$ Дж
9	4,5;	$4,9 \cdot 10^{-8}$ Кл;	$2,4 \cdot 10^{-6}$ Кл/м ² ;	2449 В
10	2,3;	$2,7 \cdot 10^{-8}$ Кл;	$4,3 \cdot 10^{-7}$ Кл/м ² ;	17,8 пФ
11	6,8 см;	$7,14 \cdot 10^{-8}$ Кл;	$1,23 \cdot 10^{-6}$ Кл/м ² ;	$7,5 \cdot 10^{-5}$ Дж
12	3 см;	2,43;	11 кВ;	8,1 пФ
13	6,25 см;	$2 \cdot 10^{-6}$ Кл/м ² ;	6 кВ;	16,7 пФ
14	1,8;	$8 \cdot 10^{-7}$ Кл/м ² ;	10 кВ;	40 пФ
15	9,8;	$7,6 \cdot 10^{-7}$ Кл;	6338 В;	$2,4 \cdot 10^{-3}$ Дж
16	5 см;	$2,54 \cdot 10^{-6}$ Кл/м ² ;	36,36 пФ;	$8,8 \cdot 10^{-5}$ Дж
17	6,13 см;	3,67;	$4,25 \cdot 10^{-8}$ Кл;	$3,6 \cdot 10^{-5}$ Дж
18	5,18;	$2 \cdot 10^{-7}$ Кл;	3861 В;	51,8 пФ
19	5,6;	$1,2 \cdot 10^{-7}$ Кл;	$1,5 \cdot 10^{-6}$ Кл/м ² ;	$1,44 \cdot 10^{-4}$ Дж
20	7,5 см;	5,1;	1667 В;	$5,83 \cdot 10^{-5}$ Дж
21	10 см;	4,05;	45 пФ;	$9 \cdot 10^{-5}$ Дж
22	4,5 см;	$6,93 \cdot 10^{-8}$ Кл;	$2,72 \cdot 10^{-6}$ Кл/м ² ;	2309 В
23	5,8;	$1,1 \cdot 10^{-7}$ Кл;	77,5 пФ;	$7,6 \cdot 10^{-5}$ Дж
24	4,95;	$4 \cdot 10^{-7}$ Кл/м ² ;	908 В;	$2,27 \cdot 10^{-5}$ Дж
25	5 см;	7714 В;	38,9 пФ;	$1,16 \cdot 10^{-3}$ Дж
26	3,86 см;	9,3;	$7,5 \cdot 10^{-8}$ Кл;	1871 В
27	$1,83 \cdot 10^{-8}$ Кл;	$1,62 \cdot 10^{-6}$ Кл/м ² ;	7,33 пФ;	$2,3 \cdot 10^{-5}$ Дж
28	7,15 см;	$5,13 \cdot 10^{-8}$ Кл;	27 пФ;	$4,87 \cdot 10^{-5}$ 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	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	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	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;	150 В	1,9 см	23,45 пФ
20	$2,25 \cdot 10^{-5}$ Дж $8,1 \cdot 10^{-5}$ 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	55 пФ
22	$1,215 \cdot 10^{-5}$ Дж	3 мм	2,8	44 пФ
23	$6,75 \cdot 10^{-5}$ Дж	110 В	220 В	60 пФ
24	$1,357 \cdot 10^{-4}$ Дж	$2,68 \cdot 10^{-7}$ Дж	2,6 см	36 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	$1,33 \cdot 10^7$ м/с;	41°	400 В	7 Кл;	7 А
2	3,3 см;	$1,55 \cdot 10^7$ м/с	2 см	16 Кл;	8 А
3	$7,07 \cdot 10^5$ м/с;	0,3 см	5 см	27 Кл;	9 А
4	$5 \cdot 10^5$ м/с;	24,65 В/м	28 В	40 Кл;	10 А
5	$1,1 \cdot 10^6$ м/с;	25,5°	3,5 см	10 Кл;	5 А
6	36,2 см;	$2 \cdot 10^6$ м/с	2,5 см	30 Кл;	10 А
7	$8,66 \cdot 10^4$ м/с;	0,45 см	205 В	68 Кл;	17 А
8	$7,07 \cdot 10^4$ м/с;	522 В/м	100 В	130 Кл;	26 А
9	$1,33 \cdot 10^7$ м/с;	41°	8 см	21,5 Кл;	21,5 А
10	5,58 см;	$1,4 \cdot 10^7$ м/с	72,7 В	62 Кл;	31 А
11	$5 \cdot 10^5$ м/с;	2,46 см	500 В	127,5 Кл;	42,5 А
12	$8,66 \cdot 10^6$ м/с;	2465 В/м	1 см	224 Кл;	56 А
13	$8,84 \cdot 10^6$ м/с;	83,5°	320 В	11 Кл;	11 А
14	1,1 см;	$1,4 \cdot 10^6$ м/с	2 см	28 Кл;	14 А
15	$5 \cdot 10^5$ м/с;	2,5 см	2,8 см	51 Кл;	17 А
16	$8,66 \cdot 10^5$ м/с;	24,65 В/м	13,3 В	80 Кл;	20 А
17	$4,9 \cdot 10^5$ м/с;	78,2°	4 см	12 Кл;	6 А
18	6 см;	$1,155 \cdot 10^5$ м/с	2 см	19,5 Кл;	6,5 А
19	$7,07 \cdot 10^4$ м/с;	5,2 см	240 В	28 Кл;	7 А
20	$5 \cdot 10^5$ м/с;	$4,52 \cdot 10^4$ В/м	36 В	37,5 Кл;	7,5 А
21	$8,84 \cdot 10^6$ м/с;	83,5°	6 см	10 Кл;	10 А
22	1,97 см;	$2 \cdot 10^6$ м/с	40 В	34 Кл;	17 А
23	$8,66 \cdot 10^5$ м/с;	2,46 см	600 В	78 Кл;	26 А
24	$7,07 \cdot 10^5$ м/с;	28,47 В/м	2,4 см	148 Кл;	37 А
25	$4,89 \cdot 10^5$ м/с;	78,2°	600 В	13 Кл;	13 А
26	1,2 см;	$1,155 \cdot 10^5$ м/с	2 см	30 Кл;	15 А
27	$7,07 \cdot 10^4$ м/с;	1 см	10 см	51 Кл;	17 А
28	$5 \cdot 10^4$ м/с;	906 В/м	36 В	76 Кл;	19 А

Номер задания	11.4	11.5	11.6	11.7
1	0,02 Ом; 1 мА/дел.	0,2 А	3,43 кг	20 м; 4,5 Вт
2	0,0353 Ом; 1,33 мА/дел.	146 мА	42°	2 А; 2 Вт
3	0,0176 Ом; 0,66 мА/дел.	0,2 А	10 ³ кДж	8 В; 8 Вт
4	0,011 Ом; 2 мА/дел.	149 мА	80%	20 м; 2А
5	3 кОм; 0,5 В/дел.	273 мА	2 кг	8 В; 4 А
6	4 кОм; 1 В/дел.	511 мА	33°	5 Ом; 5 Вт
7	1,5 кОм; 0,75 В/дел.	822 мА	1, 5 · 10 ³	6 В; 1,5 Ом
8	6 кОм; 1,5 В/дел.	216 мА	кДж 60%	0,4 А; 0,2 Вт
9	120 кОм; 2 В/дел.	625 мА	3,5 кг	2 Ом; 2 А
10	60 кОм; 10 В/дел.	1,67 А	17°	4 В; 4 Вт
11	150 кОм; 6 В/дел.	208 мА	1, 5 · 10 ³	2 А; 3 Вт
12	200 кОм; 4 В/дел.	0,2 А	кДж 70%	6 В; 3 Ом
13	0,77 Ом; 2 мА/дел.	454,5 мА	4 кг	3 А; 4,5 Вт
14	2 Ом; 3 мА/дел.	303 мА	34°	3 В; 0,5 Ом
15	3 Ом; 6 мА/дел.	126 мА	1, 2 · 10 ³	2 Ом; 8 Вт
16	0,07 Ом; 1,5 мА/дел.	491 мА	кДж 75%	6 В; 3 А
17	0,0143 Ом; 3 мА/дел.	6 А	3 кг	4 Ом; 1 Вт
18	0,0154 Ом; 1,5 мА/дел.	3,33 А	19°	2 А; 4 Вт
19	0,0033 Ом; 1 мА/дел.	1 А	980 кДж	36 В; 108 Вт
20	0,0364 Ом; 5 мА/дел.	0,5 А	60%	0,75 Ом; 8 А
21	9 кОм; 20 В/дел.	0,1 А	1,2 кг	6 В; 2 А
22	2 кОм; 10 В/дел.	0,29 А	21°	2 Ом; 4,5 Вт
23	57 кОм; 40 В/дел.	0,13 А	830 кДж	2 В; 0,5 Ом
24	156 кОм; 6,67 В/дел.	147,5 мА	45%	5 А; 12,5 Вт
25	30 кОм; 5 В/дел.	322,6 мА	1,7 кг	4 В; 1 А
26	75 кОм; 2 В/дел.	238,5 мА	16°	6 В; 2 Ом
27	150 кОм; 10 В/дел.	526 мА	900 кДж	16 В; 32 Вт
28	10 кОм; 3 В/дел.	0,2 А	44%	10 м; 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 · 10 ¹² м ⁻³	1,44 мкА/м ² ;	0,2%
4	11 К	3,38 · 10 ¹⁴ Ом	2,3 мкА/м ² ;	0,1%
5	19,5 мА	0,24 м	64 мкА/м ² ;	0,02%
6	6 · 10 ⁻³ К ⁻¹	6,25 мм ²	68,3 мкА/м ² ;	0,025%
7	2,85 Ом	6,25 · 10 ¹² м ⁻³	144 мкА/м ² ;	0,015%
8	26,4 Ом	3,125 · 10 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 · 10 ¹³ м ⁻³	57,65 мкА/м ² ;	0,08%
12	4 · 10 ⁻³ К ⁻¹	2,1 · 10 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 · 10 ¹⁵ м ⁻³	0,32 мА/м ² ;	0,05%
16	29 К	1,25 · 10 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 · 10 ⁻³ К ⁻¹	6,25 мм ²	2,56 мА/м ² ;	0,1%
19	30 Ом	6,25 · 10 ¹⁵ м ⁻³	5,77 мА/м ² ;	0,15%
20	16,5 Ом	6,25 · 10 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 · 10 ¹³ м ⁻³	485 мкА/м ² ;	1%
24	4 · 10 ⁻³ К ⁻¹	6,25 · 10 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 · 10 ¹³ м ⁻³	125 мкА/м ² ;	0,3%
28	43,9 К	1,25 · 10 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	$1,63 \cdot 10^{-5}$ Тл
2	9,8 А	$5 \cdot 10^{-6}$ Тл	2,2 см	$1,72 \cdot 10^{-5}$ Тл
3	4,1 Тл	$2 \cdot 10^{-5}$ Тл	$1,3 \cdot 10^{-5}$ Тл	$1,79 \cdot 10^{-5}$ Тл
4	$4,71 \cdot 10^{-5}$ Н · м	$3 \cdot 10^{-5}$ Тл	$\approx 90^\circ$	$1,83 \cdot 10^{-5}$ Тл
5	30°	$2 \cdot 10^{-5}$ Тл	12,2 А	$-3,8 \cdot 10^{-6}$ Тл
6	1 см	10^{-5} Тл	8,5 см	$-4,85 \cdot 10^{-6}$ Тл
7	≈ 3 А	$4 \cdot 10^{-5}$ Тл	$2,83 \cdot 10^{-6}$ Тл	$-5,77 \cdot 10^{-6}$ Тл
8	4,06 Тл	10^{-5} Тл	$\approx 83^\circ$	$-6,4 \cdot 10^{-6}$ Тл
9	$1,2 \cdot 10^{-3}$ Н · м	$6 \cdot 10^{-6}$ Тл	7,3 А	$7,92 \cdot 10^{-6}$ Тл
10	$\approx 30^\circ$	$8 \cdot 10^{-6}$ Тл	16,1 см	$3,38 \cdot 10^{-5}$ Тл
11	3 см	$1,6 \cdot 10^{-5}$ Тл	$1,77 \cdot 10^{-5}$ Тл	$3,19 \cdot 10^{-5}$ Тл
12	0,4 А	$6 \cdot 10^{-6}$ Тл	$\approx 90^\circ$	$2,84 \cdot 10^{-5}$ Тл
13	3 Тл	10^{-5} Тл	3,98 А	$2,12 \cdot 10^{-5}$ Тл
14	$3,02 \cdot 10^{-3}$ Н · м	$1,8 \cdot 10^{-5}$ Тл	1,15 см	$1,36 \cdot 10^{-5}$ Тл
15	45°	$1,6 \cdot 10^{-6}$ Тл	$1,49 \cdot 10^{-5}$ Тл	$8,27 \cdot 10^{-6}$ Тл
16	4 см	$1,4 \cdot 10^{-5}$ Тл	$\approx 101^\circ$	$3,28 \cdot 10^{-6}$ Тл
17	2 А	$8 \cdot 10^{-6}$ Тл	3,35 А	$7,35 \cdot 10^{-6}$ Тл
18	4 Тл	$1,2 \cdot 10^{-5}$ Тл	1,15 см	$7,96 \cdot 10^{-6}$ Тл
19	$6,1 \cdot 10^{-3}$ Н · м	$6 \cdot 10^{-5}$ Тл	$1,71 \cdot 10^{-6}$ Тл	$9 \cdot 10^{-6}$ Тл
20	60°	$2 \cdot 10^{-5}$ Тл	$\approx 83^\circ$	$9,5 \cdot 10^{-6}$ Тл
21	5 см	$1,8 \cdot 10^{-5}$ Тл	18,3 А	$5,2 \cdot 10^{-6}$ Тл
22	4,5 А	$4 \cdot 10^{-5}$ Тл	4,5 см	$3,5 \cdot 10^{-6}$ Тл
23	2 Тл	$1,6 \cdot 10^{-5}$ Тл	$1,42 \cdot 10^{-5}$ Тл	0
24	$2,5 \cdot 10^{-2}$ Н · м	$2 \cdot 10^{-6}$ Тл	$\approx 101^\circ$	$-3 \cdot 10^{-6}$ Тл
25	60°	$1,4 \cdot 10^{-5}$ Тл	14,9 А	$1,3 \cdot 10^{-5}$ Тл
26	5 см	$6 \cdot 10^{-5}$ Тл	7,1 см	$5,69 \cdot 10^{-6}$ Тл
27	2 А	$1,4 \cdot 10^{-5}$ Тл	$1,72 \cdot 10^{-5}$ Тл	0
28	2 Тл	$2 \cdot 10^{-5}$ Тл	$\approx 47^\circ$	$-5,69 \cdot 10^{-6}$ Тл

Номер задания	12.5	12.6	12.7
1	4 см	$1,32 \cdot 10^{-4}$ Тл	$-5 \cdot 10^{-6}$ Тл · м
2	5 А	$3,49 \cdot 10^{-5}$ Тл	$-2,76 \cdot 10^{-6}$ Тл · м
3	2 А	$6,86 \cdot 10^{-5}$ Тл	$3,77 \cdot 10^{-7}$ Тл · м
4	$3 \cdot 10^{-5}$ Тл	$3,46 \cdot 10^{-5}$ Тл	$1,38 \cdot 10^{-6}$ Тл · м
5	1 см	$3,57 \cdot 10^{-5}$ Тл	$-7,54 \cdot 10^{-7}$ Тл · м
6	4 А	$8 \cdot 10^{-5}$ Тл	$6,28 \cdot 10^{-7}$ Тл · м
7	5 А	$1,56 \cdot 10^{-5}$ Тл	$1,26 \cdot 10^{-7}$ Тл · м
8	$2 \cdot 10^{-5}$ Тл	$3,96 \cdot 10^{-6}$ Тл	$4 \cdot 10^{-6}$ Тл · м
9	5 см	$6,44 \cdot 10^{-6}$ Тл	$-3,77 \cdot 10^{-7}$ Тл · м
10	2 А	$5,77 \cdot 10^{-6}$ Тл	$2,14 \cdot 10^{-6}$ Тл · м
11	6 А	$1,73 \cdot 10^{-5}$ Тл	$1,13 \cdot 10^{-6}$ Тл · м
12	$4 \cdot 10^{-5}$ Тл	$1,2 \cdot 10^{-5}$ Тл	$-1,26 \cdot 10^{-7}$ Тл · м
13	2 см	$8,26 \cdot 10^{-6}$ Тл	$8 \cdot 10^{-6}$ Тл · м
14	3 А	$1,6 \cdot 10^{-5}$ Тл	$-6,28 \cdot 10^{-7}$ Тл · м
15	1 А	$9,5 \cdot 10^{-6}$ Тл	$1,88 \cdot 10^{-6}$ Тл · м
16	$9 \cdot 10^{-5}$ Тл	$9 \cdot 10^{-6}$ Тл	$2 \cdot 10^{-6}$ Тл · м
17	6 см	$2,53 \cdot 10^{-5}$ Тл	$2,5 \cdot 10^{-6}$ Тл · м
18	6 А	$4,1 \cdot 10^{-5}$ Тл	$7,54 \cdot 10^{-6}$ Тл · м
19	5 А	$2,68 \cdot 10^{-5}$ Тл	$4,77 \cdot 10^{-6}$ Тл · м
20	$2 \cdot 10^{-5}$ Тл	$6,13 \cdot 10^{-5}$ Тл	$-1,63 \cdot 10^{-6}$ Тл · м
21	12 см	$1,66 \cdot 10^{-5}$ Тл	$-3,14 \cdot 10^{-6}$ Тл · м
22	2 А	$2,2 \cdot 10^{-5}$ Тл	$3 \cdot 10^{-6}$ Тл · м
23	1 А	$1,51 \cdot 10^{-5}$ Тл	$-2,26 \cdot 10^{-6}$ Тл · м
24	$3 \cdot 10^{-5}$ Тл	$3,3 \cdot 10^{-5}$ Тл	$1,26 \cdot 10^{-6}$ Тл · м
25	9 см	$1,47 \cdot 10^{-5}$ Тл	$2,26 \cdot 10^{-6}$ Тл · м
26	1 А	$7,35 \cdot 10^{-6}$ Тл	$-8,8 \cdot 10^{-7}$ Тл · м
27	3 А	$4,9 \cdot 10^{-6}$ Тл	$1,88 \cdot 10^{-6}$ Тл · м
28	$1,2 \cdot 10^{-4}$ Тл	$3,68 \cdot 10^{-6}$ Тл	$6 \cdot 10^{-6}$ 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;	$1,1 \cdot 10^{-6}$ с	2 см;	21,76 см
2	$2 \cdot 10^{-2}$ Тл;	$7,5 \cdot 10^{-23}$ кг · м ² /с	0,43 см;	1,57 см
3	1296 В;	$2 \cdot 10^{12}$ м/с ²	2 см;	12,56 см
4	5,1 см;	0	1 см;	2,83 см
5	5 см;	$2,4 \cdot 10^{-24}$ кг · м ² /с	$3,53 \cdot 10^{-3}$ Тл;	9,42 см
6	2000 В;	$1,4 \cdot 10^{16}$ м/с ²	0,1 Тл;	27,2 см
7	10^{-3} Тл;	0	10^{-2} Тл;	3,14 см
8	10 см;	$4 \cdot 10^{-8}$ с	0,173 Тл;	9,1 см
9	$3 \cdot 10^{-3}$ Тл;	$8,44 \cdot 10^{15}$ м/с ²	1800 В;	1 см
10	3 см;	0	3500 В;	0,43 см
11	$2 \cdot 10^{-3}$ Тл;	$1,8 \cdot 10^{-8}$ с	900 В;	1 см
12	2880 В;	$1,75 \cdot 10^{-24}$ кг · м ² /с	3500 В;	0,5 см
13	20,4 см;	$3,3 \cdot 10^{-6}$ с	7900 В;	9,42 см
14	1600 В;	$1,3 \cdot 10^{-22}$ кг · м ² /с	900 В;	16,3 см
15	$2 \cdot 10^{-2}$ Тл;	$9,6 \cdot 10^{11}$ 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	$5 \cdot 10^{-2}$ Тл;	$2,4 \cdot 10^{-22}$ кг · м ² /с	0,1 Тл;	1,5 см
19	20 см;	$1,9 \cdot 10^{11}$ м/с ²	$6,28 \cdot 10^{-2}$ Тл;	1 см
20	3600 В;	$1,64 \cdot 10^{-6}$ с	$7,07 \cdot 10^{-3}$ Тл;	3 см
21	$5 \cdot 10^{-3}$ Тл;	0	30°;	21,76 см
22	1280 В;	$1,5 \cdot 10^{16}$ м/с ²	30°;	5,44 см
23	20 см;	$1,94 \cdot 10^{-24}$ кг · м ² /с	45°;	6,28 см
24	10^{-3} Тл;	$3,6 \cdot 10^{-8}$ с	45°;	6,28 см
25	3 см;	$1,2 \cdot 10^{-8}$ с	60°;	0,87 см
26	$3 \cdot 10^{-3}$ Тл;	0	45°;	1 см
27	2 см;	$1,4 \cdot 10^{17}$ м/с ²	30°;	2,5 см
28	2000 В;	$7,3 \cdot 10^{-24}$ кг · м ² /с	60°;	2,5 см

Номер задания	13.3	13.4	13.5	13.6
1	$6,2 \cdot 10^{-18}$ Дж	1,3 А	0,32 мм	2 см
2	$6 \cdot 10^{-2}$ Тл	0,36 Тл	$6,6 \cdot 10^{-5}$ Ом · м	0,2 Тл
3	5 см	$8 \cdot 10^{-7}$ В	0,6 Тл	45°
4	30°	0,54 мм	0,5 А	$2,42 \cdot 10^{-4}$ Н
5	$3,06 \cdot 10^{-17}$ Дж	2,46 А	$1,5 \cdot 10^{-3}$ В	2,5 см
6	0,1 Тл	0,55 Тл	$0,65 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	1 Тл
7	3 см	$1,3 \cdot 10^{-7}$ В	0,426 мм	60°
8	30°	1,08 мм	$4 \cdot 10^{-5}$ Ом · м	$1,67 \cdot 10^{-5}$ Н
9	$1,4 \cdot 10^{-16}$ Дж	2,15 А	0,88 Тл	1 см
10	$6 \cdot 10^{-3}$ Тл	0,76 Тл	0,8 А	$6,66 \cdot 10^{-3}$ Тл
11	1,2 см	$7,8 \cdot 10^{-7}$ В	$8,8 \cdot 10^{-4}$ В	45°
12	60°	0,36 мм	$5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	$8,7 \cdot 10^{-4}$ Н
13	$2,76 \cdot 10^{-18}$ Дж	3А	0,33 мм	3 см
14	$4 \cdot 10^{-2}$ Тл	0,26 Тл	$6 \cdot 10^{-5}$ Ом · м	0,1 Тл
15	2 см	$4 \cdot 10^{-7}$ В	1 Тл	30°
16	45°	0,45 мм	0,66 А	$3,65 \cdot 10^{-4}$ Н
17	$3,5 \cdot 10^{-17}$ Дж	5,25 А	$3,82 \cdot 10^{-4}$ В	2 см
18	$4 \cdot 10^{-3}$ Тл	0,4 Тл	$1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	$6,06 \cdot 10^{-2}$ Тл
19	8 см	$5,4 \cdot 10^{-7}$ В	0,18 мм	45°
20	30°	0,11 мм	$1,5 \cdot 10^{-5}$ Ом · м	$1,86 \cdot 10^{-3}$ Н
21	$2,76 \cdot 10^{-18}$ Дж	7,2 А	0,91 Тл	4 см
22	0,7 Тл	0,84 Тл	0,2 А	0,1 Тл
23	4 см	$1,8 \cdot 10^{-6}$ В	$5,35 \cdot 10^{-4}$ В	60°
24	45°	0,9 мм	$5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	$7,74 \cdot 10^{-4}$ Н
25	$5,04 \cdot 10^{-15}$ Дж	6А	0,22 мм	5 см
26	$2 \cdot 10^{-3}$ Тл	0,8 Тл	10^{-5} Ом · м	0,2 Тл
27	8,66 см	$9,3 \cdot 10^{-7}$ В	1 Тл	60°
28	30°	0,39 мм	0,1 А	$2,23 \cdot 10^{-4}$ Н

Номер задания	13.7	13.8	13.9	13.10
1	$2,13 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м}$	60°	2,5 см	0,12 Тл
2	$5 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$	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	$5,32 \cdot 10^{-2} \text{ Вб}$	$5,54 \cdot 10^{-8} \text{ Дж}$	60°
6	$1,7 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м}$	$6 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$	2 см	$-2,3 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$
7	$7,51 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$	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	$4,16 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$	30°
11	$3,1 \cdot 10^{-7} \text{ Н} \cdot \text{м}$	$1,04 \cdot 10^{-2} \text{ Вб}$	1,5 см	0
12	$4 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$	$8 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$	12 см	$-1,7 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$
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	$4,57 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$	5 см
16	$1,1 \cdot 10^{-5} \text{ Н} \cdot \text{м}$	1 мин	6 см	180°
17	$2 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$	1,085 Вб	6 см	90°
18	10 см	$6 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$	2,5 А	$-1,38 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$
19	60°	45°	2 А	0,25 Тл
20	0,21 А	25 Гц	$3,86 \cdot 10^{-8} \text{ Дж}$	1 А
21	$1,9 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м}$	3 см	4 см	2 см
22	$9,5 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$	50 с	9 см	60°
23	6 см	0,235 Вб	1 А	90°
24	30°	0,12 Тл	0,5 А	$9,79 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$
25	0,5 А	30°	$2 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$	0,4 Тл
26	$4,08 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м}$	10 Гц	3 см	0,5 А
27	$8 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$	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	$2,8 \cdot 10^{-5} \text{ Вб} \cdot \text{м}$	1165	20,375°; 0,98	0,02 Тл
2	$1,5 \cdot 10^{-4}$	683	$2,048 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$; 43,6°	30 см
3	1 см	517	$4,987 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}$; 29,75°	40 рад/с
4	$5 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$	430	45,567°; 1,02	60°
5	$4,1 \cdot 10^{-6} \text{ Вб} \cdot \text{м}$	0,6 Тл	$8,186 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$; 60,75°	$8,1 \cdot 10^{-2} \text{ В}$
6	$-1,76 \cdot 10^{-4}$	0,9 Тл	$3,33 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$; 1,005	0,11 Тл
7	2 см	1 Тл	59,75°; 0,99	20 см
8	$2 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$	1,25 Тл	$5,008 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$; 40,113°	30 рад/с
9	$1,1 \cdot 10^{-4} \text{ Вб} \cdot \text{м}$	5,8 А	20,11°; 1,006	45°
10	$-9 \cdot 10^{-6}$	2,4 А	$7,616 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$; 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	$3,976 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}$; 59,8°	25 см
13	$4,84 \cdot 10^{-5} \text{ Вб} \cdot \text{м}$	882 м^{-1}	$1,145 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$; 0,656°	50 рад/с
14	$1,4 \cdot 10^{-3}$	1070 м^{-1}	85,9°; 800	60°
15	2 см	811 м^{-1}	88,36°; $1,432 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$	0,15 В
16	$5 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$	757 м^{-1}	0,82°; $2 \cdot 10^3$	0,2 Тл
17	$8,75 \cdot 10^{-8} \text{ Вб} \cdot \text{м}$	3,7 мм	87,8°; 10^{-3}	10 см
18	$-1,7 \cdot 10^{-5}$	4,7 мм	1,05°; $8 \cdot 10^{-4}$	60 рад/с
19	1 см	3,2 мм	0,1397 Тл; 88,36°	45°
20	$3 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$	4,1 мм	$2,8 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$; 3,28°	0,215 В
21	$1,08 \cdot 10^{-5} \text{ Вб} \cdot \text{м}$	34,5 см	87°; $3,14 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$	0,5 Тл
22	$1,4 \cdot 10^{-3}$	42 см	$2,87 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$; 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	$6,93 \cdot 10^{-8} \text{ Вб} \cdot \text{м}$	643	89°; 750	0,68 В
26	$1,2 \cdot 10^{-3}$	1126	$1,31 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}$; 3,214°	0,3 Тл
27	3 см	1416	$1,26 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$; 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	$5,25 \cdot 10^{-3}$ В	0,2 Тл	3,43 Гн;	0,6 мм
2	$9,02 \cdot 10^{-3}$ В	32,8 В	480;	0,4 А
3	$1,05 \cdot 10^{-2}$ В	600	7,359 Гн;	255,55 Дж/м ³
4	$9,09 \cdot 10^{-3}$ В	20 см ²	380;	848
5	$8,48 \cdot 10^{-4}$ В	13,07 В	78,17 Гн;	0,8 А
6	$1,697 \cdot 10^{-3}$ В	1,25 с	650;	0,3 мм
7	$2,545 \cdot 10^{-3}$ В	0,3 Тл	0,7 мм;	4,2 см
8	$3,39 \cdot 10^{-3}$ В	840	4,44 Гн;	1200
9	0,02 В	800	570;	149,15 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;	36 801 Дж/м ³
13	$6,49 \cdot 10^{-4}$ В	0,7 Тл	2,7 см;	0,35 А
14	$1,3 \cdot 10^{-3}$ В	65,39 В	2120 Гн;	1 мм
15	$1,95 \cdot 10^{-3}$ В	1000	550;	297,28 Дж/м ³
16	$2,6 \cdot 10^{-3}$ В	30 см ²	0,4 мм;	2097
17	$7,68 \cdot 10^{-2}$ В	26,97 В	9,026 Гн;	68,38 Дж/м ³
18	$6,65 \cdot 10^{-2}$ В	3,01 с	0,75 А;	3907
19	$5,43 \cdot 10^{-2}$ В	0,4 Тл	418;	2300
20	$3,84 \cdot 10^{-2}$ В	40 см ²	0,12 мм;	596,6 Дж/м ³
21	$2,6 \cdot 10^{-2}$ В	500	1,3265 Гн;	0,18 А
22	$5,2 \cdot 10^{-2}$ В	24 см ²	817;	0,2 мм
23	$7,8 \cdot 10^{-2}$ В	68,04 В	2,8 см;	1798
24	0,104 В	4 с	5,6 см;	8,792 Дж/м ³
25	$3,1 \cdot 10^{-3}$ В	0,5 Тл	250;	0,45 А
26	$6,23 \cdot 10^{-3}$ В	68,36 В	0,88 мм;	4 см
27	$9,35 \cdot 10^{-3}$ В	800	1,462 Гн;	923
28	$12,47 \cdot 10^{-3}$ В	25 см ²	1250;	15 025,5 Дж/м ³

Номер задания	14.8		14.9	14.10
1	23,1 Ом	0;	$3,3 \cdot 10^{-7} \text{ A/M}^2$	$2,1 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
2	0,3 Гн	0;	$8,8 \cdot 10^{-8} \text{ A/M}^2$	$2,97 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
3	0,6 А	0;	$2,3 \cdot 10^{-7} \text{ A/M}^2$	$4 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
4	0,25 А	0;	$4,4 \cdot 10^{-7} \text{ A/M}^2$	$2,55 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
5	$4 \cdot 10^{-3} \text{ с}$	0;	$3,46 \cdot 10^{-7} \text{ A/M}^2$	$-2 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
6	20 Ом	0;	$2 \cdot 10^{-7} \text{ A/M}^2$	$-2,35 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
7	0,12 Гн	0;	$1,25 \cdot 10^{-7} \text{ A/M}^2$	$-4 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
8	1 А	0;	$8,65 \cdot 10^{-8} \text{ A/M}^2$	$-4,2 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
9	0,2 А	0;	$3,1 \cdot 10^{-7} \text{ A/M}^2$	$1,4 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
10	$5 \cdot 10^{-4} \text{ с}$	0;	$6,2 \cdot 10^{-7} \text{ A/M}^2$	$7,1 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
11	80 Ом	0;	$9,3 \cdot 10^{-7} \text{ A/M}^2$	$4,7 \cdot 10^{-7} \text{ A/M}$
12	0,7 Гн	0;	$1,24 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}^2$	$3,54 \cdot 10^{-7} \text{ A/M}$
13	0,5 А	0;	10^{-7} A/M^2	$1,28 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
14	0,1 А	0;	$5 \cdot 10^{-8} \text{ A/M}^2$	$2,57 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
15	$1,45 \cdot 10^{-2} \text{ с}$	0;	$3 \cdot 10^{-8} \text{ A/M}^2$	$3,85 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
16	80 Ом	0;	$2 \cdot 10^{-8} \text{ A/M}^2$	$5,14 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
17	0,126 Гн	0;	$5,8 \cdot 10^{-8} \text{ A/M}^2$	$-3 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
18	0,2 А	0;	$1,2 \cdot 10^{-7} \text{ A/M}^2$	$1,77 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
19	0,02 А	0;	$5,2 \cdot 10^{-7} \text{ A/M}^2$	$-2 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
20	$3 \cdot 10^{-3} \text{ с}$	0;	$2,1 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}^2$	$-5 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
21	150 Ом	0;	$7,74 \cdot 10^{-8} \text{ A/M}^2$	$2,5 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
22	0,048 Гн	0;	$9,91 \cdot 10^{-8} \text{ A/M}^2$	$5 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
23	0,7 А	0;	$1,03 \cdot 10^{-7} \text{ A/M}^2$	$7,5 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
24	0,02 А	0;	$1,01 \cdot 10^{-7} \text{ A/M}^2$	10^{-5} A/M
25	$4 \cdot 10^{-3} \text{ с}$	0;	$1,1 \cdot 10^{-7} \text{ A/M}^2$	$2,5 \cdot 10^{-7} \text{ A/M}$
26	60 Ом	0;	$9,1 \cdot 10^{-8} \text{ A/M}^2$	$-8,8 \cdot 10^{-7} \text{ A/M}$
27	0,22 Гн	0;	$2,4 \cdot 10^{-8} \text{ A/M}^2$	$-2,8 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$
28	1,2 А	0;	$6,8 \cdot 10^{-10} \text{ A/M}^2$	$-2,7 \cdot 10^{-6} \text{ A/M}$

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Номер задания	15.1				
	$x = A\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$, см	T , с	x_0 , см	v_{\max} , м/с	a_{\max} , м/с ²
1	$x = 0,5\cos(5\pi t + \pi/4)$	0,4	0,35	$7,85 \cdot 10^{-2}$	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	1,06	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	1,55	0,345	5,43
8	$x = 2,4\cos(25\pi t - \pi/2)$	0,08	0	1,885	148
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	-3,3	5,18	814,2
11	$x = 0,4\cos(5\pi t - \pi/2)$	0,4	0	$6,28 \cdot 10^{-2}$	0,987
12	$x = 2,5\cos(12,5\pi t - \pi)$	0,16	-2,5	0,98	38,55
13	$x = 0,2\cos(100\pi t + \pi/4)$	0,02	0,14	0,628	197,4
14	$x = 1,3\cos(2,5\pi t - \pi/4)$	0,8	0,92	0,102	0,8
15	$x = 2,4\cos(12,5\pi t + \pi/2)$	0,16	0	0,942	37
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	$x = 3\cos(50\pi t + \pi/2)$	0,04	0	4,7	740,2
19	$x = 0,4\cos(25\pi t - \pi/4)$	0,08	0,28	0,314	24,67
20	$x = 5\cos(6,25\pi t + \pi/4)$	0,32	3,53	0,98	19,28
21	$x = 2\cos(12,5\pi t + \pi)$	0,16	-2	0,785	30,84
22	$x = 3,5\cos(20\pi t - \pi)$	0,1	-3,5	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	1,77	1,57	98,6
26	$x = 0,6\cos(25\pi t + \pi/4)$	0,08	0,42	0,47	37
27	$x = 4\cos(100\pi t - \pi/2)$	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 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 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	1,13с
21	2 см;	2,53 см	98,7 Н	0,73 с
22	0,8 см;	0,87 см	1 см	1,16 с
23	6 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 см;	7,03 см	0,5 кг	1,96 с
28	3 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

Номер задания	15.7					
	$W_{п1}, \text{Дж}$	$W_{п2}, \text{Дж}$	$W_{к1}, \text{Дж}$	$W_{к2}, \text{Дж}$	$W, \text{Дж}$	$T, \text{с}$
1	$3,08 \cdot 10^{-3}$		0			
2	0		$3,08 \cdot 10^{-3}$			
3	$3,08 \cdot 10^{-3}$	$1,54 \cdot 10^{-3}$	0	$1,54 \cdot 10^{-3}$	$3,08 \cdot 10^{-3}$	1,6
4	0		$3,08 \cdot 10^{-3}$			
5	$2,22 \cdot 10^{-4}$		0			
6	0		$2,22 \cdot 10^{-4}$			
7	$2,22 \cdot 10^{-4}$	$1,11 \cdot 10^{-4}$	0	$1,11 \cdot 10^{-4}$	$2,22 \cdot 10^{-4}$	4
8	0		$2,22 \cdot 10^{-4}$			
9	$1,54 \cdot 10^{-2}$		0			
10	0		$1,54 \cdot 10^{-2}$			
11	$1,54 \cdot 10^{-2}$	$7,7 \cdot 10^{-3}$	0	$7,7 \cdot 10^{-3}$	$1,54 \cdot 10^{-2}$	0,16
12	0		$1,54 \cdot 10^{-2}$			
13	$2,3 \cdot 10^{-4}$		0			
14	0		$2,3 \cdot 10^{-4}$			
15	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$1,15 \cdot 10^{-4}$	0	$1,15 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	8
16	0		$2,3 \cdot 10^{-4}$			
17	$1,1 \cdot 10^{-2}$		0			
18	0		$1,1 \cdot 10^{-2}$			
19	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$5,55 \cdot 10^{-3}$	0	$5,55 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	0,4
20	0		$1,1 \cdot 10^{-2}$			
21	$7,4 \cdot 10^{-3}$		0			
22	0		$7,4 \cdot 10^{-3}$			
23	$7,4 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	0	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$7,4 \cdot 10^{-3}$	0,8
24	0		$7,4 \cdot 10^{-3}$			
25	$2,7 \cdot 10^{-2}$		0			
26	0		$2,7 \cdot 10^{-2}$			
27	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$1,35 \cdot 10^{-2}$	0	$1,35 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	0,32
28	0		$2,7 \cdot 10^{-2}$			

Номер задания	15.8	15.9
1	(35 – 1200) пФ	$U_C = 133\cos(3,3 \cdot 10^3 t)$
2	(223 – 1798) м	$U_C = 29,4\cos(1,2 \cdot 10^3 t)$
3	$6 \cdot 10^{-4}$ Гн;	$U_C = 666,6\cos(710 t)$
4	$2 \cdot 10^{-5}$ Гн; 10 пФ 56,5 м	$U_C = 100\cos(6324,5 t)$
5	(8 – 900) пФ	$U_C = 6\cos(577,3 t)$
6	(42 – 480,6) м	$U_C = 150\cos(1890 t)$
7	$5 \cdot 10^{-5}$ Гн;	$U_C = 160\cos(8165 t)$
8	$3 \cdot 10^{-4}$ Гн; 25 пФ 206,5 см	$U_C = 0,71\cos(1,2 \cdot 10^4 t)$
9	(15 – 750) пФ	$U_C = 250\cos(790,6 t)$
10	(92,3 – 923) м	$U_C = 800\cos(4,47 \cdot 10^4 t)$
11	$3,5 \cdot 10^{-4}$ Гн;	$U_C = 3,125\cos(884 t)$
12	$7 \cdot 10^{-4}$ Гн; 1300 пФ 1410,6 м	$U_C = 133,3\cos(1260 t)$
13	$2 \cdot 10^{-4}$ Гн;	$U_C = 500\cos(2,5 \cdot 10^4 t)$
14	$8 \cdot 10^{-4}$ Гн;	$U_C = 500\cos(2,5 \cdot 10^3 t)$
15	(20 – 1100) пФ	$U_C = 28,6\cos(9759 t)$
16	(73 – 1632,4) м	$U_C = 75\cos(1291 t)$
17	(6 – 1000) пФ	$U_C = 50\cos(9129 t)$
18	(37,7 – 357,6) м	$U_C = 50\cos(913 t)$
19	$5 \cdot 10^{-4}$ Гн;	$U_C = 266,6\cos(2,58 \cdot 10^4 t)$
20	10^{-4} Гн; 700 пФ 777,2 м	$U_C = 87,5\cos(3101 t)$
21	(5 – 1000) пФ	$U_C = 50\cos(1443 t)$
22	(40 – 342,4) м	$U_C = 466,6\cos(8165 t)$
23	$9 \cdot 10^{-4}$ Гн;	$U_C = 100\cos(3727 t)$
24	$4 \cdot 10^{-4}$ Гн; 40 пФ 261,2 м	$U_C = 333,3\cos(785,7 t)$
25	(50 – 800) пФ	$U_C = 100\cos(3651,5 t)$
26	(163,2 – 1306) м	$U_C = 140\cos(10^4 t)$
27	$6 \cdot 10^{-5}$ Гн;	$U_C = 11,1\cos(3984 t)$
28	$7 \cdot 10^{-4}$ Гн; 43,8 м 30 пФ	$U_C = 6,9\cos(524 t)$

Номер задания	15.9 (окончание)		
1	$i = 2,6 \cdot 10^{-2} \cos(3,3 \cdot 10^3 t + \pi / 2)$; $U_C = 0$;		$i_t = -26 \text{ mA}$
2	$i = 0,06 \cos(1,2 \cdot 10^3 t + \pi / 2)$; $U_C = 0$;		$i_t = 60 \text{ mA}$
3	$i = 0,426 \cos(710 t + \pi / 2)$; $U_C = 0$;		$i_t = -426 \text{ mA}$
4	$i = 0,016 \cos(6324,5 t + \pi / 2)$; $U_C = 0$;		$i_t = -16 \text{ mA}$
5	$i = 3,46 \cdot 10^{-3} \cos(577,3 t + \pi / 2)$; $W = 0$;		$W_M = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$
6	$i = 0,057 \cos(1890 t + \pi / 2)$; $W = 0$;		$W_M = 2,274 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$
7	$i = 0,065 \cos(8165 t + \pi / 2)$; $W = 0$;		$W_M = 6,34 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$
8	$i = 0,012 \cos(1,2 \cdot 10^4 t + \pi / 2)$; $W = 0$;		$W_M = 3,6 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$
9	$i = 0,158 \cos(790,6 t + \pi / 2)$;	$W = W_M = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ Дж}$	
10	$i = 0,357 \cos(4,47 \cdot 10^4 t + \pi / 2)$;	$W = W_M = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$	
11	$i = 4,4 \cdot 10^{-3} \cos(884 t + \pi / 2)$;	$W = W_M = 7,74 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$	
12	$i = 0,05 \cos(1260 t + \pi / 2)$;	$W = W_M = 2,625 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$	
13	$i = 0,25 \cos(2,5 \cdot 10^4 t + \pi / 2)$;	$W = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж};$	$W_M = 0$
14	$i = 0,125 \cos(2,5 \cdot 10^3 t + \pi / 2)$;	$W = 1,25 \cdot 10^{-2} \text{ Дж};$	$W_M = 0$
15	$i = 1,95 \cdot 10^{-2} \cos(9759 t + \pi / 2)$;	$W = 2,86 \cdot 10^{-5} \text{ Дж};$	$W_M = 0$
16	$i = 0,116 \cos(1291 t + \pi / 2)$;	$W = 3,375 \cdot 10^{-3} \text{ Дж};$	$W_M = 0$
17	$i = 0,274 \cos(9129 t + \pi / 2)$;	$U_C = -50 \text{ В};$	$i_t = 0$
18	$i = 0,09 \cos(913 t + \pi / 2)$;	$U_C = -50 \text{ В};$	$i_t = 0$
19	$i = 0,1 \cos(2,58 \cdot 10^4 t + \pi / 2)$;	$U_C = -266,6 \text{ В};$	$i_t = 0$
20	$i = 0,022 \cos(3101 t + \pi / 2)$;	$U_C = -87,5 \text{ В};$	$i_t = 0$
21	$i = 0,029 \cos(1443 t + \pi / 2)$;	$U_C = 0$;	$i_t = -29 \text{ mA}$
22	$i = 5,7 \cos(8165 t + \pi / 2)$;	$U_C = 0$;	$i_t = -5,7 \text{ A}$
23	$i = 0,015 \cos(3727 t + \pi / 2)$;	$U_C = 0$;	$i_t = -15 \text{ mA}$
24	$i = 0,47 \cos(785,7 t + \pi / 2)$;	$U_C = 0$;	$i_t = -470 \text{ mA}$
25	$i = 0,011 \cos(3651,5 t + \pi / 2)$;	$W = W_M = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$	
26	$i = 0,7 \cos(10^4 t + \pi / 2)$;	$W = W_M = 4,9 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$	
27	$i = 4 \cdot 10^{-3} \cos(3984 t + \pi / 2)$;	$W = W_M = 5,54 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$	
28	$i = 4,7 \cdot 10^{-3} \cos(524 t + \pi / 2)$;	$W = W_M = 3,1 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$	

Номер задания	15.10	
1 2 3 4	$i = 17,28 \cos(5,5 \cdot 10^8 \pi t + 3\pi/4), \text{ A}$	$T = 3,6 \cdot 10^{-9} \text{ с}$ $L = 6,7 \cdot 10^{-10} \text{ Гн}$ $q_m = 10^{-8} \text{ Кл}$ $\lambda = 1,08 \text{ м}$
5 6 7 8	$i = 12,56 \cos(4 \cdot 10^8 \pi t), \text{ A}$	$L = 3,17 \cdot 10^{-10} \text{ Гн}$ $q_m = 10^{-8} \text{ Кл}$ $\lambda = 1,5 \text{ м}$ $T = 5 \cdot 10^{-9} \text{ с}$
9 10 11 12	$i = 33 \cos(5 \cdot 10^8 \pi t + 3\pi/4), \text{ A}$	$q_m = 2,1 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ $\lambda = 1,2 \text{ м}$ $T = 4 \cdot 10^{-9} \text{ с}$ $L = 6,75 \cdot 10^{-10} \text{ Гн}$
13 14 15 16	$i = 5,5 \cos(3,5 \cdot 10^8 \pi t), \text{ A}$	$\lambda = 1,7 \text{ м}$ $T = 5,7 \cdot 10^{-9} \text{ с}$ $L = 4,135 \cdot 10^{-9} \text{ Гн}$ $q_m = 5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$
17 18 19 20	$i = 37,7 \cos(8 \cdot 10^8 \pi t + 3\pi/4), \text{ A}$	$T = 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ с}$ $L = 1,58 \cdot 10^{-10} \text{ Гн}$ $q_m = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ $\lambda = 0,75 \text{ м}$
21 22 23 24	$i = 11,3 \cos(4,5 \cdot 10^8 \pi t + \pi/4), \text{ A}$	$L = 6,25 \cdot 10^{-10} \text{ Гн}$ $q_m = 8 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ $T = 4,44 \cdot 10^{-9} \text{ с}$ $\lambda = 1,33 \text{ м}$
25 26 27 28	$i = 33,9 \cos(3 \cdot 10^8 \pi t), \text{ A}$	$q_m = 3,6 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ $\lambda = 2 \text{ м}$ $L = 9,38 \cdot 10^{-10} \text{ Гн}$ $T = 6,66 \cdot 10^{-9} \text{ с}$

Номер задания	16.1	16.2
1	$x = 4,635\sin(5\pi t + 0,35\pi)$, см	1 см; $\pi / 6$ рад/с
2	$x = 2,4\cos(10\pi t - 0,4\pi)$, см	$\pi / 6$ рад/с; $(3 + 12n)$ с, $n = 0, 1, 2, \dots$
3	$x = 8,54\cos(5\pi t - 0,136\pi)$, см	1 с; 0,6 см
4	$x = 6,083\sin(0,5\pi t - 0,45\pi)$, см	3 см; 2 с
5	$x = 4,47\sin(18\pi t + 0,019\pi)$, см	$\pi / 6$ рад/с; $(2 + 12n)$ с, $n = 0, 1, 2, \dots$
6	$x = 1,8\sin(6\pi t + 0,02\pi)$, см	$5\pi / 3$ рад/с; 4,24 см
7	$x = 5,57\cos(25\pi t + 0,22\pi)$, см	5 см; 6 с
8	$x = 10,8\cos(40\pi t - 0,244\pi)$, см	4 с; $(1 + 4n)$ с, $n = 0, 1, 2, \dots$
9	$x = 12,49\cos(8\pi t - 0,244\pi)$, см	$\pi / 6$ рад/с; 0,85 см
10	$x = 4,36\sin(14\pi t + 0,2\pi)$, см	2 см; 10π рад/с
11	$x = 4,84\sin(30\pi t - 0,12\pi)$, см	12 с; $(3 + 12n)$ с, $n = 0, 1, 2, \dots$
12	$x = 6\cos(2\pi t - 0,187\pi)$, см	20 с; 2,83 см
13	$x = 4,335\cos(24\pi t - 0,1\pi)$, см	4 см; $5\pi / 6$ рад/с
14	$x = 11,6\sin(9\pi t + 0,02\pi)$, см	$\pi / 2$ рад/с; $4n$ с, $n = 0, 1, 2, \dots$
15	$x = 5,97\cos(35\pi t - 0,236\pi)$, см	6 с; 1,2 см
16	$x = 9,9\sin(16\pi t + 0,2\pi)$, см	1 см; 0,4 с
17	$x = 4,44\cos(20\pi t + 0,357\pi)$, см	$\pi / 2$ рад/с; $(1 + 4n)$ с, $n = 0, 1, 2, \dots$
18	$x = 0,6\sin(3\pi t - 0,31\pi)$, см	$\pi / 3$ рад/с; 1 см
19	$x = 6,25\sin(28\pi t + 0,36\pi)$, см	5 см; 12 с
20	$x = 8,62\cos(12\pi t + 0,44\pi)$, см	20 с; $(5 + 20n)$ с, $n = 0, 1, 2, \dots$
21	$x = 2,91\cos(45\pi t + 0,39\pi)$, см	$\pi / 9$ рад/с; 1,56 см
22	$x = 5,27\sin(4\pi t - 0,27\pi)$, см	2 см; $5\pi / 6$ рад/с
23	$x = 8\cos(15\pi t - 0,007\pi)$, см	6 с; $(2 + 6n)$ с, $n = 0, 1, 2, \dots$
24	$x = 19,8\sin(60\pi t - 0,2\pi)$, см	0,5 с; 8 см
25	$x = 2,83\sin(22\pi t + 0,48\pi)$, см	3 см; 5π рад/с
26	$x = 6,57\cos(50\pi t + 0,33\pi)$, см	$\pi / 6$ рад/с; $(4 + 12n)$ с, $n = 0, 1, 2, \dots$
27	$x = 17,66\sin(7\pi t + 0,34\pi)$, см	5 с; 2 см
28	$x = 1,06\cos(34\pi t - 0,018\pi)$, 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 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 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 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; $7,9 \cdot 10^{-5}$ 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	$0,15 \text{ с}^{-1}$	0,8 мкФ; 2,5 В; 2500 рад/с; 100; $2 \cdot 10^{-4}$ Кл
4	1,02 см	1,5 Н	0,1 Гн; 3 Ом; 5952 рад/с; 200; $5 \cdot 10^{-5}$ Кл
5	1,32 см	39,8 см	0,1 Гн; 5787 рад/с; 90; $4 \cdot 10^{-5}$ 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; $1,1 \cdot 10^{-4}$ Кл; 272 В
8	18,3 см	$0,1 \text{ с}^{-1}$	0,39 мкФ; 7 Ом; 1,4 В; 2917 рад/с; $6,86 \cdot 10^{-5}$ Кл
9	18,1 см	0,4 Н	0,4 Гн; 0,2 мкФ; 2 В; $3,8 \cdot 10^{-5}$ 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; $4,76 \cdot 10^{-5}$ Кл
12	0,29 см	0,3 см	0,19 Гн; 0,133 мкФ; 8 Ом; $1,6 \cdot 10^{-5}$ Кл; 120 В
13	0,41 см	$0,05 \text{ с}^{-1}$	0,1 мкФ; 12,8 Ом; $3,5 \cdot 10^{-5}$ 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; $1,94 \cdot 10^{-4}$ Кл
16	0,85 см	0,1 кг	1 мкФ; 4 Ом; 1,6 В; 2200 рад/с; $1,82 \cdot 10^{-4}$ Кл
17	3,12 см	0,1 см	8,94 Ом; 7454 рад/с; 150; $1,8 \cdot 10^{-5}$ Кл; 134 мА
18	12,43 см	$0,2 \text{ с}^{-1}$	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; $9 \cdot 10^{-5}$ Кл; 360 В
20	12,26 см	89,3 см	0,05 Гн; 5000 рад/с; 125; $4 \cdot 10^{-5}$ Кл; 0,2 А
21	2,97 см	0,25 кг	0,3 Гн; 1,4 В; 4082 рад/с; $2,8 \cdot 10^{-5}$ Кл; 114 мА
22	1,46 см	0,5 см	4 В; 3535 рад/с; 105; 594 мА; 420 В
23	0,95 см	$0,3 \text{ с}^{-1}$	0,23 Гн; 0,33 мкФ; 12 Ом; $1,67 \cdot 10^{-4}$ Кл; 504 В
24	0,7 см	1 Н	0,33 Гн; 0,1 мкФ; 20 Ом; 90; $2,78 \cdot 10^{-5}$ Кл
25	0,32 см	20,2 см	0,2 Гн; 0,3 мкФ; $1,2 \cdot 10^{-4}$ 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; $7 \cdot 10^{-5}$ Кл
28	0,1 см	$0,25 \text{ с}^{-1}$	0,035 Гн; 3 Ом; 6944 рад/с; 80; $7,2 \cdot 10^{-5}$ Кл

Номер задания	17.1		17.2		17.3	
1	400 Гц;	330 м/с	0 см;	64 м	7 м;	10 м
2	300 Гц;	0,942 м/с	3 см;	128 м	0,4625 м;	0,5 м
3	0,24 мм;	337,5 м/с	0 см;	192 м	$\pi / 2$ рад;	20 м
4	$7 \cdot 10^{-2}$ м;	14,45 м/с	-3 см;	256 м	9,42 рад/м;	0,67 м
5	0,15 мм;	1400 м/с	-2,77 см;	320 м	2,5 м;	4 м
6	0,3 мм;	0,38 м	2,12 см;	384 м	4 м;	1 м
7	4000 Гц;	7,04 м/с	1,15 см;	448 м	π рад;	5 м
8	400 м/с;	0,126 м/с	-3 см;	512 м	0,785 рад/м;	8 м
9	3000 Гц;	360 м/с	4 см;	600 м	3 м;	2 м
10	6,5 м;	0,493 м/с	3,72 см;	900 м	4,2 м;	0,4 м
11	0,5 мм;	704 м/с	2,91 см;	1200 м	$\pi / 2$ рад;	5 м
12	800 Гц;	1,61 м/с	1,7 см;	1500 м	1,887 рад/м;	3,33 м
13	1200 Гц;	1,96 м/с	2,35 см;	150 м	1,2 м;	0,25 м
14	750 Гц;	630 м/с	3,8 см;	300 м	5,53 м;	6,67 м
15	0,36 мм;	1,2 м	0 см;	450 м	5 π рад;	0,167 м
16	0,15 м;	6,03 м/с	-3,8 см;	600 м	2,5 рад/м;	2,5 м
17	2000 Гц;	5,026 м/с	-1,84 см;	66 м	3,1 м;	0,33 м
18	0,8 мм;	361,2 м/с	-3,19 см;	132 м	7,5 м;	10 м
19	3,3 м;	0,723 м/с	4,91 см;	198 м	π рад;	0,2 м
20	300 Гц;	360 м/с	-1,54 см;	264 м	0,314 рад/м;	20 м
21	1,1 м;	3,3 м/с	4,04 см;	330 м	1,2 м;	1 м
22	0,1 мм;	625 м/с	4,04 см;	396 м	1,8 м;	0,4 м
23	120 Гц;	384 м/с	-1,54 см;	462 м	$\pi / 2$ рад;	5 м
24	450 Гц;	0,35 мм	-5 см;	528 м	7,854 рад/м;	0,8 м
25	350 м/с;	0,785 м/с	-1,81 см;	640 м	0,7 м;	0,5 м
26	250 Гц;	400 м/с	-1,37 см;	960 м	0,6 м;	0,2 м
27	0,08 мм;	0,12 м	0,96 см;	1280 м	2 π рад;	4 м
28	4,2 м;	0,339 м/с	1,96 см;	1600 м	0,628 рад/м	10 м

Номер задания	17.4
1	4 м
2	5 см
3	$(0,25 + 0,75n)$ м, $(0,5 + 0,75n)$ м, $n = 0, 1, 2, \dots$
4	5,66 см
5	3 м
6	2 см
7	$(0,15 + 0,6n)$ м, $(0,45 + 0,6n)$ м, $n = 0, 1, 2, \dots$
8	1,414 см
9	1,6 м
10	2 см
11	$0,2n$ м, $n = 0, 1, 2, \dots$
12	2,83 см
13	0,6 м
14	1 см
15	$(0,5 + 3n)$ м, $(2,5 + 3n)$ м, $n = 0, 1, 2, \dots$
16	2,12 см
17	1,2 м
18	3 см
19	$(0,5 + 3n)$ м, $(2,5 + 3n)$ м, $n = 0, 1, 2, \dots$
20	0,35 см
21	10 м
22	4 см
23	$(0,25 + 0,75n)$ м, $(0,5 + 0,75n)$ м, $n = 0, 1, 2, \dots$
24	2,6 см
25	9 м
26	3 см
27	$(0,1 + 0,2n)$ м, $n = 0, 1, 2, \dots$
28	0,87 см

Номер задания	<p style="text-align: center;">17.5 Координаты пучностей, м</p>
1 2 3 4	0,125; 0,375; 0,625; 0,875; 1,125; 1,375 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5 0,05; 0,15; 0,25; 0,35; 0,45; 0,55; 0,65; 0,75; 0,85; 0,95 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1
5 6 7 8	0,3; 0,9; 1,5; 2,1; 2,7; 3,3; 3,9; 4,5 0; 0,6; 1,2; 1,8; 2,4; 3; 3,6; 4,2; 4,8 0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5; 5,5; 6,5 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7
9 10 11 12	0,04; 0,12; 0,20; 0,28; 0,36 0; 0,08; 0,16; 0,24; 0,32; 0,4 0,15; 0,45; 0,75; 1,05; 1,35 0; 0,3; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5
13 14 15 16	0,07; 0,21; 0,3; 0,49; 0,63 0; 0,14; 0,28; 0,42; 0,56; 0,7 0,4; 1,2; 2; 2,8; 3,6; 4,4; 5,2; 6; 6,8 0; 0,8; 1,6; 2,4; 3,2; 4; 4,8; 5,6; 6,4; 7,2
17 18 19 20	0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1,1 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 1,2 0,2; 0,6; 1; 1,4; 1,8 0; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2
21 22 23 24	0,08; 0,24; 0,4; 0,56; 0,72; 0,88 0; 0,16; 0,32; 0,48; 0,64; 0,8; 0,96 2; 6; 10; 14; 18; 22; 26; 30 0; 4; 8; 12; 16; 20; 24; 28; 32
25 26 27 28	1; 3; 5; 7; 9; 11; 13 0; 2; 4; 6; 8; 10; 12; 14 0,16; 0,48; 0,7; 1,12; 1,44 0; 0,32; 0,64; 0,96; 1,28; 1,6

Номер задания	17.5 (окончание) Координаты узлов, м
1 2 3 4	0; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5 0,125; 0,375; 0,625; 0,875; 1,125; 1,375 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1 0,05; 0,15; 0,25; 0,35; 0,45; 0,55; 0,65; 0,75; 0,85; 0,95
5 6 7 8	0; 0,6; 1,2; 1,8; 2,4; 3; 3,6; 4,2; 4,8 0,3; 0,9; 1,5; 2,1; 2,7; 3,3; 3,9; 4,5 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7 0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5; 5,5; 6,5
9 10 11 12	0; 0,08; 0,16; 0,24; 0,32; 0,4 0,04; 0,12; 0,2; 0,28; 0,36 0; 0,3; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5 0,15; 0,45; 0,75; 1,05; 1,35
13 14 15 16	0; 0,14; 0,28; 0,42; 0,56; 0,7 0,07; 0,21; 0,3; 0,49; 0,63 0; 0,8; 1,6; 2,4; 3,2; 4; 4,8; 5,6; 6,4; 7,2 0,4; 1,2; 2; 2,8; 3,6; 4,4; 5,2; 6; 6,8
17 18 19 20	0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 1,2 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1,1 0; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2 0,2; 0,6; 1; 1,4; 1,8
21 22 23 24	0; 0,16; 0,32; 0,48; 0,64; 0,8; 0,96 0,08; 0,24; 0,4; 0,56; 0,72; 0,88 0; 4; 8; 12; 16; 20; 24; 28; 32 2; 6; 10; 14; 18; 22; 26; 30
25 26 27 28	0; 2; 4; 6; 8; 10; 12; 14 1; 3; 5; 7; 9; 11; 13 0; 0,32; 0,64; 0,96; 1,28; 1,6 0,16; 0,48; 0,7; 1,12; 1,44

Номер задания	17.6		17.7		
			$v_1, 10^3 \text{ км/с}$	$v_2, 10^3 \text{ км/с}$	$u, 10^3 \text{ км/с}$
1	2,6;	2 В/М	194,96	194,53	184,6
2	0,5 В/М;	$1,86 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	194,43	194,39	194,1
3	2;	$9,4 \cdot 10^{-3} \text{ А/М}$	194,53	193,99	190,9
4	$3,9 \cdot 10^{-3} \text{ А/М}$;	$1,224 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	194,39	193,64	188,9
5	0,5 В/М;	$2,12 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	193,99	193,43	188,9
6	$6,5 \cdot 10^{-3} \text{ А/М}$;	$1,224 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	193,6	192,8	178,3
7	1;	3 В/М	193,4	191,5	181,9
8	2;	$1,5 \cdot 10^{-3} \text{ А/М}$	192,8	186,5	175,7
9	$4 \cdot 10^{-3} \text{ А/М}$;	$3 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	191,5	173,2	152,6
10	6;	$6,5 \cdot 10^{-4} \text{ А/М}$	186,5	158,4	114,5
11	2,6;	1 В/М	173,2	158,4	64,6
12	0,8 В/М;	$2,12 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	194,96	194,43	171,4
13	2;	$7,5 \cdot 10^{-3} \text{ А/М}$	194,43	194,53	200
14	0,2 В/М;	$1,86 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	194,53	194,39	192,8
15	$3,25 \cdot 10^{-3} \text{ А/М}$;	$1,224 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	194,39	193,99	188,9
16	6;	4 В/М	194	193,6	188,9
17	2 В/М;	$2,12 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	193,6	193,4	188,9
18	$3,4 \cdot 10^{-3} \text{ А/М}$;	$1,86 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	193,4	192,8	140
19	1;	0,5 В/М	192,8	191,5	184,6
20	2;	$1,13 \cdot 10^{-2} \text{ А/М}$	191,5	186,5	171,5
21	$1,3 \cdot 10^{-3} \text{ А/М}$;	$1,224 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	186,5	173,2	141,2
22	6;	$9,75 \cdot 10^{-3} \text{ А/М}$	196,2	195	193,5
23	2 В/М;	$3 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	195	194,4	190,2
24	1;	0,4 В/М	194,43	193,99	191,8
25	0,6 В/М;	$2,12 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	194,5	193,6	190,2
26	$7,8 \cdot 10^{-3} \text{ А/М}$;	$1,224 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	196,2	194,4	192,5
27	2,6;	1 В/М	194,4	193,4	188,9
28	1;	$1,06 \cdot 10^{-2} \text{ А/М}$	194	192,8	184

Номер зада- ния	17.7 (окончание)
	$E = 2E_m \cos(\Delta\omega t - \Delta kx) \cos(\omega_0 t - k_0 x)$, В/м
1	$E = 1,5 \cos(1,2 \cdot 10^{13} \pi t - 6,5 \cdot 10^4 \pi) \cos(5,93 \cdot 10^{14} \pi t - 3,045 \cdot 10^6 \pi x)$
2	$E = \cos(3,3 \cdot 10^{13} \pi t - 1,7 \cdot 10^5 \pi x) \cos(6,26 \cdot 10^{14} \pi t - 3,22 \cdot 10^6 \pi x)$
3	$E = 2,8 \cos(5,25 \cdot 10^{13} \pi t - 2,75 \cdot 10^5 \pi x) \cos(6,575 \cdot 10^{14} \pi t - 3,385 \cdot 10^6 \pi x)$
4	$E = 0,04 \cos(5,1 \cdot 10^{13} \pi t - 2,7 \cdot 10^5 \pi x) \cos(7,1 \cdot 10^{14} \pi t - 3,66 \cdot 10^6 \pi x)$
5	$E = 1,1 \cos(4,25 \cdot 10^{13} \pi t - 2,25 \cdot 10^5 \pi x) \cos(7,525 \cdot 10^{14} \pi t - 3,885 \cdot 10^6 \pi x)$
6	$E = 0,14 \cos(2,05 \cdot 10^{13} \pi t - 1,15 \cdot 10^5 \pi x) \cos(7,815 \cdot 10^{14} \pi t - 4,045 \cdot 10^6 \pi x)$
7	$E = 0,3 \cos(7,55 \cdot 10^{13} \pi t - 4,15 \cdot 10^5 \pi x) \cos(8,705 \cdot 10^{14} \pi t - 4,525 \cdot 10^6 \pi x)$
8	$E = 0,4 \cos(2,135 \cdot 10^{14} \pi t - 1,215 \cdot 10^6 \pi x) \cos(1,015 \cdot 10^{15} \pi t - 5,375 \cdot 10^6 \pi x)$
9	$E = 3,2 \cos(3,35 \cdot 10^{14} \pi t - 2,195 \cdot 10^6 \pi x) \cos(1,28 \cdot 10^{15} \pi t - 7,135 \cdot 10^6 \pi x)$
10	$E = 0,1 \cos(2,41 \cdot 10^{14} \pi t - 2,105 \cdot 10^6 \pi x) \cos(1,47 \cdot 10^{15} \pi t - 8,695 \cdot 10^6 \pi x)$
11	$E = 1,6 \cos(4,75 \cdot 10^{13} \pi t - 7,35 \cdot 10^5 \pi x) \cos(1,66 \cdot 10^{15} \pi t - 1,0065 \cdot 10^7 \pi x)$
12	$E = 0,9 \cos(6 \cdot 10^{12} \pi t - 3,5 \cdot 10^4 \pi x) \cos(5,87 \cdot 10^{14} \pi t - 3,015 \cdot 10^6 \pi x)$
13	$E = 0,2 \cos(6 \cdot 10^{12} \pi t - 3 \cdot 10^4 \pi x) \cos(5,99 \cdot 10^{14} \pi t - 3,08 \cdot 10^6 \pi x)$
14	$E = 1,5 \cos(2,7 \cdot 10^{13} \pi t - 1,4 \cdot 10^5 \pi x) \cos(6,32 \cdot 10^{14} \pi t - 3,25 \cdot 10^6 \pi x)$
15	$E = 0,16 \cos(2,55 \cdot 10^{13} \pi t - 1,35 \cdot 10^5 \pi x) \cos(6,845 \cdot 10^{14} \pi t - 3,525 \cdot 10^6 \pi x)$
16	$E = 0,5 \cos(2,55 \cdot 10^{13} \pi t - 1,35 \cdot 10^5 \pi x) \cos(7,355 \cdot 10^{14} \pi t - 3,795 \cdot 10^6 \pi x)$
17	$E = 0,02 \cos(1,7 \cdot 10^{13} \pi t - 9 \cdot 10^4 \pi x) \cos(7,78 \cdot 10^{14} \pi t - 4,02 \cdot 10^6 \pi x)$
18	$E = 1,3 \cos(3,5 \cdot 10^{12} \pi t - 2,5 \cdot 10^4 \pi x) \cos(7,98 \cdot 10^{14} \pi t - 4,135 \cdot 10^6 \pi x)$
19	$E = 0,8 \cos(7,2 \cdot 10^{13} \pi t - 3,9 \cdot 10^5 \pi x) \cos(8,74 \cdot 10^{14} \pi t - 4,55 \cdot 10^6 \pi x)$
20	$E = 2 \cos(1,415 \cdot 10^{14} \pi t - 8,25 \cdot 10^5 \pi x) \cos(1,087 \cdot 10^{15} \pi t - 5,765 \cdot 10^6 \pi x)$
21	$E = 3 \cos(1,935 \cdot 10^{14} \pi t - 1,37 \cdot 10^6 \pi x) \cos(1,42 \cdot 10^{15} \pi t - 7,96 \cdot 10^6 \pi x)$
22	$E = 0,12 \cos(1,345 \cdot 10^{14} \pi t - 6,95 \cdot 10^5 \pi x) \cos(4,465 \cdot 10^{14} \pi t - 2,285 \cdot 10^6 \pi x)$
23	$E = 3,6 \cos(3,9 \cdot 10^{13} \pi t - 2,05 \cdot 10^5 \pi x) \cos(6,2 \cdot 10^{14} \pi t - 3,185 \cdot 10^6 \pi x)$
24	$E = 0,6 \cos(5,85 \cdot 10^{13} \pi t - 3,05 \cdot 10^5 \pi x) \cos(6,5 \cdot 10^{14} \pi t - 3,355 \cdot 10^6 \pi x)$
25	$E = 2,4 \cos(7,8 \cdot 10^{13} \pi t - 4,1 \cdot 10^5 \pi x) \cos(6,83 \cdot 10^{14} \pi t - 3,52 \cdot 10^6 \pi x)$
26	$E = 0,08 \cos(1,405 \cdot 10^{14} \pi t - 7,3 \cdot 10^5 \pi x) \cos(4,525 \cdot 10^{14} \pi t - 2,32 \cdot 10^6 \pi x)$
27	$E = 0,7 \cos(6,8 \cdot 10^{13} \pi t - 3,6 \cdot 10^5 \pi x) \cos(7,27 \cdot 10^{14} \pi t - 3,75 \cdot 10^6 \pi x)$
28	$E = 1,2 \cos(4,6 \cdot 10^{13} \pi t - 2,5 \cdot 10^5 \pi x) \cos(7,56 \cdot 10^{14} \pi t - 3,91 \cdot 10^6 \pi x)$

Номер задания	17.8	17.9			17.10
		$S_{\text{мгнов.}}^2, \text{ Вт/М}^2$	$S_{\text{сред.}}, \text{ Вт/М}^2$	$S_{\text{max}}, \text{ Вт/М}^2$	
1	720 нм	$7,95 \cdot 10^{-3}$			0,5 В/м
2	$1,88 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	$5,3 \cdot 10^{-3}$			2 м ²
3	$1,93 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	$2,75 \cdot 10^{-3}$	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$1,06 \cdot 10^{-2}$	30 мин
4	$2,22 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$	$1,06 \cdot 10^{-2}$			172 Дж
5	952 нм	0,286			2 В/м
6	$1,94 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	0,191			5 м ²
7	$1,48 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	0,1	0,191	0,382	10 мин
8	$1,56 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$	0,382			21,5 Дж
9	1020 нм	0,128			3 В/м
10	$1,92 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	0,085			10 м ²
11	$1,64 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	0,044	0,085	0,17	4 мин
12	$1,39 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$	0,17			0,32 Дж
13	840 нм	1,06			0,2 В/м
14	$1,84 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	0,27			3 м ²
15	$1,88 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	0,53	0,53	1,06	2 мин
16	$4,32 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$	0,795			358,3 Дж
17	645 нм	$4,78 \cdot 10^{-2}$			5 В/м
18	$1,94 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	$9,55 \cdot 10^{-2}$			8 м ²
19	$1,2 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	$2,48 \cdot 10^{-2}$	$4,78 \cdot 10^{-2}$	$9,55 \cdot 10^{-2}$	5 мин
20	$8,47 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$	$7,16 \cdot 10^{-2}$			1,194 Дж
21	508 нм	0,45			4 В/м
22	$1,58 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	0,3			40 м ²
23	$1,91 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	0,597	0,299	0,597	12 мин
24	$9,4 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$	0,15			564,3 Дж
25	214 нм	0,6			0,5 В/м
26	$1,92 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	1,79			6 м ²
27	$1,84 \cdot 10^8 \text{ М/с}$	1,18	1,194	2,39	20 мин
28	$3,2 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$	2,39			63,7 Дж

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

Номер задания	18.1	18.2	18.3
1	0,16 мм	0,686 (уменьшится в 1,46)	1,69 мм
2	0,46 мкм	0,83 (уменьшится в 1,2)	1,91 мм
3	1,5 м	0,786 (уменьшится в 1,27)	2,25 мм
4	2 мм	0,57 (уменьшится в 1,75)	2,55 мм
5	1,54 мм	0,93 (уменьшится в 1,07)	0,7197 мкм
6	0,34 мкм	0,86 (уменьшится в 1,16)	0,64 мкм
7	9 м	1,19	0,55 мкм
8	1,9 мм	0,695 (уменьшится в 1,44)	0,3997 мкм
9	1,95 мм	1,275	6 см
10	0,42 мкм	1,6	11 см
11	6 м	1,725	15 см
12	4 мм	1,35	18 см
13	1,86 мм	1,16	4 м
14	0,52 мкм	0,8 (уменьшится в 1,24)	3,4 м
15	10 м	1,255	2,2 м
16	0,8 мм	1,41	1,5 м
17	2 мм	1,29	3'
18	0,63 мкм	1,13	5'
19	8 м	1,55	8'
20	1,5 мм	0,886 (уменьшится в 1,13)	12'
21	1,6 мм	0,836 (уменьшится в 1,2)	8,54 мм
22	0,57 мкм	0,78 (уменьшится в 1,28)	4,27 мм
23	15 м	0,657 (уменьшится в 1,52)	2,85 мм
24	5 мм	1,15	2,14 мм
25	2 мм	1,286	12 см
26	0,45 мкм	1,125	10 см
27	20 м	0,931 (уменьшится в 1,1)	7 см
28	0,7 мм	0,75 (уменьшится в 1,33)	4 см

Номер задания	18.4	18.5		18.6
1	2,4 МКМ	1,816 МКМ;	0,343 МКМ	0,0917 МКМ
2	6 МКМ	0,499 МКМ;	0,194 МКМ	0,275 МКМ
3	9,6 МКМ	0,2694 МКМ;	0,1347 МКМ	0,4583 МКМ
4	12 МКМ	0,0784 МКМ;	0,1568 МКМ	0,6417 МКМ
5	1,3	0,6498 МКМ;	0,2794 МКМ	4
6	1,5	0,6677 МКМ;	0,1008 МКМ	4
7	1,2	0,126 МКМ;	0,252 МКМ	4
8	1,4	0,098 МКМ;	0,196 МКМ	4
9	8,18	0,6 МКМ;	0,1185 МКМ	6
10	10	0,6019 МКМ;	0,0957 МКМ	4
11	6,92	0,111 МКМ;	0,2219 МКМ	3
12	12,86	0,2227 МКМ;	0,1114 МКМ	5
13	6,875 МКМ	0,72 МКМ;	0,2218 МКМ	0,532 МКМ
14	5 МКМ	0,6728 МКМ;	0,2784 МКМ	0,5156 МКМ
15	8,125 МКМ	0,0928 МКМ;	0,1856 МКМ	0,5 МКМ
16	4,375 МКМ	0,1667 МКМ;	0,0834 МКМ	0,4853 МКМ
17	15 МКМ	0,48 МКМ;	0,1784 МКМ	0,167 МКМ
18	11,25 МКМ	0,7733 МКМ;	0,2874 МКМ	0,3235 МКМ
19	9 МКМ	0,0849 МКМ;	0,1698 МКМ	0,4714 МКМ
20	7,5 МКМ	0,2083 МКМ;	0,1042 МКМ	0,611 МКМ
21	0,3375 МКМ	0,64 МКМ;	0,232 МКМ	2
22	0,7031 МКМ	0,5947 МКМ;	0,204 МКМ	1
23	0,5812 МКМ	0,1273 МКМ;	0,2545 МКМ	2
24	0,45 МКМ	0,1674 МКМ;	0,0837 МКМ	1
25	1,2	0,35 МКМ;	0,0643 МКМ	0,1964 МКМ
26	1,48	0,45 МКМ ;	0,07955 МКМ	0,3928 МКМ
27	1,35	0,1422 МКМ;	0,2845 МКМ	0,5893 МКМ
28	1,42	0,0943 МКМ;	0,1886 МКМ	0,7857 МКМ

Номер задания	18.7	18.8	18.9	18.10
1	0,47 мм	1,4	0,84 мм	2 мм
2	0,235 мм	5 мкм	1,025 мм	1,15
3	0,157 мм	25 см	1,18 мм	0,5504 мкм
4	0,117 мм	0,5433 мкм	1,32 мм	914
5	1,66 мм	8	5	4 мм
6	1,552 мм	16 см	3	1,06
7	1,458 мм	1,1	2	0,7 мкм
8	1,375 мм	3 мкм	4	2500
9	0,7 мкм (красный)	20 см	0,5941 мкм	15 мм
10	0,47 мкм (синий)	0,5284 мкм	0,4959 мкм	1,3
11	0,41 мкм (фиолетовый)	2	0,7013 мкм	0,6021 мкм
12	0,59 мкм (желтый)	5,8 см	0,3945 мкм	132
13	1'30"	1,2	0,72 м	2 мм
14	2'30"	4 мкм	0,35 м	1,4
15	2'	10 см	1,8 м	0,45 мкм
16	1'	0,6067 мкм	2,2 м	914
17	0,401 мм	4	0,5 м	5 мм
18	0,367 мм	0,7 см	1 м	1,14
19	0,292 мм	1,33	5 м	0,5 мкм
20	0,241 мм	6 мкм	10 м	121
21	1,4	15 см	2,51 мм	8 мм
22	1,6	0,4608 мкм	3,54 мм	1,1
23	1,7	3	4,34 мм	0,6506 мкм
24	1,5	3 см	5,01 мм	945
25	0,884 мм	1,25	4	1,1 мм
26	0,712 мм	5 мкм	3	1,2
27	0,675 мм	12 см	6	0,7 мкм
28	0,589 мм	0,5345 мкм	5	450

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 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°36′	8 МКМ	28,3 см
2	0,9 мм	19°28′	0,68 МКМ	64,8 см
3	35 см	30°	0,9 м	22,5 см
4	0,17 мм	41°49′	3,77 см	49 см
5	0,445 МКМ	14°29′	25 МКМ	45,27 см
6	1,3 мм	24°37′	0,7 МКМ	22,54 см
7	2,7 м	35°41′	1,3 м	34,84 см
8	0,15 мм	48°35′	9 см	29,8 см
9	0,409 МКМ	6°23′	30 МКМ	0,8 м
10	0,8 мм	19°28′	0,45 МКМ	0,4 м
11	83 см	33°45′	0,8 м	0,2 м
12	0,1 мм	51°03′	5,37 см	0,6 м
13	0,658 МКМ	9°36′	10 МКМ	500 мм ⁻¹
14	1,2 мм	22°53′	0,6 МКМ	75 мм ⁻¹
15	70 см	37°40′	0,7 м	200 мм ⁻¹
16	0,25 мм	56°27′	19,65 см	150 мм ⁻¹
17	0,6044 МКМ	11°32′	23 МКМ	11,15 см
18	1 мм	23°35′	0,57 МКМ	22,97 см
19	1 м	36°52′	1,1 м	14,64 см
20	0,28 мм	53°08′	8,67 см	30,87 см
21	0,59 МКМ	17°27′	12 МКМ	1 м
22	0,7 мм	30°	0,46 МКМ	0,4 м
23	58 см	44°26′	0,77 м	0,25 м
24	0,14 мм	64°10′	5,71 см	0,15 м
25	0,4887 МКМ	17°27′	34 МКМ	250 мм ⁻¹
26	1,4 мм	23°35′	0,52 МКМ	90 мм ⁻¹
27	61 см	36° 52′	0,1 м	180 мм ⁻¹
28	0,2 мм	44°26′	1,93 см	50 мм ⁻¹

Номер задания	19.9				19.10
1	5 см;	$5 \cdot 10^{-4}$ см;	10^4 ;	4000 Å	7°42'
2	10 см;	0,55 Å;	10^4 ;	1000 см^{-1}	15°32'
3	$8 \cdot 10^{-4}$ см;	4500 Å;	$1,5 \cdot 10^4$;	3750 см^{-1}	23°41'
4	$1,5 \cdot 10^{-3}$ см;	0,5 Å;	$1,2 \cdot 10^4$;	2000 см^{-1}	32°23'
5	9000;	3;	5400 Å;	$2,7 \cdot 10^4$	0,3 нм
6	$1,6 \cdot 10^{-3}$ см;	1875 ;	0,8 Å;	7500	0,24 нм
7	5 см;	8333;	0,2 Å;	5000 см^{-1}	0,35 нм
8	3,75 см	2;	4500 Å;	$1,5 \cdot 10^4$	0,15 нм
9	$2,5 \cdot 10^{-4}$ см;	8000;	0,8 Å;	4000 см^{-1}	0,1 нм
10	$2 \cdot 10^{-4}$ см;	0,2 Å;	$2,5 \cdot 10^4$;	10^4 см^{-1}	0,07 нм
11	4200;	4200 Å;	8400;	1333 см^{-1}	0,08 нм
12	4 см;	2;	4800 Å;	1600 см^{-1}	0,04 нм
13	4000;	0,5 Å;	$1,2 \cdot 10^4$;	6000 см^{-1}	3
14	2000 ;	5600 Å;	8000;	5714 см^{-1}	2
15	3,5 см;	$4 \cdot 10^{-4}$ см;	2;	4375 Å	1
16	$6,67 \cdot 10^{-4}$ см;	3;	0,5 Å;	8100	2
17	7 см;	10^4 ;	6000 Å;	1429 см^{-1}	11°32'
18	2 см;	$3,175 \cdot 10^{-4}$ см;	6300;	5040 Å	9°36'
19	$4 \cdot 10^{-4}$ см;	4900 Å;	14000;	5000 см^{-1}	8°13'
20	$6,25 \cdot 10^{-4}$ см;	5120;	4608 Å;	15360	7°11'
21	5000;	3;	3750 Å;	15 000	0,22 нм
22	1200;	1,17 Å	3600;	2400 см^{-1}	0,45 нм
23	10^{-3} см;	2500;	1,05 Å;	2000 см^{-1}	0,19 нм
24	$8 \cdot 10^{-4}$ см;	2;	5400 Å;	2500 см^{-1}	0,33 нм
25	3 см;	3,2 Å;	1500;	500 см^{-1}	0,12 нм
26	1,5 см;	$3,33 \cdot 10^{-4}$ см;	2;	5400 Å	0,13 нм
27	3,25 см;	6500 Å;	6500;	2000 см^{-1}	0,04 нм
28	$1,07 \cdot 10^{-3}$ 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/м ² ;	0,06 Вт/м ²	45°
2	41°49';	56°19'	0,14 Вт/м ² ;	0,035 Вт/м ²	5%
3	38°41';	58°	0,1 Вт/м ² ;	45°	8%
4	36°02';	59°32'	0,68 Вт/м ² ;	0,01 Вт/м ²	39,5%
5	1,25;	51°20'	0,36 Вт/м ² ;	25°	65°
6	1,8;	60°57'	0,22 Вт/м ² ;	0,11 Вт/м ²	6%
7	1,35;	53°28'	0,05 Вт/м ² ;	40°	19%
8	1,66;	58°57'	0,17 Вт/м ² ;	0,03 Вт/м ²	17,64%
9	1,64;	37°34'	0,18 Вт/м ² ;	20°	50°
10	1,28;	51°23'	0,2 Вт/м ² ;	70°	7%
11	1,32;	49°15'	0,4 Вт/м ² ;	0,177 Вт/м ²	12%
12	1,47;	42°52'	0,08 Вт/м ² ;	0,0537 Вт/м ²	2,9%
13	47°48';	53°28'	0,18 Вт/м ² ;	55°	35°
14	43°36';	55°24'	0,2 Вт/м ² ;	0,059 Вт/м ²	3%
15	40°11';	57°10'	0,26 Вт/м ² ;	0,13 Вт/м ²	9%
16	37°18';	58°47'	0,16 Вт/м ² ;	10°	43,9%
17	1,42;	54°51'	0,32 Вт/м ² ;	0,01 Вт/м ²	70°
18	1,58;	57°40'	0,14 Вт/м ² ;	0,07 Вт/м ²	10%
19	1,3;	52°26'	0,24 Вт/м ² ;	30°	5%
20	1,72;	59°49'	0,16 Вт/м ² ;	0,149 Вт/м ²	8,6%
21	1,76;	34° 37'	0,08 Вт/м ² ;	0,04 Вт/м ²	40°
22	1,53;	40°49'	0,12 Вт/м ² ;	50°	8%
23	1,37;	46°54'	0,15 Вт/м ² ;	0,0175 Вт/м ²	11%
24	1,68;	36°32'	0,18 Вт/м ² ;	0,0795 Вт/м ²	4,26%
25	33°45';	60°57'	0,03 Вт/м ² ;	15°	55°
26	43°59';	55°13'	0,1 Вт/м ² ;	0,097 Вт/м ²	14%
27	34°51';	60°15'	0,3 Вт/м ² ;	60°	15%
28	38°07';	58°19'	0,14 Вт/м ² ;	0,035 Вт/м ²	11,52%

Номер задания	20.4	20.5	20.6
1	3,42	Плоской;	63°26'
2	4,74	Круговой;	—
3	7,74	Плоской;	144°28'
4	15,62	Эллиптической;	90°
5	0,45	Эллиптической;	90°
6	0,6	Плоской;	128°40'
7	0,3	Эллиптической;	0°
8	0,7	Плоской;	45°
9	55°	Плоской;	158°58'
10	40°	Круговой;	—
11	25°	Плоской;	15°57'
12	35°	Эллиптической;	90°
13	80	Эллиптической;	0°
14	40	Эллиптической;	90°
15	26,7	Плоской;	135°
16	20	Плоской;	33°41'
17	0,4	Круговой;	—
18	0,5	Плоской;	24°27'
19	0,65	Эллиптической;	0°
20	0,75	Плоской;	125°
21	15°	Плоской;	148°
22	65°	Эллиптической;	0°
23	20°	Плоской;	68°12'
24	40°	Круговой;	—
25	4,6	Плоской;	14°
26	7,11	Плоской;	121°
27	16	Эллиптической;	90°
28	64	Эллиптической;	0°

Номер задания	20.7	20.8		
1	1,317 мм	12 см;	1500 В;	0,167π рад
2	0,55 мкм	1344 В;	0,12 мкм;	0,4π рад
3	0,65 мкм	8,5 см;	1,39 мм;	76,5 нм
4	0,023	$4,75 \cdot 10^{-7}$;	23,75 нм;	0,08π рад
5	0,017	3,67 см;	1 мм;	0,367π рад
6	71,3 мкм	1,15 мм;	0,144 мкм;	0,48π рад
7	0,4 мкм	3,66 см;	2115 В;	0,15 мкм
8	0,7 мкм	1 мм;	10^{-6} ;	75 нм
9	0,03	27,3 см;	$3,3 \cdot 10^{-7}$;	0,3π рад
10	0,015	1,8 мм;	$8,1 \cdot 10^{-7}$;	0,43π рад
11	123,3 мкм	6,3 см;	$9,5 \cdot 10^{-7}$;	60 нм
12	0,48 мкм	16 см;	980 В;	0,12 мкм
13	0,601 мкм	1196 В;	$5,83 \cdot 10^{-7}$;	0,23π рад
14	0,021	18,75 см;	1713 В;	$\pi/2$ рад
15	0,012	36,36 см;	$3,3 \cdot 10^{-7}$;	0,4π рад
16	193,6 мкм	1,61 мм;	10^{-6} ;	0,09 мкм
17	0,41 мкм	2009 В;	0,375 мкм;	1,25π рад
18	0,55 мкм	0,96 мм;	$8 \cdot 10^{-7}$;	$\pi/3$ рад
19	0,025	6,43 см;	1,51 мм;	45 нм
20	0,024	14,06 см;	$9,6 \cdot 10^{-7}$;	0,135 мкм
21	586,5 мкм	1444 В;	$7,62 \cdot 10^{-7}$;	0,2 π рад
22	0,41 мкм	1,24 мм;	$8,65 \cdot 10^{-7}$;	0,53π рад
23	0,45 мкм	1,66 мм;	$8,08 \cdot 10^{-7}$;	0,105 мкм
24	0,015	7 см;	1,1 мм;	0,47π рад
25	0,013	0,1 мкм;	$9,2 \cdot 10^{-7}$;	0,34π рад
26	0,7 мм	0,89 мм;	0,21 мкм;	0,7π рад
27	0,45 мкм	7 см;	885 В;	0,2π 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°45'		0,04;	17%;	0,7%
6	16°57'		0,0415;	39%;	1,7%
7	19°24'		0,046;	68,7%;	3,3%
8	22°33'		0,0577;	94,3%;	5,8%
9	0,524 мм		0,05	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°10'		0,054 ;	25,2%;	1,4%
19	17°20'		0,068;	23,5%;	1,7%
20	19°30'		0,082;	22,3%;	2%
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	0,14;	100%;	16,2%

**ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ И ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА.
ОСНОВЫ ФИЗИКИ АТОМНОГО ЯДРА**

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 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	0,5 мкм;	видимой	$5 \cdot 10^3$
2	1,61 мкм;	инфракрасной	$2 \cdot 10^6$
3	1,26 мкм;	инфракрасной	$1,5 \cdot 10^7$
4	9,67 мкм;	инфракрасной	$4,2 \cdot 10^7$
5	2,64 мкм;	инфракрасной	15,9
6	0,29 мкм;	ультрафиолетовой	57,6
7	3,11 мкм;	инфракрасной	61
8	7,775 мкм;	инфракрасной	56,1
9	2,9 Å;	рентгеновской	1740
10	2,07 мкм;	инфракрасной	3,8
11	5,74 мкм;	инфракрасной	1,18
12	0,967 мкм;	инфракрасной	1,15
13	0,682 мкм;	видимой	157
14	2,47 мкм;	инфракрасной	51
15	9,35 мкм;	инфракрасной	19,2
16	0,483 мкм;	видимой	8,1
17	5,8 мкм;	инфракрасной	572
18	1,42 мкм;	инфракрасной	1270
19	3,22 мкм;	инфракрасной	1322
20	10,6 мкм;	инфракрасной	1250
21	1,8 мкм;	инфракрасной	1,083
22	2,1 мкм;	инфракрасной	1,027
23	0,097 мкм;	ультрафиолетовой	1,097
24	6,44 мкм;	инфракрасной	1,32
25	1,45 мкм;	инфракрасной	$4,1 \cdot 10^4$
26	0,88 мкм;	инфракрасной	10^3
27	4,83 мкм;	инфракрасной	73
28	0,029 мкм;	ультрафиолетовой	10,1

Номер задания	21.6			
1	$1,875 \cdot 10^{20}$ Пц;	$1,24 \cdot 10^{-13}$ Дж;	$1,38 \cdot 10^{-30}$ кг;	$4,13 \cdot 10^{-22}$ кг · м/с
2	$6 \cdot 10^{-11}$ м;	$3,3 \cdot 10^{-15}$ Дж;	$3,68 \cdot 10^{-32}$ кг;	$1,1 \cdot 10^{-23}$ кг · м/с
3	$5 \cdot 10^{-12}$ м;	$6 \cdot 10^{19}$ Пц;	$4,44 \cdot 10^{-31}$ кг;	$1,33 \cdot 10^{-22}$ кг · м/с
4	$3,68 \cdot 10^{-12}$ м;	$8,15 \cdot 10^{19}$ Пц;	$5,4 \cdot 10^{-14}$ Дж;	$1,8 \cdot 10^{-22}$ кг · м/с
5	$3,3 \cdot 10^{-13}$ м;	$9 \cdot 10^{20}$ Пц;	$6 \cdot 10^{-13}$ Дж;	$6,67 \cdot 10^{-30}$ кг
6	$6 \cdot 10^{17}$ Пц;	$3,97 \cdot 10^{-16}$ Дж;	$4,4 \cdot 10^{-33}$ кг;	$1,325 \cdot 10^{-}$
7	24 кг · м/с			
8	10^{-7} м;	$2 \cdot 10^{-18}$ Дж;	$2,2 \cdot 10^{-35}$ кг;	$6,625 \cdot 10^{-}$
	27 кг · м/с			
	$9,94 \cdot 10^{-14}$ м;	$3 \cdot 10^{21}$ Пц;	$2,2 \cdot 10^{-29}$ кг;	$6,67 \cdot 10^{-21}$ кг · м/с
9	$5,52 \cdot 10^{-11}$ м;	$5,4 \cdot 10^{18}$ Пц;	$3,6 \cdot 10^{-15}$ Дж;	$1,2 \cdot 10^{-23}$ кг · м/с
10	$1,325 \cdot 10^{-14}$ м;	$2,26 \cdot 10^{22}$ Пц;	$1,5 \cdot 10^{-11}$ Дж;	$1,67 \cdot 10^{-28}$ кг
11	$1,2 \cdot 10^{19}$ Пц;	$7,95 \cdot 10^{-15}$ Дж;	$8,83 \cdot 10^{-32}$ кг;	$2,65 \cdot 10^{-23}$ кг · м/с
12	$3,75 \cdot 10^{-7}$ м;	$5,3 \cdot 10^{-19}$ Дж;	$5,89 \cdot 10^{-36}$ кг;	$1,77 \cdot 10^{-27}$ кг · м/с
13	$2,84 \cdot 10^{-13}$ м;	10^{21} Пц;	$7,78 \cdot 10^{-30}$ кг;	$2,33 \cdot 10^{-21}$ кг · м/с
14	$1,1 \cdot 10^{-12}$ м;	$2,7 \cdot 10^{20}$ Пц;	$1,8 \cdot 10^{-13}$ Дж;	$6 \cdot 10^{-22}$ кг · м/с
15	$7,36 \cdot 10^{-16}$ м;	$4 \cdot 10^{23}$ Пц;	$2,7 \cdot 10^{-10}$ Дж;	$3 \cdot 10^{-27}$ кг
16	$3,75 \cdot 10^{16}$ Пц;	$2,48 \cdot 10^{-17}$ Дж;	$2,76 \cdot 10^{-34}$ кг;	$8,28 \cdot 10^{-26}$ кг · м/с
17	$1,5 \cdot 10^{-8}$ м;	$1,325 \cdot 10^{-17}$ Дж;	$1,47 \cdot 10^{-34}$ кг;	$4,4 \cdot 10^{-26}$ кг · м/с
18	$6,625 \cdot 10^{-11}$ м;	$4,53 \cdot 10^{18}$ Пц;	$3,33 \cdot 10^{-32}$ кг;	10^{-23} кг · м/с
19	$2,76 \cdot 10^{-10}$ м;	$1,1 \cdot 10^{18}$ Пц;	$7,2 \cdot 10^{-16}$ Дж;	$2,4 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
20	$1,1 \cdot 10^{-12}$ м;	$2,72 \cdot 10^{20}$ Пц;	$1,8 \cdot 10^{-13}$ Дж;	$2 \cdot 10^{-30}$ кг
21	$7,5 \cdot 10^{20}$ Пц;	$4,97 \cdot 10^{-13}$ Дж;	$5,52 \cdot 10^{-30}$ кг;	$1,66 \cdot 10^{-21}$ кг · м/с
22	$4,286 \cdot 10^{-10}$ м;	$4,64 \cdot 10^{-16}$ Дж;	$5,15 \cdot 10^{-33}$ кг;	$1,55 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
23	$2,2 \cdot 10^{-10}$ м;	$1,36 \cdot 10^{18}$ Пц;	10^{-32} кг;	$3 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
24	$7,36 \cdot 10^{-12}$ м;	$4,1 \cdot 10^{19}$ Пц;	$2,7 \cdot 10^{-14}$ Дж;	$9 \cdot 10^{-23}$ кг · м/с
25	$1,66 \cdot 10^{-11}$ м;	$1,8 \cdot 10^{19}$ Пц;	$1,2 \cdot 10^{-14}$ Дж;	$1,33 \cdot 10^{-31}$ кг
26	$3,33 \cdot 10^{15}$ Пц;	$2,2 \cdot 10^{-18}$ Дж;	$2,45 \cdot 10^{-35}$ кг;	$7,36 \cdot 10^{-27}$ кг · м/с
27	$7,5 \cdot 10^{-12}$ м;	$2,65 \cdot 10^{-14}$ Дж;	$2,94 \cdot 10^{-31}$ кг;	$8,83 \cdot 10^{-23}$ кг · м/с
28	$4 \cdot 10^{-9}$ м;	$7,55 \cdot 10^{16}$ Пц;	$5,56 \cdot 10^{-34}$ кг;	$1,67 \cdot 10^{-25}$ 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	0,5 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 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	6°43′
2	2,11 Å	1,226 Å	13°31′
3	4,76 Å	0,388 Å	20°32′
4	8,46 Å	0,12 Å	27°52′
5	$2,19 \cdot 10^6$ м/с	20 В	8°54′
6	$1,1 \cdot 10^6$ м/с	40,4 В	18°
7	$7,3 \cdot 10^5$ м/с	59,8 В	27°38′
8	$5,48 \cdot 10^5$ м/с	80 В	38°13′
9	$1,5 \cdot 10^{-16}$ с	Электрон	7°01′
10	$1,2 \cdot 10^{-15}$ с	Протон	40°19′
11	$4,1 \cdot 10^{-15}$ с	Протон	21°47′
12	$9,7 \cdot 10^{-15}$ с	Протон	29°40′
13	13,6 эВ	0,045 Å	5°22′
14	3,4 эВ	0,032 Å	10°47′
15	1,5 эВ	0,0143 Å	16°18′
16	0,85 эВ	0,01 Å	21°58′
17	-13,6 эВ	45 В	7°56′
18	-3,4 эВ	150 В	16°
19	-1,5 эВ	600 В	24°26′
20	-0,85 эВ	1500 В	33°29′
21	$4,15 \cdot 10^{16}$ рад/с	Протон	4°14′
22	$5,2 \cdot 10^{15}$ рад/с	Электрон	8°29′
23	$1,53 \cdot 10^{15}$ рад/с	Электрон	12°46′
24	$6,48 \cdot 10^{14}$ рад/с	Протон	17°09′
25	13,6 В	0,0572 Å	9°23′
26	3,4 В	0,0405 Å	19°01′
27	1,5 В	0,033 Å	29°16′
28	0,85 В	0,0286 Å	40°41′

Номер задания	22.4*			
1	$10^{-4} \text{ \AA};$	$2,07 \text{ \text{эВ}};$	$3,3 \cdot 10^{-8} \text{ \text{эВ}};$	3 м
2	$10^{-3} \text{ \AA};$	$2,07 \text{ \text{эВ}};$	$3,3 \cdot 10^{-7} \text{ \text{эВ}};$	$0,3 \text{ м}$
3	$5,4 \cdot 10^{-5} \text{ \AA};$	$2,755 \text{ \text{эВ}};$	$3,3 \cdot 10^{-8} \text{ \text{эВ}};$	3 м
4	$5,4 \cdot 10^{-4} \text{ \AA};$	$2,755 \text{ \text{эВ}};$	$3,3 \cdot 10^{-7} \text{ \text{эВ}};$	$0,3 \text{ м}$
5	$13\,774 \text{ \AA};$	$1,5 \cdot 10^{-3} \text{ \AA};$	$3,3 \cdot 10^{-9} \text{ с};$	1 м
6	$13\,774 \text{ \AA};$	$1,5 \cdot 10^{-2} \text{ \AA};$	$3,3 \cdot 10^{-10} \text{ с};$	$0,1 \text{ м}$
7	$10\,331 \text{ \AA};$	$8,6 \cdot 10^{-4} \text{ \AA};$	$3,3 \cdot 10^{-9} \text{ с};$	1 м
8	$10\,331 \text{ \AA};$	$8,6 \cdot 10^{-3} \text{ \AA};$	$3,3 \cdot 10^{-10} \text{ с};$	$0,1 \text{ м}$
9	$8 \cdot 10^{-12} \text{ с};$	$2,254 \text{ \text{эВ}};$	$4,1 \cdot 10^{-5} \text{ \text{эВ}};$	$2,4 \text{ мм}$
10	$8 \cdot 10^{-11} \text{ с};$	$2,254 \text{ \text{эВ}};$	$4,1 \cdot 10^{-6} \text{ \text{эВ}};$	$2,4 \text{ см}$
11	$1,3 \cdot 10^{-11} \text{ с};$	$1,771 \text{ \text{эВ}};$	$2,5 \cdot 10^{-5} \text{ \text{эВ}};$	$3,9 \text{ мм}$
12	$1,3 \cdot 10^{-10} \text{ с};$	$1,771 \text{ \text{эВ}};$	$2,5 \cdot 10^{-6} \text{ \text{эВ}};$	$3,9 \text{ см}$
13	$12397 \text{ \AA};$	$1,22 \text{ \AA};$	$3,3 \cdot 10^{-12} \text{ с};$	$10^{-4} \text{ \text{эВ}}$
14	$12397 \text{ \AA};$	$1,22 \cdot 10^{-2} \text{ \AA};$	$3,3 \cdot 10^{-10} \text{ с};$	$10^{-6} \text{ \text{эВ}}$
15	$4132 \text{ \AA};$	$0,136 \text{ \AA};$	$3,3 \cdot 10^{-12} \text{ с};$	$10^{-4} \text{ \text{эВ}}$
16	$4132 \text{ \AA};$	$1,36 \cdot 10^{-3} \text{ \AA};$	$3,3 \cdot 10^{-10} \text{ с};$	$10^{-6} \text{ \text{эВ}}$
17	$8265 \text{ \AA};$	$1,8 \cdot 10^{-4} \text{ \AA};$	$3,3 \cdot 10^{-8} \text{ \text{эВ}};$	3 м
18	$8265 \text{ \AA};$	$1,8 \cdot 10^{-2} \text{ \AA};$	$3,3 \cdot 10^{-6} \text{ \text{эВ}};$	3 см
19	$4959 \text{ \AA};$	$6,5 \cdot 10^{-5} \text{ \AA};$	$3,3 \cdot 10^{-8} \text{ \text{эВ}};$	3 м
20	$4959 \text{ \AA};$	$6,5 \cdot 10^{-3} \text{ \AA};$	$3,3 \cdot 10^{-6} \text{ \text{эВ}};$	3 см
21	$5 \cdot 10^{-3} \text{ \AA};$	$3,3 \cdot 10^{-11} \text{ с};$	$4,96 \text{ \text{эВ}};$	1 см
22	$5 \cdot 10^{-6} \text{ \AA};$	$3,3 \cdot 10^{-8} \text{ с};$	$4,96 \text{ \text{эВ}};$	10 м
23	$3,4 \cdot 10^{-2} \text{ \AA};$	$3,3 \cdot 10^{-11} \text{ с};$	$1,9 \text{ \text{эВ}};$	1 см
24	$3,4 \cdot 10^{-5} \text{ \AA};$	$3,3 \cdot 10^{-8} \text{ с};$	$1,9 \text{ \text{эВ}};$	$9,9 \text{ м}$
25	$2,24 \cdot 10^{-4} \text{ \AA};$	$6,7 \cdot 10^{-9} \text{ с};$	$1,65 \text{ \text{эВ}};$	$4,9 \cdot 10^{-8} \text{ \text{эВ}}$
26	$0,224 \text{ \AA};$	$6,7 \cdot 10^{-12} \text{ с};$	$1,65 \text{ \text{эВ}};$	$4,9 \cdot 10^{-5} \text{ \text{эВ}}$
27	$6,4 \cdot 10^{-5} \text{ \AA};$	$6,6 \cdot 10^{-9} \text{ с};$	$3,1 \text{ \text{эВ}};$	$5 \cdot 10^{-8} \text{ \text{эВ}}$
28	$6,4 \cdot 10^{-2} \text{ \AA};$	$6,6 \cdot 10^{-12} \text{ с};$	$3,1 \text{ \text{эВ}};$	$5 \cdot 10^{-5} \text{ \text{эВ}}$

* В рекомендуемой литературе соотношения неопределенностей Гейзенберга записаны по-разному: $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar / 2$, $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$ и $\Delta x \Delta p_x / h$. Ответы к задачам 22.4; 22.5 даны для первого соотношения, однако порядок величин неопределенностей будет одним и тем же во всех трех случаях.

Номер задания	22.5	22.6	22.7	22.8	
1	$5,27 \cdot 10^{-30} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$	$1,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$	20 эВ	0,003	113 эВ
2		$6,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	26 эВ	0,01	188 эВ
3		$4,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	$0,6 \text{ \AA}$	0,017	263 эВ
4		$4 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	0,23	0,02	338 эВ
5	$5,27 \cdot 10^{-30} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$	$2,93 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	28 эВ	0,01	0,03 эВ
6	$10^{-30} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$	$5,85 \cdot 10^{-9} \text{ м}$	23 эВ	0,02	$3 \cdot 10^{-6} \text{ эВ}$
7	$5,27 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$	$2,93 \cdot 10^{-9} \text{ м}$	$0,4 \text{ \AA}$	$9,4 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-10} \text{ эВ}$
8	$10^{-31} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$	$5,85 \cdot 10^{-10} \text{ м}$	0,19	$2 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-14} \text{ эВ}$
9	$2,6 \cdot 10^{-30} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$	$8 \cdot 10^{-9} \text{ м}$	19 эВ	0,0177	1,13 эВ
10		$1,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	40 эВ	0,009	$6,14 \cdot 10^{-4} \text{ эВ}$
11		$2,4 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	1 \AA	0,0036	$1,53 \cdot 10^{-4} \text{ эВ}$
12		$3,2 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	0,07	0,02	$3 \cdot 10^{-4} \text{ эВ}$
13	$5,27 \cdot 10^{-30} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$	$4,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	25 эВ	0,02	113 эВ
14		$4,4 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	34 эВ	10^{-4}	$1,13 \cdot 10^{-2} \text{ эВ}$
15		$4 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	$0,5 \text{ \AA}$	0,02	$1,13 \cdot 10^{-6} \text{ эВ}$
16		$3,7 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	0,1	10^{-4}	$1,13 \cdot 10^{-10} \text{ эВ}$
17	$5,27 \cdot 10^{-29} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$	$3,94 \cdot 10^{-7} \text{ м}$	22 эВ	0,004	0,0614 эВ
18	$1,3 \cdot 10^{-29} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$	$9,85 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	30 эВ	0,008	0,102 эВ
19	$6,6 \cdot 10^{-30} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$	$4,93 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	$1,3 \text{ \AA}$	0,012	0,143 эВ
20	$4,4 \cdot 10^{-30} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$	$3,28 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	0,077	0,016	0,184 эВ
21	$2,1 \cdot 10^{-30} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$	$8,55 \cdot 10^{-9} \text{ м}$	29 эВ	0,04	1,88 эВ
22		$1,71 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	24 эВ	0,059	10^{-3} эВ
23		$2,57 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	$1,2 \text{ \AA}$	0,078	$2,55 \cdot 10^{-4} \text{ эВ}$
24		$3,42 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	0,025	0,097	$5,1 \cdot 10^{-4} \text{ эВ}$
25	$2,6 \cdot 10^{-30} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$	$2,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	36 эВ	0,093	$1,53 \cdot 10^{-2} \text{ эВ}$
26	$1,3 \cdot 10^{-30} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$	$1,25 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	23 эВ	0,15	$2,56 \cdot 10^{-2} \text{ эВ}$
27	$8,8 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$	$8,35 \cdot 10^{-9} \text{ м}$	$0,8 \text{ \AA}$	0,166	$3,58 \cdot 10^{-2} \text{ эВ}$
28	$6,6 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$	$6,26 \cdot 10^{-9} \text{ м}$	0,04	0,169	$4,6 \cdot 10^{-2} \text{ эВ}$

Номер задания	22.9		22.10	
1	$-1,31 \cdot 10^{-23}$ Дж/Тл	-10,2 эВ	1215,5 Å	(0,091–0,1215) мкм (ультрафиолетовая область спектра)
2	$-9,41 \cdot 10^{-24}$ Дж/Тл	-0,66 эВ	1025,5 Å	
3	$9,6 \cdot 10^{-24}$ Дж/Тл	2,8 эВ	972 Å	
4	$1,31 \cdot 10^{-23}$ Дж/Тл	-1,9 эВ	949,5 Å	
5	$3d \rightarrow 2p$	–	938 Å	(0,091–0,1215) мкм (ультрафиолетовая область спектра)
6	$5s \rightarrow 2p$	–	930,5 Å	
7	$4d \rightarrow 2p$	–	926 Å	
8	$1s \rightarrow 2p$	–	923 Å	
9	$4p$	$-1,31 \cdot 10^{-23}$ Дж/Тл	6563 Å	(0,365–0,656) мкм (видимая область спектра)
10	$2p$		4862 Å	
11	$3p$		4341 Å	
12	$5p$		4102 Å	
13	$4p$	$1,31 \cdot 10^{-23}$ Дж/Тл	3970 Å	(0,365–0,656) мкм (видимая область спектра)
14	$4p$		3889 Å	
15	$2p$		3835 Å	
16	$3p$		3798 Å	
17	$1,31 \cdot 10^{-23}$ Дж/Тл	2,8 эВ	18 752 Å	(0,82–1,875) мкм (инфракрасная область спектра)
18	$-9,6 \cdot 10^{-24}$ Дж/Тл	-2,5 эВ	12 819 Å	
19	$-9,41 \cdot 10^{-24}$ Дж/Тл	-0,97 эВ	10 939 Å	
20	$-1,31 \cdot 10^{-23}$ Дж/Тл	2,5 эВ	10 050 Å	
21	$3d \rightarrow 6f$	–	40 514 Å	(1,46–4,05) мкм (инфракрасная область спектра)
22	$2p \rightarrow 4s$	–	26 253 Å	
23	$6h \rightarrow 5g$	–	21 657 Å	
24	$5g \rightarrow 4f$	–	19 447 Å	
25	$6p$	$-1,31 \cdot 10^{-23}$ Дж/Тл	74 583 Å	(2,28–7,46) мкм (инфракрасная область спектра)
26	$4p$		46 528 Å	
27	$3p$		37 398 Å	
28	$5p$		32 963 Å	

Номер задания	23.1	23.2	23.3
1	$2,6 \cdot 10^{-4}$ Дж	$9,42 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$; 72 К	11,65 эВ; $1,85 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
2	$7 \cdot 10^{-4}$ Дж	$4,7 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$; 360 К	3,15 эВ; $9,6 \cdot 10^{-25}$ кг · м/с
3	$1,5 \cdot 10^{-3}$ Дж	$9,42 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$; 720 К	5,3 эВ; $1,25 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
4	$2,7 \cdot 10^{-3}$ Дж	$1,9 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$; 144 К	6 эВ; $1,3 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
5	0,054 Дж	$3,36 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$; 257 К	7 эВ; $1,43 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
6	0,235 Дж	$5,32 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$; 406 К	8,4 эВ; $1,56 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
7	0,634 Дж	$7,52 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$; 574 К	6,9 эВ; $1,42 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
8	1,336 Дж	$9,21 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$; 703 К	2 эВ; $7,64 \cdot 10^{-25}$ кг · м/с
9	$7,21 \cdot 10^{-4}$ Дж	$5,85 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$; 446,5 К	9,2 эВ; $1,64 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
10	10^{-3} Дж	$4,31 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$; 329 К	9,4 эВ; $1,66 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
11	$1,36 \cdot 10^{-3}$ Дж	$4,93 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$; 377 К	9,8 эВ; $1,69 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
12	$1,78 \cdot 10^{-3}$ Дж	$5,43 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$; 414,5 К	11,2 эВ; $1,8 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
13	$1,23 \cdot 10^{-2}$ Дж	$1,31 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$; 100 К	14,3 эВ; $2 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
14	$1,57 \cdot 10^{-2}$ Дж	$1,96 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$; 149 К	5,8 эВ; $1,3 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
15	$2,32 \cdot 10^{-2}$ Дж	$2,6 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$; 198 К	4,7 эВ; $1,2 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
16	$3,05 \cdot 10^{-2}$ Дж	$3,23 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$; 247 К	11,7 эВ; $1,85 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
17	$9,74 \cdot 10^{-3}$ Дж	$1,86 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$; 1418,5 К	19,5 эВ; $2,4 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
18	$4,22 \cdot 10^{-2}$ Дж		7,6 эВ; $1,5 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
19	0,114 Дж		5,5 эВ; $1,3 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
20	0,24 Дж		8,5 эВ; $1,6 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
21	$1,18 \cdot 10^{-3}$ Дж	$2,72 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$; 207,5 К	10 эВ; $1,7 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
22	$5,1 \cdot 10^{-3}$ Дж		9,96 эВ; $1,7 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
23	$1,38 \cdot 10^{-2}$ Дж		5,6 эВ; $1,3 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
24	$2,9 \cdot 10^{-2}$ Дж		11,7 эВ; $1,85 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
25	$6,67 \cdot 10^{-3}$ Дж	$9,94 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$; 76 К	8,6 эВ; $1,6 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
26	$1,8 \cdot 10^{-2}$ Дж		5,5 эВ; $1,3 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с
27	$3,79 \cdot 10^{-2}$ Дж		1,5 эВ; $6,6 \cdot 10^{-25}$ кг · м/с
28	$6,89 \cdot 10^{-2}$ Дж		7 эВ; $1,4 \cdot 10^{-24}$ кг · м/с

Номер задания	23.4		23.5	
1	0,18%	6,44 эВ	$3,125 \cdot 10^6 \text{ A/M}^2$;	$2,6 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$
2	0,37%		$6,25 \cdot 10^6 \text{ A/M}^2$;	$5,25 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$
3	0,62%		$9,375 \cdot 10^6 \text{ A/M}^2$;	$7,9 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$
4	0,8%		$1,25 \cdot 10^7 \text{ A/M}^2$;	$1,05 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$
5	0,23%	8,55 эВ	$5,8 \cdot 10^6 \text{ A/M}^2$;	$3,2 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$
6	0,47%		$6,98 \cdot 10^6 \text{ A/M}^2$;	$3,8 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$
7	0,78%		$8,14 \cdot 10^6 \text{ A/M}^2$;	$4,5 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$
8	1%		$9,3 \cdot 10^6 \text{ A/M}^2$;	$5,1 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$
9	0,11%	7,14 эВ	$4,17 \cdot 10^3 \text{ A/M}^2$;	$3 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}$
10	0,37%		$4,17 \cdot 10^4 \text{ A/M}^2$;	$3 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$
11	0,48%		$4,17 \cdot 10^5 \text{ A/M}^2$;	$3 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$
12	0,63%		$4,17 \cdot 10^6 \text{ A/M}^2$;	$3 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$
13	0,15%	3,12 эВ	$5,1 \cdot 10^4 \text{ A/M}^2$;	$1,3 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$
14	0,51%		$1,02 \cdot 10^5 \text{ A/M}^2$;	$2,5 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$
15	0,87%		$1,53 \cdot 10^5 \text{ A/M}^2$;	$3,8 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$
16	1,54%		$2,04 \cdot 10^5 \text{ A/M}^2$;	$5,1 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$
17	0,13%	4 эВ	$3,33 \cdot 10^3 \text{ A/M}^2$;	$5,7 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}$
18	0,44%		$8,33 \cdot 10^3 \text{ A/M}^2$;	$1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$
19	0,75%		$3,33 \cdot 10^4 \text{ A/M}^2$;	$5,7 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$
20	1,1%		$8,33 \cdot 10^4 \text{ A/M}^2$;	$1,4 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$
21	0,22%	10,57 эВ	$7,14 \cdot 10^5 \text{ A/M}^2$;	$2,9 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$
22	0,72%		$1,43 \cdot 10^6 \text{ A/M}^2$;	$5,7 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$
23	1,22%		$2,14 \cdot 10^6 \text{ A/M}^2$;	$8,6 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$
24	1,44%		$2,86 \cdot 10^6 \text{ A/M}^2$;	$1,1 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$
25	0,14%	0,09 эВ	$9,39 \cdot 10^4 \text{ A/M}^2$;	$4,7 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$
26	0,47%		$1,88 \cdot 10^5 \text{ A/M}^2$;	$9,4 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$
27	0,94%		$2,82 \cdot 10^5 \text{ A/M}^2$;	$1,4 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$
28	1,7%		$3,76 \cdot 10^5 \text{ A/M}^2$;	$1,9 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$

Номер задания	23.6	23.7	
1 2 3 4	$\sigma_0 = 1,84 \cdot 10^7 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$	$3,5 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $32 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $168 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $607 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$	1,17 1,135 1,11 1,09 ~ 70K
5 6 7 8	$\sigma_0 = 3,1 \cdot 10^6 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$	$0,001 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $0,05 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $0,27 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $1,65 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$	1,22 1,17 1,13 1,1 ~ 55 K
9 10 11 12	$\sigma_0 = 6,1 \cdot 10^5 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$	$680 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $1560 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $3290 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $5870 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$	1,23 1,45 1,64 1,83 ~ 60 K
13 14 15 16	$\sigma_0 = 3,83 \cdot 10^6 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$	$3,7 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $1,9 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $3,7 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $3,7 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$	12,86 2,34 1,53 1,29 ~ 250 K
17 18 19 20	$\sigma_0 = 1,28 \cdot 10^6 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$	$1210 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $3270 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $6900 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $12320 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$	17,2 44,4 71,25 94,7 ~ 280K
21 22 23 24	$\sigma_0 = 7,42 \cdot 10^5 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$	$266 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $830 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $1935 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $3750 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$	1,87 1,46 1,29 1,20 ~ 380 K
25 26 27 28	$\sigma_0 = 1,145 \cdot 10^{11} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$	$10^{-13} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $3 \cdot 10^{-10} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $10^{-7} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$ $10^{-5} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$	2,17 1,59 1,36 1,25 ~ 930 K

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	$6 \cdot 10^{28} \text{ М}^{-3}$
6	31,8 МКМ	12,8%	$2 \cdot 10^{28} \text{ М}^{-3}$
7	28,2 МКМ	4,31 эВ	$1,5 \cdot 10^{28} \text{ М}^{-3}$
8	25,32 МКМ	52,9%	$7 \cdot 10^{28} \text{ М}^{-3}$
9	27,57 МКМ	4,5 эВ	$2,5 \cdot 10^{29} \text{ М}^{-3}$
10	21,76 МКМ	32,65%	$9 \cdot 10^{28} \text{ М}^{-3}$
11	19,1 МКМ	3,64 эВ	$1,5 \cdot 10^{29} \text{ М}^{-3}$
12	7,75 МКМ	47,14%	$8 \cdot 10^{28} \text{ М}^{-3}$
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 сурьма галлий алюминий	$4 \cdot 10^{28} \text{ М}^{-3}$
18	0,039 эВ;		10^{28} М^{-3}
19	0,065 эВ;		$1,3 \cdot 10^{28} \text{ М}^{-3}$
20	0,057 эВ;		$2,5 \cdot 10^{28} \text{ М}^{-3}$
21	130,6 МКМ	4,41 эВ	$7,5 \cdot 10^{28} \text{ М}^{-3}$
22	129,2 МКМ	12,95%	$2 \cdot 10^{29} \text{ М}^{-3}$
23	103,4 МКМ	4,24 эВ	$3 \cdot 10^{28} \text{ М}^{-3}$
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	${}^6\text{C}^{12}$,	$2,36 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	7,680 МэВ
2	Сера	${}^{16}\text{S}^{36}$,	$3,28 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,606 МэВ
3	Аргон	${}^{18}\text{Ar}^{36}$,	$3,41 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,554 МэВ
4	Неон	${}^{10}\text{Ne}^{20}$,	$2,8 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,032 МэВ
5	Кремний	${}^{14}\text{Si}^{28}$,	$3,13 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,481 МэВ
6	Аргон	${}^{18}\text{Ar}^{40}$,	$3,41 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,624 МэВ
7	Азот	${}^7\text{N}^{15}$,	$2,49 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	7,730 МэВ
8	Калий	${}^{19}\text{K}^{40}$,	$3,47 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,569 МэВ
9	Кальций	${}^{20}\text{Ca}^{40}$,	$3,53 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,551 МэВ
10	Углерод	${}^6\text{C}^{13}$,	$2,36 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	7,47 МэВ
11	Неон	${}^{10}\text{Ne}^{21}$,	$2,8 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,005 МэВ
12	Аргон	${}^{18}\text{Ar}^{38}$,	$3,41 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,646 МэВ
13	Кальций	${}^{20}\text{Ca}^{43}$,	$3,53 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,63 МэВ
14	Кремний	${}^{14}\text{Si}^{29}$,	$3,13 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,48 МэВ
15	Кислород	${}^8\text{O}^{17}$,	$2,6 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	7,783 МэВ
16	Кремний	${}^{14}\text{Si}^{30}$,	$3,13 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,55 МэВ
17	Кальций	${}^{20}\text{Ca}^{46}$,	$3,53 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,696 МэВ
18	Азот	${}^7\text{N}^{14}$,	$2,49 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	7,433 МэВ
19	Титан	${}^{22}\text{Ti}^{46}$,	$3,64 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,688 МэВ
20	Неон	${}^{10}\text{Ne}^{22}$,	$2,8 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,109 МэВ
21	Ванадий	${}^{23}\text{V}^{50}$,	$3,7 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,725 МэВ
22	Хром	${}^{24}\text{Cr}^{50}$,	$3,75 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,731 МэВ
23	Титан	${}^{22}\text{Ti}^{50}$,	$3,64 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,784 МэВ
24	Кислород	${}^8\text{O}^{16}$,	$2,6 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	7,976 МэВ
25	Титан	${}^{22}\text{Ti}^{48}$,	$3,64 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,753 МэВ
26	Кислород	${}^8\text{O}^{18}$,	$2,6 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	7,794 МэВ
27	Кальций	${}^{20}\text{Ca}^{48}$,	$3,53 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,694 МэВ
28	Хром	${}^{24}\text{Cr}^{52}$,	$3,75 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$;	8,806 МэВ

Номер задания	24.2		24.3	
	Число протонов	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	40,0613 а.е.м.;	1,3%
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	41,5 а.е.м.;	98,7%
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	$5,545 \text{ года}^{-1}$;	45,6 сут;	20 сут	$4 \cdot 10^{11}$ Бк
3	e^+ ; π^0	$12,26 \text{ года}^{-1}$;	8 лет;	17,7 года	$2,8 \cdot 10^{11}$ Бк
4	π^0 ; p	$0,132 \text{ года}^{-1}$;	40,97%;	7,6 года	$1,95 \cdot 10^{11}$ Бк
5	e^- ; p	$8 \cdot 10^{-3} \text{ лет}^{-1}$;	70 лет;	124,1 года	$6,9 \cdot 10^8$ Бк
6	μ^- ; p	$0,04 \text{ года}^{-1}$;	17,6 года;	46,76%	$1,4 \cdot 10^9$ Бк
7	γ ; n	$1,035 \text{ года}^{-1}$;	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	$0,023 \text{ года}^{-1}$;	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	$1,2 \cdot 10^{-4} \text{ года}^{-1}$;	30,44%;	8266,6 года	10^{12} Бк
12	$\bar{\nu}$; n	$0,04 \text{ года}^{-1}$;	15 лет;	25,4 года	$4,13 \cdot 10^{10}$ Бк
13	π^0 ; n	$2,9 \cdot 10^{-5} \text{ лет}^{-1}$;	$2,4 \cdot 10^{-4}$ года;	32,23%	$1,43 \cdot 10^{13}$ Бк
14	ν ; n	$2,1 \text{ года}^{-1}$;	120 сут;	173,12 сут	$4,06 \cdot 10^{12}$ Бк
15	$\bar{\nu}$; π^0	5,26 года;	48,26%;	7,6 года	$1,15 \cdot 10^{12}$ Бк
16	π^0 ; p	$0,182 \text{ года}^{-1}$;	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	$0,023 \text{ года}^{-1}$;	43,73%;	43,3 года	$5,1 \cdot 10^{14}$ Бк
19	ν ; π^+	$0,0546 \text{ года}^{-1}$;	16 лет;	18,3 года	$2,09 \cdot 10^8$ Бк
20	γ ; n	$3,47 \text{ года}^{-1}$;	73 сут;	61,3%	$1,93 \cdot 10^8$ Бк
21	π^0 ; n	$0,89 \text{ года}^{-1}$;	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	$1,2 \cdot 10^{-4} \text{ года}^{-1}$;	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	$\bar{\nu}$; π^-	$0,043 \text{ года}^{-1}$;	57,94%;	23,1 года	$7,2 \cdot 10^{13}$ Бк
26	γ ; p	$0,267 \text{ года}^{-1}$;	3,5 года;	3,75 года	$3 \cdot 10^{13}$ Бк
27	γ ; p	$1,54 \text{ года}^{-1}$;	165 сут;	57%	$1,2 \cdot 10^{13}$ Бк
28	γ ; p	$0,835 \text{ года}^{-1}$;	303 сут;	437 сут	$5 \cdot 10^{12}$ Бк

Номер задания	24.7	24.8	24.9	24.10	
1	${}_{92}\text{U}^{234}$	0,23 барн	α ;	–0,69 МэВ	1845 лет
2	${}_{88}\text{Ra}^{226}$	0,01 барн	${}_{2}\text{He}^3$;	3,25 МэВ	4223 года
3	${}_{84}\text{Po}^{218}$	766 барн	${}_{1}\text{H}^3$;	4,7 МэВ	7575 лет
4	${}_{83}\text{Bi}^{214}$	5,1 барн	d ;	5,5 МэВ	13 300 лет
5	${}_{88}\text{Ra}^{226}$	5,7 мм	n ;	5,7 МэВ	19 000 лет
6	${}_{82}\text{Pb}^{214}$	3,2 см	p ;	4,55 МэВ	24 800 лет
7	${}_{83}\text{Bi}^{214}$	0,95 мм	p ;	1,13 МэВ	32 300 лет
8	${}_{82}\text{Pb}^{210}$	0,23 мм	${}_{3}\text{Li}^7$;	16,8 МэВ	38 100 лет
9	${}_{90}\text{Th}^{228}$	1,0275	${}_{13}\text{Al}^{27}$;	–2,64 МэВ	39 900 лет
10	${}_{86}\text{Rn}^{220}$	22,9	${}_{2}\text{He}^4$;	17,6 МэВ	42 300 лет
11	${}_{82}\text{Pb}^{212}$	4,65	α ;	5,7 МэВ	45 650 лет
12	${}_{83}\text{Bi}^{212}$	66,6	d ;	15,1 МэВ	51 400 лет
13	${}_{92}\text{U}^{233}$	1,2 барн	${}_{7}\text{N}^{13}$;	1,4 МэВ	63 000 лет
14	${}_{88}\text{Ra}^{225}$	0,6 барн	${}_{2}\text{He}^4$;	11,3 МэВ	76 000 лет
15	${}_{87}\text{Fr}^{221}$	14,6 барн	d ;	3,2 МэВ	167 лет
16	${}_{83}\text{Bi}^{213}$	8,1 барн	${}_{3}\text{Li}^6$;	22,4 МэВ	340 лет
17	${}_{90}\text{Th}^{227}$	0,78 мм	${}_{11}\text{Na}^{22}$;	1,97 МэВ	510 лет
18	${}_{84}\text{Po}^{215}$	2,53 см	d ;	18,9 МэВ	690 лет
19	${}_{83}\text{Bi}^{211}$	1,08 см	${}_{49}\text{In}^{113}$;	–2,3 МэВ	870 лет
20	${}_{82}\text{Pb}^{207}$	3,32 см	${}_{30}\text{Zn}^{65}$;	–4,35 МэВ	1060 лет
21	${}_{89}\text{Ac}^{228}$	7,16	α ;	16,8 МэВ	1250 лет
22	${}_{88}\text{Ra}^{224}$	2,84	${}_{2}\text{He}^3$;	13,9 МэВ	1440 лет
23	${}_{86}\text{Rn}^{220}$	1,53	${}_{25}\text{Mn}^{54}$;	0,6 МэВ	1640 лет
24	${}_{82}\text{Pb}^{212}$	1,05	n ;	–0,4 МэВ	1845 лет
25	${}_{88}\text{Ra}^{225}$	7,69 барн	α ;	3,5 МэВ	2050 лет
26	${}_{89}\text{Ac}^{225}$	0,0045 барн	${}_{1}\text{H}^3$;	4,8 МэВ	2270 лет
27	${}_{83}\text{Bi}^{213}$	0,49 барн	${}_{12}\text{Mg}^{25}$;	–3,65 МэВ	2490 лет
28	${}_{82}\text{Pb}^{209}$	1,97 барн	${}_{6}\text{C}^{14}$;	1,14 МэВ	2716 лет

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. 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

2. Греческий алфавит

Написание буквы	Название
A α	альфа
B β	бета
Γ γ	гамма
Δ δ	дельта
E ε	эпсилон
Z ζ	дзэта
Η η	эта
Θ θ ϑ	тэта
I ι	йота
Κ κ	каппа
Λ λ	лямбда
Μ μ	мю
N ν	ню
Ξ ξ	кси
O ο	омикрон
Π π	пи
Ρ ρ	ро
Σ σ	сигма
Τ τ	тау
Υ υ	ипсилон
Φ φ	фи
Χ χ	хи
Ψ ψ	пси
Ω ω	омега

3. 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	санتي	с	10^{-2}
дека	да	10^1	деци	д	10^{-1}

4. Эффективный диаметр d молекул газа

Газ	d , м	Газ	d , м
Азот	$3,1 \cdot 10^{-10}$	Воздух	$3 \cdot 10^{-10}$
Аммиак	$3 \cdot 10^{-10}$	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	$2,6 \cdot 10^{-10}$
Пары воды	$4,6 \cdot 10^{-10}$	Оксид углерода (IV)	$3,4 \cdot 10^{-10}$

5. 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	$2,44 \cdot 10^{-2}$	$2,63 \cdot 10^{-5}$
Пары воды	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	$4,26 \cdot 10^{-5}$

6. 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
Этиловый спирт	2500	$9 \cdot 10^5$	78
Ртуть	138	$3 \cdot 10^5$	357

7. 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	19 300	Платина	21 450
Германий	5323	Ртуть	13 546
Железо	7874	Свинец	11 350
Золото	19 320	Серебро	10 500
Калий	862	Тантал	16 600
Литий	534	Уран	18 950
Медь	8960	Хром	7190
Молибден	10 200	Цинк	7140

8. Некоторые свойства твердых веществ

Вещество	Удельная теплота плавления, кДж/кг	Температура плавления, °С	Удельная теплоемкость, Дж/(кг · К)
Алюминий	393	660,4	896
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

9. Относительная диэлектрическая проницаемость ε некоторых диэлектриков

Жидкий диэлектрик	ε	Твердый диэлектрик	ε
Бензин	2	Воск	7,8
Вода	81	Винипласт	3,5
Глицерин	43	Гетинакс	8

Жидкий диэлектрик	ϵ	Твердый диэлектрик	ϵ
Керосин	2	Парафин	2
Масло касторовое	4,5	Слюда	6
Масло трансформаторное	5	Стекло	6
Скипидар	2,3	Фарфор	6
		Эбонит	2,6

10. 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

11. 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	0,999998
Кислород	1,0000019	Золото	0,999961
Магний	1,0000174	Медь	0,9999897
Марганец	1,001	Свинец	0,9999841
Олово	1,0000022	Серебро	0,999981
Платина	1,00025	Цинк	0,999988

12. Излучение оптического диапазона*

Вид излучения	Диапазон длин волн, м	Диапазон частот, Гц
Инфракрасное излучение	$10^{-3}-7,6 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{11}-4 \cdot 10^{14}$
Видимое излучение	$7,6 \cdot 10^{-7}-3,8 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{14}-8 \cdot 10^{14}$
Красные волны	$7,6 \cdot 10^{-7}-6,2 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{14}-4,8 \cdot 10^{14}$
Оранжевые волны	$6,2 \cdot 10^{-7}-5,9 \cdot 10^{-7}$	$4,8 \cdot 10^{14}-5,1 \cdot 10^{14}$
Желтые волны	$5,9 \cdot 10^{-7}-5,6 \cdot 10^{-7}$	$5,1 \cdot 10^{14}-5,4 \cdot 10^{14}$
Зеленые волны	$5,6 \cdot 10^{-7}-5 \cdot 10^{-7}$	$5,4 \cdot 10^{14}-6 \cdot 10^{14}$
Голубые волны	$5 \cdot 10^{-7}-4,8 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{14}-6,2 \cdot 10^{14}$
Синие волны	$4,8 \cdot 10^{-7}-4,5 \cdot 10^{-7}$	$6,2 \cdot 10^{14}-6,7 \cdot 10^{14}$
Фиолетовые волны	$4,5 \cdot 10^{-7}-3,8 \cdot 10^{-7}$	$6,7 \cdot 10^{14}-8 \cdot 10^{14}$
Ультрафиолетовое излучение	$3,8 \cdot 10^{-7}-8 \cdot 10^{-8}$	$8 \cdot 10^{14}-3,7 \cdot 10^{15}$
Рентгеновское излучение	$8 \cdot 10^{-8}-10^{-11}$	$3,7 \cdot 10^{15}-3 \cdot 10^{19}$
Гамма-излучение	10^{-11} и менее	$3 \cdot 10^{19}$ и более

* Строгой границы между отдельными диапазонами электромагнитных волн не существует, соседние диапазоны частично «перекрывают» друг друга.

13. Показатель преломления n некоторых жидкостей и твердых веществ для желтой линии натрия ($\lambda = 5893$ нм) при температуре 20 °С

Жидкость	n	Твердое вещество	n
Бензол	1,5	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	1,6
Толуол	1,49	Стекло	1,5–1,9

14. Таблица изотопов

Атомный номер элемента	Химический элемент	Символ изотопа	Масса изотопа, а.е.м.
1	Водород	^1H	1,007825
		^2H	2,014102
		^3H	3,016040
2	Гелий	^3He	3,016049
		^4He	4,002603

Атомный номер элемента	Химический элемент	Символ изотопа	Масса изотопа, а.е.м.
3	Литий	${}^6\text{Li}$	6,015125
		${}^7\text{Li}$	7,016004
4	Бериллий	${}^9\text{Be}$	9,012186
5	Бор	${}^{10}\text{B}$	10,012939
6	Углерод	${}^{12}\text{C}$	12,000000
		${}^{13}\text{C}$	13,003354
		${}^{14}\text{C}$	14,003240
7	Азот	${}^{13}\text{N}$	13,005370
		${}^{14}\text{N}$	14,003074
		${}^{15}\text{N}$	15,000107
8	Кислород	${}^{16}\text{O}$	15,994915
		${}^{17}\text{O}$	16,999139
11	Натрий	${}^{22}\text{Na}$	21,994430
		${}^{23}\text{Na}$	22,989771
12	Магний	${}^{24}\text{Mg}$	23,985042
		${}^{25}\text{Mg}$	24,985839
		${}^{26}\text{Mg}$	25,982539
13	Алюминий	${}^{24}\text{Al}$	23,999940
		${}^{27}\text{Al}$	26,981539
15	Фосфор	${}^{30}\text{P}$	29,978310
		${}^{31}\text{P}$	30,973765
		${}^{32}\text{P}$	31,973900
16	Сера	${}^{32}\text{S}$	31,972074
		${}^{34}\text{S}$	33,967864
		${}^{35}\text{S}$	34,969030
		${}^{36}\text{S}$	35,967090
17	Хлор	${}^{35}\text{Cl}$	34,968851
		${}^{37}\text{Cl}$	36,965898
25	Марганец	${}^{54}\text{Mn}$	53,940350
26	Железо	${}^{54}\text{Fe}$	53,939617
		${}^{56}\text{Fe}$	55,934936
29	Медь	${}^{63}\text{Cu}$	62,929592
		${}^{65}\text{Cu}$	64,927786
30	Цинк	${}^{65}\text{Zn}$	64,929230
42	Молибден	${}^{95}\text{Mo}$	94,905854
43	Технеций	${}^{96}\text{Tc}$	95,907830
49	Индий	${}^{113}\text{In}$	112,904089
		${}^{115}\text{In}$	114,903871

Атомный номер элемента	Химический элемент	Символ изотопа	Масса изотопа, а.е.м.
50	Олово	^{112}Sn	111,904835
		^{113}Sn	112,905180
		^{114}Sn	113,902773

15. Работа выхода $A_{\text{вых}}$ электрона из металла

Металл	$A_{\text{вых}}, \text{эВ}$	Металл	$A_{\text{вых}}, \text{эВ}$
Алюминий	3,74	Никель	4,84
Вольфрам	4,5	Платина	5,3
Литий	2,4	Серебро	4,74
Калий	2	Цезий	1,9
Натрий	2,27	Цинк	3,74

16. 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.

17. 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

	0°	2°	4°	6°	8°
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

18. Основные математические константы и связанные с ними преобразования

$$\pi = 3,1415926$$

$$e = 2,718281$$

$$\lg x = 0,4343 \ln x$$

$$\pi^2 = 9,869624$$

$$\lg e = 0,434294$$

$$\ln x = 2,3026 \lg x$$

$$\sqrt{\pi} = 1,7724538$$

$$\ln 10 = 2,302585$$

19. Обозначения и единицы физических величин

Физическая величина	Условное обозначение	Единица
<i>Механика</i>		
Расстояние	s, l	м
Длина	L	м
Высота	h, H	м
Площадь	S	м ²
Радиус-вектор	\vec{r}	м
Радиус кривизны	R	м
Время	t	с
Скорость	\vec{v}	м/с
Ускорение	\vec{a}	м/с ²
Тангенциальное ускорение	\vec{a}_τ	м/с ²
Нормальное ускорение	\vec{a}_n	м/с ²
Угловое перемещение	$\vec{\varphi}$	рад
Угловая скорость	$\vec{\omega}$	рад/с
Угловое ускорение	$\vec{\beta}$	рад/с ²
Частота вращения	ν	с ⁻¹
Масса	m	кг
Сила	\vec{f}, \vec{F}	Н

Физическая величина	Условное обозначение	Единица
Коэффициент трения	k	—
Работа	A	Дж
Энергия	W	Дж
Мощность	P	Вт
Импульс тела	\vec{p}	кг · м/с
Момент инерции	J	кг · м ²
Момент силы	\vec{M}	Н · м
Момент импульса	\vec{L}	кг · м ² /с
<i>Молекулярная физика и термодинамика</i>		
Объем	V	м ³
Давление	p	Па
Абсолютная температура	T	К
Мольная масса	μ	кг/моль
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	—
<i>Электричество и магнетизм</i>		
Заряд	q	Кл
Потенциал	ϕ	В
Напряженность электрического поля	\vec{E}	В/м
Линейная плотность заряда	λ	Кл/м
Поверхностная плотность заряда	σ	Кл/м ²

Физическая величина	Условное обозначение	Единица
Объемная плотность заряда	ρ	Кл/м ³
Дипольный электрический момент	\vec{p}	Кл · м
Поляризуемость молекулы	β	Кл · м ² /В
Поляризованность вещества	\vec{P}	Кл/м ²
Электрическое смещение	\vec{D}	Кл/м ²
Диэлектрическая восприимчивость	κ	—
Диэлектрическая проницаемость	ϵ	—
Напряжение	U	В
Сила постоянного тока	I	А
Сила изменяющегося тока	i	А
Плотность тока	\vec{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	u	м ² /(В · с)
Магнитная индукция	\vec{B}	Тл
Магнитный поток	Φ	Вб
Напряженность магнитного поля	\vec{H}	А/м
Магнитный момент	\vec{p}_m	А · м ²
Магнитная восприимчивость	χ	—
Относительная магнитная проницаемость	μ	—
Намагниченность	\vec{J}	А/м
Индуктивность	L	Гн
Объемная плотность энергии	w	Дж/м ³
<i>Колебания и волны</i>		
Смещение от положения равновесия	x, ξ	м
Циклическая частота	ω	рад/с
Начальная фаза	Φ_0	рад
Период	T	с
Длина волны	λ	м

Физическая величина	Условное обозначение	Единица
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	\vec{S}	Вт/м ²
<i>Волновая оптика</i>		
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	—
<i>Квантовая природа излучения. Элементы квантовой механики и физики твердого тела</i>		
Энергетическая светимость	R_{λ}	Вт/м ²
Испускательная способность	$r_{\lambda, T}$	Вт/м ³ (Дж/м ²)
Поглощательная способность	$a_{\lambda, T}$	—
Энергия фотона (частиц)	E	Дж
Орбитальный магнитный момент электрона	μ_L	А/м ²
Спиновый магнитный момент электрона	μ_s	А/м ²
Характеристическая температура Дебая	Θ	К
<i>Основы физики атомного ядра</i>		
Массовое число	A	—
Зарядовое число	Z	—
Постоянная радиоактивного распада	λ	с^{-1}
Период полураспада	$T_{1/2}$	с
Среднее время жизни ядра	τ	с
Активность радиоактивного источника	a	Бк
Эффективное сечение ядерной реакции	σ	м ²

20. 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	$2,687 \cdot 10^{25}$ м ⁻³
Объем моля идеального газа при нормальных условиях	V_m	$22,41 \cdot 10^{-3}$ м ³ /моль
Нормальное атмосферное давление	$p_{\text{атм}}$	$101\,325$ 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	r_B	$5,292 \cdot 10^{-11}$ м
Магнетон Бора	μ_B	$9,274 \cdot 10^{-24}$ Дж/Тл
Магнитный момент электрона	μ_e	$9,285 \cdot 10^{-24}$ Дж/Тл
	μ_0	$12,57 \cdot 10^{-7}$ Гн/м
Магнитная постоянная	$\mu_0 / (4\pi)$	10^{-7} Гн/м
	ϵ_0	$8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Электрическая постоянная	$1 / (4\pi\epsilon_0)$	$8,9875 \cdot 10^9$ м/Ф

21. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева

Периоды	Ряды	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	1	H 1 1,0079 ВОДОРОД							He 2 4,00260 ГЕЛИЙ
2	2	Li 3 6,94 ЛИТИЙ	Be 4 9,012 БЕРИЛЛИЙ	B 5 10,81 БОР	C 6 12,011 УГЛЕРОД	N 7 14,0067 АЗОТ	O 8 15,999 КИСЛОРОД	F 9 18,9984 ФТОР	Ne 10 20,18 НЕОН
3	3	Na 11 22,98977 НАТРИЙ	Mg 12 24,305 МАГНИЙ	Al 13 26,98 АЛЮМИНИЙ	Si 14 28,085 КРЕМНИЙ	P 15 30,97 ФОСФОР	S 16 32,06 СЕРА	Cl 17 35,453 ХЛОР	Ar 18 39,948 АРГОН
4	4	K 19 39,098 КАЛИЙ	Ca 20 40,08 КАЛЬЦИЙ	Sc 21 44,9559 СКАНДИЙ	Ti 22 47,867 ТИТАН	V 23 50,94 ВАНАДИЙ	Cr 24 51,996 ХРОМ	Mn 25 54,938 МАРГАНЕЦ	Ni 28 58,69 НИКЕЛЬ
5	5	Cu 29 63,54 МЕДЬ	Zn 30 65,39 ЦИНК	Ga 31 69,72 ГАЛЛИЙ	Ge 32 72,561 ГЕРМАНИЙ	As 33 74,92 МыШЬЯК	Se 34 78,966 СЕЛЕН	Br 35 79,904 БРОМ	Kr 36 83,80 КРИПТОН
6	6	Rb 37 85,467 РУБИДИЙ	Sr 38 88,9 СТРОНЦИЙ	Y 39 88,9 ИТРИЙ	Zr 40 91,22 ЦИРКОНИЙ	Nb 41 92,9 НИОБИЙ	Mo 42 95,94 МОЛИБДЕН	Tc 43 98,9 ТЕХНЕЦИЙ	Rd 46 106,4 ПАЛЛАДИЙ
7	7	Ag 47 107,868 СЕРЕБРО	Cd 48 112,41 КАДМИЙ	In 49 114,82 ИНДИЙ	Sn 50 118,71 ОЛОВО	Sb 51 121,76 СУРЬМА	Te 52 127,60 ТЕЛЛУР	I 53 126,90 ИОД	Xe 54 131,30 КСЕНОН
8	8	Cs 55 132,9054 ЦЕЗИЙ	Ba 56 137,33 БАРИЙ	La - Lu 57-71	Hf 72 178,49 ГАФНИЙ	Ta 73 180,95 ТАНТАЛ	W 74 183,84 ВОЛЬФРАМ	Re 75 186,207 РЕНИЙ	Os 76 190,2 ОСМИЙ
9	9	Au 79 196,9665 ЗОЛОТО	Hg 80 200,59 РУТУТЬ	Tl 81 204,38 ТАЛЛИЙ	Pb 82 207,2 СВИНЕЦ	Bi 83 208,98 ВИСМУТ	Po 84 208,98 ПОЛОНИЙ	At 85 [210] АСТАТ	Rn 86 [222] РАДОН
10	10	Fr 87 223,02 ФРАНЦИЙ	Ra 88 226,0 РАДИЙ	Ac - (Lr) 89-103	Rf 104 [261] РЕЗЕРФОРДИЙ	Db 105 [262] ДУБИЙ			

★ ЛАНТАНОИДЫ

La 57 138,905 ЛАНТАН	Ce 58 140,12 ЦЕРИЙ	Pr 59 140,9 ПРАЗЕОДИМ	Nd 60 144,2 НЕОДИМ	Pm 61 [145] ПРОМЕТИЙ	Sm 62 150,4 САМАРИЙ	Eu 63 151,96 ЕВРОПИЙ	Gd 64 157,2 ГАДОЛИНИЙ	Tb 65 158,9 ТЕРБИЙ	Dy 66 162,5 ДИСПРОЗИЙ	Ho 67 164,93 ГОЛЬМИЙ	Er 68 167,2 ЭРБИЙ	Tm 69 168,93 ТУЛИЙ	Yb 70 173,0 ИТТЕРБИЙ	Lu 71 174,96 ЛЮТЕЦИЙ
-----------------------------------	---------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

★ АКТИНОИДЫ

Ac 89 [227] АКТИНИЙ	Th 90 232,0 ТОРИЙ	Pa 91 231,0 ПРОТ-АКТИНИЙ	U 92 238,02 УРАН	Np 93 237,0 НЕП-ТУНИЙ	Pu 94 [244] ПУЛТОНИЙ	Am 95 [243] АМЕРИЦИЙ	Cm 96 [247] КУРИЙ	Bk 97 [247] БЕРКЛИЙ	Cf 98 [251] КАЛИ-ФОРНИЙ	Es 99 [252] ЭЙН-ШТЕЙНИЙ	Fm 100 [257] ФЕРМИЙ	Md 101 [258] МЕН-ДЕЛЕВИЙ	(No) 102 [259] НОБЕЛИЙ	(Lr) 103 [262] ЛОУ-РЕНСИЙ
----------------------------------	--------------------------------	---------------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------------	-------------------------------------	--

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Детлаф, А.А.* Курс физики / *А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.* 8-е изд., М., 2009.
- Иродов, И.Е.* Волновые процессы. Основные законы / *И.Е. Иродов.* 4-е изд. М., 2010.
- Иродов, И.Е.* Квантовая физика. Основные законы / *И.Е. Иродов.* 3-е изд. М., 2007.
- Иродов, И.Е.* Механика. Основные законы / *И.Е. Иродов.* 7-е изд. М., 2005.
- Иродов, И.Е.* Электромагнетизм. Основные законы / *И.Е. Иродов.* 7-е изд. М., 2010.
- Савельев, И.В.* Курс общей физики: в 4 т. / *И.В. Савельев.* М., 2009.
- Трофимова, Т.И.* Курс физики / *Т.И. Трофимова.* М., 2003.
- Трофимова, Т.И.* Курс физики: задачи и решения / *Т.И. Трофимова, А.В. Фирсов.* 4-е изд. М., 2011.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Методические рекомендации	5
МЕХАНИКА	7
<i>Тема 1. Кинематика материальной точки и поступательного движения твёрдого тела</i>	7
<i>Основные формулы</i>	7
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	8
<i>Тема 2. Динамика материальной точки и поступательного движения твёрдого тела и механической системы</i>	19
<i>Основные законы и формулы</i>	19
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	20
<i>Тема 3. Механическая энергия. Механическая работа. Закон сохранения энергии в механике</i>	31
<i>Основные законы и формулы</i>	31
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	32
<i>Тема 4. Кинематика и динамика вращательного движения</i>	43
<i>Основные законы и формулы</i>	43
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	45
<i>Тема 5. Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции. Элементы специальной теории относительности</i>	56
<i>Основные законы и формулы</i>	56
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	57
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА	69
<i>Тема 6. Основы молекулярно-кинетической теории газов. Термодинамические параметры. Теплоемкость</i>	69
<i>Основные законы и формулы</i>	69
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	70
<i>Тема 7. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам и адиабатическому процессу идеального газа. Элементы статистической физики</i>	81
<i>Основные законы и формулы</i>	81
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	82
<i>Тема 8. Второе начало термодинамики. Реальные газы</i>	93
<i>Основные законы и формулы</i>	93
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	94

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ	105
Тема 9. Электростатическое поле в вакууме	105
<i>Основные законы и формулы</i>	105
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	107
Тема 10. Электростатическое поле в диэлектрике. Проводники в электростатическом поле	118
<i>Основные законы и формулы</i>	118
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	120
Тема 11. Действие электростатического поля на движущийся заряд. Постоянный электрический ток	132
<i>Основные законы и формулы</i>	132
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	133
Тема 12. Магнитное поле в вакууме	145
<i>Основные законы и формулы</i>	145
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	146
Тема 13. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Проводник и контур с током в магнитном поле	157
<i>Основные законы и формулы</i>	157
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	158
Тема 14. Магнитное поле в веществе. Электромагнитная индукция. Основы теории Максвелла для электромагнитного поля	169
<i>Основные законы и формулы</i>	169
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	171
КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ	182
Тема 15. Гармонические механические и электромагнитные колебания	182
<i>Основные законы и формулы</i>	182
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	183
Тема 16. Сложение гармонических колебаний. Затухающие механические и электромагнитные колебания. Вынужденные колебания	195
<i>Основные законы и формулы</i>	195
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	197
Тема 17. Волновое движение. Электромагнитные волны	208
<i>Основные законы и формулы</i>	208
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	210
ВОЛНОВАЯ ОПТИКА	221
Тема 18. Интерференция света	221
<i>Основные законы и формулы</i>	221
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	222

Тема 19. Дифракция света	233
<i>Основные законы и формулы</i>	233
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	234
Тема 20. Поляризация света	246
<i>Основные законы и формулы</i>	246
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	247
ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ И ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА.	
ОСНОВЫ ФИЗИКИ АТОМНОГО ЯДРА	259
Тема 21. Квантовая природа излучения	259
<i>Основные законы и формулы</i>	259
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	261
Тема 22. Элементы атомной физики и квантовой механики	272
<i>Основные законы и формулы</i>	272
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	275
Тема 23. Элементы физики твердого тела	286
<i>Основные законы и формулы</i>	286
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	289
Тема 24. Основы физики атомного ядра	300
<i>Основные законы и формулы</i>	300
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	301
Указания к решению задач	312
Ответы	325
Приложения	426
1. Латинский алфавит	426
2. Греческий алфавит	426
3. Приставки к множителям для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований	427
4. Эффективный диаметр d молекул газа	427
5. Постоянные Ван-дер-Ваальса для некоторых газов	427
6. Некоторые свойства жидкостей	427
7. Плотность ρ некоторых веществ	428
8. Некоторые свойства твердых веществ	428
9. Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ некоторых диэлектриков	428
10. Удельное электрическое сопротивление ρ металлов	429

11. Относительная магнитная проницаемость μ некоторых магнетиков	429
12. Излучение оптического диапазона	430
13. Показатель преломления n некоторых жидкостей и твердых веществ для желтой линии натрия ($\lambda = 5893$ нм) при температуре 20°C	430
14. Таблица изотопов	430
15. Работа выхода $A_{\text{вых}}$ электрона из металла	432
16. Таблица синусов	432
17. Таблица тангенсов	432
18. Основные математические константы и связанные с ними преобразования	433
19. Обозначения и единицы физических величин	433
20. Основные физические постоянные	437
21. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева	438
Рекомендуемая литература	439

Учебное издание
Ветрова Валентина Тихоновна

ФИЗИКА

Сборник задач

Учебное пособие

Редактор *Е.В. Мальшева*
Художественный редактор *Т.В. Шабунько*
Технический редактор *Н.А. Лебедевич*
Корректор *Т.К. Хваль*
Компьютерная верстка *А.Н. Бабенковой*

Подписано в печать 31.08.2015. Формат 60×90/16. Бумага офсетная.
Гарнитура «NewtonС». Офсетная печать. Усл. печ. л. 28,0.
Уч.-изд. л. 26,5. Тираж 500 экз. Заказ 1588.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/3 от 08.07.2013.
Пр. Победителей, 11, 220048, Минск.
e-mail: market@vshph.com <http://vshph.com>

Открытое акционерное общество «Красная звезда».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя
и распространителя печатных изданий № 2/7 от 28.10.2013.
Юридический адрес: пер. 1-й Загородный, 3, 220073, Минск.
Почтовый адрес: ул. Советская, 80, 225409, Барановичи.

 **Издательство «Вышэйшая школа»**

**Книги по издательской цене
(с доставкой, оптом и в розницу)
можно приобрести по адресу:**

УП «Издательство “Вышэйшая школа”»

пр. Победителей, 11

220048, Минск, Республика Беларусь

Тел.: (+375-17) 203-67-38, 203-99-35

Факс: (+375-17) 203-54-15

<http://vshph.com>

e-mail: market@vshph.com

Мы работаем для тех, кто учится и учит!

УНП 100079604